



2008.
GODINA
LI

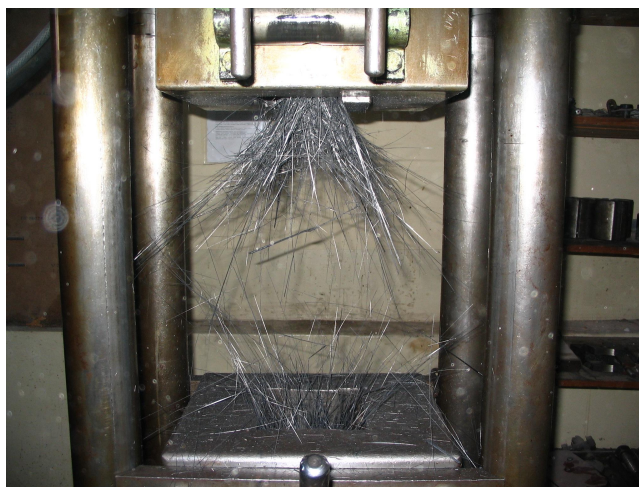


MATERIJALI 4 I KONSTRUKCIJE

MATERIALS AND STRUCTURES

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

a)



b)



MATERIJALI I KONSTRUKCIJE

MATERIALS AND STRUCTURES

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

IZDAVAČ:

Društvo za ispitivanje i istraživanje
materijala i konstrukcija Srbije

GLAVNI I ODGOVORNI UREDNIK:

Prof. dr Radomir FOLIĆ, dipl.inž.,
Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

REDAKCIONI ODBOR:

Prof. dr Radomir FOLIĆ, dipl.inž.,
glavni i odgovorni urednik
Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

Doc. dr Mirjana MALEŠEV, dipl.inž.,
zamenik odgovornog urednika,
Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

Prof. Lazar JOVANOVIĆ, dipl.inž.,
Beograd, Vrnjačka 9

Prof. dr Aleksandar PROKIĆ, dipl.inž.,
Građevinski fakultet, Subotica

Prof. dr Žorž POPOVIĆ, dipl.inž.arh.,
Koče Kapetana 39, Beograd

Dr Ksenija JANKOVIĆ, dipl.inž.,
Institut IMS, Beograd

Dr Zoran BAČKALIĆ, dipl.inž.tehn.
"Polet", Novi Bečej

Mr Branislav VOJINOVIĆ, dipl.inž.,
Braće Ribnikar br. 15, Beograd

Dr Gordana Topličić-Čurčić, dipl.inž.
Građevinsko-arhitektonski fakultet, Niš

ADRESA REDAKCIJE:

Društvo za ispitivanje i istraživanje
materijala i konstrukcija Srbije
11000 Beograd, Kneza Miloša 9
Telefon: 011/3242-589

RECENZENTI:

Konačnu recenziju izvršio je Redakcioni odbor časopisa
na osnovu recenzentskih izveštaja

TEHNIČKI UREDNIK:

Stoja TODOROVIĆ

NASLOVNA STRANA:

Primeri ispitivanja karbonskih traka
a) Ispitivanje pri zatezanju
b) Ispitivanje pri savijanju
Laboratorija za materijale
Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu

TIRAŽ: 200 primeraka

Štampanje ovog broja pomogla je Inženjerska komora
Srbije.

Ovaj časopis primaju članovi Društva za ispitivanje i
istraživanje materijala i konstrukcija Srbije

PUBLISHER:

Society for Materials and Structures Testing
of Serbia

EDITOR AND CHIEF:

Prof. dr Radomir FOLIĆ, Civ.Eng.,
Faculty of Technical Science, Novi Sad

EDITORIAL BOARD:

Prof. dr Radomir FOLIĆ, Civ.Eng.,
editor and chief
Faculty of Technical Science, Novi Sad

Dr Mirjana MALESEV, Civ.Eng.,
Faculty of Technical Science, Novi Sad

Prof. Lazar JOVANOVIĆ, Civ.Eng.,
Belgrade, Vrnjačka 9

Prof. dr Aleksandar PROKIĆ, Civ.Eng.,
Faculty of Civil Engineering, Subotica

Prof. dr Zorž POPOVIĆ, Civ.Eng.,
Koče Kapetana 39, Belgrade

Dr Ksenija JANKOVIĆ, Civ.Eng.,
Institute IMS, Belgrade

Dr Zoran BAČKALIĆ, dipl.inž.tehn.
"Polet", Novi Bečej

Mr Branislav VOJINOVIĆ, dipl.inž.,
Braće Ribnikar br. 15, Beograd

Dr Gordana Toplicic-Curcic, Civ.Eng.,
Faculty of Civil Engineering and Architecture, Nis

THE ADDRESS OF THE EDITORIAL-STAFF:

Society for Materials and Structures Testing of Serbia
11000 Belgrade, Kneza Milosa 9
Telephone: 381 11/3242-589

REVIEWERS:

The review of papers done by the Editorial Board on the
reviewer's report

TECHNICAL EDITOR:

Stoja TODOROVIĆ

COVER:

Laboratory Testing of Carbon Plates
a) Tension Strength
b) Bending Strength
Laboratory for Materials
Faculty of Civil Engineering, Belgrade

CIRCULATION: 200 examples

This number was published thanks to the financial support
of the Engineering Chamber of Serbia.

This Journal receive all the members of Society for
Materials and Structures Testing of Serbia

DRUŠTVO ZA ISPITIVANJE I ISTRAŽIVANJE MATERIJALA I KONSTRUKCIJA SRBIJE
 SOCIETY FOR MATERIALS AND STRUCTURES TESTING OF SERBIA

MATERIJALI I KONSTRUKCIJE

MATERIALS AND STRUCTURES

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

SADRŽAJ

Mihailo MURAVLJOV

Izveštaj o radu Društva za ispitivanje i istraživanje materijala i konstrukcija (DIMK) Srbije od XXIII Kongresa (Novi Sad, oktobar 2005.) do XXIV Kongresa (Divčibare, oktobar 2008.) 5

Radomir FOLIĆ

Izveštaj o radu na uređivanju časopisa za period od oktobra 2005. do oktobra 2008. godine 8

Radomir VASIĆ

Zagorka RADOJEVIĆ

Miloš VASIĆ

UTICAJ RADNE SREDINE NA POJAVU OŠTEĆENJA OPEKARSKIH PROIZVODA U ZIDANIM KONSTRUKCIJAMA
 Stručni rad 9

Snežana MAŠOVIĆ

EFEKTI DUGOTRAJNOG OPTEREĆENJA NA PONAŠANJE BETONSKIH KONSTRUKCIJA
 Originalni naučni rad 16

Milenko STANKOVIĆ

Srđan STANKOVIĆ

STANOVANJE SUTRAŠNJICE – PASIVNI STANDARD
 Stručni rad 27

Mihailo MURAVLJOV

Dragica JEVTIĆ

Dimitrije ZAKIĆ

Aleksandar SAVIĆ

Dragan GAVRILOVIĆ
 ISPITIVANJE SVOJSTAVA I PRIMERI PRIMENE KARBONSKIH TRAKA ZA OJAČANJE BETONSKIH KONSTRUKCIJA
 Stručni rad 42

Tatjana KOČETOV-MIŠULIĆ

Boško STEVANOVIĆ

EKSPERIMENTALNA PODLOGA ZA UVOĐENJE KLASA ČVRSTOĆE ČETINARSKÉ REZANE GRAĐE NA DOMAĆEM TRŽIŠTU
 Originalni naučni rad 50

Slobodan RANKOVIĆ

Dragan ZLATKOV

Radomir FOLIĆ

ISPITIVANJE AB KONSTRUKCIJE POD PROBNIM OPTEREĆENJEM PRE I POSLE SANACIJE NOVIM BETONOM I FRP LAMINATIMA
 Stručni rad 63

CONTENTS

Mihailo MURAVLJOV

Report on activities of the Society for Materials and Structures Testing of Serbia between the 23rd Congress (Novi Sad, October 2005) and 24th Congress (Divčibare, October 2008) 5

Radomir FOLIĆ

Editing journal report from the period October 2005 to October 2008 8

Radomir VASIĆ

Zagorka RADOJEVIĆ

Miloš VASIĆ

THE INFLUENCE OF THE SURROUNDING ENVIRONMENT ON APPEARING OF DESTRUCTION OF THE BRICK PRODUCTS IN MASONRY 9

Snežana MAŠOVIĆ

STRUCTURAL ANALYSES OF CONCRETE STRUCTURES CONCERNING LONG-TERM EFFECTS 16

Milenko STANKOVIĆ

Srđan STANKOVIĆ

HOUSING OF TOMORROW – PASSIVE STANDARD 27

Mihailo MURAVLJOV

Dragica JEVTIĆ

Dimitrije ZAKIĆ

Aleksandar SAVIĆ

Dragan GAVRILOVIĆ
 TESTING OF PROPERTIES AND APPLICATION EXAMPLES OF CFRP STRIPS FOR STRENGTHENING OF CONCRETE STRUCTURES 42

Tatjana KOČETOV-MIŠULIĆ

Boško STEVANOVIĆ

EXPERIMENTAL PLATFORM FOR STRENGTH CLASS SYSTEM INTRODUCTION OF DOMESTIC CONIFEROUS TIMBER 50

Slobodan RANKOVIĆ

Dragan ZLATKOV

Radomir FOLIĆ

TESTING OF RC STRUCTURES WITH BEFORE AND AFTER STRENGTHENED WITH NEW CONCRETE AND WITH FRP LAMINATES 63

Nebojša ĐURANOVIĆ ISPITIVANJE POSTOJEĆEG STANJA NAPONA U KONSTRUKCIJI METODOM BUŠENJA OTVORA Pregledni rad	74	Nebojša ĐURANOVIĆ ESTABLISHING CURRENT STATE OF STRESS USING DRILLED HOLE METHOD	74
Mirjana VUKIĆEVIĆ PRIMENA NUMERIČKE INTEGRACIJE NAPONA KOD ELASTOPLASTIČNIH MODELA ZA TLO U ANALIZI GEOTEHNIČKIH KONSTRUKCIJA MKE Originalni naučni rad	81	Mirjana VUKIĆEVIĆ APPLICATION AN NUMERICAL STRESS INTEGRATION OF ELASTO-PLASTIC MODELS FOR SOILS IN THE ANALYSIS OF GEOTECHNICAL STRUCTURES	81
Mirjana MALEŠEV Vlastimir RADONJANIN SVOJSTVA SAMOUGRAĐUJUĆIH BETONA U ZAVISNOSTI OD VRSTE I KOLIČINE MINERALNOG DODATKA Originalni naučni rad	88	Mirjana MALEŠEV Vlastimir RADONJANIN PROPERTIES OF SELF-COMPACTING CONCRETE DUE TO KIND AND AMOUNT OF MINERAL ADDITIONS	88
Vlastimir RADONJANIN Zaključci sa XXIV Kongresa i Simpozijuma Društva za ispitivanje i istraživanje materijala i konstrukcija (DIMK) Srbije	105	Vlastimir RADONJANIN Conclusions of the 24 th Congress and Symposium of the Society for Materials and Structures Testing of Serbia	105
Zorz POPOVIC Prikaz kongresa i simpozijuma DIMK Srbije	107	Zorz POPOVIC Review of the Congress and Symposium of the Society for Materials and Structures Testing of Serbia	107
Uputstvo autorima	120	Preview Report	120

CIP - Katalogizacija u publikaciji Narodna biblioteka Srbije, Beograd 620.1(497.11)
ISSN 0543-0798 = Materijali i konstrukcije (Beograd) COBISS.SR-ID 6725890
Štampa: Štamparija "Hektor Print" - Novi Beograd

IZVEŠTAJ

o radu Društva za ispitivanje i istraživanje materijala i konstrukcija (DIMK) Srbije u periodu od XXIII Kongresa (Novi Sad, 20. i 21. oktobar 2005.) do XXIV Kongresa održanog na Divčibarama u vremenu od 15. do 17. oktobra 2008. godine

Društvo za ispitivanje i istraživanje materijala i konstrukcija (DIMK) Srbije pod tim imenom radi od dana stupanja na snagu novog Statuta Društva, kada je taj Statut prihvaćen od strane nadležnog državnog organa i nakon toga Društvo registrovano pod navedenim imenom. Kao što je poznato, nov Statut o kome je reč morao je da bude donesen iz razloga što je došlo do promene uslova rada Društva, a što je nastupilo kao posledica izdvajanja *Republike Crne Gore* iz sastava dotadašnje *Državne zajednice Srbija i Crna Gora*. Na taj način, stupanjem na snagu novog Statuta prestalo je da postoji ranije društvo registrovano pod imenom **Društvo za ispitivanje i istraživanje materijala i konstrukcija Srbije i Crne Gore** - skraćeno **DIMK-SCG**.

U periodu od XXIII do XXIV Kongresa Društvo je radilo sa novim organima izabranim na XXIII Kongresu društva **DIMK-SCG** održanom u Novom Sadu oktobra 2005. godine. Tom prilikom, a saglasno tada važećem Statutu, izabrani su novo predsedništvo, predsednik i potpredsednik Društva, Redakcioni odbor i glavni i odgovorni urednik glasila Društva - časopisa "Materijali i konstrukcije", kao i generalni sekretar Društva. Kako je u novom Statutu, između ostalog, došlo i do promene imena **DIMK-SCG** u sadašnje ime **DIMK Srbije**, saglasno tome od dana stupanja na snagu novog Statuta u organima Društva prestao je rad svih dotadašnjih članova iz Republike Crne Gore.

Ovde odmah treba reći da je u periodu delovanja na koji se odnosi ovaj izveštaj, bez obzira na to što je do jednog momenta na snazi bio jedan, a nakon toga drugi Statut, Društvo je bilo registrovano i radilo u svemu prema aktuelnim propisima koji važe za srodne naučno-stručne i profesionalne organizacije. Saglasno ranijem Statutu, a takođe i novom Statutu **DIMK-a Srbije** i važećoj zakonskoj regulativi, kao organi Društva označeni su:

- Skupština,
- Upravni odbor,
- Savetodavni komitet i
- Tehnički komiteti.

U pravnom prometu, pak, Društvo zastupa i predstavlja predsednik, pri čemu je generalni sekretar Društva takođe ovlašćen da zastupa **DIMK Srbije** i potpisuje sva finansijska i novčana dokumenta.

U vremenu između dva kongresa sistematski rad Društva prevashodno se ogledao u radu Upravnog odbora (održano je ukupno 12 sednica), koji se bavio nizom pitanja iz svoje nadležnosti (završni račun, finansijski plan, organizacija naučno-stručnih skupova, problematika izdavanja časopisa "Materijali i konstrukcije", prijem novih članova i dr.).

Pored sednica Upravnog odbora, a osim redovne Skupštine društva održane tokom XXIII Kongresa u Novom Sadu, u vremenu između dva kongresa, održana je 07.12.2006. god. u Beogradu i jedna posebna sednica Skupštine. Tom prilikom je, osim prihvatanja predloga za promenu imena **DIMK-SCG** u **DIMK Srbije**, o čemu je napred već bilo reči, doneta i odluka da predstavnici Društva na Skupštini Saveza Građevinskih inženjera i tehničara Srbije budu Mihailo Muravljov i Vlastimir Radonjanin.

Na sednici Upravnog odbora od 24.01.2008. godine, pak, doneta je, između ostalog, odluka da se ovaj XXIV Kongres održi u drugoj polovini oktobra 2008. godine, pri čemu su kao potencijalna mesta održavanja Kongresa označeni: Vrnjačka Banja, Soko Banja i Divčibare. Definitivna odluka u vezi sa tim, pak, doneta je nakon analize uslova za održavanje Kongresa u navedenim mestima, pa je konačno rešeno da se Kongres održi na Divčibarama u dane od 15. do 17. oktobra 2008. godine. Pri ovome je, shodno već ustaljenoj praksi, odlučeno da se u okviru Kongresa, kao prvo, održi "Simpozijum o istraživanjima i primeni savremenih dostignuća u našem građevinarstvu u oblasti materijala i konstrukcija", a da se nakon toga, shodno važećem Statutu, održi i Skupština Društva. Tom prilikom su imenovani Organizacioni odbor na čelu sa prof. dr. M. Muravljovim i Redakcioni odbor Simpozijuma, odnosno Zbornika radova koji će biti izloženi na Simpozijumu, na čelu sa prof. dr R. Folićem. Doneta je takođe i odluka da se Kongres i Simpozijum održe u saradnji sa Građevinskim fakultetom Univerziteta u Beogradu, a da se osim toga

zatraži pokroviteljstvo i finansijska podrška Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije i Inženjerske komore Srbije, što je sve u potpunosti i ostvareno.

U fazi razmatranja organizacionih pitanja vezanih za održavanje Kongresa i Simpozijuma, odlučeno je da se odstupa od ranije prakse da radovi prijavljeni za Simpozijum budu prezentirani od strane izvestilaca za pojedine tematske oblasti, da izveštaji izvestilaca budu šire koncipirani i da se u njima obradi i aktuelna problematika (State of the Art) u konkretnoj oblasti. Ovo je učinjeno stoga što su na nekoliko prethodnih simpozijuma autori referata iskazivali želju da se dotadašnja praksa izmeni i da se autorima radova pruži prilika da lično, pred auditorijumom, izlože sadržaje svojih referata.

Glasilu Društva časopis "Materijali i konstrukcije" u periodu između XXIII i XXIV Kongresa je izlazio redovno. Za njegovo uspešno izdavanje veoma je važan doprinos glavnog i odgovornog urednika prof. dr Radomira Folića, koji će o problematici časopisa podneti poseban izveštaj.

U vremenu između XXIII i XXIV Kongresa u organizaciji DIMK Srbije održani su sledeći naučno-stručni skupovi:

1. EVROPSKA REGULATIVA IZ OBLASTI ELEMENATA OD GLINE I KALCIJUM SILIKATA U ZIDANIM KONSTRUKCIJAMA - **EVROKOD 6** I PRATEĆI STANDARDI (skup organizovan zajedno sa Društvom "SIG" - Beograd, Građevinskim fakultetom - Beograd, Fakultetom tehničkih nauka - Novi Sad i Institutom IMS - Beograd, dana 07.12.2006.);

2. ELEMENTI OD BETONA NA BAZI LAKOG I NORMALNOG AGREGATA, ELEMENTI OD AUTO-KLAVIRANOG AERISANOG BETONA, ELEMENTI OD VEŠTAČKOG KAMENA I ELEMENTI OD PRIRODNOG KAMENA, kao i **EVROKOD 6**, 3 deo - UPROŠĆENA PRAVILA ZA PRORAČUN ZIDANIH KONSTRUKCIJA (skup organizovan zajedno sa Građevinskim fakultetom - Beograd, Fakultetom tehničkih nauka - Novi Sad, Građevinsko-arhitektonskim fakultetom - Niš i Institutom IMS - Beograd, dana 24.05.2007.).

Oba naučno-stručna skupa održana su u Svečanoj sali Građevinskog fakulteta u Beogradu, pri čemu su svoja izlaganja imali najkompetentniji stručnjaci i naučni radnici iz predmetnih oblasti. Sva izlaganja na ovim skupovima publikovana su u odgovarajućim zbornicima radova, pri čemu je štampanje zbornika, kao i samo organizovanje skupova, finansirano od strane Ministarstva nauke i zaštite životne sredine Srbije, Inženjerske komore Srbije, a takođe preko uplaćenih kotizaciona i preko sponzorstva-donatorstva naučnih institucija i privrednih subjekata. Pored toga, održavanje navedenih skupova bilo je potpomognuto i od strane Građevinskog fakulteta - Beograd, koji je za održavanje navedenih skupova potpuno besplatno ustupio svoju Svečanu salu.

Prema slobodnoj proceni, navedenim skupovima je prisustvovalo između 100 i 120 slušalaca, pri čemu su oba skupa imala odjeka i u široj javnosti. Po opštoj oceni, s obzirom na aktuelnost tema i na učesnike koji su imali saopštenja, oba skupa se mogu smatrati veoma uspešnim.

Termini održavanja naučno-stručnih skupova, generalno uzevši, omogućavaju i održavanje skupština Društva, pošto važeći Statut predviđa da se između Kongresa koji se organizuju svake treće godine, shodno

potrebi, mogu održavati i Skupštine. U vezi sa tim, kao što se iz napred rečenog može zaključiti, po završetku skupa pod 1. održana je Skupština o kojoj je napred već bilo reči.

Ono što je u ranijim periodima predstavljalo veoma značajnu aktivnost JUDIMK - angažman na polju izrade predloga akata domaće tehničke regulative, u poslednje skoro dve deceniji, pa prema tome i u periodu između XXIII i XXIV Kongresa, nažalost, drastično je smanjen ili tačnije rečeno - potpuno je zamro. To svakako ne može da se stavi na teret Društvu, već je to posledica uslova i stanja u državi u kojoj su u poslednjih dvadesetak godina, kada su raspad prethodne Jugoslavije, sankcije međunarodne zajednice, bombardovanje, transformacioni i tranzicioni procesi, a u poslednjih nekoliko godina i raspad *Državne zajednice Srbija i Crna Gora*, u drugi plan potisnuli mnoge potrebne i korisne aktivnosti van politike i ekonomije, a među njima i kreiranje domaće tehničke regulative. Međutim, DIMK Srbije ima značajan potencijal za rad u toj oblasti i ukoliko se u dogledno vreme ispolji opštedruštveni interes za takvim aktivnostima, Društvo će sigurno biti u stanju da na tom planu da svoj doprinos. Tu se, između ostalog, misli i na zadatke na liniji upoznavanja stručne javnosti i usaglašavanja domaće regulative sa evropskom, o čemu dovoljno rečito govori i održavanje naučno-stručnih skupova navedenih pod 1. i 2.

Dok je u ranijim periodima Društvo imalo određene vidove saradnje sa RILEM-om - Međunarodnim udruženjem laboratorija za ispitivanje i istraživanje materijala i konstrukcija sa sedištem u Parizu, ta saradnja je, nažalost, prevashodno iz finansijskih razloga, poslednjih godina morala da bude potpuno prekinuta. Naime, saradnja o kojoj je reč podrazumeva uplatu određenog deviznog iznosa na ime članarine, kao i pokrivanje putnih troškova predstavnika Društva radi učestvovanja u radu Skupštine RILEM-a i komisija tog udruženja. Međutim, Društvo ne raspolaže sredstvima za takve aktivnosti, a još uvek nije nađen mehanizam da se te aktivnosti finansiraju putem sponzorstva, donatorstva ili na neki drugi način.

U cilju uspešnije realizacije ciljeva i zadataka, a posebno radi razvijanja, unapređenja i afirmacije nauke iz delokruga rada Društva, Upravni odbor DIMK Srbije na svojoj sednici održanoj 26.08.2008. usvojio je PRAVILNIK ZA IZBOR I DODELU PRIZNANJA MLAĐIM ISTRAŽIVAČIMA ZA NUČNI DOPRINOS U OBLASTI MATERIJALA I KONSTRUKCIJA. Ocenjuje se da će Pravilnik delovati stimulatивно na mlađe naučne radnike i da će priznanja koja se dodeljuju na osnovu Pravilnika predstavljati značajnu referencu za dobitnike u smislu naučne afirmacije.

Od saradnje sa privrednim subjektima i dalje je veoma prisutna saradnja sa udruženjem **IGP Srbije**, ranije društvom **SIG**. Sa ovim društvom svojevrmeno je sačinjen ugovor o zajedničkom korišćenju poslovnog prostora Saveza jugoslovenskih laboratorija (SJJL), s tim da **SIG** snosi materijalne izdatke oko korišćenja poslovnog prostora, da finansira izdavanje dva broja časopisa "Materijali i konstrukcije" godišnje, kao i da snosi još neke administrativne troškove. Ovdje treba posebno istaći da je saradnja sa SIG-om počela još 1985. god., upravo u vreme kada je JUDIMK bio u ozbiljnim finansijskim teškoćama. Materijalna strana saradnje sa današnjim udruženjem **IGP Srbije** sigurno je takođe

značajna, ali još više, uspostavljena je stručna saradnja u oblasti unapređenja ciglarske industrije. Sigurno je da pečat toj saradnji daje direktor **IGP Srbije** g. Vladimir Denić, dipl.inž.tehn., koji je u ranijim periodima više godina bio i član Upravnog odbora **JUDIMK**, kasnije **DIMK-SCG**, a koji i danas veoma aktivno učestuje u svim akcijama **DIMK Srbije**.

Glavni prihodi Društva su od više nego skromnih članarina individualnih i kolektivnih članova, kao i novčani iznosi od sponzorstva i donatorstva pojedinih ministarstava, fakulteta, instituta i privrednih subjekata koji se uplaćuju samo na ime održavanja konkretnih stručnih skupova. Prihodi Društva od članarina su praktično zanemarljivi. Primera radi, ovde se navodi podatak o visinama članarina za individualne i kolektivne članove **DIMK Srbije**:

- za individualne članove 300,00 dinara godišnje;
- za kolektivne članove 3.000,00 dinara godišnje.

O finansijskom stanju **DIMK Srbije** biće podnet poseban izveštaj, a ovde se u vezi sa tim navodi još samo sledeće.

Finansijsko stanje **DIMK Srbije** je, kako pokazuju relevantni pokazatelji, veoma skromno, pošto prihode Društva u periodima kada nema stručnih skupova, s obzirom na napred rečeno, u principu čine samo članarine individualnih i kolektivnih članova, prilozi od naknadno prodatih primeraka preostalih zbornika radova sa stručnih skupova, kao i eventualni iznosi od neutrošenih kotizacija nakon završetka nekog stručnog skupa. Međutim, može se reći da je finansijska situacija stabilna - prihodi i rashodi su u proteklom periodu bili uravnoteženi, pri čemu su troškovi oko održavanja stručnih skupova, pa i ovog Kongresa i Simpozijuma, uvek bili

pokrivani prihodima (dotacijama ministarstava, sponzorstvima i kotizacijama).

Imajući u vidu sve napred izneto, buduća uprava Društva trebalo bi u svom radu da se usredsredi na sledeće najvažnije zadatke:

– **organizacija naučno-stručnih skupova (simpozijuma, savetovanja, seminara) sa aktuelnom tematikom;**

– **uspostavljanje novih kontakata sa nadležnim državnim službama radi aktiviranja saradnje na području izrade predloga novih akata tehničke regulative, u prvom redu sa aspekta harmonizacije domaće i evropske regulative;**

– **ulaganje napora radi obezbeđenja finansijskih sredstava neophodnih za ponovno uspostavljanje saradnje sa RILEM-om;**

– **povećanje broja individualnih i kolektivnih članova Društva i insistiranje na redovnim uplatama članarine.**

Bez obzira na danas veoma prisutne teškoće u radu Društva, koje funkcioniše u prvom redu zahvaljujući entuzijazmu jednog broja njegovih individualnih članova, nadamo se da će se u narednom vremenu situacija izmeniti i da ubuduće DIMK Srbije, kao u najvećem delu svoje istorije, i dalje sa velikim uspehom ostvarivati sve ciljeve i zadatke koji su proklamovani u aktuelnom Statutu Društva.

Predsednik DIMK Srbije
Prof. dr Mihailo Muravljov, dipl.inž.građ.

IZVEŠTAJ

o radu na uređivanju časopisa za period od oktobra 2005. do oktobra 2008. godine

Oktobra 2005. godine održan je XXIII kongres i Skupština JUDIMK-e na kojem sam u svojstvu glavnog i odgovornog urednika časopisa Materijali i konstrukcije podneo Izveštaj o radu od oktobra 2002. do oktobra 2005. godine. Izveštaj je zajedno sa Izveštajem predsednika prof. dr M. Muravljova o radu Društva u pomenutom periodu objavljen u časopisu **broj 4 od 2005. godine**. U istom broju časopisa koji je štampan na 93 strane objavljena je pozdravna reč predsednika Društva na otvaranju kongresa i 11 radova. Predmet 10 radova su Izveštaji generalnih izvestilaca i prikazi radova koji su štampani u Zborniku radova XXIII kongresa, a 11. rad je klasifikovan kao prethodno saopštenje. Bilo je mnogo teškoća sa štampanjem ovog broja zbog kašnjenja autora sa rukopisima generalnih izveštaja, a jedna oblast nije ni pokrivena generalnim izveštajem, već je štampan samo prikaz prispelih radova.

U ranijem periodu uobičajeno je bilo da se pojedini Fakulteti i Instituti participiraju bar za dva broja godišnje sa najmanje jednim radom ali je to često izostajalo. To je uslovljavalo dugo čekanje na radova za pojedine brojeve časopisa. Izlaz je nađen u participiranju autora iz susednih država, pretežno iz ranijih Republika SFRJ. Izlaz je takođe i to da se sa pojedinih skupova, interesantniji radovi uz određena proširenja i modifikaciju, publikuju i u Časopisu, što je u minulom periodu manje korišćeno nego ranije.

U **dvobroju 1-2 / 2006.** godine publikovano je 7 radova na 75 strana. Četiri publikovana rada su klasifikovana kao originalni naučni radovi, dva rada su bila iz kategorije pregledni rad, a jedan rad iz kategorije stručni rad.

U **dvobroju 3-4/2006.** godine štampano je 7 radova **na 82 strane**. Od toga 4 originalna naučna rada i dva prethodna saopštenja.

U dvobroju **1-2/2007.** godine, **sa 55 strana**, objavljena su 4 rada. Od toga jedan rad je klasifikovan kao originalni naučni rad, dva pregledna rada i jedan stručni rad. Jedan rad je napisao autor iz Crne Gore, a jedan autori iz Bosne i Hercegovine (BiH).

Broj **3/2007.** **štampan je na 54 strane**. U njemu su štampana 3 originalna naučna rada, jedan rad kao prethodno saopštenje i dva rada sa naučnog skupa. Dva rada su napisali autori iz BiH i Makedonije.

U časopis broj **4/2007.** **godine sa 54 strane** štampano je pet radova i in Memoriam prof. dr **Branislav Zivanović**, koji je napisala prof. dr Miroslava Radeka. Po dva rada su iz kategorije originalni naučni rad i pregledni rad, a jedan je iz kategorije stručni rad.

Broj **1/2008.** štampan je **na 56 strana**. Od toga su tri pregledna rada i jedan originalni naučni rad. Naslovna

strana tekstualno nije korektno propraćena na šta je ukazao član Redakcionog odbora prof. dr arh. Žorž Popović.

Broj **2/2008.** godine objavljen je **na 56 strana** kao tematski broj posvećen problemima Zemljotresnog inženjerstva i Inženjerske seizmologije. Ovaj broj je podeljen na ovom Kongresu. Jedan rad je iz kategorije originalni naučni rad, tri su pregledni radovi, a jedan je stručni rad.

Broj **3/2008.** godine nije još štampan zbog kašnjenja autora sa završetkom radova. Njegov konačni sadržaj će biti prikazan u sledećem Izveštaju.

Planirano je da u broju **4/2008.** budu objavljeni nekoliko radova koji su objavljeni u Zborniku radova sa ovog Kongresa uz neophodne modifikacije i prošireni u odnosu na saopštenja. Ukoliko bude i drugih radova blagovremeno prispeli biće i oni objavljeni u istom broju.

U radu na uređivanju časopisa srećem se sa problemom nedostatka radova što je bio slučaj i u prethodnom periodu. Prisutan je i problem recenziranja, kao i u prethodnom periodu, jer se to obavlja volonterski. Potrebno je u svim sredinama aktivirati članove Redakcionog odbora, kao i rukovodstvo i ostale članove DIMK-a da daju svoje autorske priloge za naš časopis da bi i dalje bio priznat od strane Ministarstva za nauku koje insistira na redovnom periodičnom izlaženju časopisa (najmanje četiri puta) godišnje. Zbog toga je potrebno obezbediti dovoljno građe da nas kod Ministarstva reprezentuju na adekvatan način, a time bi i vrednovanje časopisa bilo povoljnije. Ukazujem na slabu stranu to je retko citiranje radova iz našeg časopisa, jer od toga zavisi i njegov status kod Ministarstva za nauku Republike Srbije.

Potrebno je da autori više citiraju radove objavljene u našem Časopisu, naročiti iz prethodne dve godine, što bi povoljnije uticalo na njegovo vrednovanje koje obavlja KOBSON (konzorcijum biblioteka Srbije). Takođe je važno da radovi budu napisani saglasno uputstvu koje se štampa uz svaki broj časopisa sa uslovima za prihvatanje radova.

Sve troškove štampanja i u ovom periodu finansirao je SIG, a veliku pomoć u radu imao sam od gospodina Vladimira Denića, dipl.inž. sekretara Društva SIG. Dobru saradnju imam i sa tehničkim urednikom Stojom-Saškom Todorović.

U N. Sadu, oktobra 2008. godine

Glavni i odgovorni urednik
Profesor emeritus Radomir Foli

UTICAJ RADNE SREDINE NA POJAVU OŠTEĆENJA OPEKARSKIH PROIZVODA U ZIDANIM KONSTRUKCIJAMA

Radomir VASIĆ
Zagorka RADOJEVIĆ
Miloš VASIĆ

STRUČNI RAD
UDK: 692.2:693.25:620.193.4

1 UVOD

Postojanost i trajnost opekarskih proizvoda u građevinskim konstrukcijama je vrlo velika i dokazana o čemu svedoči niz dobro očuvanih građevina i ostataka čovekovih naseobina starih i više hiljada godina^{1/}. Ipak, usled štetnih uticaja iz okolne sredine dolazi do destrukcije i ovih pouzdanih konstrukcionih materijala. Razlog za pojavu sve većih oštećenja, ovih konstrukcionih materijala, najverovatnije leži u klimatskim promenama, povećanoj zagađenosti okolne sredine, posebno u gusto naseljenim gradskim sredinama i industrijskim zonama, prisustvu kiselih gasova u atmosferi, povećanoj brzini gradnje i neusklađenosti u ponašanju različitih materijala u građevinskim konstrukcijama. Do propadanja opekarskih proizvoda, odnosno do smanjenja njihovih upotrebničkih karakteristika, dolazi kao rezultat uticaja dva dominantna faktora iz okolne sredine: korozionog i erozionog.^{2, 3, 4/}

Pod terminom "korozija" podrazumeva se propadanje materijala usled hemijskih i elektrohemijskih procesa koji se odigravaju na površini ili u unutrašnjosti opekarskih

materijala usled delovanja okolne sredine. U slučaju korozivnog dejstva okolne sredine, proces smanjenja mehaničkih karakteristika, odnosno destrukcija opekarskih proizvoda je povezana sa prodorom vode, vlage ili nekog drugog agresivnog agensa iz okolne sredine u opekarski proizvod^{5, 6/}. Termin "erozija" označava propadanje materijala izazvano mehaničkim delovanjem okolne sredine na površinu opekarskih proizvoda. Destrukcija opekarskih proizvoda izazvana erozionim delovanjem je relativno retka pojava kod zidanih konstrukcija. Sa njom se srećemo uglavnom u naseljima na obodu pustinskih oblasti gde usled kombinovanog dejstva peska i vetra je ovakva pojava destrukcije dominantna. Propadanje opekarskog materijala usled kristalizacionog pritiska pri nastanku leda kao i brašnjasto raspadanje površina opeka usled hidratacionih i kristalizacionih pritisaka u zidovima je takođe jedan od oblika erozionog propadanja materijala.

Svakako jedan od najdominantnijih uticaja okolne sredine na trajnost opekarskih proizvoda u zidanim konstrukcijama je i temperatura okolne sredine^{7, 8, 9/}. U slučaju prodora vode u poroznu strukturu opekarskog materijala uz istovremeno dejstvo mraza, odnosno negativne temperature okolne sredine, dolazi do smrzavanja vode u porama opekarskih proizvoda i pojave leda. Pojava leda u porama opekarskih proizvoda usled nastanka kristalizacionih pritisaka dovodi do pritiska na zidove pora što u određenim slučajevima dovodi i do njihovog pucanja, pa čak i do destrukcije opekarskih proizvoda. Destrukcija opekarskih proizvoda se manifestuje odvajanjem delova keramičkog materijala od površine materijala koja je bila izložena dejstvu okolne sredine.

U određenim slučajevima, kod opeka koje sadrže veće količine rastvornih soli, u delovima neštićenih zidova koji su izloženi navlaživanju u toku jednog dužeg vremenskog perioda, može doći do pojave „brašnastog“ raspadanja površine opeka, odnosno do erozije njene vidne površine.

Dr Radomir Vasić, dipl.inž.tehn., naučni savetnik,
Institut za ispitivanje materijala a.d.
11000 Beograd, Bulevar vojvode Mišića br.43
e-mail: radomir.vasic@institutims.rs
Dr Zagorka Radojević, dipl.inž.tehn., viši naučni
saradnik, Institut za ispitivanje materijala a.d.
11000 Beograd, Bulevar vojvode Mišića br.43
e-mail: zagorka.radojevic@institutims.rs
Miloš Vasić dipl.inž.tehn.,
Institut za ispitivanje materijala a.d.
11000 Beograd, Bulevar vojvode Mišića br.43
e-mail: milos.vasic@institutims.rs

2 VRSTE KOROZIONIH PROCESA KOJI SE ODIGRAVAJU KOD OPEKARSKIH PROIZVODA U ZIDANIM KONSTRUKCIJAMA POD DEJSTVOM FAKTORA IZ OKOLNE SREDINE

Opekarski proizvodi su najzastupljeniji proizvodi iz grupe keramičkih konstrukcionih materijala u zidanim konstrukcijama. U principu se može reći, da okolna sredina atakuje na keramičke konstrukcione materijale i kao rezultat tog delovanja stvara se reakcioni produkt^{/5/} koji može biti:

- čvrst,
- tečan,
- gasovit ili
- kombinacija napred navedenih produkata.

Ovi korozioni produkti, mogu kasnije nastaviti da dalje reaguju sa keramičkim konstituentima proizvoda ili mogu stvarati zaštitni sloj koji će štititi keramički konstrukcioni proizvod od agresivnog dejstva okolne sredine. Kada se stvara čvrst reakcioni produkt on obično stvara zaštitni sloj koji u početku usporava a kasnije i u potpunosti sprečava dalji nastanak korozije. U nekim slučajevima kada je reakcioni produkt kombinacija čvrste i tečne materije, reakcioni sloj može biti uklonjen u procesu erozije i u takvim slučajevima, korozija keramičkog proizvoda se nastavlja. Svaki od napred iznetih slučajeva treba pažljivo razmatrati posebno sa aspekta mesta ugradnje u zidanim konstrukcijama.

U realnim sistemima, kao što je prirodno okruženje, u procesu korozije opekarskih konstrukcionih materijala se odigravaju različiti procesi^{/10,11/} tako da ne postoji jedan opšti model kojim se mogu opisati svi slučajevi korozije. Ipak, na građevinske opekarske konstrukcione materijale i njihovu postojanost na korozione uticaje iz okolne sredine znatno utiče proizvodni proces i „priroda“ opekarskog materijala odnosno mineraloški sastav polazne sirovine. Kada se radi o neugrađenom opekarskom materijalu, korozija materijala zavisi od od strukturnih karakteristika materijala. Što je materijal kompaktniji i što su čestice međusobno bolje povezane to je i njegova koroziona postojanost veća^{/5,6/}.

Prema Budnikovu^{/5/} korozija keramičkih konstrukcionih materijala može se podeliti na tri osnovne grupe:

- prema vrsti korozione sredine (gasna i tečna sredina);
- prema načinu manifestovanja propadanja keramičkog materijala (ravnomerna i neravnomerna) i
- prema procesima (hemijaska i elektrohemijaska korozija).

Ovako striktnu podelu je veoma teško napraviti u praksi, pogotovo kada su u pitanju ugrađeni opekarski proizvodi ili proizvodi od gas betona, jer se radi o uporednom odigravanju više korozionih procesa, pa se i razvrstavanje vrši prema najizraženijim posledicama štetnog delovanja okolne sredine^{/12/}.

Korozija opekarskih proizvoda se uglavnom odvija u gasnoj sredini a ređe u tečnoj sredini. Tipičan primer za koroziju opekarskih proizvoda u gasnoj sredini je vlažno širenje proizvoda koje je posledica adsorpcije vodene pare na unutrašnjoj površini amorfni silikata koji su prisutni u pečenom proizvodu od gline^{/13,14/}.

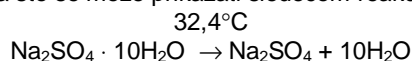
Na osnovu manifestovanja štetnih posledica opekarski proizvodi se mogu razvrstati u grupu

proizvoda kod kojih je manifestovanje propadanja materijala neravnomerno odnosno za koje je karakteristična neravnomerna korozija. Opekarski proizvodi se proizvode od opekarskih sirovina veoma različitog mineraloškog sastava. U principu kompozitni sastav za proizvodnju opekarskih proizvoda se formira umešavanjem više različitih proslojaka sirovine sa gliništa. Zbog različitog mineraloškog sastava u toku pečenja opekarskog materijala dolazi do delimičnog ili potpunog kolapsa polaznih kristalnih silikatnih struktura i nastanka novih amorfni i kristalnih tvorevina^{/15,16/}. Otuda i pojedini keramički konstituenti opekarskih proizvoda imaju različitu postojanost prema korozivnom dejstvu okolne sredine.

U principu korozioni procesi koji se odigravaju u opekarskim proizvodima u zidanim konstrukcijama su hemijskog karaktera. Hemijska reakcija se odigrava u kontaktu hemijskih agenasa iz okolne sredine i keramičkih konstituenata opekarskih proizvoda^{/17/}.

3 VRSTE EROZIONIH PROCESA KOJI SE ODIGRAVAJU KOD OPEKARSKIH PROIZVODA U ZIDANIM KONSTRUKCIJAMA POD DEJSTVOM FAKTORA IZ OKOLNE SREDINE

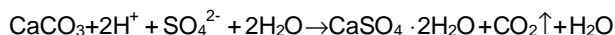
Do erozije izazvane nastankom mehaničkog oštećenja usled hidratacionih pritiska na zidove pora unutar porozne strukture keramičkog materijala, može doći u određenim slučajevima^{/4,18/}. Do pojave hidratacionih pritisaka u porama poroznog keramičkog materijala dolazi usled promene relativne vlažnosti i temperature okolne sredine, u svim slučajevima kada prisutna so kristališe stvarajući soli različitog stepena hidratacije. Kao posledica takvog delovanja dolazi do brašnjavog raspadanja površine opekarskog proizvoda odnosno njegove erozije. Tako na primer, Glauberova so ($\text{NaSO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) je postojana do temperature od $32,4^\circ\text{C}$, a iznad ove temperature prelazi u bezvodnu so Tenardit (Na_2SO_4) a što se može prikazati sledećom reakcijom:



←

Ovde treba istaći i činjenicu da temperatura prekrystalizacije zavisi i od prisustva drugih vrsta soli u rastvoru tako da u prisustvu MgSO_4 temperatura prekrystalizacije Glauberove soli u Tenardit će se odigrati na temperaturi od 27°C , a u prisustvu MgCl_2 ova prekrystalizacija će se odigrati na temperaturi od 15°C . Sve ove promene, vezane za promenu sadržaja kristalnih voda^{/4/}, kod odredjenih vrsta rastvornih soli odigravaju se u temperaturnom području od 0°C do 42°C i pri relativnoj vlažnosti vazduha od 50% do 80% pri čemu je zapremina novostvorene soli skoro dva puta veća od polazne.

Do pojave kristalizacionih pritisaka na zidove pora dolazi usled izdvajanja i rasta kristala rastvornih soli iz presičenih rastvora ili usled prekrystalizacije jedne vrste soli u drugu^{/18,19/} na temperaturi okolne sredine većoj od 0°C . Tako na primer, kalcijum karbonat prisutan u porama opekarskih proizvoda može biti preveden pod dejstvom kiselih kiša, u kalcijum sulfat prema sledećoj reakciji:



Proizvodi iz grupe građevinske keramike su u toku eksploatacije često izloženi dejstvu niskih temperatura iz okolne sredine. U slučajevima kada je prodor vode u keramički materijal povezan sa pojavom napona leda, pri čemu je sadržaj kritičnih pora veličine $< 3\text{m}\mu$ dominantan unutar opekarskog materijala, dolazi do pojave mehaničkog oštećenja proizvoda odnosno njegove destrukcije^{/20/}. Najčešći uzrok nastanka oštećenja opekarskih proizvoda u zidovima građevinskih objekata je loša otpornost pečenog opekarskog materijala prema dejstvu mraza. Oštećenja opekarskih proizvoda usled mraza mogu se smatrati specifičnim oblikom erozije opekarskih proizvoda usled sprečenog širenja kristala leda unutar pora opekarskog proizvoda.

Zbog kapilarne kondenzacije u porama opekarskih proizvoda javlja se tečna faza - voda, već pri relativno niskim sadržajima vlage u vazduhu, tako da su opekarski proizvodi koji sadrže rastvorne soli iznad propisanih granica izloženi jakim kristalizacionim i hidratacionim pritiscima u unutrašnjosti materijala, koji vremenom mogu dovesti i do destrukcije materijala. U ovakvim slučajevima dolazi do pojave "brašnastog" razaranja površinskog sloja materijala, a intenzitet promena je vrlo teško predvidiv^{/19,21/}.

Zadnjih godina je sve uočljivija pojava destrukcije opekarskih proizvoda usled prisustva kiselih gasova u atmosferi. Ispitivanja delovanja atmosfere sa povećanim sadržajem SO_2 na crepove od gline pokazala su da u njegovom prisustvu dolazi do povećanja sadržaja rastvornih soli i do smanjenja savojne čvrstoće i povećanja upijanja vode. Eksperimentalno je utvrđeno da u reakciju sa SO_2 iz okolne sredine stupaju skoro svi kationi (Al^{3+} , Ca^{2+} , K^+ , Na^+ i Fe^{3+} izuzev Si^{4+}) prisutni u keramičkom crepu^{/22/}.

4 KOROZIJA OPEKA U NEŠTIĆENIM I ŠTIĆENIM ZIDANIM KONSTRUKCIJAMA

Najčešći uzroci nastanka oštećenja opekarskih proizvoda u zidovima građevinskih objekata su:

- loša otpornosti pečenog opekarskog materijala prema dejstvu mraza
- odigravanje fenomena vlažnog širenja u zidanim konstrukcijama u uslovima sprečenog širenja ugrađenog materijala i
- prisustvo rastvornih soli u pečenom materijalu.

Na slikama br.1 i br.2 dat je prikaz oštećenja zida od opeka kao posledica dejstva delovanja mraza.

Do pojave leda u porama opekarskih proizvoda dolazi u slučajevima kada je opekarski proizvod neotporan prema dejstvu mraza, kada je zid navlažen i kada je dovoljno dugo bio izložen dejstvu niskih temperatura. Samo u tim slučajevima opekarski proizvodi u neštićenim ili nedovoljno dobro šticećenim konstrukcijama posle određenog vremena kada su izloženi naizmeničnom smrzavanju i odmrzavanju pokazuju pojavu oštećenja odnosno destrukcije materijala. Razmere oštećenja zavise od karakteristika ugrađenog materijala, navlaženosti zida, "broja ciklusa" smrzavanja i odmrzavanja, visine negativne temperature i dr^{/23/}.



Sl. 1: Prikaz oštećenja fasadnog zida od opeka kao posledica dejstva mraza



Sl. 2: Prikaz oštećenja fasadnog zida od opeka kao posledica dejstva mraza

Fenomen vlažnog širenja koji se odigrava kod svih keramičkih proizvoda sa poroznim crepom je tipičan primer korozije u gasnoj sredini. Za ovu vrstu korozije koja predstavlja specifičan slučaj hemijske korozije pri odsustvu kondenzacije vlage na površini keramičkog materijala se dugo veoma malo znalo u naučnim i stručnim krugovima a tek od pre četiri godine je i zvanično od strane ASTM-a i razvrstana u korozione procese^{/6,12/}. Ovaj fenomen odnosno njegove štetne posledice u slučaju sprečenog širenja su naročito izražene kod opekarskih proizvoda proizvedenih od kaolinitsko feldspatnih glina^{/3/}.

Fenomen vlažnog širenja je posledica odigravanja adsorpcije vodene pare na unutrašnjoj površini amorfnih silikata koji su prisutni u pečenom proizvodu od gline^{/24/}. Ovaj proces započinje još u procesu hladjenja proizvoda u peći, tj. na temperaturama ispod 400°C i traje sve dok proizvod fizički egzistira.

Na slikama br. 3 i br. 4 dat je prikaz oštećenja neštićenog fasadnog zida nastalog kao posledica dejstvom fenomena vlažnog širenja u slučaju sprečenog širenja.

Štetne posledice fenomena vlažnog širenja, kao specifičnog oblika hemijske korozije su veoma rasprostranjene u građevinskoj praksi a naročito su izražene u slučaju sprečenog širenja^{/25/}. Na slikama br.3 i br.4 dat je prikaz pojave raspadanja opeka u fasadnom zidu na jednom stambenom objektu kao posledica sprečenog

širenja. Razmere oštećenja u zidanim zidovima mogu biti veoma velike kao što se to može videti na slikama br. 5,6,7.i 8.



Sl. 3: Prikaz oštećenja fasadne obloge od opeka usled vlažnog širenja



Sl. 4: Prikaz oštećenja fasadnog zida od opeka usled vlažnog širenja



Sl. 5: Usled pojave napona u zidu dugom 20 m došlo je do pucanja betonskog stuba



Sl. 6: Na mestu sučeljavanja dva zida usled pojave napona u zidu javlja se pukotina

U literaturi su zabeležene i tako katastrofalne posledice delovanja ovog fenomena kao što su slučajevi rušenja Kraljevske bolnice u Melburnu – Australija^{26/} ili zgrade biblioteke Tehničkog Instituta u Masačusetu^{27/}.



Sl. 7: Pomeranje zida od 2 cm usled vlažnog širenja opeka



Sl. 8: Pomeranje drugog zida usled vlažnog širenja opeka

Mada postoji više hipoteza o uzrocima nastanka ovog fenomena^{23/}, ni jedna hipoteza ne daje konačan odgovor. Zbog toga ovaj fenomen se proučava već više od 100 godina od strane saradnika CSIRO-a u Australiji i zahvaljujući njihovim naporima i rezultatima merenja promena zapremine opeka u toku lagerovanja od strane saradnika iz Instituta BDRI iz Pretorije, danas naučna i stručna javnost raspolaže sa empirijskim jednačinama za prognozu maksimalno očekivanih povećanja zapremine u toku 5, 10 i 20 godina od dana izlaska proizvoda iz peći^{28/}.

Štetne posledice delovanja ove vrste korozije uočene su i u slučaju nesprečenog širenja opekarskih proizvoda^{29/} ali u znatno manjoj meri i manifestuju se smanjenjem mehaničkih karakteristika proizvoda za 5% do 12%.

Na slikama br. 9 i br. 10 dat je prikaz oštećenja zida prozrokovan iscvetavanjem rastvornih soli na površini neštićenih zidova.



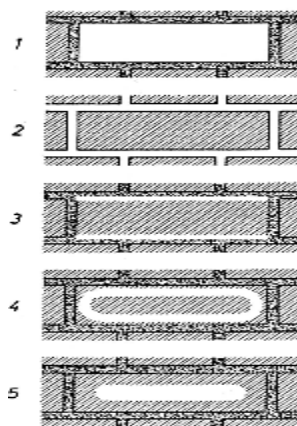
Sl. 9: Prikaz iscvetavanja rastvornih soli na površini fasadnog zida od opeka



Sl. 10: Prikaz brašnjavog raspadanja opeka kao posledica iscvetavanja rastvornih soli iz opeka

Pojava eflorescencije odnosno pojava rastvornih soli je karakteristična štetna posledica delovanja okolne sredine na opekarske proizvode ugrađene u zidove zidanih konstrukcija. U slučaju neštićenih zidanih konstrukcija odnosno fasadnih zidova od opeka, pojava ružnih belih, blede žutih, zelenih ili plavičastih fleka najčešće smanjuje estetske karakteristike zidanih konstrukcija i dovodi do "likovnog zagađenja" okolne sredine^{25/}, a retko i do brašnjavog raspadanja opekarskih

proizvoda. Na slici br. 11 dat je šematski prikaz mogućih tipičnih pojava isvetavanja na jednom fasadnom zidu.



- Iscvetanje pod brojem 1 predstavlja iscvetavanje koje potiče iz opeka.
- Iscvetanje pod brojem 2 predstavlja tipično iscvetavanje za koje je su odgovorne soli prisutne u malternom vezivu.
- Iscvetanje pod brojem 3 i 4 predstavlja iscvetavanje koje se javlja na fugama i na ivicama opeka ili u obliku prstenastog isvetavanja na površini opeka i za ovu vrstu iscvetavanja mogu biti odgovorne soli koje potiču ili iz opeka ili iz maltera.
- Iscvetanje pod brojem 5 predstavlja specijalan vid iscvetavanja vanadijumskih soli, pri kome se obojeni delovi površine opeka, najčešće plavičasto zelene ili žuto zelene boje, obezbojavaju pod dejstvom alkalija iz malternog veziva.

Sl. 11: Šematski prikaz slučajeva pojave iscvetavanja rastvornih soli na zidu od opeka

Do pojave eflorescencije može doći i usled delovanja zagađene atmosfere u blizini fabričkih krugova (na primer fabrika veštačkih đubriva, sumporne kiseline itd.), kao i usled pogrešnog izvođenja ukrasnih elemenata na zgradama.

Čest je slučaj da su ispusti na zgradama izvedeni od krečnjaka i da su bez ikakve zaštite prepušteni dejstvu zagađene okolne sredine. Ove vrste ispusta u obliku nadstrešnica, fasadnih venaca, doksata i dr., često su po želji arhitekata ili investitora ukomponovane u fasadne celine izgrađene od crvenih opeka. Takvi tehnički detalji, često su loše zamišljeni i izvedeni, tako da se voda u kojoj je rastvoren krečnjak sliva niz fasadu i prodire u zid. Kasnije pod dejstvom sumpornih gasova iz vazduha, na površini opeka se stvara kalcijum sulfat, čime se u znatnoj meri narušava estetski izgled zida.

U slučaju štice zidanih konstrukcija do pojave iscvetavanja dolazi u principu u toku zidanja a vrlo retko po završenom zidanju i malterisanju. U kontaktu opekarskih proizvoda sa malterom u toku zidanja sa jedne strane imamo direktan prelaz soli maltera na opekarski proizvod, a sa druge strane dolazi i do reakcija izmene koje se odigravaju u opekarskom proizvodu usled dejstva kalcijum hidroksida iz maltera, pri čemu dolazi do izmena i nastajanja novih alkalnih jedinjenja. Oba ova procesa odigravaju se u zidu, manje više prinudno, u toku zidanja^{17/}. Iscvetale soli prilikom nanošenja maltera sprečavaju uspostavljanje dobre veze između malterskog sloja i zida od opekarskih proizvoda. U slučaju značajnog iscvetavanja soli $MgSO_4$ ili Na_2SO_4 može doći do pojave odvajanja delova ili čak i većih

omalterisanih površina. Razmere štetnih posledica mogu biti veoma velike, kao što je to bio slučaj prilikom radova na nekim gradilištima u Iraku sedamdesetih godina prošlog veka. Ipak, ovaj proces dovodi do pojave iscvetavanja samo u retkim slučajevima.

Pojava ovako drastičnih primera štetnog delovanja okolne sredine na opekarske proizvode u zidanim konstrukcijama je relativno retka ali joj treba pokloniti dužnu pažnju s obzirom na razmere štetnih posledica koje mogu nastati. Na veličinu ispoljavanja korozivnih procesa opekarskih proizvoda u znatnoj meri može uticati :

- izbor materijala
- projektanska rešenja zidane konstrukcije i
- način izvođenja radova

Na slikama br. 12 i br. 13 dat je prikaz pojave iscvetavanja u toku izgradnje štitenih zidova.



Sl. 12: Pojava iscvetavanja rastvornih soli u toku gradnje objekta



Sl. 13: Pojava iscvetavanja rastvornih soli u toku gradnje objekta

5 ZAKLJUČAK

Korozija opekarskih konstrukcionih materijala nastaje kao posledica odvijanja velikog broja hemijskih reakcija i fizičkih procesa često teško predvidljivih, sa kojima se srećemo u svakodnevnoj graditeljskoj praksi.

Da bi se korozija građevinskih keramičkih materijala smanjila na što manju meru, neophodno je pridržavati se nekih osnovnih načela:

- Koristiti što kompaktniji keramički materijal, pečen na višim temperaturama jer su čestice unutar materijala međusobno bolje povezane pa je i njegova koroziona postojanost veća.

- Zaštiti opekarski materijal na skladištu od navlaživanja. Zaštiti zidanu konstrukciju u toku zidanja i u periodu od 48 po završenom zidanju od atmosferskih padavina i zaštititi isturene delove zidane konstrukcije od prekomernog navlaživanja u toku eksploatacije.

- Da bi se sprečile posledice vlažnog širenja u zidanim konstrukcijama, neophodno je obezbediti nesmetano širenje opeka u podužnom i poprečnom pravcu pomoću dilatacionih spojnica ispunjenih trajnoelastičnim materijalima.

Kada se želi zadržati lep estetski izgled vidnih površina opekarskih konstrukcionih materijala u jednom dužem vremenskom periodu, ili kada se želi sprečiti pojava oštećenja usled dejstva mraza ili usled iscvetavanja soli sprovodi se preventivna hidrofobna zaštita. Preventivna hidrofobna zaštita opekarskih konstrukcionih materijala u zidanim konstrukcijama, vrši se nanošenjem hidrofobnih premaza, na bazi silikonskih preparata, na suhu površinu zidane konstrukcije u cilju sprečavanja prodora vode u zidanu konstrukciju.

Napomena:

Ovaj rad je urađen u okviru Projekta TP-19020 koji je finansiran sredstvima Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

6 LITERATURA

- [1] R.Vasić, O.Janjić: "Korozija keramičkih materijala pod uticajem spoljne sredine sa posebnim osvrtom na primenu keramičkih podnih pločica u kiseloj agresivnoj sredini". Jugoslovensko savetovanje "Korozija i propadanje građevinskih materijala i njihova zaštita". Split, Zbornik referata, 1985, 197-207.
- [2] R. Vasić: "Influence of pore - size distribution on frost resistance and moisture expansion of bricks". The IMS Institute Bulletin, Special issue: Structural ceramics, VII, (1), October 1992, 15-18.
- [3] R.Vasić: "Prilog proučavanju fenomena vlažnog bubrenja fasadnih opeka proizvedenih od domaćih opekarskih glina", Doktorska teza, TMF, 1990, 112-115.
- [4] J.Francisković, M.Pagon-Tadej, B.Punek: "Korozija, propadanje građevinskih materijala i njihova zaštita", Izdanje Zavoda za tehničko izobražavanje Ljubljana, 1985, 165-185.
- [5] P.Budnikov i F.Haritonov: "Keramičeskie materialy dlj agresivnih sred", Izdateljstvo literaturi po stroiteljstvu, Moskva, 1971.god.
- [6] R. A. Mc Cauley : "Corrosion of ceramic and Composite Materials" Book, ISBN 0824753666. Published by Marcel Dekker, 2004, 1 - 408.
- [7] R.Vasić i S. Despotović: "Uticaj radne sredine na koroziju građevinske keramike", Časopis "Izgradnja", 4, 1996, 277-279.
- [8] R.Vasić, O.Janjić: "Oštećenja fasadnih površina od opeke izazvana dejstvom rastvornih soli i mraza". II Jugoslovensko savetovanje o sanaciji zgrada. Maribor, Zbornik radova, 1986, 46-55. UDK 69.022:693.2.

- [9] R.Vasić, O. Janjić.: "The influence of Micro-Climatic Condition of Phenomenom of Ceramic Tiles Moisture Expansion", European Ceramic Society, Second Conference, September 11-14, 1991, Augsburg, FRG, Zbornik radova, Vol. 3, 1991, 2669-2672.
- [10] R. Vasić and S. Despotović: "Moisture expansion cracking phenomenon in handmade pottery products" British Ceramic Transaction, vol. 97, No 3, 1998, 133-135.
- [11] J.A.Sokolov, W.P.Boschuchin, T.S.Jakobsohu: "Über die Ausblehungen on keramischem Verkleidungamaterial", Die Ziegeindustrie, 4, 1964, 122-124.
- [12] "ASTM Test Methods relateded to Corosion of ceramics": C-370, Vol. No 15.02.
- [13] R.Vasić.: "A Supplement to the Study of Moisture Expansion Phenomenon of Facing Bricks", Fourth Euro Ceramic, Vol.12, "Bricks and Roofing tiles", 1995, 89-96, Printed in Italy
- [14] T.Demediuk and F.Cole : J.Amer.Ceram Soc. 43 1960, 359-367
- [15] M.Albenque : Les Cahiers de la Terre Cuite, N° 2, 1974, 72-93, Centre Technique des Tuiles et Briques, Paris.
- [16] T. Emiliani and P. Vincenzini: "Clay mineralogy and ceramic processes and products", Bologna,1974, 159-178.
- [17] R.Vasić i D. Jašović: "Pojava rastvornih soli u toku izgradnje zidova od fasadne opeke", II Simpozijum SHD o keramici i staklu sa međunarodnim učešćem, 1994, 245-248.
- [18] S.Lorec: "Etude des composants hydrosolubles des ceramiques d'argiles", D433/D312, Bull. Soc. Francaise de Ceramique, 1968.
- [19] Butterwarth B.: "Efflorescence and staining of Brickwork", Ziegelindustrie, 16, 1963, 26-32.
- [20] M. Maage: "Frost resistance and pore size distribution of bricks", Part 2, Ziegelindustrie International, 10/90, 1900, 582-588
- [21] W. Brownell: "Eflorescence resulting from Sulfates in Clay Raw Materials", Journal of the American ceramic Society, 8, 1958, 310-314.
- [22] E. Schmidt: "Ausbluehungen", Ziegelindustrie, 14, 1961,157-163.
- [23] R.Vasić and P. Petrović.: "Defects on facade brick walls investigations, checking and recommendations for repairing", Proceedings of the International Symposium "Dealing with defects in building" - Part I, Varenna, 1994, 417-422.
- [24] A. Smith: Tran. Brit. Ceram. Coc., 54, 1955, 300-318.
- [25] P.Petrović, R.Vasić:"Oštećenje omotača od fasadnih opeka - jedan od razloga za preispitivanje odnosa arhitekture i tehnologije građenja" Bilten industrije glinenih proizvoda Srbije", 12, 1992, 13-14. Časopis "IZGRADNJA", 9-10, 1992, 32-33.
- [26] J. Hosking and H Hueber: "Moisture xpansion of clay products with special reference to bricks" D.B.R Reprint No 206, Transaction of the VIllth International Ceramic Congress London, 1960, 3111-325.
- [27] I. Mc Burney: Proc. Amer. Soc. Test-Mater., 54, 1954,1219-1241.
- [28] F. Cole: "On the prediction of long-term natural moisture xpansion of fired clay bricks" J. Aust. Ceram Soc.1988, 263-271.
- [29] R.Vasić: "Fenomen vlažnog širenja i njegov uticaj na mehaničke karakteristike opekarskih proizvoda", Naučni skup "Mehanika, materijali i konstrukcije", SANU - Odelenje Tehničkih nauka, Beograd, 17-19. april, Zbornik radova, 1995.16-24.

REZIME

UTICAJ RADNE SREDINE NA POJAVU OŠTEĆENJA OPEKARSKIH PROIZVODA U ZIDANIM KONSTRUKCIJAMA

Radomir VASIĆ
Zagorka RADOJEVIĆ
Miloš VASIĆ

U radu je u kratkim crtama dat prikaz savremenih teorijskih postavki o koroziji i destruktiji opekarskih proizvoda u zidanim konstrukcijama. U principu korozija opekarskih proizvoda u zidanim konstrukcijama povezana je sa prodorom vode odnosno vlage u zidanu konstrukciju. Do oštećenja i degradacije opekarskih materijala u zidanim šticećenim i nešticećenim konstrukcijama u toku eksploatacije može doći usled: odvijanja hemijskih reakcija vode sa nekim od konstituenata u keramičkom materijalu; usled rastvaranja pojedinih konstituenata u porama materijala, hidracionih i kristalizacionih pritisaka i kao posledica sprečenog širenja opekarskih proizvoda u zidanim konstrukcijama usled odvijanja fenomena vlažnog širenja.

Cljučne reči: korozija, destruktija, opekarski proizvodi

SUMMARY

THE INFLUENCE OF THE SURROUNDING ENVIRONMENT ON APPEARING OF DESTRUCTION OF THE BRICK PRODUCTS IN MASONRY

Radomir VASIĆ
Zagorka RADOJEVIĆ
Miloš VASIĆ

In this paper the review has been given on the theoretical foundations of corrosion and destruction of the brick products in masonry. In principle corrosion of the brick products are connected with the penetration of water, that is, moisture in masonry. The appearing of corrosion and destruction of brick products in protected and unprotected masonry constructions can be the result of dissolution of soluble salts, hydrating and crystallizing pressures and a result of restrained expansion of bricks body in walls caused by moisture expansion phenomenon.

Key words: corrosion, destruction, brick products

EFEKTI DUGOTRAJNOG OPTEREĆENJA NA PONAŠANJE BETONSKIH KONSTRUKCIJA

Snežana MAŠOVIĆ

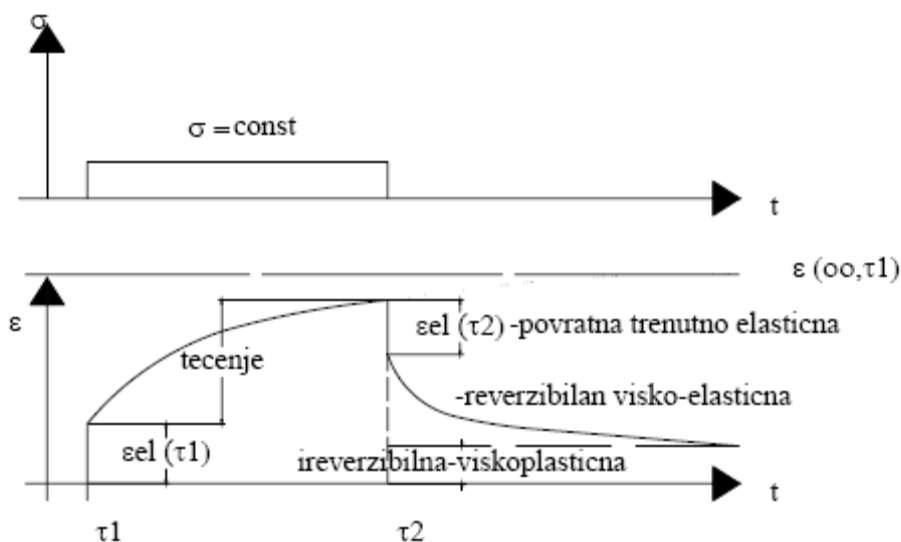
ORIGINALNI NAUČNI RAD
UDK: 624.012.45.042

1 UVOD

Projektovanje betonskih konstrukcija se danas bazira na filozofiji graničnih stanja. Pod graničnim stanjem označava se gubitak sposobnosti preseka, odnosno konstrukcije da se odupre spoljnjim uticajima ili pojavu velikih deformacija i lokalnih oštećenja, čime više nisu ispunjeni zahtevi u pogledu nosivosti, funkcionalnosti ili trajnosti. Granično stanje nosivosti (loma) se odnosi na kapacitet nosivosti konstrukcije čijim dostizanjem dolazi do rušenja konstrukcije. Granično stanje upotrebljivosti se odnosi na funkcionalnost i trajnost konstrukcije. Prekoračenje barem jednog od ova dva granična stanja čini konstrukciju nepodobnom za upotrebu. Uobičajeno je da se konstrukcije proračunavaju prema jednom

graničnom stanju, obično graničnom stanju nosivosti. Pri tome ponašnje preseka i konstrukcije u stanju eksploatacije ostaje nepoznato. Potrebno je verifikovati i granično stanje upotrebljivosti odnosno predvideti ponašanje konstrukcije u domenu eksploatacionih – radnih napona.

Ponašanje betona, kao konstrukcijskog materijala, pod opterećenjem se opisuje konstitutivnim vezama između tenzora napona i deformacija i predstavlja predmet izučavanja reologije betona. Na osnovu velikog broja istraživanja ustanovljeno je da veze između tenzora napona i deformacija za beton, koje bi odgovarale realnosti, treba da obuhvate sledeće [13]:



Slika 1. Deformacije betona pod dugotrajnim opterećenjem i nakon rasterećenja

Asistent dr Snežana Mašović, dipl.inž.građ.
Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu;
Bulevar kralja Aleksandra 73, 11000 Beograd, Srbija

1. pojavu elastičnih deformacija praćenih viskoznim deforacijama koje po svom karakteru mogu biti elastične i plastične

2. uticaj starosti betona u trenutku nanošenja opterećenja, kao i brzinu nanošenja opterećenja

3. uticaj termohigrometrijskih uslova kao i dimenzija elemenata

4. neogranične plastične deformacije u fazi loma

5. povećanje zapremine u fazi loma

6. uslov plastičnosti koji razgraničava lom usled "kidanja" od loma usled "smicanja".

Do danas nije konstituisan reološki model koji bi obuhvatio sve pobrojane uslove. U oblasti eksploatacionih napona, formirani su reološki modeli, koji u manjoj ili većoj meri uspešno opisuju ponašanje betona. Pored njih postoje i modeli koji definišu ponašanje samo u uskoj oblasti loma.

Sigurnost konstrukcije, sa aspekta graničnog stanja loma nije ugrožena viskoznim ponašanjem betona. Izuzetak su vitke konstrukcije kod kojih je neophodno voditi računa o izvicanju koje se povećava usled tečenja, što nije predmet ovog rada.

Pod eksploatacionim opterećenjem beton se deformiše ispoljavajući tri tipa deformacija (prikazanih na slici 1):

1. trenutno elastične

2. visko-elastične

3. visko-elasto-plastične

Posledice prikazanog ponašanja betona, nazvanog tečenjem, na betonske konstrukcije sa aspekta upotrebljivosti i trajnosti su raznovrsne [11]:

1. porast deformacija konstrukcije,

2. pad napona u konstrukciji usled prinudnih deformacija,

3. gubitak sile prethodnog naprezanja,

4. preraspodela napona u okviru preseka između različitih materijala koji ga sačinjavaju (beton-čelik),

5. preraspodela presečnih sila kod statički neodređenih konstrukcija,

6. preraspodela presečnih sila u slučaju promene statičkog sistema naknadnim dodavanjem veza.

Neki od pobrojanih efekata se mogu smatrati pozitivnim dok su neki svakako nepovoljni. S jedne strane usled tečenja se smanjuju se nepoželjni uticaji nastali usled neizbežnih prinudnih deformacija kojima je konstrukcija izložena (skupljanje betona, sleganje oslonca). S druge strane povećavaju se ugibi usled stalnog tereta i bitno se redukuju povoljni efekti namerno izazvanih prinudnih deformacija sa ciljem popravke naponskog stanja (prethodno naprezanje, kompenzacija napona u lučnim nosačima). Negativni efekti rezultuju pre svega u pojavi velikih ugiba ili prslina. Imajući u vidu navedeno, neophodno je projektne i izvođačke postupke prilagoditi tako da se pobrojani uticaji uzmu u obzir, ne bi li se iskoristili povoljni i minimizirali nepovoljni efekti visko-elasto-plastičnih svojstava betona na ponašanje konstrukcije u eksploataciji (npr. nadvišenje, dodatna meka ili armatura za prethodno naprezanje koja bi pratila redistribuciju statičkih uticaja izazvanu tečenjem i skupljanjem betona i sl.).

Smela konstruktorska rešenja u armiranom i prethodno napregnutom betonu, novi načini i tehnologije izvođenja, zahtevaju realnije poznavanje karakteristika materijala i nameću pitanje o načinu statičkog tretmana betonskih konstrukcija. Novi postupci izvođenja beton-

skih konstrukcija su često praćeni skcesivnim **transformacijama** statičkog sistema do konačnog sistema u eksploataciji, tako da je konačni sistem proizvod sukcesivnih faza izvođenja. Uticaji koji se u tako izvedenoj konstrukciji generišu usled opterećenja iz različitih faza izvođenja ne mogu se odrediti prostom superpozicijom. Kao posledica tečenja betona, u konstrukciji se postepeno uspostavlja stanje presečnih sila koje se u definitivnom statičkom sistemu javlja usled stalnog opterećenja, koje je delovalo u različitim fazama, a kao da faze nije ni bilo.

Obzirom na materijalnu nelinearnost betona očito je da u slučaju betonskih konstrukcija treba primeniti nelinearnu analizu. Nelinearna analiza je danas, zahvanjujući razvoju proračunske tehnike kroz mnogobrojne software-e, daleko dostupnija projektantima. Ipak treba imati u vidu da je i takva nelinearna analiza sama po sebi aproksimacija sa diskretizacijom kontinuuma u konačne elemente i vremena u konačne intervale. Kada se tome doda da je i ponašanje betona tokom vremena aproksimativno opisano matematičkim izrazima iz propisa ili preporuka kao što su [1], [2], [3], [4], [9], postaje jasno da je tačnost proračuna skoro slučajna. Namće se pitanje: "Šta se zapravo želi postići nelinearnom analizom betonskih konstrukcija, uzimajući u obzir nepouzdanost predviđanja ponašanja materijala od koga je konstrukcija načinjena?" U kvalitativnom pogledu ponašanje konstrukcije se može predvideti u pravcu već pobrojanih pojava. Postavlja se pitanje kvantitativnog iznosa opisanog ponašanja. U radu je izvršena klasifikacija konstrukcija u pogledu osetljivosti na efekte proizišle iz viskoznog ponašanja betona, te su opisani prikladni proračunski modeli u skladu sa takvom klasifikacijom. Prednost pojednostavnjenih metoda se ogleda u relativno jednostavnom određivanju gornje i donje granice posmatranog ponašanja konstrukcije.

2 METODE ZA REŠAVANJE PROBLEMA STATIKE KONSTRUKCIJA KOJE UZIMAJU U OBZIR REOLOŠKE KARAKTERISTIKE MATERIJALA

Veze između napona i naponski zavisne dilatacije za beton tokom vremena, formulisane su jednačinama koje su poznate kao Volterine integralne jednačine.

$$e_s(t) = \int_0^t J(t,t) ds(t) \quad (1)$$

Imajući u vidu vezu (1), uslovi ravnoteže spoljnjih i unutrašnjih sila u poprečnom preseku betonskog elemenata, u slučaju savijanja sa normalnom silom, uz izjednačavanje dilatacija betona i armature tokom vremena, postaju sistem od dve simultane integralne jednačine. Ako se statički sistem i opterećenje ne menjaju tokom vremena, jednačine uslova ravnoteže su invarijantne u odnosu na vreme. Pri nepromenljivoj vrednosti dugotrajnog opterećenja, kakav je najčešće slučaj, u statički određenim sistemima presečne sile ostaju konstante tokom vremena. To znači da su u uslovima ravnoteže, ispisanim u vidu integralnih jednačina, presečne sile, koje predstavljaju slobodne članove, konstante. Za rešavanje statički neodređenih sistema, pored uslova ravnoteže na raspolaganju stoje i

uslovi kompatibilnosti. Uslovne jednačine poklapanja deformacija, međutim, zavise od deformacija sistema koje su, i pri konstantnom opterećenju, promenjive tokom vremena usled reoloških karakteristika betona.

U cilju rešavanja problema statike konstrukcija, uvažavajući vezu (1) koriste se tri postupka:

- Ø step-by-step metod
- Ø pojednostavljene metode
 - algebarske
 - uprošćene funkcije tečenja

Ø primena teorije linearne viskoelastičnosti u specijalnom slučaju homogenih konstrukcija sa krutim vezama.

Metode su poređane od najkompleksnijih do najjednostavnijih. Pojednostavljene metode su imale veliki značaj i široku upotrebu u periodu dok se nisu razvili brojni softveri za nelinearnu analizu konstrukcija. Specijalizovani programi za nelinearnu analizu konstrukcija diskretizuju konstrukciju u prostoru i vremenu, u sebi sadrže konstitutivne zakone reoloških karakteristika materijala i koriste generalni numerički step-by-step metod uz odgovarajuće numeričke aproksimacije i procedure. U fazi projektovanja, naročito pri odabiru optimalnog rešenja i faza izvođenja, primena kompleksnijih proračuna je neracionalna. Svrishodno je primenjivati pojednostavljene postupke proračuna koji će ukazati na granice u kojima se očekuje ponašanje konstrukcije sa aspekta vremenskih deformacija betona. U skladu sa time, potrebno je je sačiniti klasifikaciju konstrukcija u pogledu mogućnosti primene pobrojanih metoda analize sa aspekta efekata koji proizilaze iz reoloških karakteristika betona.

3 KLASIFIKACIJA KONSTRUKCIJA

Kod betonskih konstrukcija je uvek prisutna heterogenost. Heterogenost je posledica prisustva različitih materijala (beton i armatura), prisustva prslina, različitih dimenzije i/ili starosti pojedinih delova konstrukcije, elastičnih spoljnih ili unutrašnjih veze i slično. Nehomogenost usled prisustva armature je mala u odnosu na ostale uzroke nehomogenosti, sve dok se razmatra ponašanje konstrukcije kao celine a ne na nivou preseka. U mnogim slučajevima neki od ostalih uzroka heterogenosti se mogu zanemariti, zavisno od zahtevanog nivoa tačnosti analize.

Podela je izvršena na sledeće tipove [5]:

1. homogene konstrukcije sa krutim osloncima
2. homogene konstrukcije sa spoljnim elastičnim osloncima (vezama)
3. heterogene konstrukcije (heterogenost duž konstrukcije ili u okviru preseka).

3.1 Homogene konstrukcije sa krutim osloncima

U ovaj tip se svrstavaju konstrukcije kod kojih se može zanemariti heterogenost koja je posledica različitih reoloških karakteristika delova duž konstrukcije usvajajući da cela konstrukcija ima neku srednju vrednost reoloških svojstava. U slučaju monolitnih (betoniranih na licu mesta) ili montažnih konstrukcija ova pretpostavka je bliže realnosti nego u slučaju segmentnih konstrukcija koje se izvode betoniranjem segmenata na licu mesta. U

ovaj tip konstrukcija se može svrstati najveći broj betonskih konstrukcija kod kojih se može zanemariti razvoj prslina tokom vremena.

3.2 Homogene konstrukcije sa spoljno elastičnim vezama

Pod istim uslovima kao i za homogene konstrukcije sa krutim vezama, u ovaj tip konstrukcija spadaju konstrukcije kod kojih je betonski deo konstrukcije (homogeno viskoelastični deo konstrukcije) povezan sa čeličnim elementima (elastični deo konstrukcije). Tipičan primer su betonske konstrukcije sa elastičnim osloncima od čeličnog materijala kao što su lukovi sa čeličnom zategom i konstrukcije sa kosim zategama, pri čemu se kod ovih drugih predpostavlja da se zatege istovremeno uvode u sistem (što je retko ispunjeno pri većem broju zatega). U ovaj tip spadaju i čisto betonske konstrukcije u slučaju sleganja oslonaca koje je afino funkciji tečenja betona, pod uslovom da se razvoj prslina tokom vremena može zanemariti.

3.3 Heterogene konstrukcije

U ovaj tip konstrukcija spadaju konstrukcije kod kojih dolazi do značajne promene preseka tokom vremena kao što su spregnute betonske konstrukcije, kao i statički neodređene betonske konstrukcije kod kojih se razvoj prslina ne može zanemariti, ili betonske konstrukcije sa izrazito različitim reološkim karakteristikama duž konstrukcije.

U slučaju konstrukcija koje se mogu svrstati u tipove I i II, pri preliminarnoj analizi moguće je primeniti 4 osnovne teoreme teorije linearne viskoelastičnosti. U najslabijem slučaju konstrukcija, opisanom tipom III-heterogene konstrukcije, moguće je pod izvesnim uslovima primeniti pojednostavljene metode. To je slučaj kad se radi o betonskoj konstrukciji sa izrazito različitim reološkim karakteristikama duž velikih segmenata konstrukcije. Tada je moguće primeniti AAEM-postupak (poznat i kao Trost- Bažantov metod), kako je to prikazano u [10], [11], [12], [17].Pojavom prslina, nehomogenost se drastičnije izražava i na nivou poprečnog preseka te je potrebno konstrukciju diskretizovati na sitnije segmente mada je i dalje moguća upotreba krupno-iknremntalnih postupaka. U slučaju isprskalih preseka ili spregnutih betonskih preseka korektnije je rešenje putem generalnog numeričkog step-by-step postupka, korišćenjem odgovarajućih aplikacija za nelinearnu analizu.

U ovom radu, su razmatrani efekti reoloških karakteristika betona na ponašanje konstrukcija upotrebom 4 osnovne teoreme linearne viskoelastičnosti materijala sa svojstvima starenja.

4 PRIMENA TEORIJE LINEARNE VISKOELASTIČNOSTI

U slučaju homogenih konstrukcija sa krutim ili spoljno elastičnim vezama, primenom teorema linearne viskoelastičnosti moguće je rešavati sledeće probleme:

4.1 Spoljnje opterećenje

U slučaju nanošenja stalnog spoljnjeg opterećenja u nekoliko koraka primenom prve teoreme linearne viskoelastičnosti dolazi se do zaključka da se početne deformacije povećavaju po principu superpozicije, dok presečne sile u konstrukciji (bez obzira na stepen statičke neodređenosti) ostaju konstantne i jednake elastičnom rešenju.

$$S(t) = S_{el,t_0} \quad D(t) = Ec(t_0) J(t,t_0) \Delta \epsilon_{el,t_0} \quad (2)$$

4.2 Prinudne deformacije

U slučaju pojave prinudne deformacije koja je konstantna tokom vremena, primenom druge teoreme linearne viskoelastičnosti dolazi se do zaključka da se deformacije kao posledica prinudne deformacije, tokom vremena ne menjaju, dok se presečne sile i naponi u konstrukciji menjaju proporcionalno funkciji relaksacije.

$$D(t) = \Delta \epsilon_{el,t_0} \quad S(t) = S_{el,t_0} \frac{R(t,t_0)}{E(t_0)} \quad (3)$$

4.3 Promena statičkog sistema

U slučaju promene statičkog sistema, dodavanjem spoljnjih krutih veza, kao posledica načina izvođenja (npr. slika 1), koriste se treća i četvrta teorema linearne viskoelastičnosti.

Primenom treće (u slučaju jednostruke promene sistema) ili četvrte teoreme (u slučaju višestruke promene sistema) dolazi se do zaključka da se konačni rezultati određuju superpozicijom rezultata elastične analize početne statičke šeme i razlika svake naknadne statičke šeme korigovane intervalnim koeficijentom starenja, prema:

$$S^{j+1}(t) = S^{el,1} + \sum_{i=1}^j x(t,t_0,t_i) \Delta S^{el,i} \quad (4)$$

Očito je da je za rešavanje pomenutih problema potrebno poznavanje osnovnih funkcija koje opisuju reološko ponašanje betona:

- funkcije tečenja $J(t,t_0)$ koja predstavlja dilataciju u trenutku t usled jediničnog napona koji deluje u trenutku t_0 .
- funkcije relaksacije $R(t,t_0)$ koja predstavlja napon u trenutku t usled jedinične dilatacije koja deluje u trenutku t_0 .

- intervalnog koeficijent starenja $x(t,t_0,t_1)$.

Tokom poslednjih nekoliko decenija, u stručnoj literaturi kao i preporukama i propisima koji pokrivaju betonske konstrukcije, predloženi su matematički izrazi koji opisuju promenu modula elastičnosti betona tokom vremena kao i koeficijent tečenja (odnos viskozne prema trenutno elastičnoj dilataciji), čime je definisana funkcija tečenja. Numeričkom integracijom, za matematički definisanu funkciju tečenja određuju se, prema (5) i (6) funkcije relaksacije i intervalnog koeficijenta starenja, kao i koeficijent starenja (koji je neophodan pri dobro poznatom AAEM postupku).

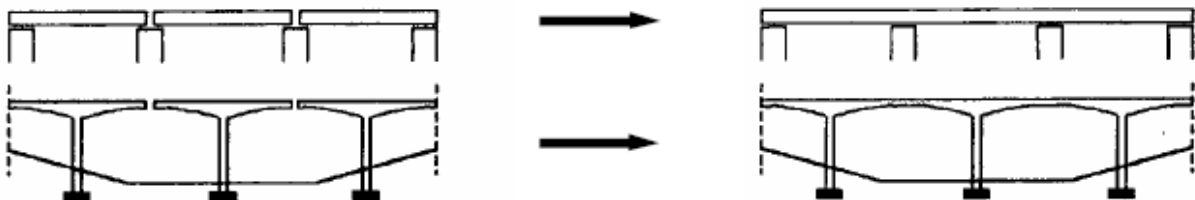
$$J(t,t)E(t) + \int_t^t J(t,q) dR(q,t) = 1$$

$$x(t,t,t_1) = \int_{t_1}^t R(t,q) dJ(q,t) \quad (5)$$

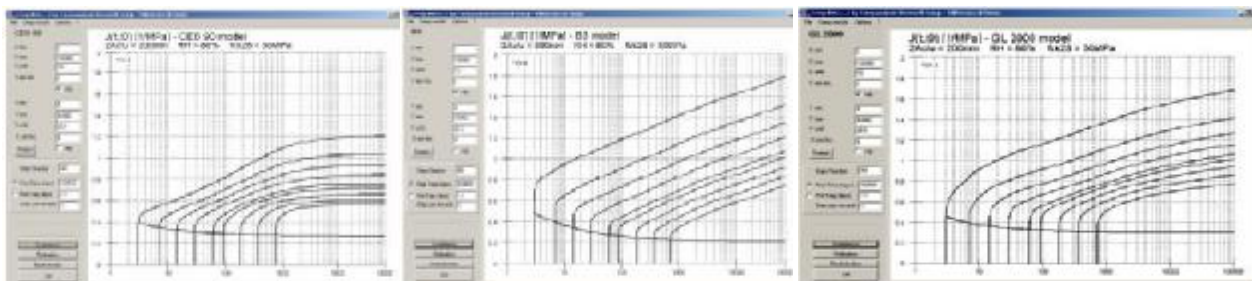
$$c(t,t) = \frac{Ec(t)}{Ec(t) - R(t,t)} - \frac{1}{j(t,t_0)} \quad (6)$$

Rezultati numeričke integracije se najčešće ne mogu prikazati u zatvorenom obliku neke matematičke funkcije, te su ove funkcije publikovane, u grafičkom obliku, kao skup krivih, za odgovarajući niz parametara koji utiču na funkciju tečenja, u npr. Priručnicima [5], [6]. Svaki novi predlog funkcije tečenja zahteva sličnu numeričku integraciju i izradu novih grafikona. Na web site-u (www.polito.it/creepanalysis) [7] koji je kreiran od strane Politecnico di Torino, nalazi se program, čijom upotrebom se pomenuti grafici mogu odrediti za tri modela predviđanja funkcije tečenja (CEB MC90, GL2000 [Gardner i Lockman 2001] i B3 [Bazant i Baweja 2000]). Dok je CEB-MC90 dobro poznat našoj javnosti, o preostala dva modela nema informacija u domaćoj stručnoj literaturi, što je verovatno posledica skorijeg datuma njihovog objavljivanja kao i činjenice da do sada nisu inkorporirani u svetske propise i preporuke. Bez pretenzije da se opisuju i pored predloženi modeli kroz numeričke primere će biti prikazane razlike koje se dobijaju u vrednosti uticaja (određenih primenom intervalnog koeficijenta starenja) pri upotrebi različitih funkcija tečenja.

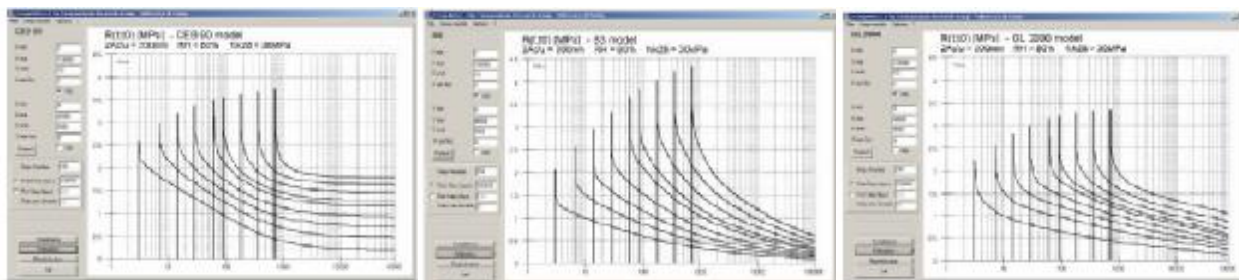
Na sledećim slikama prikazani su, radi poređenja, grafici nekih od ovih funkcija koji su određeni numeričkom integracijom, korišćenjem pomenutog programa sa web site-a.



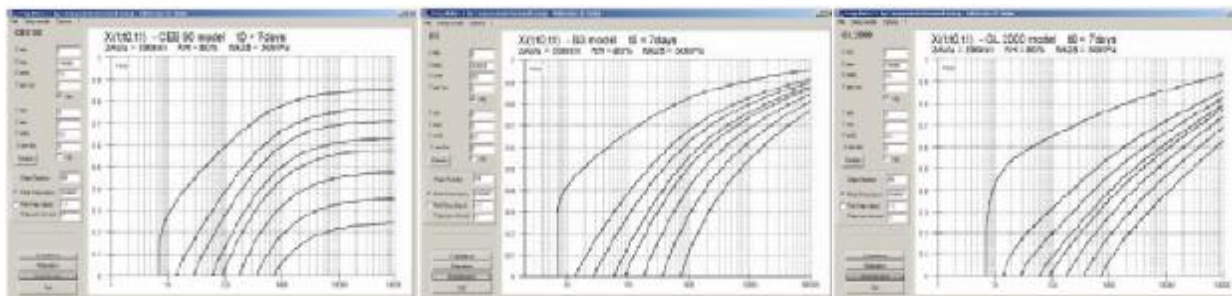
Slika 1. Dva veoma zastupljena primera promene statičkog sistema pri izvođenju mostova



Slika 2. Neki primeri funkcije tečenja



Slika 3. Grafički prikazi funkcije relaksacije određeni numeričkom integracijom



Slika 4. Intervalni koefijeti starenja za različite funkcije tečenja pri svim ostalim parametrima istim

Sa slike 2 se uočava da je ista pojava – tečenje, iako kvalitetno opisana na sličan način ipak ima različiti razvoj, što će za posledicu imati različite rezultate numeričke integracije kako će se to uočiti na sledećim slikama.

Na slici 3 se uočava da, zahvaljujući različitom predviđanju razvoja tečenja, se javljaju značajnije razlike u funkciji relaksacije, i to ne u kvalitativnom već u kvantitativnom smislu. Razlike su još uočljivije kada se radi o koeficijetima starenja, za koje se inače sem funkcije tečenja, koristi i funkcija relaksacije, što se može uočiti sa slike 4 koja prikazuje razvoj intervalnog koeficijenta starenja (koji se koristi za treću i četvrtu teoremu).

5 NUMERIČKI PRIMERI

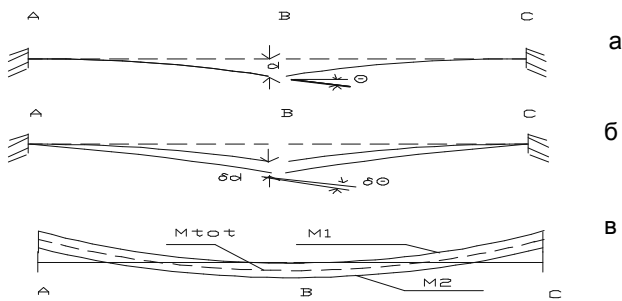
Na dva relativno jednostavna, a veoma česta primera transformacije statičkog sistema pri izvođenju betonskih mostova, biće demonstrirana primena treće i četvrtte teoreme linearne viskoelastičnosti. U oba slučaja izrađen je i uporedni proračun korišćenjem programskog paketa DIANA [8], koji je specijalizovan za nelinearnu analizu konstrukcija i radi po metodi konačnih eleme-

nata. Kako nije ideja ovog rada da propagira nelinearnu analizu betonskih konstrukcija, a još manje da reklamira bilo koji licencirani program čije korišćenje iziskuje višemesečnu obuku, upravo rezultati takve nelinearne analize služe da ukažu na mogućnosti približnih proračuna, naravno, pod uslovima pod kojima se u okviru prethodno izložene kalsifikacije konstrukcija ovakvi proračuni mogu primeniti. Obzirom da se pod približnim postupkom u ovom radu razmatra primena treće i četvrtte teoreme linearne viskoelastičnosti uslov je da se konstrukcija može aproksimirati kao homogena sa krutim vezama.

5.1 Primer dve konzole kod kojih se ostvaruje kontinuitet i formira uklještena greda [15]

Dve konzole koje se, nakon što su bile izložene delovanju stalnog tereta (sopstvene težine) u trenutku t_0 , povezuju u uklješteni nosač u trenutku t_1 . Usled sprečenog prirasta dalje dilatacije sredine polja kao kraja konzole (pretvaranjem sistema u uklješteni nosač) u sredini raspona se razvija moment koji zateže donju stranu i simultano moment nad osloncima koji smanjuje

(relaksira negativni moment postignut u sistemu konzole – slika 5.



Slika 5. Zatvaranje srednjeg segmenta pri konzolnom izvođenju betonskih mostova: a) početna elastična deformacija, b) slobodni prirast deformacije, v) momenti: u početnom sistemu M1, u finalnom sistemu M2, momenti koji se generišu usled tečenja betona M_{tot}

Vrednost ovog momenta na osnovu treće teoreme linearne viskoelastičnosti iznosi:

$$X(t) = X^{el} X(t, t_0, t_1) = \frac{gt^2}{24} X(t, t_0, t_1) \quad (7)$$

U tabeli 1 prikazane su vrednosti odnosa momenta koji se generišu usled tečenja i promene sistema u sredini polja prema elastičnoj vrednosti istog. Prve tri kolone su određene korišćenjem intervalnog koeficijenta starenja (za predloge funkcija tečenja kako stoji u njihovim zaglavljinama), dok je u poslednje dve ova vrednost određena pomoću programa DIANA [8] za dva inkorporirana modela funkcije tečenja. Pri određivanju koeficijenta prikazanog u tabeli 1 usvojeno je za sve razmatrane zakone tečenja da je srednja vrednost čvrstoće betona nakon 28 dana 30MPa, srednji obim

20cm, vlažnost 70% i vreme nege vlaženjem 3 dana, da bi rezultati bili bar donekle uporedivi. Sa t_0 označena je starost betona pri opterećenju, dok je sa t_1 označena starost betona pri promeni statičkog sistema.

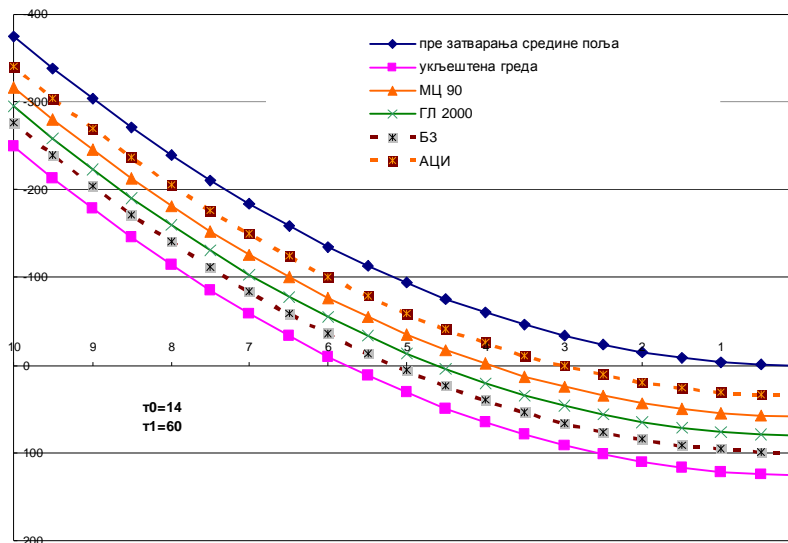
Nezavisno od usvojene funkcije tečenja uočva se da se je moment koji se generiše kao posledica tečenja betona utoliko bliže linearno elastičnom rešenju ukoliko je ranije došlo do uspostavljanja kontinuiteta. Interesantno je da, čak i ako se kontinuitet uspostavi i nakon godinu dana, moment koji se generiše usled tečenja nije zanemarljiv. Značajnu ulogu ima i početna starost elementa pri prvom opterećenju, te što je element bio mlađi to je vrednost momenta usled tečenja bliža elastičnom rešenju.

Poređenjem prve i četvrte kolone, koji su određeni za isti zakon tečenja ali na dva načina: prva kolona očitavanjem koeficijenta sa grafika, četvrta kompleksnim step-by-step postupkom, može se zaključiti da je u preliminarnoj analizi sasvim opravdano koristiti grafike objavljene u [7], odnosno na web site-u www.polito.it/creepanalysis.

Takođe se može uočiti da stepen preraspodele bitno zavisi od toga koji se model funkcije tečenja koristi pri proračunu. Ovo se može prikazati grafički kao na slici 6, gde su za različite funkcije tečenja betona prikazani momenti koji se razvijaju u nosaču nakon promene statičkog sistema. Naravno da se bez obzira na predviđenu funkciju tečenja vrednost generisanih momenata nalazi između početnog (dve konzole) i krajnjeg stanja (uklješteni nosač). U tom smislu model B3 predviđa najveći stepen preraspodele dok ACI209 predviđa najniži stepen. Pri tome kod modela B3 preraspodela ostaje visoka (oko 65%) i pri veoma kasnoj promeni sistema (1 godina). Očekivana preraspodela se kreće u veoma širokim granicama između 30% i 80% zavisno od modela zakona tečenja koji se koristi u proračunu.

Tabela 1 Odnos generisanog momenta u sredini polja i elastične vrednosti

t ₀	t ₁	t=10000 dana				
		CEB(ξ)	B3(ξ)	GL2000(ξ)	DIANA(CEB)	DIANA(ACI)
3	42	0.74	0.795	0.698	0.642	0.311
	60	0.69	0.77	0.672	0.598	0.274
	90	0.638	0.75	0.648	0.546	0.233
	365	0.37	0.649	0.509	0.319	0.117
14	42	0.59	0.805	0.66	0.508	0.319
	60	0.545	0.795	0.64	0.467	0.275
	90	0.459	0.759	0.61	0.42	0.23
	365	0.288	0.65	0.485	0.24	0.112
28	42	0.563	0.81	0.675	0.503	0.367
	60	0.51	0.798	0.648	0.446	0.297
	90	0.451	0.76	0.608	0.391	0.24
	365	0.251	0.651	0.471	0.2154	0.11



Slika 6. Proračunski momenti za različite funkcija tečenja betona

5.2 Primer jednostruke i dvostruke transformacije pri naknadnom kontinuiranju niza prostih greda [16]

Primer je ilustrovan na slici 7. Pod jednostrukom transformacijom posmatra se istovremeno ostvarenje kontinuiteta nad oba stuba, dok je dvostruka transformacija izvedena tako što se kontinuitet ostvaruje prvo iznad jednog a kasnije i kod drugog srednjeg oslonca.

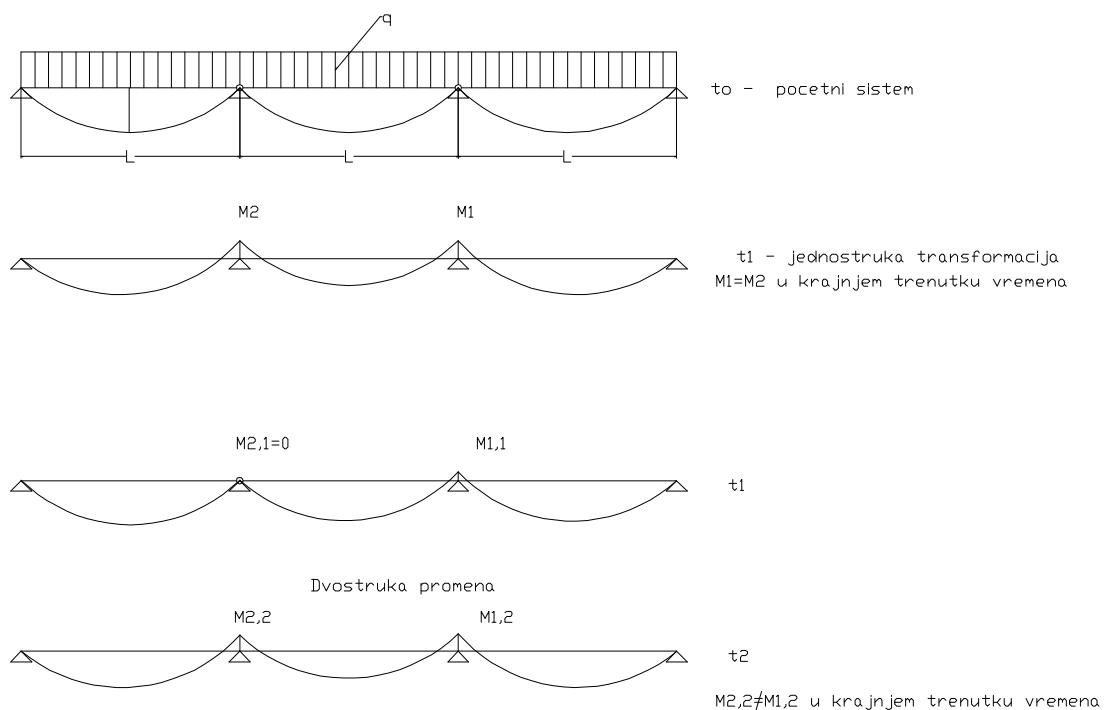
U slučaju jednostruke promene sistema, primenom treće teoreme linearne viskoelastičnosti, dobija se:

$$M_1 = M_2 = 0 + \frac{qL^2}{10} x(t, t_0, t_1)$$

U slučaju dvostruke promene sistema, primenom četvrte teoreme linearne viskoelastičnosti dobija se:

$$M_{1,2} = 0 + \frac{qL^2}{8} x(t, t_0, t_1) + \left(\frac{qL^2}{10} - \frac{qL^2}{8} \right) x(t, t_0, t_2)$$

$$M_{2,2} = 0 + 0 + \frac{qL^2}{10} x(t, t_0, t_1)$$

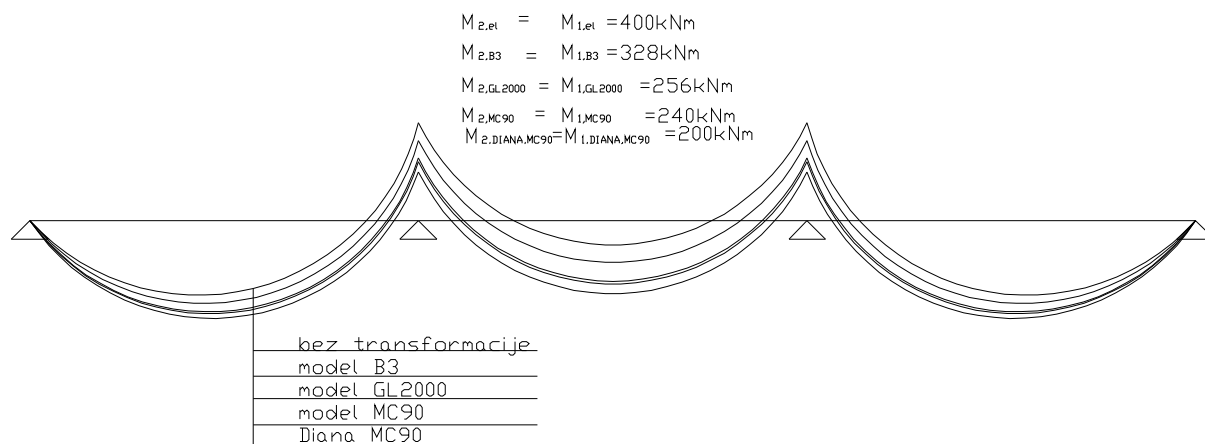


Slika 7. Kontinualizacija niza prostih greda na dva načina

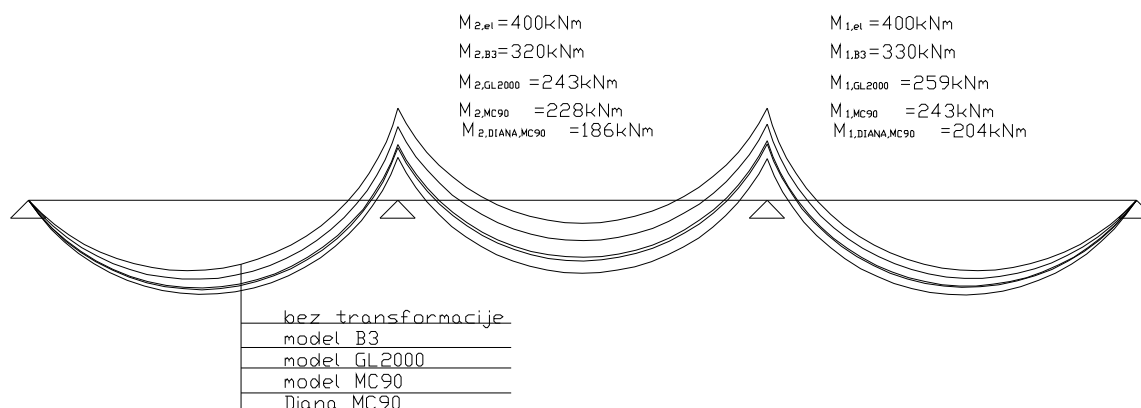
Radi poređenja nueričkih vrednosti rešenja sa rezultatima određenim primenom DIANA-e, programa koji ne može da radi u opštim brojevima, u ovom numeričkom primeru usvojene su sledeće vrednosti: marka betona MB30, $t_0=28$ dana, srednji obim 30cm, vlažnost od 80%, $t_1=35$ dana, $t_2=42$ dana, konačni

trenutak vremena $t=10000$ dana (oko 27 godina), $L=20m$, $q=10kN/m$.

Na slikama 8 i 9 prikazani su rezultati proračuna korišćenjem različitih funkcija tečenja, kao i linearno elastično rešenje u slučaju da ne dolazi do transformacije sistema.



Slika 8. Dijagrami momenata u sistemu pri jednostrukoj transformaciji



Slika 9. Dijagrami momenata u sistemu pri dvostrukoj transformaciji

Kako se uočava sa slika 8 i 9, utjecaji koji se, usled opterećenja u osnovnom stičkom sistemu, razvijaju tokom vremena nakon transformacije sistema, približavaju se vrednostima uticaja koji bi se javili u konačnom statičkom sistemu kad bi u njemu delovalo početno opterećenje. Pri višestrukoj transformaciji, veći moment se generiše u čvoru u kome je ranije ostvaren kontinuitet. Uočava se zadovoljavajuće slaganje rezultata koji se dobijaju upotrebom iste funkcije tečenja (MC90) a korišćenjem intervalnog koeficijenta starenja i softwear-om koji radi po step-by-step postupku.

U tabeli 2 određen je odnos momenata preraspodele prema linearno elastičnom rešenju u konačnom sistemu, što je u slučaju jednostruke transformacije istovremeno (pošto je početni moment jednak nuli) intervalni koeficijent starenja. Intervalni koeficijenti starenja, koji su korišćeni pri određivanju uticaja, su za odgovarajuće modele funkcije tečenja očitani sa grafikona iz programa CREEP [7], sa već pomenutog web- site.

Tabela 2. Odnos preraspodejenog momenta prema elastičnom rešenju za konačni sistem

Model funkcije tečenja	Jednostruka transformacija	Dvostruka transformacija	
		M_1/M_{el}	M_2/M_{el}
B3	0.82	0.825	0.8
GL2000	0.64	0.6475	0.607
MC90	0.6	0.608	0.57
DIANA(MC90)	0.5	0.51	0.465

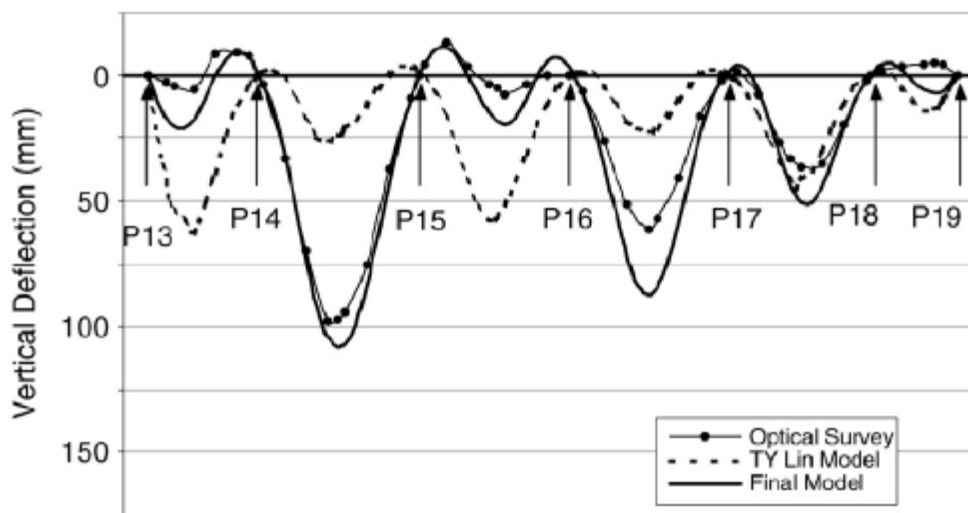
Može se zaključiti da se, u posmatranom slučaju, stepen preraspode kreće između 45% i 85% zavisno od usvojenog proračunskog modela ponašanja betona.

5.3 Primer osmatranja na izvedenoj konstrukciji [18]

Ponašanje već izvedenih konstrukcija je svakako najbolja potvrda određenog proračunskog postupka. Ovdje su radi ilustracije prikazani rezultati merenja ugiba, koja su obavljena na stvarnoj završenoj konstrukciji mosta North Halawa Valley Viaduct [18]. Prema originalnom projektu, koji je izradila firma T.Y. Lin International, usvojen je MC90 model za predviđanje vremenskih deformacija betona i program SFRAME [14], koji je bio specijalno razvijen na univerzitetu Berkeley, California; 1986, za proračun segmentnih prehodno napregnutih mostova pod dugotrajnim opterećenjem. Ugibi mereni nakon 8 godina pokazali su znatna odstupanja u odnosu na predviđene što se može videti sa slike 10. Merenja vremenskih dilatacija na probnim uzorcima (cilindrima) koji su bili izrađeni od betona koji je korišćen u konstrukciji pokazala su da je tečenje predmetnog betona daleko bliže modelu B3, koji, kako se iz numeričkih primera može zaključiti predviđa veću redistribuciju, usled čega su ugibi sredina polja mosta izvedenog po konzolnom postupku veći od prvobitno predviđenih, što su merenja i pokazala. Takođe je na probnim telima ustanovljeno da su deformacija skupljanja betona bliže modelu GL2000. Ponovni proračun, upotrebom iste programske aplikacije ali sa kombinacijom drugih modela za predviđanje tečenja (B3) i skupljanja (GL2000) dao je rezultate daleko bliže izmerenim vrednostima.

6 ZAKLJUČAK

Uticaj reoloških karakteristika betona na ponašanje konstrukcije sa aspekta upotrebljivosti i trajnosti proizvodi i pozitivne i negativne efekte. Neophodno je projektne postupke prilagoditi tako da se vodi računa o tome, ne bi li iskoristili povoljne i minimizirali nepovoljne posledice reoloških karakteristika. Pri transformaciji statičkog sistema, koja se javlja zavisno od postupka izvođenja, dolazi do preraspodele uticaja koji se u konačnom sistemu približavaju uticajima kao da faze izvođenja nisu ni postajale, odnosno kao da transformacije sistema nije ni bilo, a sve zahvaljujući tečenju betona. Bez obzira na razvoj savremenih softwear-a za proračun konstrukcija, rezultati umnogome zavise od predviđanja tečenja i skupljanja betona. Kako ove funkcije zavise od konkretno upotrebljene betonske mešavine, pogodno je u fazi projektovanja primeniti uprošćene postupke, gde god je to moguće, obzirom na aproksimacije koje su iznete pri klasifikaciji konstrukcija, kako bi se došlo do gornje i donje granice za posmatrane veličine. Kako u fazi projektovanja nisu poznate reološke karakteristike betona koji se koristi za konstrukciju, možda je najprihvatljivije rešenje predlog MC90 (koji je gotovo identičan sa EC2- Evrokod2) pošto se vrednosti preraspodele koje ovaj model predviđa predstavljaju približno prosečne vrednosti. Ne treba izgubiti iz vida, da koliko god kompleksan i složen proračun bio izveden, primenom odgovarajućih aplikacija, rešenja su ipak samo približna. To nikako ne umanjuje značaj analize, već ukazuje na mogućnost primene približnih postupaka radi utvrđivanja donje i gornje granice rešenja i na osnovu toga proceniti kako će se konstrukcija ponašati u odnosu na srednje rešenje određeno tačnijim proračunom za predpostavljeno ponašanje materijala. Može se zaključiti da, u slučaju konstrukcija koje zadovoljavaju uvedene aproksimacije po pitanju homogenosti, opravdano koristi približne postupke bazirane na teoriji linearne viskoelastičnosti i opisane izrazom (4).



Slika 10. Merene i proračunske vrednosti ugiba konstrukcije za dva različita modela predviđanja ponašanja betona (preuzeto iz [18])

7 LITERATURA

- [30] ACI Committee 209: Prediction of Creep, Shrinkage and Temperature Effects in Concrete Structures, (Reapproved 1997)
- [31] ACI Committee 209 : Modelling and calculation of shrinkage and creep in hardened concrete
- [32] CEB-FIP model propisa za armirane i predhodno napregnute konstrukcije (prevod) JGC 1979.
- [33] CEB-FIP Model Code 1990; Tomas Telford, 1993
- [34] CEB Design manuel on structural effects of time dependent behavior of concrete, Georgi publishing company, Saint Saphorion, 1984
- [35] CEB Builletin d'Information No215 Structural effects of time-dependent behavior of concrete //CEB 1993
- [36] Chiorino M. A: A Rational Approach to the Analysis of Structural Effects due to Creep; ; ACI SP-227 American Concrete Institute, 2005 pp. 107-142
- [37] DIANA Finite Element Analysis: User's Manual Release 9.2 //TNO Building and Construction Research, Department of Computational Mechanics, P.O. Box 49, 2600 AA Delft, Netherlands, 2007
- [38] EN 1992-1-1 :2004: Evrokod 2: Proračun betonskih konstrukcija - Deo 1-1: Opšta pravila i pravila za zgrade; prevod na srpski jezik Evropskog standarda objavljen u okviru projekta : *Širenje ideja i znanja o evropskim integracijama kroz stvaranje uslova za harmonizaciju nacionalne regulative Srbije sa evropskim normama i standardima u oblasti građevinarstva* ; Beograd februar 2006
- [39] Folić R., Kasalica D., Folić B.: Continuity and redistribution of sectional forces in prestressed precast concrete bridges, Proceedings of 6th International EXPERCENTRUM RILEM Conference, 216-221
- [40] Gilbert R.I.: Time Effects in Concrete Structures, ELSEVIER, Amserdam-London-New York-Tokyo, 1988
- [41] Ghali A., Favre R.: Concrete structures :Stress and deformations, Champman &Hall, London 1986
- [42] Ivković M., Radojčić T.: Reologija i opšta teorija loma betona, Naučna knjiga, Beograd 1987.
- [43] Ketchum A. M. Redistribution of stresses in segmentaly erected prestressed concrete bridges / // Report No UCB/ SESM 86/07 Structural Engineering and Structural Mechanics Universtiy of Califonya Berkly
- [44] Mašović S.: Statički tretman betonskih konstrukcija sa uticajima dugotrajnog opterećenja, Simpozijum i XXIV Kongres DIMK Srbije 2008, Zbornik radova, str. 265-272
- [45] Mašović S.: Preraspodela uticaja u betonskim konstrukcijama pri promeni statičkog sistema, Simpozijum DGKS 2008, Zbornik radova, str. 447-452
- [46] Neville M., Dilger W.H., Brooks J.J.: Creep of plain and structural concrete, Construction Press, London and New York, 1983
- [47] Robertson N.I.: Prediction of vertical deflections for a long-span concrete bridge structure;Engineering Structure 27(2005) pp1820-1827

REZIME:

EFEKTI DUGOTRAJNOG OPTEREĆENJA NA PONAŠANJE BETONSKIH KONSTRUKCIJA

Snežana MAŠOVIĆ

Beton je višekomponentalni materijal koji ispoljava veoma složene reološka svojstva, to je viskoelasto-plastični materijal sa izrazitim svojstvom starenja. U pogledu statičkog tretmana betonskih konstrukcija uobičajena je primena linearno elastične analize. U velikom broju slučajeva, to je sasvim opravdano, pošto su rezultati takve analize, koja se može jednostavno sprovesti upotrebom konvencionalnih software-a za statičku analizu konstrukcija, sasvim zadovoljavajući. Sa stanovišta inženjerske prakse, prognoziranje realnog ponašanja betonskih konstrukcija je izuzetno značajno, kako u pogledu sigurnosti i nosivosti, tako i u pogledu funkcionalnosti i trajnosti. Projektovanje betonskih konstrukcija se bazira na filozofiji graničnih stanja. Pored ispunjenja zahteva u odnosu na granično stanje loma, što se najčešće postavlja kao osnovni zahtev, neophodno je ispuniti uslove u pogledu upotrebljivosti, čime se obezbeđuju eksploatacioni zahtevi u smislu ograničenja ugiba, prslina, napona i vibracija. U domenu eksploatacionih napona, materijalna nelinearnost betonskih konstrukcija, koja se ogleda kroz pojavu tečenja, skupljanja i prslina, igra značajnu ulogu pri ispunjenju postavenih zahteva. U radu je izvršena klasifikacija betonskih konstrukcija sa stanovišta stepena materijalne nelinearnosti, te se opisuju raspoložive metode za rešavanje problema statike konstrukcija. Primenjivost pojedinih proračunskih postupaka se razmatra u skladu sa izloženom klasifikacijom konstrukcija. Posebna je pažnja posvećena betonskim konstrukcijama koje se izvode uz transformaciju statičkog sistema.

Ključne reči: betonske konstrukcije, materijalna nelinearnost, skupljanje, tečenje, transformacija statičkog sistema

SUMMARY:

STRUCTURAL ANALYSES OF CONCRETE STRUCTURES CONCERNING LONG-TERM EFFECTS

Snežana MAŠOVIĆ

Concrete is multi-component material that expresses complex rheological properties, that is viscous-elastic-plastic and aging material. As in static treatment the linear elastic analyses was performed in case of concrete structures. In many cases, it is quite justified since the result of such an analyses, obtained using conventional software for linear static analyses, leads to a quite accurate result. From the engineering point of view, prediction of realistic behavior of concrete structures is most important not only in the respect of structural safe and strength but as well in regard to the durability and serviceability. Design of concrete structure is based on philosophy of limit states. In addition to the satisfaction requirements of ultimate limit states, it is necessary to fulfill demands in regard to serviceability such as limitation of the deflection, cracks, stresses and vibrations. In domain of service state of stresses, material nonlinearity of concrete structures, manifested through creep, shrinkage and cracking, plays an important role in structural behavior. In this paper the classification of concrete structures is made and available design methods considering the structure type are discussed. Application of particular method is considered in accordance of structural type. Special attention is paid to the concrete structures build in phases involving successive changes of structural system.

Keywords: concrete structures, material non-linearity, shrinkage, creep, change of structural system

STANOVANJE SUTRAŠNJICE – PASIVNI STANDARD*

Milenko STANKOVIĆ
Srđan STANKOVIĆ

STRUČNI RAD
UDK: 728.01

1 UVOD

Stambena arhitektura je fundamentalna, jer ukazuje na evoluciju načina življenja. Istražujući i procjenjujući promjene u porodičnom, društvenom i radnom okruženju, analizirajući prošlost i današnje potrebe, predviđamo i projiciramo stanovanje sutrašnjice. Fizički okvir – stan i kuća su predmet interesovanja, želja i zamisao investitora i arhitekta istovremeno. Danas, se u oblasti stambene arhitekture javljaju brojne realizovane i nerealizovane ideje, koncepti i projekti. U arhitektonsko stvaralaštvo se sve više uključuju zdrave tehnologije, koje omogućuju kvalitetniji život čovjeka. Posljednju deceniju obilježila je tema teritorijalno održivog razvoja. (3) Ekologija je prisutna u svakom segmentu našeg života. Ekološku svijest treba brže razvijati i praktisirati, jer u suprotnom, upitan je opstanak čovjeka na planeti. Čovječanstvo intenzivno istražuje alternativne vidove energije i načine formiranja staništa. Potrebno je zadovoljiti brojne čovjekove potrebe, ne samo u normalnim uslovima, već i u ekstremnim situacijama. Koncept *idealne kuće* izazov je koji ukazuje na moguće pravce razvoja stanovanja budućnosti.

Stručnjaci iz oblasti medicine upozoravaju da su najčešći uzročnici ozbiljnih bolesti današnjice, stres i otuđenje među ljudima. Pored poznatih uzročnika ovih bolesti, fizički okvir u kom živimo i stvaramo, jedan je od značajnih. Profesionalna je obaveza da odgovornom i kreativnom poslu urbaniste i arhitekta posvetimo dodatnu pažnju. Korisnik ima značajnu ulogu u stvaranju kvaliteta stanovanja, ali ga treba kontinuirano i adekvatno

Adresa autora:

Prof. dr Milenko Stanković, dipl.inž.arh., Univerzitet u Banja Luci, Arhitektonsko-građevinski fakultet, Katedra arhitektonsko projektovanje
Srđan Stanković, dipl.inž.arh.

Napomena

* Iako rad nije iz oblasti na koje je časopis orijentisan Redakcioni odbor smatra da je od interesa da ga učini dostupnim našoj stručnoj javnosti. Rad nije napisan u skladu sa uputstvima, tj. sa neadekvatnim je citiranjem. Tako, autori brojevima u malim zagradama uključene u tekst upućuju na širi popis literature dat na kraju rada.

Glavni i odgovorni urednik

edukovati. Stručna istraživanja su pokazala da je uticaj arhitekta ograničen, kada je u pitanju stepen kulture korisnika, ali je evidentno da stambeni prostor značajno utiče na korisnika. (4) Neophodno je voditi više računa o naselju, broju stambenih jedinica na etaži, uređenju životnog prostora... i stvaranju intimnih prostora, kojima arhitekt može značajno da utiče na kulturu korisnika, ali i da unaprijedi kvalitet stanovanja. Stalno smanjenje zelenih površina u naseljima mogli bismo zaustaviti zabranom gradnje na njima, ali i izgradnjom novih zelenih oaza, gdje god je to moguće. Tamo gdje ne postoji mogućnost izgradnje novih vrtova, ostaje mogućnost kompenzacije aktiviranjem terasa, balkona, lođa, fasada, ozelenjavanjem krovnih površina, oplemenjenih biljnim fondom. Uočena je i hitna potreba za kontrolom koeficijenta izgrađenosti i zauzetosti parcela. Uz sve to treba koristiti minimum energije, klimu i uslove iz okruženja, da bismo omogućili adekvatan toplotni komfor i udobnost u unutrašnjem prostoru stana i kuće, ali i stvorili povoljnu mikroklimu u naselju. Inteligentno planiranje na bioklimatskim principima, uz funkcionalnu ugodnost i usklađenost građenja naselja u prirodi, nudi mogućnost ispravnog ponašanja, promovise neiscrpnu raznolikost prostornih iskustava inspirisanih prirodom, a s ciljem kreiranja humanog i zdravog okruženja za buduća pokoljenja.

Ne smijemo zaboraviti da je život savremenog čovjeka izrazito dinamičan i pun promjena. Brojne su promjene koje utiču na njegov stav prema životnom prostoru-stanu-kući. Navešćemo pet faktora koji značajno utiču na promjene, a to su:

- *Sociološka situacija* - čovjek je otuđen od ljudi i prirode, osoben je i suviše ličan...
- *Ekonomska situacija* - uočen je porast broja nezaposlenih i ugroženih ljudi...
- *Politička uslovljenost* - uvedeni smo u društvo rizika, nesigurnosti, pojačane se sumnje u političare i stručnjake...

• *Tehnički razvoj i tehnološki napredak* – neophodno je usklađivanje tehničkog razvoja s kapacitetom prirode, a tehnološki napredak treba bazirati na principima održivosti...

• *Ekološki okvir* – posljedice klimatskih promjena i ograničeni prirodni resursi, zahtijevaju humaniji odnos u korišćenju neiskorištenih potencijala prirode, uz obavezu očuvanja prirode za potomke...

Moramo se suočiti sa činjenicom da nikad u istoriji čovjek nije bio tako drastično odvojen i otuđen od prirode i ljudi, građevinama koje je sam izgradio. Uporednom analizom različitih koncepata savremenog stanovanja, ponudili smo moguću viziju stanovanja sutrašnjice, na istraživanoj teritoriji.

U stručnoj javnosti razvijana su dva koncepta stanovanja, paralelno: *realna stvarnost - bioklimatski principi* i *virtuelna stvarnost - inteligentni sistemi*.

2 REALNA STVARNOST - BIOKLIMATSKI PRINCIPI

Posljedice klimatskih promjena značajno su uticale na činjenicu da je zastupljenije razmišljanje o razvoju stanovanja baziranog na bioklimatskim principa, uz korištenje obnovljive energije iz prirode. Ovaj koncept u stručnim krugovima je poznat kao *bioklimatska arhitektura*, a odražava čovjekovu težnju da uspostavi ravnotežu s okruženjem. Korišćenje obnovljive energije, bez zagađenja prirode, apsolutni je imperativ. Realizacije i istraživanja u razvijenim zemljama evrope ukazuju na moguće pravce razvoja životnog prostora, nudeći *pasivnu kuću*, kao kuću budućnosti i standard EU. (5) Povezivanjem mjesta stanovanja i prirodnih procesa, čovjeka vraćamo prirodi, od koje se, kako smo prethodno konstatovali, značajno otuđio.

Mnogi arhitekti trenutno razvijaju *koncept idealne kuće, kuće budućnosti* na bioklimatskim principima. Kuća u harmoniji s okruženjem, još uvijek je san mnogih ljudi. Minimalnim korištenjem energije, klime i uslova u okruženju pasivni standard nudi toplotni komfor i udobnost u unutrašnjem prostoru, produžen životni vijek zgrade, osiguranu ekonomsku dobit i osigurava zaštitu prirode. Mnogobrojni su primjeri bioklimatskih, pasivnih ili aktivnih solarnih, ekoloških - zelenih kuća, građevina napravljenih od alternativnih i dostupnih materijala: zemlje, trske, bambusa, i sl., koji su uspješno realizovani širom svijeta. Zajedničko za sve pobrojane primjere da nisu koristili sinergetske efekte pojedinačnih sistema, a koji su uspješno integrisani u pasivnom standardu. Zato je dovoljno navesti primjere iz okruženja, koji ukazuju na aktuelnost, opravdanost i hitnost primjene *bioklimatske arhitekture*, ali i ističu potrebu uvođenja *pasivnog standarda*.

Primjer 1. – Stambena zgrada u Konstanci, Austrija, arhitekta Ingo Bucher-Beholz, Gaienhofen, god. izgradnje 1995.

Potreba povećanja urbaniteta u gradu Konstanci, zahtjevala je da dva stambena tornja budu sagrađena na ograničenoj površini, skromnih dimenzija. Arhitekta je locirao zgrade tako da maksimalno iskoristili prirodno svjetlo, ali i aktivira vanjski prostora za stanare, a mikro-klimu učini ugodnijom. Laka konstrukcija balkona i

galerija, sa bogatim zelenilom i travnate krovne terase, glavne su odlike ovih zgrada. Pristup za oba nivoa dvanaest stanova je vanjsko čelično stepenište i galerija. Stambene kule dodatno su povezane čeličnim mostovima, što doprinosi boljoj komunikaciji. Stanovi na nižim etažama su dvoetažni, dok su oni na višim etažama troetažni i imaju krovnu terasu. Popločane staze i balkoni povećavaju dnevne prostore na istok. Zoniranje je određeno centralno postavljenim kupatilom i stepeništima. U nedostatku podruma, zgrade su izdignute u odnosu na zemlju, sa površinom za parking, usluge i skladištenje (vidi slike 1-4).



Sl. 1. i 2. Bočni izgled zgrada sa vidljivim galerijama i istočne terase



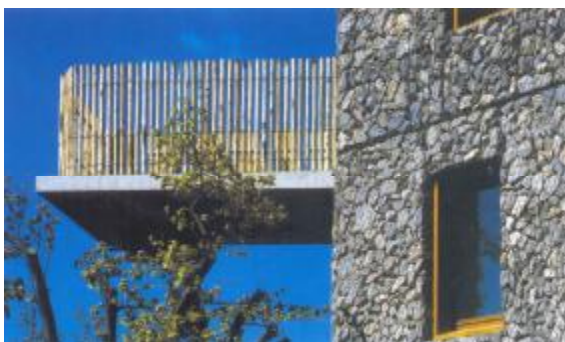
Sl. 3. i 4. Detalj galerija i otvorenih stepeništa, sa uspješnim spojem eksterijera i enterijera

Primjer 2. – Chateau Le Laz, Monpelje, Francuska, arhitekta Edouard Francois&Associés, god. izgradnje 2000.

Dizajn ove stambene zgrade istražuje, ispituje i afimiše upotrebljen materijal i prirodu. Arhitekta je dobio zadatak da ograničenim - skromnim budžetom projektuje 64 stana sa 47 parking mjesta. Ekonomično korištenje lokacije, rezultirao je izborom racionalne tehnologije prefabrikacije. Autor je stvorio viziju radikalnog tretmana



Sl. 5. u 6. Ulični izgled zgrade i detalj



Sl. 7 Detalj fasadnog panela

fasade i eksterijera. Oponašao je masivnu kamenu površ, koja će vremenom procvjetati u spektakularnu vertikalnu baštu. Zgrada nosi naziv "cvjetajuća," a povezana je s prirodom: oblikom, osnovom, materijalom, fasadom, eksterijerom. Stambena zgrada je struktura u prirodi, jer je naprosto iznikla iz lokacije na kojoj se nalazi. Zakrivljena osnova zgrade, ucrta blagi luk, a predeo se postepeno uzdiže, od tri do šest spratova. Zvršava se na jugu kao pramac broda. Fasada je interesantna i zanimljiva. Vertikalne bašče oslanjaju sena čvrstu kamenu osnovu. Zidovi formirani od niza prefabrikovanih betonskih panela, predstavljaju lice koje je prekriveno slojem čeličnih ramova, popunjenih lako zidanim kamenom. Žičani paneli su proizvedeni na licu mjesta od ne rđajućeg čelika, a smješteni su unutar čelične strukture i vertikalno su pridržani i ojačani duplim slojem kamena otpornim na mraz. Nakon toga dolazi sloj pjeska, kamenčića i sjemena biljaka koje rastu na kamenu (vidi slike 5-7).

Primjer 3. - Iroko, London, Velika Britanija, arhitekta Howarth Tompkins, god. izgradnje 2002. (2006.)

Projekt je značajan, jer nudi veliki prostorni komfor (više od šest soba), stvarajući ugodnu sredinu za porodični život u srcu Londonu. Koncept bloka je dio razumne vizije novog urbanog susjedstva, koja podrazumijeva različite tipove stanovanja, restorane, prodavnice, galerije u okviru Oxo Tower-a, sa savremenim javnim prostorima i vrtovima. Stanovi su organizovani na tri strane dvorišta, sa kulturnim centrom na četvrtj. Time je



Sl. 8. i 9. Situacija bloka i ulični izgled, dominiraju trijem i visoki prozori

arhitekta zatvorio blok duž Stamford ulice. Stanovi terasastog bloka imaju ulazna vrata iz glavne ulice, koja su natkrivena trijemom. Naselje je u stručnoj javnosti nazvano jednim od *uspješnijih historijskih stambenih modela*, jer stanovi imaju intimne vrtove direktno povezane sa otvorenim javnim prostorom. U bloku stanuje veliki broj djece, tako da je dvorište pažljivo projektovano u četiri različite zone - *igralište, igralište u nagibu, travnjak u nagibu i popločani dio namijenjen sjedenju*. Time su zadovoljene potrebe različitih generacija. Stanovi imaju povišenu spratnu visinu i visoke prozore. Privatni vanjski prostor je u obliku vrta ili velikog balkona. Zgrada je projektovana prema visokim standardima u smislu uštede energije, ima: dobro osunanje, solarne panele, kondenzujuće bojlere, te štedi dvije trećine električne energije. Osim velikog prostornog komfora, privatnih vanjskih prostora u obliku vrta ili balkona, povoljne mikroklimе unutar bloka, vrijednost ovog stambeno-poslovnog bloka je u primjeni principa bioklimatske arhitekture. To podrazumijeva uvođenje obnovljivih prirodnih izvora radi uštede energije (vidi slike 8-11).



Sl. 10. i 11. Četiri različite zone – za različite generacije, pogled sa terase na unutrašnjost bloka

Primjer 4. - Kuća za dvije porodice u Penteli, Atina, Mihalisa Suvadzidisa

Ovo je primjer bioklimatskog projektovanja na lokaciji okruženoj borovom šumom. Kuća je u osnovi kocka, a okružuje je kvadratno dvorište. Visoko uzdignuti nivo natkriljuje krošnje drveća i u potpunosti se prožima sa prirodom. Primjena tradicionalnih i savremenih materijala je pažljivo komponovana u čiste forme, sa suptilnom kontrolom količine i intenziteta sunčeve svjetlosti koja se dozirano pušta u pojedine prostore kuće (vidi sl. 12).



Sl. 12.

Primjer 5.

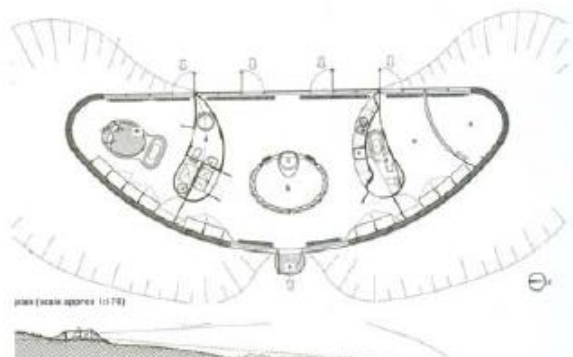
Inspirisani ljepotom udaljene Pembrokeshire – obale, klijenti ovog projekta Future System, provodili su odmore godinama na ovoj lokaciji, kampujući u nedotjeranoj šupi. Postojanje šupe i ekstremna diskretnost arhitektonskog prijedloga za istu lokaciju, omogućili su dobijanje planske dozvole u Nacionalnom Parku. Future System je na osjetljivoj lokaciji, odgovorio ukopavanjem kuće u padinu terena, čineći je "nevidljivim" dijelom pejzaža. Ovalni omotač prijanja uz padinu i naglašava strukturalno organsku formu. Krov je prekriven busenjem i raznolikim lokalnim rastinjem, čime je integrisan u netaknutu prirodu. Na mjestu građenja ne postoje primjetne granice ili naznake. Jedino se dimnjak od peći na drva, uzdiže kao periskop iznad površine. Sa istoka ili sa pozicije puta, vidljiva je pukotina zasječena u obliku slova V koja prihvata stakleni zid i glavni ulaz u kuću. Na suprotnoj strani, zapadni zid, smješten u konturu terena i oivičen vegetacijom, predstavlja "stakleno oko" prema moru (vidi slike 13 i 14).

Jačina osvjetljenja, kao aktivan arhitektonski element, ovdje se mijenja zavisno od promjene svjetla na spoljašnjoj panorami- svjetlost prolazi kroz transparentne zidove na istoku, prelama se kroz unutrašnjost prostora i prolazi kroz transparentni zid na zapadu. U srcu kuće nalazi se peć na drva sa kružnim ognjištem, uokvirenim zaobljenom sofom. "Mahune" obuhvataju kuhinju i kupatilo koje uslužuje spavaću sobu. Boje unutar kuće su brilijantne: žuta, koju u određenom godišnjem dobu naglašava cvijeće na okolnim bregovima, tamno plava i bijela. Postavljene nasuprot suptilnih boja i klimatskih

nijansi Pembrokešhire – obale. Odabrane boje su u kontrastu i mekoći zakrivljenih zidova i tavanice.



Sl. 13. i 14. Detalj ulazne i podužne fasade



Sl. 15. i 16. Osnova i izgled sa mora

Primjer 6. - Nisko energetska kuća u Bregenzu, Daniela Sautera

Primjer je primjene solarnih principa bioklimatskog projektovanja. Korištenje mehaničkih uređaja za transformaciju sunčeve toplote u energiju koja se koristi za zagrijavanje prostora, zagrijavanje svježeg vazduha za klimatizaciju ili snabdijevanje toplom vodom. Svrstava se u aktivne solarne sisteme, za razliku od pasivnih solarnih kuća koje ne koriste ovakve sisteme. Na fasadi kuće uspješno su konstruktivno i estetski uklopljeni fotovoltlni solarni paneli (vidi slika 17).



Sl. 17.

Primjer 7. - Marblehead, Masačusets, SAD

Marblehead Residence projektovana je da ima dinamičku strukturu, koja se mijenja i adaptira okruženju iz dana u dan, iz sezone u sezonu. Glavna osobenost kuće je njen "omotač": velika, operativna i izolaciona platna koji mogu da se otvore i zatvore prema potrebama. Platna imaju mješovitu funkciju, zavisno od spoljašnjih uslova. Tokom ljeta kada je temperatura prijatna, zastori od sunca su minimalno potrebni.

Međutim, tokom zime, duplo zastakljena klizna vrata, termalna masa na ploči i zatvoreni izolovani kapci, mogu se upotrijebiti za grijanje kuće. Pored svoje funkcionalnosti, platna daju i drugačiji izgled kući tokom sezone. Forma kuće napravljena je od jednostavnih, vrlo fleksibilnih horizontalnih prostora spojenih u plan u obliku slova L. Posjetioci ulaze na drugi nivo kuće gdje je smještena većina javnih prostorija, dok je cjelokupni donji nivo ukopan u zemlju. Na taj redukovana je ukupna veličina zgrade, te kuća i glavni dio spoljašnosti zaštićen od hladnih zimskih vjetrova (vidi slike 18 i 19).

Prefabrikacija i primjena modula sve više se istražuju, kao alternativni način građenja porodičnih domova, naročito u oblasti socijalnog stanovanja, ili kao način zbrinjavanja ugroženih kategorija stanovništva, npr. u slučaju elementarnih nepogoda, ili kao privremeni vid smještaja. Danas, se sve više ispituju mogućnosti ove gradnje u prirodno vrijednim i zaštićenim prostorima, jer ne ostavljaju tragove građenja u prirodi, a nude potreban komfor.



Sl. 18. i 19. Panoramski izgled i detalj

Primjer 8. - Smallhouse

To je jedan optimizovani kubus za stanovanje, u modularno postavljenoj drvenoj konstrukciji, skromne forme. Pored toga ispunjava i najveća očekivanja kada je u pitanju proširenje prostora. Elegancija rješenja dozvoljava primjenu i na istaknutim lokacijama. Smallhouse posjeduje i dodatnu sobu u slučaju da dom postane mali. Fleksibilost je značajna, a može da ima funkciju ateljea ili kreirana po mjeri profesije. Četiri velika prozora na svakoj strani kubusa daju kući skulpturalni efekat. Veliki prozorski otvori na svakoj prostoriji omogućuju proširenje unutrašnjeg prostora ka spoljašnjem, te u isto vrijeme omogućuju da unutrašnji prostor kuće bude preplavljen dnevnim svjetlom. Krajnji rezultat je kreacija koja je u isto vrijeme i mala i prilično darežljiva. Ono što je čini jedinstvenom je potpuna prefabrikacija. Moguće je montirati u roku od jednog dana, na prethodno pripremljen temelj. Racionalni i efikasni proces gradnje dozvoljava stambenoj jedinici lako premještenje u okviru imanja ili na potpuno novu lokaciju. Dosljedna upotreba drveta, ili materijala na bazi drveta, dobre izolacije, obezbjeđuju visoki stepen komfora. Ekološki aspekti su ispunjeni samom konstrukcijom, a instalacije i električni sistem su dosljedni u promišljenoj filozofiji jednostavnosti nerazdvojive od dizajna kuće. Prateći elementi poput roletni, krovnog prepusta, terase itd. su u skladu sa željama klijenta.

Ekološki aspekti:

- *fabrička proizvodnja stambene jedinice*: štedi se na energiji, sprječava se urušavanje lokacije i stvaranja veće količine otpada...

- *korišćenje ekološkog materijala*: drvo je prirodan, obnovljiv građevinski materijala, ali i ekološki prihvatljiv...

- *dobre izolacije drvenih zidova i prozorskih otvora*: štedi se na energiji za zagrijavanje unutrašnjeg prostora, sprječava emisija CO₂ u atmosferu, nudi ugodnost boravka, uz toplotni i zvučni konfor... (vidi slike 20-24).



Sl. 20.



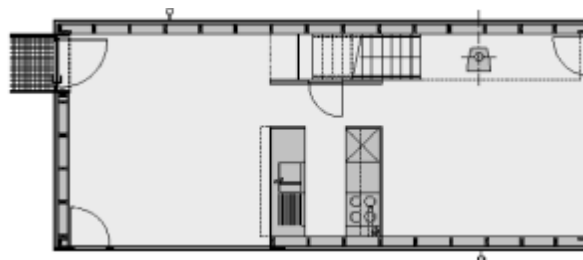
Sl. 21.



Sl. 22.



Sl. 23.



Sl. 24.

3 VIRTUELNA STVARNOST-INTELIGENTNI SISTEMI

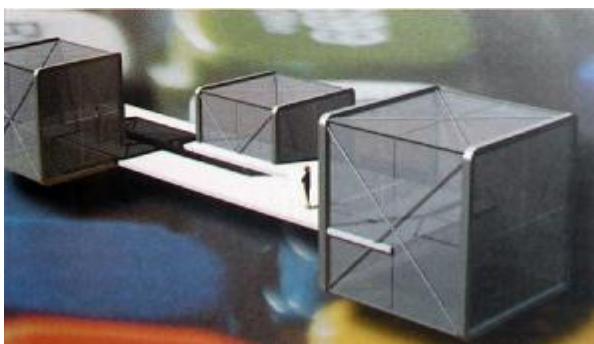
Nasuprot vraćanju prirodi izumi nove, elektronske tehnologije nude virtualnu stvarnost koja ubrzano postaje dio našeg života. Primjena informacionih tehnologija pospješuje razvoj koncepata *inteligentne kuće*. Čovjeku se nudi mogućnost da komunicira, radi i zabavlja se iz fotelje, čime se mijenjaju mnoge njegove potrebe. Kompjuter nije samo nezaobilazni dio života na radnom mjestu, već on sve više preuzima primat i u kući. Opravdano je pitanje stručne javnosti: *Da li će ubrzo kompjuter postati njen gospodar?* LCD tehnologije su mnogim ljudima danas prozor u svijet. Razni sistemi računarskog ambijenta primjenjeni su u poslovnim zgradama širom svijeta. Kompjuter već izvršava procese za koje više nije potrebna ljudska ruka. Tehnološki je već moguće mijenjanje enterijera stana, kao i pogled kroz prozor. *Da je to stvarna potreba, bježanje od surove stvarnosti ili moda doba informatike?* Odgovor je jasan, nastavimo li bezobzirno eksploatisati prirodu, bježanje od stvarnosti, postat će potreba, jer će pogled u stvarnost biti upitan.

Inteligentna kuća budućnosti

Koncepcija je baziran na upotrebi trenutne savremene, ali i budućih tehnologija. Po ovom konceptu moguće je da čovjek *izabere kuću i okruženje* u kome će da živi, ma gdje to bilo. Ljudi biraju okruženje, po želji, a LCD membrana koja prekriva površine zidova i plafona, simulira željeni prostor.



Sl. 25.

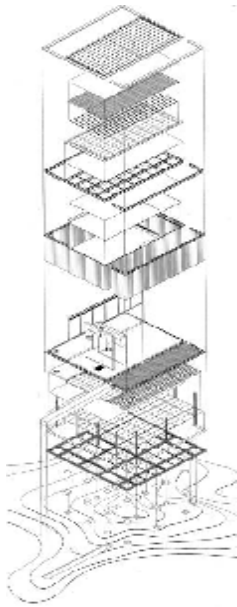


Sl. 26.

Kuća je sačinjana od jednostavnih oblika, prenosivih jedinica koje su lake za kombinovanje i transport. LCD ekrani mijenjaju ne samo enterijer već i eksterijer. Staklo kao građevinski materijal dobija više funkcija: koristi se kao solarna ćelija za napajanje energijom stambenih jedinica, kao LCD ekran, termička izolacija i kao samočišćujuća podloga (slike 25. i 26).

Primjer 1. - Lokacija: Porto, Portugalija, arhitekti: Fatima Fernandez, Michele Cannata

Inteligencija kuće bazira se na dva koncepta: prvi se odnosi na *elektronske i informatičke sisteme* koji su bitni elementi projekta, a drugi na *upotrebi jednostavnih građevinskih elemenata pri građenju*, čime se značajno smanjuje vrijeme potrebno za izgradnju. *Fleksibilnost* je neizbježan pojam koji se vezuje za sve faze projekta, a koncept je proizašao iz načina života ljudi u domovima današnjice. Ideja fluidnog prostora kuće temelji se na izbjegavanju fiksiranih elemenata podjele i strogo markiranih granica raznih funkcija življenja. Ovi principi su uticali na selekciju materijala, odabir tehnike u procesu izgradnje. Istovremeno su osigurani zahtjevi u pogledu komfora, higijene i estetske harmonije. Upotrebjeno je staklo, kao materijal koji je strukturalno jednostavan, a estetski prihvatljiv. Inteligentni faktori zadovoljavaju zahtjeve harmonije i povezivanja, stvarajući prostor – siguran i energetske isplativ. Osnovni koncept kuće je jednostavnost funkcionalne organizacije; dva unutrašnja dvorišta - prvo obezbeđuje ulaz za nabavku, a drugi namenjen odmoru. Funkcionalna organizacija je smještena između dvije "praznine". Staklo štiti unutrašnjost od spoljnog svijeta, ali ga u isto vrijeme i vezuje za njega. Osobnost je ponavljanje staklenih panela, što dovodi da prostrane zone postanu privatnije. Funkcionalni aspekt ne zapostavlja zahtjeve zdravog života, a rezultat je studije o kontrolisanoj upotrebi električne energije i konzervacije toplote primenom AVAC sistema. Integrisani energetske sistem sastavljen od generatora na pogon vjetra – za proizvodnju električne energije i panela sa solarnim ćelijama - za grijanje i prečišćavanje vode. Sistem funkcioniše pomoću reverzibilne i nereverzibilne pumpe, koje u kombinaciji sa solarnim panelima, rade pri isparavanju na niskoj temperaturi. Solarni paneli kroz koje protiče rashladni fluid, funkcionišu kao isparivači grijnih pumpi. Sistem proizvodi energiju za svu električnu opremu. Inverzijom operativnog ciklusa sistema, preko ljeta je obezbijeđena hladna, a zimi topla voda. Termalna energija za zagrijavanje unutrašnjosti se distribuira kroz hidraulički krov sa svojstvom isijavanja. Inovacija se sastoji u odvođenju kišnice kroz sifone, "rain-siphons", po principu izbacivanja putem gravitacije. Tasteri su osjetljivi na dodir, te služe za kontrolu i regulisanje rada sistema. Moguće je programirati zagrijavanje enterijera po sektorima; zalivanje travnjaka u zavisnosti od stepena vlažnosti zemljišta; regulisati uključivanje svjetla i nivo osvjetljenosti daljinskim putem, preko mobilnog telefona ili putem Interneta; podešavati zasijenčenost prostorija zavjesama; pa čak i organizovati nabavku namirnica optimizovanjem kupovine. Pobjerane novine najavljuju kako je moguće živjeti u budućnosti (vidi slike 27-31).



Sl. 27.



Sl. 28.



Sl. 29.



Sl. 30.



Sl. 31.

Primjer 2. - Koncept idealne kuće razvijen na salonu namještaja u Kelnu 2003.

Životni prostor podijeljen je na šest jedinica: "wellness" - ugodni prostor, bazična soba, prostor "konfrontacije kultura", prostor tehnonomadskog načina života, sobu "zelenog" duha, prostor obilježen emocijama svjetla i boje. Tema hrane i njenog pripremanja, označava određenu kulturnu tradiciju, razmotrena je u prostoru "konfrontacije kultura." Odgovor koji je dat na ovom primjeru svodi se na izazove kulture industrije i potrošnje. Način konzuminiranja hrane predstavlja u najširem smislu našu kulturu. Promjena osnovnih pretpostavki se sporo najavljuje. Brza hrana se sasvim prirodno servira u reprezentativnoj dnevnoj sobi. Scene "konfrontacija kultura" se zasnivaju na svođenju oblika i boja na minimum, što daje utisak esencijalnosti. *Soba "zelenog duha"* uvođi osnovne vrijednosti prirode u svijet stanovanja. U poređenju sa urbanom okolinom, priroda stanove čini senzibilnim i ugodnim za življenje. Priroda i nauka nisu više suprotstavljene nego sada uče jedna od druge i dopunjavaju se. Priroda nema više samo ukrasni značaj, ona je učinjena primjenljivom kao citat autentičnosti i istinitosti. "*Wellness*" ugodni prostor prerastao je nivo prostorije za održavanje higijene. Sto će biti mad je to mjesto za opuštanja, a uskoro će imati meditativni karakter, mjesto za duhovni odmor od "ubranog svijeta". Poznati primjer sanitarne estetike seli se u druge prostore. Stilizovana jednostavnost u kombinaciji sa odabranim, prirodnim materijalima, rezultira elementima novog purizma - što čovjekovom duhu daje daleko više prostora. Stvara se neka vrsta ostrva vječnosti, odvojenog od ubrane i nervozne svakodnevnice. *Prostor emocija i boja* u kojoj čovjek otkriva rekreativne vrijednosti svjetla i boje prije svega u spavaćoj sobi. Osvjetljenje i vedrina, po ličnoj mjeri, predstavljaju vrstu autoterapije. Refleksije (odbljesci) omogućavaju vizuelni nestanak oblika i prostora i koncentraciju na samog sebe. Regeneracija je predstavljena povlačenjem u samoću, kao način solidarnosti sa ostatkom svijeta. (vidi slike 32 i 33)

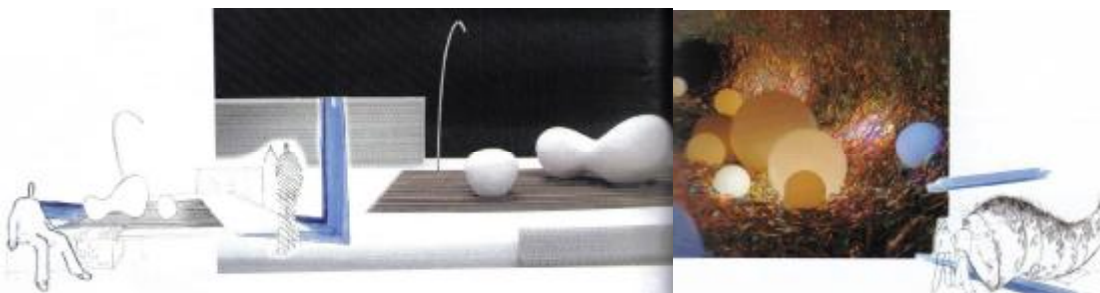
Projekt *idealne kuće* ima za cilj da podstakne diskusije i razmišljanje o temi kako ćemo sutra stanovati, koje bi potrebe trebalo da ispuni životni prostor. *Idealne kuće* ne predstavljaju normalne stanove, one provociraju diskusiju i predstavljaju vizije stanovanja, stilizovane kuće, moguću sliku stanovanja budućnosti. (vidi slike 34-36).

Koncepti *idealnih kuća* bave se i istraživanjima kako će izgledati enterijer životnog prostora, i kako bi mogao da bude organizovan i koncipiran život porodice u budućnosti. Vizije enterijera i specifičnih funkcionalnih zona u okviru stanovanja pružaju mogućnost drugačijeg opremanja životnog prostora.

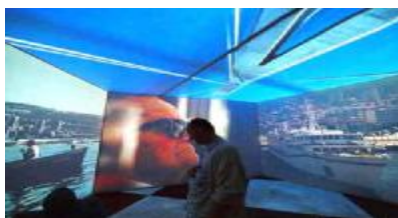
Na sreću razvoj dva paralelna sistema istraživanja stanovanja, na presjecištu stvarnih potreba i ekonomske opravdanosti rezultirali su optimalnim rješenjem, korišćenjem sinergetskih efekta dva pomenuta sistema, stvorena je *savremena pasivna kuća*, po mjeri trenutnog razvoja društva, a pobjedio je razum i progres.



Sl. 32.



Sl. 33.



Sl. 34.



Sl. 35.



Sl. 36.

4 VREDNOVANJE PROŠLOSTI I SADAŠNOSTI

Urbanisti istraživane teritorije još se vode Korbizjeovim "trima radostima urbanizma..." "sunce, prostor, zelenilo," a zaboravljaju konvencionalno: ulicu, bašću, poluprivatni prostor. Vrijeme je da se zapitamo kakva naselja gradimo danas i zašto? Vodimo li računa o mjeri naselja koja gradimo? Poštujemo li pravo građana na sunce, vidik..., intimu? Što je sa ustavnim i običajnim pravom? Uočavamo li i pravilno koristimo vrijednosti prirodnog i kulturnog nasleđa? Kakva je perspektiva naselja koja trenutno gradimo? Uvažavamo li bioklimatske principe u njima? Vodimo li računa o ograničenjima i opasnostima od prirodnih katastrofa? Pratimo li i vrednujemo kvalitet javnog prostora? Štitimo li javni interes za dobrobit i prosperitet društva? Da li je investitorski urbanizam stvarnost u BiH?

Rad nudi progres, jer omogućuje ljudima da se upoznaju sa stanovanjem koje nudi humaniji i inteligentniji život na istraživanoj teritoriji. Analizirajući prošlost, utvrđene su vrijednosti nasleđa i sadržajno sagledane posljedice moderne arhitekture. Namjera je: izbjeći greške iz prošlosti i postaviti nov - ispravniji koncept. Kritički osvrt na arhitekturu moderne, sa današnje distance, sigurno je lakši dio posla. Stručna javnost (ili bar nesumljiva većina) slaže se s riječima Čarlsa Dženksa: "...Moderna arhitektura umrla je u Sen Luisu, u

Misuriju, 15. jula 1972. u 15,32 h (ili tu negde), kada su ozoglašene zgrade Pruitt Igoa doživjele konačan pad pod udarom dinamita." (6) Svjesni činjenice da je Pruitt-Igoova građevina projektovana (1951.) u skladu sa najprogresivnijim idealima CIAM-a (the Congress of International Modern Architects), čak i dobila nagradu Američkog instituta arhitekata, postavlja se opravdano pitanje: Zašto? "Zato što su na njoj dosledno primjenjeni najznačajniji postulati modernog gradskog planiranja... ...štaviše, njen puristički stil, njena čista, lekovita bolnička metafora, trebalo je da usadi u svoje stanovnike saobrazne vrline..., ...ukazuje na nedostatak urbanog planiranja ...pogrešno osmišljene izgradnje socijalnih stanova." (7)

Postmodernizam je započeo ovim činom, a okončan je terorističkim napadom na Kule bliznakinje, kao izvještačene simbole moći kasnog kapitalizma. Uvedeni smo u društvo rizika sa široko rasprostranjenom nesigurnosti.

Ne smijemo zaboraviti da su neuspjesi, greške i posljedice moderne, puno podmuklije i opasnije prirode od izloženih u prethodnih nekoliko redova. Problem je što su kod ljudi stvorene sumnje u stručnjake i političare. Svakodnevna opasnost i nepredvidivost politika i procesa klimatskih promjena, širenje virusa i epidemije tuber-



Sl. 37-39: Minoru Jamasaki, Stambeni blokovi Pruitt Igoa, Sent Luis, tri faze savršen projekt rušenja pogrešno osmišljenih socijalnih stanova, šest četrnaestokatnica unutar urbane strukture.



Sl. 40-44: Minoru Jamasaki, Kule bliznakinje trgovačkog centra u Njujorku, zabilježen teroristički akt i svjetlosne aluzije na njih

kuloze koja je postaje rezidentna na pencilin, uz kontinuiranu pojavu novih neizlječivih bolesti i sl. umanjuju povjerenje u naučnike i njihova otkrića.

Sve to je uticalo na potrebu da Svijet reaguje zajednički i hitno na klimatske promjene, ako želi osigurati budućnost svojim potomcima. Izgradnja naselja na bioklimatskim principima predstavlja moguće rješenje. (8) Čarl Dženks se ne slaže da je čovjek mjerilo svih stvari i konstatuje " ...univerzum je mjera svih stvari, a njegovi izuzetni zakoni i različite harmonije su krajnje referense svakog nivoa organizacije. Poenta je otkriti mere i način organizacije kosmičke hijerarhije i povezati ih sa svim formama samoorganizacije, sa prirodom." (9) Nova arhitektura danas, šalje složene poruke, osporava stanje status quo. Neminovno je pitanje: *Kako riješiti krizu, odmjeriti značaj prošlosti, uočiti probleme sadašnjosti i vizionaski kreirati koncept za budućnost, realno sagledati prirodne potencijale i savremene tehnologije, pametno i svrsishodno ih upotrijebiti?*

Privatni kapital pokazao se kao stimulator razvoja društva, kroz istoriju, ali on mora biti javno, neovisno i profesionalno kontrolisan, u suprotnom postoji realna opasnost zloupotrebe i ugrožavanja javnog interesa. Mnogo je pitanja bez odgovora, a rješenje je jednostavno: *Ne možemo i ne smijemo više ignorisati konflikt prirodne i izgrađene sredine na teritoriji Srpske i BiH. Naselja, kao tvorevine ljudskih ruku, moramo učiniti humanijim, sretnijim i pristupačnijim njenim korisnicima. Neizvjesni su "mostovi koje trebamo preći," ali moramo trasirati nove puteve i ponuditi rješenja. Cilj je izbjeći "propuste na teritoriji i u prostoru" te ponuditi jasan "vidik" u složenoj slagalici projekcije života.*

Još od vremena kada je vještačka klimatizacija bila rijetka i skupa, poznate su tradicionalne tehnike gradnje, koje su bile u skladu sa bioklimatskim principima, u većini zemalja Evrope. Postoji mogućnost značajnih

ušteda pažljivim planiranjem i projektovanjem zgrada, čime se čuva značajan procenat troškova grijanja i klimatiziranja. Ljudi su se godinama vezuju za prirodu, oslušuju njen ritam, snagu, prate prirodne pojave i procese. Uočeni konflikt rezultirao je obnovom mostova i pokidanih veza. Postavlja se pitanje: Da li smijemo napraviti veliki skok? Možemo li ispitati kako graditeljstvo utiče na klimatske promjene? Na koji nači i do koje mjere unijeti arhitekturu u prirodu? Kako iskoristiti njenje dobre strane? Kuda nas vodi tehnološki napredak koji zanemaruje i ignoriše prirodu? Očigledno je da nema jednoznačnih odgovora. Moramo dosta učiti, te upoznati prirodne pojave i procese, da bismo iskoristili sinergetske efekte tih pojava, vodeći se temeljnim principom očuvanja prirode za buduća pokoljenja. Održivo naselje i zdrav život postju imperativ.

5 ODRŽIVO - ZDRAVO NASELJE SUTRAŠNJICE

Energetska, ekološka i ekonomska kriza uslovile su zajedničke aktivnosti na globalnom i lokalnom nivou. EU je ponudila moguće rješenje, *koncept teritorijalno prihvatljivog razvoja, četvrti - kulturni nivo održivosti, sa primijenom u svim oblastima ljudskog djelovanja.* (3) Vodeću ulogu u rješavanju uočenih problema graditeljstva imaju arhitekti, koji zajedno sa ostalim stručnjacima učestvuju u procesu stvaranja ljudskih naselja.

Održivo naselje zahtijeva: razumijevanje ljudi, mjesta, prirodnih procesa, uticaja na čovjekovu sredinu, vezu sa prirodom i saradnju kroz kreativan proces dizajna. Građenje u skladu sa bioklimatskim principima zahtijeva razumjevanje: međuzavisnosti građevine i prirode, uticaja izgradnje na prirodu, procjenu šta je održivo, a šta nije uz jasan stav o tome kako graditeljstvo može sarađivati s prirodom. Arhitektonska kritika, misao i vizija iznesene u radu istovremeno *sagledava*

iskustva iz prošlosti i sadašnjosti, te proicira buduća arhitektonska kretanja, na teritoriji gdje se mijenja ideja "životnog prostora." Izneseni modalitet utiče na formiranje javnog mišljenja i podizanje društvene svijesti, naglašavajući važnost arhitektonskog djela u oblikovanju

prostora. Veza prirodnog i vještačkog, urbane sredine i prirode, stanovanja, rada i slobodnog vremena, čovjeka i prirode dobijaju sve više na značaju. Imperativ postaje usklađivanje mjesta življenja s klimom i kulturom podneblja.

Примјер 1

Stambeno naselje Retelhajm Erlangen, Njemačka Batel Institut, Keln

Стамбено насеље је пројектовано у складу с биоклиматским принципима и кориштењу соларних колектора.

У насељу нема аутомобила, са великом концентрацијом бицикла.

Потрошња топлотне енергије мјерена на три објекта у низу, чија је оса била у правцу сјевер – југ, износила је 175,54 MWx. Соларни добици од септембра до априла износили су 16 MWx. Соларни добици у истим мјесецима при претежно јужној оријентацији (оса објекта исток – запад) износили су 38MWx.

Промјеном оријентације главне фасаде постиже се уштеда топлотне енергије од око 15%.



Примјер 2

"Solarno selo" u blizini Denvera, SAD 2005. godina

Соларно село лоцирано је у близини Денвера, састоји се од око 20 станова апартмана и студија за рекреацију.

Проглашено је за најбољи пројекат у соларној архитектури у 2006. години. Користе се обновљиви извори енергије.

Удобно гријање потпомогнуто соларним смањује потрошњу енергије и до 50%, а тиме и трошкове корисника.

Засађено је и многобројно зеленило, дрвеће и ниско растиње. Село је

замишљено као пројекат од материјала који не загађују оклину.

Усклађено је са постојећим локалним

биоклиматским условима. Осмишљено је

да пружи корисницима могућност за активан

начин живота, бављење спортом, вожњу бицикла.



Savremena arhitektonska misao stimuliše bioklimatske principe koji se ugledaju na vjekovne uzore i savremena naučna dostignuća, da bi uskladili život čovjeka i prirode, te otvorili nove energetske i samoodržive mogućnosti u planiranju i projektovanju. *Građenje u skladu sa prirodom bez narušavanja njene ravnoteže je strateški cilj savremenog pristupa.* Korištenjem obnovljivih izvora energije, sunca, vjetra, vode, zemlje su stvarnost, potreba i imperativ. Bioklimatski principi značajno utiču na razne oblasti ljudskih aktivnosti, kao što su očuvanje prirodnih resursa, ambijentalne vrijednosti, optimizaciju vanjskog i unutrašnjeg okvira zgrade. Time se prirodni i stvoreni uslovi i kapacitet određenog podneblja stimulišu i pravilno afirmišu.

Dovoljno je ukazati na nekoliko uspješnih primjera realizovane bioklimatske arhitekture da se shvati njena prednost i značaj u savremenom graditeljstvu.

Skroman broj prikazanih principa bioklimatske arhitekture izložen u radu, sa istaknutim prednostima, uz afirmaciju građenja *savremene pasivne kuće* omogućuje nam da jasno trasiramo put u budućnost i u komplekso-

vanoj tržišnoj utakmici izaberemo ispravan put. Ne smijemo zanemariti činjenicu da primjena bioklimatskih principa u najvećoj mjeri zavisi od vlasnika - korisnika, koje bismo morali upoznati sa tim pravilima, ali i sa mnogim drugim prednostima po pitanju ekonomičnosti i komfora. Investitor treba da bude motivisan za dodatna ulaganja u ovu svrhu, na čemu moraju participirati država - entitet - grad - opština, tj. stvoriti uslove i fondove za ove namjene.

U ovom trenutku smatramo izuzetno važnim bioklimatsko planiranje približiti očima javnosti, svim građanima, kroz različite medije, publikacije i javne rasprave. Vjerujemo da postoji interes stručne javnosti za aktivnu primjenu energetske i bioklimatske pravila u svim procesima graditeljstva. Gradeći u skladu s klimom i kulturom, dajemo akcent humanoj dimenziji graditeljstva, podsjećajući graditelje na iskonsku vezu čovjeka i prirode. *To je skroman doprinos naše škole graditeljstva, koji koristiti uočene prednosti, štedi novac i prirodne resurse, nudi povišen komfor uz očuvanje prirode!*

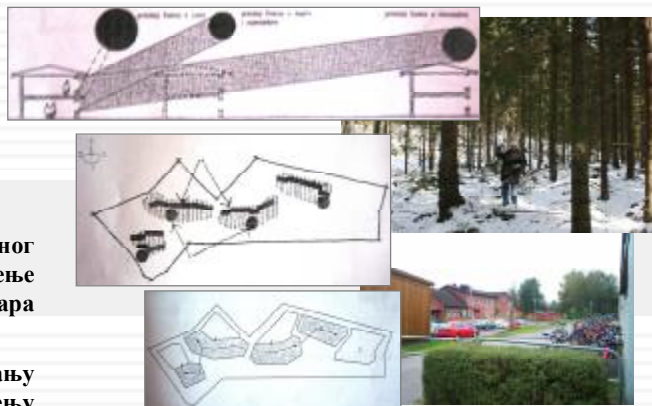
Примјер 3

Stambeno naselje: Krakhult,
Boras, Švedska

Циљ истраживачко експерименталног пројекта насеља Кракхулт био је увођење биоклиматских и енергетских параметара у урбанистичко планирање.

Посебна пажња посвећена је прилагођавању локалној клими, оријентацији, смањењу засјенчења, заштити од вјетра, скраћењу инсталационих путева.

Предвиђен је прелазак са конвенционалних извора енергије на неконвенционалне путем сукцесивног проширивања система инсталационих канала и омогућено је прикључивање у каснијим фазама развоја. Насеље се грије из привремене топлане, конструисане тако да се у случају потребе може проширити. Капацитет топлане омогућава складиштење алтернативних извора енергије. Предвиђене су мреже објеката које су прикључене на мрежу соларног гријања.



Прије почетка израде плана детаљно је испитана локална клима. ОСНОВНИ КОНЦЕПТ приликом планирања био је побољшање услова становања једноставним и економски оправданим мјерама.

Већина кућа у овом насељу налази се на јужној, благо пошумљеној падини.

Посебна пажња посвећена је оријентацији објеката према Сунцу и примијени принципа пасивних и активних система гријања. Да би систем соларног гријања функционисао, обезбијеђена је оптимална изложеност колектора директном Сунчевом зрачењу.

Сјеверни дио обухвата пошумљену благу падину. План вегетације је пажљиво проучен.

EFH Proyer
4400 Steyer | 2000



Planung

Proyer & Proyer Architekten, Steyr
www.proyer.com

Kennwerte

HWB_{PHPP}: 15,0 kWh/m²a
Heizlast: 18,8 W/m²
n₅₀: 0,45 1/h

Mischbau

dimasabio 950 k/a Pkt



WHA Kammelweg Bauplatz E
1210 Wien | 2007



Planung

Johannes Kaufmann Architektur,
Dornbirn

Bauträger

Schertler-Alge GmbH, Lauterbach

Kennwerte

HWB_{PHPP}: 11,0 kWh/m²a
Heizlast: 8,6 W/m²
n₅₀: 0,5 1/h

Mischbau



Wohn- und Bürohaus Gabriel
9220 Velden | 2006



Planung

Architekturbüro ARCH+MORE
www.arch-more.com

Kennwerte

HWB_{PHPP}: 14,0 kWh/m²a
Heizlast: 14,4 W/m²
n₅₀: 0,39 1/h

Mischbau



1. Passivhaus Produktionshalle
4690 Schwanenstadt | 2005



Planung

F2 Architekten, Schwanenstadt
www.f2-architekten.at

Bauherr

Obermayr Holzkonstruktionen

Kennwerte

HWB_{Energy-10}: 8,0 kWh/m²a
n₅₀: 0,12 1/h

Holzbau



EFH Schwarz
4643 Pettenbach | 2005
1. Sanierung auf Passivhaus in A



Projektierung

LANG consulting, Wien
www.passivehouse.at

Kennwerte

HWB_{PHPP}: 280,0 kWh/m²a
HWB_{PHPP}: 14,7 kWh/m²a (PHPP)
Heizlast: 10,0 W/m²
n₅₀: 0,5 1/h

Mischbau

dimasabio 970 k/a Pkt



Primjer uspješnih pasivnih kuća ali i značajnih ušteda rekonstrukcijom (i do dvadeset puta, vidi slike gore)

Sagledavajući izloženo očito je da pasivna gradnja preuzima primat u EU, jer je ekološki prihvatljiva i ekonomski održiva. U EU postoje fondovi koji stimuliraju ovaj tip gradnje. Jasno je da i mi moramo stvoriti zakonske preduslove za podsticaj i promociju ekološki održive gradnje u RS i BiH, ako želimo stimulisati progres.¹

¹ Pasivna zgrada je u stvari efikasna i praktična primjena Kjoto protokola. Ministarstvo privrede i energetike u Vladi RS, treba u skladu sa evropskim praksama stvoriti zakonski okvir i formirati fond za stimulaciju ovog tipa gradnje, jer koristi energiju sunca, smanjuje potrošnju konvencionalne energije deset puta i značajno umanjuje emisiju CO₂ u atmosferu.

Stav autorâ

Koristeći sopstveno iskustvo² sagledavajući urbani kontekst, ulogu klijenta, istorije, ekonomije, primjenu tehnologije, komputera..., baveći se procjenom razvoja, u obrazovni proces savremenog graditelja smatram da moramo ugraditi nove - pozitivne vrijednosti. *Uvjereni smo da još nema jednostavnih odgovora i jasnih pravila. Sugerisemo oprez, male korake, krenuti treba od dobronamjernih izuma.* Saopštavajući lični stav

² Slažemo se sa porukom Oskar Vajlda da „...iskustvo je naziv koji mi dajemo našim greškama,“ u stvari sopstvenim stavom dajem jasan signal i stimulans stručnjacima i naučnicima da stečeno iskustvo prenesu javnosti, kako bismo izbjegli buduće greške i preventivno djelovali u prostoru.

sugerišemo potrebu objektivnog i sadržajnog vrednovanja arhitektonska djela u prirodnom i izgrađenom prostoru, kao značajan uslov zaštite od brojnih promajša iz prošlosti. Naša je profesionalna obaveza da unapređujemo razvoj naselja, a posebno stanovanja, bez ugrožavanja život građana u njima. Svu pažnju treba usmjeriti u kreiranju humanijeg okruženja i očuvanju zdravih uslova za život budućim pokoljenjima.

Da li je ovo početak nove paradigme u arhitekturi, koja nudi interesantnije, optimističko shvatanje građenja u harmoniji s prirodom? Omogućujemo li humaniji, zdraviji i perspektivniji život čovjeka u budućnosti? Dio su pitanja na koje rad pokušava da odgovori. Svjestan da arhitektura bez javnog sadržaja i duhovne usmjerenosti gubi svoj put, ne smijemo dozvoliti da nam trenutno poljuljne vrijednosti u društvu, u vidu raskoši, rasipništva i pohlepe zasjene oko, zbune um i proces progresa odvedu u pogrešnom smjeru. Uočena potreba za kvalitetnijim životom, zahtijeva od savremenog graditelja danas, da pažljivo i studiozno prođe složen i dugoročan proces kreacije sa interdisciplinarnim timom stručnjaka, uz aktivnu podršku aktuene vlasti. Zadatak plana je zaštita javnog interesa - građana. Na partnerskim principima treba postići kulturno prihvatljiv razvoj teritorije "za sva vremena." Cilj uključuje objedinjavanje ekonomske, ekološke i sociološke komponente u prostoru, kao civilizacijski, četvrti kulturni nivo održivosti. Procesom malih koraka, jasnih akcionih i finansijskih planova, ciljano i hronološki moramo osigurati realizuju postavljene prioritete, međusobno usklađenim straregijama razvoja u prostoru. Time osiguravamo progres na istraživanoj teritoriji, kratkoročno, srednjoročno i dugoročno. Praćenje realizacije strategija (monitoring) uslov je uspješnosti i garancija uspjeha. Činjenica je da arhitekti, danas, žele po svaku cijenu promijeniti kulturne kodove i načine ponašanja, ali često zaboravljaju bitno, da je zdrav život čovjeka imperativ, a da jezik arhitektonskog komponovanja mora biti u skladu s klimom i kulturom podneblja.

Dolazimo do neizbježnog pitanja: *Da li je moguće progres ako cijene planiranja i projektovanja u Srpskoj i BiH vrtoglavo padaju. Profesionalne institucije nemaju prostor za istraživanja, edukaciju u oblasti graditeljstva. Nezainteresovanost tržišta i odsustvo javnog kritičnog diskursa utiču na gubitak autentičnosti i prepoznatljivosti arhitektonskog stvaralaštva istraživane teritorije, što rezultira upitnim kvalitetom graditeljstva, koje je trenutno u ekspanziji. Strukovno uvezivanje i zaštita profesije graditelja predstavljaju imperativ.*

Realno osvježeno nudi obrazovanje studenata Univerziteta u Banjoj Luci na Arhitektonsko-građevinskom fakultetu. *Studenti su pozitivno reagovali i iskazali interes za savremene tokove u društvu, svjesni odgovornosti za prirodu, čovjeka i javni prostor, izučavaju i ističu vrijednosti bioklimatske arhitekture. (10) Bioklimatski principi koji su testirani u nastavnom procesu žele se implementirati u praksi, s ciljem unapređenja stanja. Diplomski radovi, projekti i seminarski radova studenata ispoljavaju osobenost, kritički osvrt, daju novu snagu da istrajemo u procesu reforme obrazovnog procesa. Bioklimatska arhitektura je način projektovanja građevina i upravljanja izgrađenom cjelinom u saradnji sa prirodnim silama i potencijalima. Zasniva se na klimi kao glavnom generatoru okruženja.*

6 PREPORUKE I SMIJERNICE

„Smatram da se posao arhitekta ne sastoji u tome da pokaže kako zna projektovati prelijepu građevinu, već da inteligentno odgovori na postavljeni problem.“ (An Lakator)³

Republika Srpska ima interes da očuva i unaprijede prirodu na svojoj teritoriji, ali i osigura zdrave uslove za život svojim građanima. Bio bi to i značajan faktor poboljšanja ekonomskog bilansa, uz prihvatanje progresivnih ideja. U radu je uočena potreba za većom saradnjom na relaciji arhitekta-investor-izvođač-korisnik-aktuelna vlast, da bismo stanovanje sutrašnjice i pasivni standard približili stručnoj javnosti i svim građanima.

Završna riječ

Sa stanovišta društvenih interesa, racionalno korištenje energije je značajan faktor poboljšanja ekonomskog bilansa zemlje, uz uštede resursa, primjenu prirodnih i zdravih materijala, a s ciljem očuvanja čovjekove sredine (11). Upotreba bioklimatskih parametara omogućuje bitne prednosti za investitora - korisnika. Povoljni ambijentalni uslovi i ekonomski efekti racionalnog korištenja energije, su potreba i imperativ, u svim fazama od planiranja, izgradnje, eksploatacije, do uklanjanja građevine. Složenost problematike energetski racionalnog projekta zahtijeva angažovanje multidisciplinarnog tima i partnerski odnos. Realizacija bioklimatske arhitekture može se ostvariti dopunskim obrazovanjem arhitekata u interdisciplinarnom procesu planiranja i projektovanja. Smatramo uspjehom ...ako smo ovim radom, bioklimatsko planiranje i pasivni standard, bar malo približili očima javnost, kao i stimulisali medije, da publikuju, organizuju javne rasprave... o ovoj temi. Očekujemo povećan interes građana za primjenu energetskih i bioklimatskih pravila u planiranju i projektovanju... jer su im približene mnoge prednosti, objašnjene uštede novca, osiguran povećan komfor i očuvana čovjekova sredina!

Poruka je jasna: Živite opušteno i zdravo, u skladu s kapacitetom prirode, ali to omogućite i budućim generacijama. Budite kreativni i inspirativni graditelji, koristeći iskustva i mogućnosti prirode vodeći uvijek računa o njenom kapacitetu.

³ Anne Lacaton, Oris, br. 24, 2003.

7 LITERATURA (prema rednim oznakama u tekstu)

- [1] Mila Pucar, *Bioklimatska arhitektura – zastakljeni prostori pasivni solarni sistemi*, Institut za arhitekturu i urbanizam Srbije, Beograd, 2006. i Milenko Stanković, edicija - Iskustvo graditelja, knjiga *Harmonija i konflikti u prostoru*, Arhitektonsko-građevinski fakultet, štampa GrafoMark-Laktaši, ISBN 978-99938-616-7-6, BanjaLuka, 2007. (str. 1-302.)
- [2] Milenko Stanković, "Pasivna" i pametna" zgrada nova paradigma u arhitekturi BiH, *normativ EU*, Magazin za arhitekturu, gradnju i dizajn – AGD profi, Broj 32, Sarajevo 2008, (str. 32-40)
- [3] Milenko Stanković: "Prostorno-teritorijalno održiv razvoj i LEAP," Izdavač Književna zadruga Republike Srpske, štampa GrafoMark-Laktaši, Banja Luka 2004, ISBN 99938-33-19-3, (str. 1-164)
- [4] Biblioteka Arhitektonsko-građevinskog fakulteta, Sanja Trivić i Ana Špirić, Diplomski rad na temu: *Utvrdjivanje stepena kulture korisnika od nivoa kvaliteta stanovanja u centru Banjaluke*, Banja Luka 2008
- [5] Milenko Stanković, "Pasivna" zgrada – imperativ i velika šansa, XXIV Kongres, Zbornik sa „Simpozijuma o istraživanjima i primeni savremenih dostignuća u našem građevinarstvu u oblasti materijala i konstrukcija," Društvo za ispitivanje i istraživanje materijala i konstrukcija Srbije (DIMK), 15-17. oktobar 2008, (str. 405-414)
- [6] Čarls Dženks, *Nova paradigma u arhitekturi*, Orion-Art, 2007. (str. 9.)
- [7] Čarls Dženks, *Nova paradigma u arhitekturi*, Orion-Art, 2007. (str. 9. i dalje)
- [8] Mila Puca, Milan Pajević, Milica Jovanović-Popović *Bioklimatsko planiranje i projektovanje - Urbanistički parametri*, IP "ZAVET," Beograd, 1994. i Milenko Stanković, "Bioklimatska arhitektura – potreba - nova paradigma u Srpskoj i BiH" Zbornik sa naučno-stručnog skupa sa međunarodnim učešćem, na temu, "Savremene tehnologije za održivi razvoj gradova," Institut zaštite, ekologije i informatike Banjaluka, 14-15. novembar 2008, (str. 41-50)
- [9] Čarls Dženks, *Nova paradigma u arhitekturi*, Orion art, Beograd 2007, str. 264.
- [10] Vidi više, Biblioteka Arhitektonsko-građevinskog fakulteta, Seminarski i Diplomski radovi iz oblasti bioklimatske arhitekture, Banja Luka, 2006-08.
- [11] Tatjana Najdhart, *Drvo – ekološki prihvatljiv materijal čovjekove sredine, sa akcentom na stambenu arhitekturu*, Doktorska disertacija, Arhitektonsko-građevinski fakultet, Banja Luka, 2007.
- [12] Primjeri korišteni u radu preuzeti su iz seminarskih radova studenta: Dragane Hrkić i Tijane Glamočić, predmet: Stambene zgrade, 2007.

REZIME

STANOVANJE SUTRAŠNJICE – PASIVNI STANDARD

Milenko STANKOVIĆ
Srđan STANKOVIĆ

*„Samo puna interakcija graditeljskog djela – ambijenta – prirode – čovjeka, može osigurati kvalitet života dostojan ljudskog bića.“
(rajvosa.net/lib/sv043.htm)*

Provedena analiza nudi, za ove prostore, nove vrijednosti i načine ponašanja, u vidu mogućeg modela humanijeg života - stanovanja. Koncept rada baziran je na vrednovanju prošlosti i sadašnjosti, kako bismo zadovoljili potrebe, prohtjeve i navike savremenog čovjeka, ali i aktivirali neiskorištene potencijale prirode. (1) Ispunjavajući profesionalnu obavezu, koncipiramo prostor koji stimuliše i inspiriše, a graditeljske aktivnosti usklađujemo s kapacitetom prirode. Namjera je ojačati vezu čovjek - priroda, korišćenjem obnovljivih izvora energije i zdravih tehnologija, da bismo ciljano čuvali prirodu. Rad afirmiše bioklimatsku arhitekturu i ukazuje na potrebu usvajanja novih graditeljskih pravila - pasivnog standarda. (2) Postignut rezultat jesu zdravi uslovi za život čovjeka i činjenica da su graditeljstvo, kultura i priroda postali nerazmrsivo povezani na brojne i neočekivane načine.

Ključne riječi: stanovanje, pasivna kuća, potreba, standard, vizija

SUMMARY

HOUSING OF TOMORROW – PASSIVE STANDARD

Milenko STANKOVIĆ
Srđan STANKOVIĆ

‘Only a full interaction between the structure built – the setting – nature – man can ensure the quality of life worthy of human beings.’ (rajvosa.net/lib/sv043.htm)

The conducted analysis offers new values and rules of conduct for these areas, as a possible and acceptable model of more humane living. The concept of this project is based on housing values of the past and present, in order that the needs, requirements and habits of contemporary man are dealt with by activating nature's unused potentials. (1) We fulfil our architectural professional obligation by creating space which stimulates and inspires, while at the same time making sure that our construction is harmony with nature's capacities. By reinforcing the connection between man and nature, we promote environmental protection; stimulate the use of healthy technology and renewable energy resources, aiming to protect nature. This paper affirms bioclimatic architecture and points to the need incorporating new building regulations - The Passive Standard. (2) The Achieved result are healthier living conditions which demonstrate that construction, culture and nature have become inextricably connected in numerous and surprising ways.

Key words: housing, passive haus, need, standard, vision

ISPITIVANJE SVOJSTAVA I PRIMERI PRIMENE KARBONSKIH TRAKA ZA OJAČANJE BETONSKIH KONSTRUKCIJA

Mihailo MURAVLJOV
Dragica JEVTIĆ
Dimitrije ZAKIĆ
Aleksandar SAVIĆ
Dragan GAVRILOVIĆ

STRUČNI RAD
UDK: 691.87:661.666

1 UVOD

Savremeno građevinarstvo se, na početku 21. veka, suočava sa sve većim izazovima - od kojih među najznačajnije svakako spadaju problemi vezani za sanaciju, rehabilitaciju i ojačanje postojećih konstrukcija. Navedeni pojmovi usko su povezani sa problemima propadanja i degradacije savremenih materijala i konstrukcija - usled starenja, korozije i/ili različitih oštećenja tokom eksploatacije (na pr. zemljotres, požar, udarna opterećenja i sl.), što u prvi plan brojnih istraživanja stavlja pitanja trajnosti, sigurnosti i zaštite građevinskih objekata. Konvencionalni materijali, kao što su beton, čelik ili drvo, imaju svakako brojne prednosti i dugu tradiciju uspešne primene, ali se istovremeno suočavaju sa sve većim problemima vezanim za ubranu koroziju i propadanje (naročito u agresivnim sredinama), što sve povećava potrebu za iznalaženjem novih, naprednijih rešenja koja zadovoljavaju sve zahtevnije kriterijume trajnosti. Ovi savremeni materijali i tehnologije treba da, s jedne strane, povećaju eksploatacioni vek i pouzdanost novih građevinskih objekata, ali takođe, s druge strane, i da doprinesu efikasnijem, trajnijem i ekonomičnijem rešavanju sve brojnijih problema vezanih za sanaciju, rehabilitaciju i ojačanja već postojećih konstrukcija.

Adresa autora:
Prof. dr Mihailo Muravljev, dipl.inž.građ.
Građevinski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73,
11000 Beograd
Prof. dr Dragica Jevtić, dipl.inž.tehn.
Građevinski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73,
11000 Beograd
Asist. mr Dimitrije Zakić, dipl.inž.građ.
Građevinski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73,
11000 Beograd
Asist.prip. Aleksandar Savić, dipl.inž.građ.
Građevinski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73,
11000 Beograd
Dragan Gavrilović, dipl.inž.građ., tehnički direktor
Sika d.o.o., Cara Dušana 207a, 11080 Zemun

Kao jedno od sve češće primenjivanih rešenja u ovoj oblasti nameću se takozvani CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) kompoziti - koji se sastoje od krutih karbonskih vlakana visoke čvrstoće (kao mikroarmature), povezanih izuzetno čvrstom, hemijskim otpornom i trajnom sintetičkom smolom (kao matricom). To su gotovi fabrički proizvodi koji se najčešće javljaju u obliku traka, odnosno tkanina, proizvedenih na bazi vlakana prečnika 0,01-0,10 mm. Predmetni proizvodi se isporučuju u različitim debljinama i širinama, a mogu da imaju praktično neograničenu dužinu (u rolnama). Kod traka (laminata), kod kojih su vlakna međusobno spleljena, debljine (t_t) se obično kreću do 3 mm, a širine (b_t) do 200 mm, dok su u slučaju tkanina njihove debljine manje od 1 mm, a širine najčešće 50-1000 mm. Pri tome, tkanine se, osim prema dimenzijama, često deklarišu i prema površinskoj masi - koja uglavnom ide do 800 g/m² [1]. U okviru traka, vlakna su uglavnom orijentisana podužno-jednoaksijalno, dok kod tkanina njihova orijentacija može da bude jednoaksijalna ili biaksijalna.

Osnovni razlozi za sve širu primenu CFRP kompozita leže u činjenici da se radi o materijalima sa niskom masom i veoma visokim mehaničkim karakteristikama, koji su jednostavni za upotrebu i ne zahtevaju antikorozijsku zaštitu. Ovakvi materijali, u poređenju sa klasičnim građevinskim niskolegiranim čelikom, imaju 4-6 puta nižu zapreminsku masu (1200-1900 kg/m³) i čak do 10 puta veću čvrstoću pri zatezanju (i preko 3000 MPa). Naravno, kod inženjerskih primena treba imati u vidu da modul elastičnosti u slučaju CFRP može biti približno isti kao kod čelika (ili nešto veći), ali za neke tipove proizvoda ovo svojstvo može imati čak i do 10 puta niže vrednosti (20-300 GPa). Što se tiče izduženja pri lomu, ono je generalno od 5-10 puta manje nego kod klasičnog čelika (1-3 %) [2].

Osnovni problem kod primene karbonskih traka nalazi se u domenu zaštite konstrukcija od požara. Naime, s obzirom da se lepljenje ovih traka vrši putem epoksidnih lepkova (koji gube svoja mehanička svojstva već pri temperaturama od 150-160°C), jasno je da je

karbonske trake neophodno zaštititi materijalima otpornim na visoke temperature.

U našem građevinarstvu, takođe je prisutna sve češća primena različitih sistema karbonskih traka ili tkanina, za ojačanje pre svega betonskih, ali i drugih tipova konstrukcija (na primer zidanih ili drvenih). Ovo svakako podrazumeva i povećanu potrebu za eksperimentalnim ispitivanjima svojstava i kvaliteta predmetnih materijala i sistema, ali i proveru kompatibilnosti takvih rešenja sa postojećim (osnovnim) materijalima koje treba sanirati ili ojačati.

2 SPROVEDENA ISPITIVANJA

2.1 PROGRAM ISPITIVANJA

Ispitivanja o kojima je reč u okviru ovoga rada, obavljena su u Laboratoriji za materijale Instituta za materijale i konstrukcije Građevinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu, u cilju određivanja bitnih fizičko-mehaničkih svojstava karbonskih traka-laminata pod nazivom Sika CarboDur Plates, traka-pleteneh tkanina pod nazivom SikaWrap i odgovarajućih epoksidnih lepкова tipa Sikadur koji se koriste za lepljenje i/ili impregnaciju predmetnih traka. Svi navedeni materijali predstavljaju standardne komponente sistema za ojačanje/sanaciju konstrukcija proizvođača - firme Sika (Švajcarska). Predmetna ispitivanja su bila koncipirana, između ostalog, i tako da pokažu stepen kompatibilnosti između navedenih CFRP sistema i odgovarajuće betonske podloge - kao osnovnog materijala.

Usvojeni program ispitivanja je obuhvatao sledeće aktivnosti:

- upoznavanje sa tehničkom dokumentacijom dostavljenom od strane proizvođača - firme Sika, a koja se odnosi na karbonske trake i odgovarajuće epoksidne lepкове,

- ispitivanje svojstava samih karbonskih traka (laminata i tkanina),

- ispitivanje prijanjanja (athezije) karbonskih traka za beton,

- ispitivanje svojstava epoksidnih lepкова koji se koriste za lepljenje i/ili impregnaciju karbonskih traka.

Nakon detaljnog upoznavanja sa tehničkom dokumentacijom proizvođača, odlučeno je da se za ispitivanja odaberu sledeći proizvodi:

1. Sika CarboDur Plates - trake koje predstavljaju laminirane, karbonskim vlaknima armirane polimere (CFRP), koji se koriste za ojačanje betonskih, zidanih i drvenih konstrukcija. Njihovim lepljenjem za konstrukciju putem epoksidnog lepka Sikadur-30 dobija se svojevrsna eksterna armatura.

2. SikaWrap - koja predstavlja jednosmernu pletenu tkaninu sa karbonskim vlaknima za ojačanje konstrukcija.

3. Sikadur 30 - dvokomponentni epoksidni lepak koji se koristi za lepljenje karbonskih lamela. Preporučuje se za lepljenje karbonskih traka-laminata za beton, opeku ili drvo, kao i za lepljenje čeličnih ploča za beton.

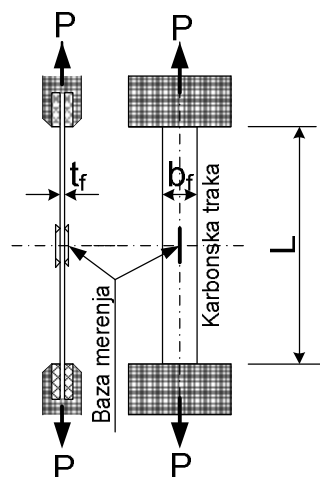
4. Sikadur 330 - dvokomponentna epoksidna smola koja se koristi za lepljenje i impregnaciju karbonskih traka-tkanina.

2.2 ISPITIVANJE KARBONSKIH TRAKA

Saglasno dogovorenom programu ispitivanja, iz široke palete CFRP proizvoda firme Sika, za ispitivanje su odabrane četiri vrste karbonskih traka - tri trake tipa traka-laminata i jedna traka tipa trake-tkanine. Reč je o trakama sa sledećim oznakama:

- trake-laminati: Carbodur S1012 ($t_f=1\text{mm}$, $b_f=12\text{cm}$)
Carbodur S1014 ($t_f=1\text{mm}$, $b_f=14\text{cm}$)
Carbodur S1214 ($t_f=1.2\text{mm}$, $b_f=14\text{cm}$)
- traka-tkanina: Sika Wrap -230C ($t_f=0.12\text{mm}$, $b_f=30\text{cm}$).

Ispitivanje je podrazumevalo utvrđivanje dve bitne karakteristike predmetnih traka - modula elastičnosti (E_f) i čvrstoće pri zatezanju (f_z) - pa je u vezi sa tim primenjena dispozicija ispitivanja koja se daje na slici 1. Deklarisane vrednosti navedenih karakteristika od strane proizvođača iznosile su: za trake ($E_f \geq 165 \text{ GPa}$, $f_z \geq 2800 \text{ MPa}$), a za tkanine ($E_f \geq 238 \text{ GPa}$, $f_z \geq 4300 \text{ MPa}$).



Slika 1. Dispozicija ispitivanja karbonskih traka

Kao što se iz priložene slike vidi, uzorci za ispitivanje su putem prethodno zalepljenih limova na krajevima traka, u klasičnoj kidalici koja se koristi pri ispitivanjima materijala na zatezanje, izlagani rastućim silama P , sve do loma - kada se ostvaruje granična sila P_{gr} . U konkretnom slučaju, a iz razloga merenja modula elastičnosti E_f , na trakama su formirane (zalepljene) i po dve baze za merenje dilatacija putem deformetra sa bazom 100mm. Na taj način je omogućeno da se pri unapred usvojenim silama P_1 i P_2 , na trakama izmere po dve dilatacije ϵ_{levo} i ϵ_{desno} , i da se na osnovu toga dobije merodavna prosečna vrednost elastične dilatacije $\Delta\epsilon_{sr}$ koja odgovara promeni napona $\Delta\sigma = \sigma_2 - \sigma_1$.

S obzirom na sve do sada rečeno, a oslanjajući se na činjenicu da su radni dijagrami tretiranih karbonskih traka praktično u celokupnim naponskim područjima pravolinijski, modul elastičnosti E_f je dobijen primenom sledećeg izraza:

$$E_f = \Delta\sigma / \Delta\epsilon_{sr} \quad (1)$$

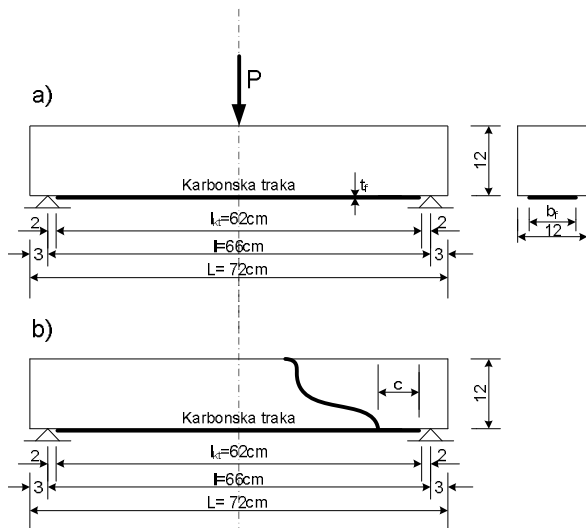
Što se, pak, tiče čvrstoće pri zatezanju, kod svih karbonskih traka primenjen je poznati obrazac:

$$f_z = P_{gr} / F_f \quad (2)$$

U tabeli 1. prikazuju se rezultati ispitivanja dobijeni saglasno napred datim objašnjenjima.

2.3 ISPITIVANJE PRIANJANJA KARBONSKIH TRAKA ZA BETON

Predmetno ispitivanje je sprovedeno primenom dispozicije ispitivanja prikazane na slici 2a.



Slika 2. Dispozicija ispitivanja prijanjanja karbonskih traka za beton (2a) i shema otkaza (lom) uzoraka (2b)

Kao što se vidi, karbonske trake koje su predmet ispitivanja (trake Carbodur S1012, Carbodur S1014, Carbodur S1214 i Sika Wrap-230C), putem odgovarajućih epoksidnih lepkova proizvođača Sika (lepak

Sikadur-30 za trake-lamine i lepak Sikadur-330 za traku-tkaninu), zalepljene su za betonske gredice preseka 12x12cm, dužine 72cm. Beton predmetnih gredica je odgovarao betonu marke MB 30. Na taj način dobijeni su uzorci tipa proste grede koji su neposredno iza osloničkih tačaka duž raspona l = 66cm imali ojačanja u vidu zalepljenih karbonskih traka. Ovako formirani uzorci izlagani su rastućim silama P u sredinama raspona, pa je registrovana granična sila P_{gr} pri kojoj dolazi do loma.

U svim ispitivanjima, lom je nastupao na način predstavljen na slici 2b; do otkaza uzoraka dolazilo je tako što je u neposrednoj zoni jednog od oslonaca prvo "preko betona" otkidan deo trake dužine "c", da bi nakon toga nastupao lom po kosoj pukotini koja se proteže od donje do gornje zone betonskog uzorka. Pri ovome, deo trake izvan zone "c" ostajao je i dalje zalepljen za betonsku površinu. Navedena formulacija "preko betona", pak, podrazumeva da je u fazi loma dolazilo do otkidanja jednog tankog površinskog sloja betona debljine 3-4mm, što znači da je u datom sistemu *beton-lepak-traka*, beton uvek bio najslabiji medijum.

S obzirom na statički sistem uzoraka i na karaktere lomova o kojima je napred bilo reči, proizilazi da je kod svih uzoraka otkaz nastupao usled dostizanja granične vrednosti napona smicanja T_{gr} na kontaktu traka-beton ostvarenom putem primenjenog lepka. Drugim rečima, u svim slučajevima o kojima je reč, za otkaz uzoraka bila je "odgovorna" transverzalna sila Q; ta sila je bila konstantna duž uzoraka i imala veličinu Q = ±0,5P_{gr}.

Imajući u vidu sve što je prethodno rečeno, može se izvesti sledeći izraz:

$$T_{gr} = 0,5P_{gr}/(0,9 \times 12 \times b_f) = P_{gr}/21,6b_f \quad (3)$$

U tabeli 2. prikazani su rezultati ispitivanja predmetnih uzoraka zasnovani na napred datim objašnjenjima i formulama.

Tabela 1. Rezultati ispitivanja na zatezanje

Uzorak br.	Tip trake F _f (cm ²)	P ₁ /σ ₁ (kN/MPa)	P ₂ /σ ₂ (kN/MPa)	ε _{levo} /ε _{desno} Δε _{sr} (‰)	E _f (GPa)	P _{gr} /f _z (kN/MPa)
1	Carbodur S1012 F _f =1,20cm ²	120 1000,0	150 1250,0	1,56/1,37 1,465	170,6	369 3075
2	Carbodur S1014 F _f =1,40cm ²	120 857,1	150 1071,4	1,36/1,20 1,280	167,4	395 2821
3	Carbodur S1214 F _f =1,68cm ²	150 892,8	200 1190,5	1,63/1,94 1,785	166,8	476 2833
4	Sika Wrap -230C F _f =0,36cm ²	-	-	-	-	109 3028

Napomena: Kod SikaWrap karbonske trake-tkanine nije bilo moguće odrediti modul E_f usled velikih deformacija istezanja, kao i krivljenja-vitoperenja uzorka prilikom ispitivanja.

Tabela 2. Rezultati ispitivanja prijanjanja (athezije) karbonskih traka za beton

Uzorak br.	Tip trake	b _f /t _f (mm/mm)	P _{gr} (kN)	T _{gr} =P _{gr} /21,6xb _f (MPa)
1	Carbodur S1012	100/1,2	42	1,94
2	Carbodur S1014	100/1,4	54	2,50
3	Carbodur S1214	120/1,4	62	2,39
4	Sika Wrap -230C	300/0,12 ¹⁾	32	1,48

Napomena: ¹⁾ U datom slučaju traka je dva puta presavijena, tako da je od jedne trake širine 300mm dobijena "trostruka" traka širine b_f = 100mm. Pri ovome je epoksidni lepak primenjen kako na kontaktu traka-beton, tako i između pojedinih slojeva presavijene osnovne trake.

2.4 ISPITIVANJE EPOKSIDNIH LEPKOVA

Kao što je već rečeno, osim karakteristika karbonskih traka izvršeno je i ispitivanje svojstava odgovarajućih epoksidnih lepkova koji se koriste za lepljenje i/ili impregnaciju predmetnih karbonskih traka i to: epoksidnog lepka pod nazivom Sikadur-30 koji se koristi za lepljenje karbonskih traka-laminata, i epoksidnog lepka pod nazivom Sikadur-330 koji se koristi za lepljenje i impregnaciju karbonskih traka-tkanina. Prema navodima proizvođača, radi se o dvokomponentnim tiksotropnim epoksidnim smolama, bez sadržaja rastvarača. Pri tome, kao značajan podatak navodi se da koeficijent linearnog termičkog širenja (α_T) kod lepka Sikadur-30 iznosi 9×10^{-5} $1/^\circ\text{C}$ (za temperaturni opseg: -10°C do $+40^\circ\text{C}$), dok ova karakteristika kod lepka Sikadur-330 iznosi 4.5×10^{-5} $1/^\circ\text{C}$ (za isti temperaturni opseg).

Rezultati ispitivanja osnovnih fizičko-mehaničkih svojstava napred navedenih vrsta lepkova, pri starosti prizmatičnih uzoraka (dimenzija $4 \times 4 \times 16$ cm) od 7 dana, dati su u okviru tabele 3.

Tabela 3. Rezultati ispitivanja lepkova za karbonske trake

Uzorak br.	Vrsta lepka	Zapreminska masa (kg/m^3)	Čvrstoća pri savijanju (MPa)	Čvrstoća pri pritisku (MPa)
1	Sikadur-30	1680	46,2	98,9 / 97,8
2	Sikadur-30	1720	50,0	99,4 / 100,6
3	Sikadur-30	1640	44,5	92,2 / 95,6
Srednja vrednost		1680	46,9	97,4
4	Sikadur-330	1288	43,0	88,8 / 85,0
5	Sikadur-330	1281	42,5	86,2 / 86,9
6	Sikadur-330	1283	40,0	88,8 / 83,1
Srednja vrednost		1284	41,8	86,5

Napomena: Spravljenje, negovanje i ispitivanje uzoraka epoksidnih lepkova vršeno je u kondicioniranim laboratorijskim uslovima, pri temperaturi vazduha od $20 \pm 2^\circ\text{C}$.

3 ZAKLJUČCI NA OSNOVU IZVRŠENIH ISPITIVANJA

Na osnovu sprovedenih ispitivanja proizilaze sledeći zaključci:

– Osnovne fizičko-mehaničke karakteristike karbonskih traka Carbodur S1012, Carbodur S1014, Carbodur S1214 - modul elastičnosti i zatezna čvrstoća - po numeričkim vrednostima u potpunosti odgovaraju predmetnim karakteristikama materijala deklarisanim od strane proizvođača. Što se tiče tkanine tipa Sika Wrap-230C, usled velikih deformacija istezanja, kao i krivljenja-vitoperenja uzorka prilikom ispitivanja nije bilo moguće odrediti modul E_f , dok je čvrstoća pri zatezanju bila nešto niža od deklarisanе.

– Na bazi prethodnog zaključka, može se smatrati da i ostali tipovi karbonskih traka-laminata koje proizvodi firma Sika zadovoljavaju u pogledu karakteristika deklarisanih od strane proizvođača. Radi se o sledećim trakama: Carbodur S512, Carbodur S612, Carbodur S812, Carbodur S1212, Carbodur S1512, Carbodur S614 i Carbodur S914. Isti zaključak važi i za sledeće trake-tkanine: Sika Wrap-103C i Sika Wrap-160C 0/90.

– Pri lepljenju traka Carbodur S1012, Carbodur S1014, Carbodur S1214 i Sika Wrap-230C za beton

marke MB 30 na način propisan od strane proizvođača (prethodna priprema površine betona, primena odgovarajućeg epoksidnog lepka, nanošenje lepka u sloju propisane debljine i dr.), dobijaju se čvrstoće pri smicanju spojeva *traka-beton* dovoljno veće od propisanih minimalnih čvrstoća betona na "čupanja" pri ispitivanju "pull-off" metodom; naime, te čvrstoće treba da budu sledeće:

- pri lepljenju traka-tkanina minimum 1,0 MPa;
- pri lepljenju traka-laminata minimum 1,5 MPa.

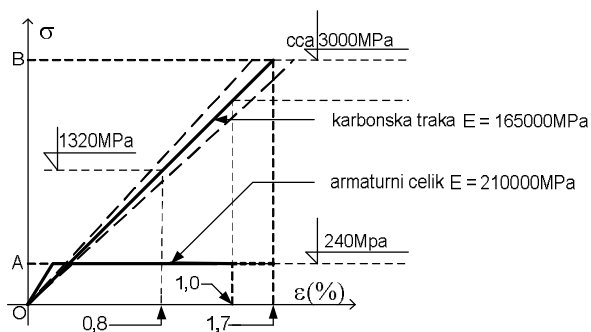
– Osim tehnoloških uslova navedenih u prethodnom stavu, pri upotrebi karbonskih traka takođe treba voditi računa i o termohigrometrijskim parametrima sredine - ambijenta, materijala koji se nanosi i same podloge. S tim u vezi, pri primeni navedenih sistema, neophodno je pridržavati se u potpunosti uputstava proizvođača, a izvođenje sanacionih radova treba poveriti za to specijalizovanim i obučanim izvođačima.

4 PRIMERI POSTUPKA OJAČANJA BETONSKIH KONSTRUKCIJA PUTEM LEPLJENJA KARBONSKIH TRAKA

Primer 1.

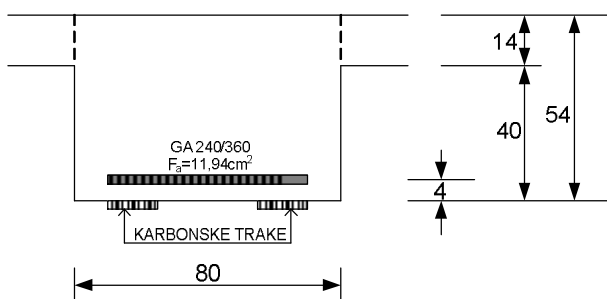
U daljem će se opisati postupak ojačanja primenjen na ukupno 9 armiranobetonskih greda, gde je lepljenje karbonskih traka predstavljalo tehnički i ekonomski optimalno rešenje za dovođenje predmetnih elemenata konstrukcije u stanje da oni, sa zahtevanim faktorima sigurnosti, mogu da prihvate povećana opterećenja.

Proračun ojačanja sproveden je na bazi traka **Sika CarboDur S** primenom metode graničnog stanja nosivosti. U vezi sa tim korišćene su mehaničke karakteristike predmetnih traka koje su ispisane u okviru slike 3. Za predmetne trake usvojena je granična dilatacija $\epsilon_f = 0,8\%$, što pri vrednosti modula elastičnosti od 165000 MPa, daje računsku graničnu vrednost naprezanja u traci $\sigma_{f,gr} = 1320\text{MPa}$.



Slika 3. Radni dijagrami za armaturni čelik i primenjene karbonske trake

Ako se i za postojeću armaturu u okviru predmetne konstrukcije usvoji granična dilatacija od 0.8%, onda je, s obzirom na podloge dobijene za izradu projekta ojačanja, kao i na karakteristike preseka date na slici 4, sproveden sledeći proračun.



Slika 4. Poprečni presek konstrukcije

Granični momenat koji treba da prihvati ojačana konstrukcija može se usvojiti u iznosu

$$M_u \approx 1,7 \times 228 = 388 \text{ kNm},$$

pa se na bazi te vrednosti dolazi do sledeće uslovne jednačine i njenog rešenja (F_t - ukupna površina karbonskih traka):

$$\begin{aligned} 388000 &\approx 0,9(11,94 \times 240 \times 50 + 1320 \times 54 \times F_t), \\ 71280 \times F_t &= 431111 - 143280, \\ F_t &= 287831/71280, \\ F_t &= 4,03 \text{ cm}^2. \end{aligned}$$

Na bazi prikazanog proračuna usvojene su ukupno 4 karbonske trake **Sika CarboDur S** i to:

- 2 (dve) trake **Sika CarboDur S1012**
($F_{t1} = 2 \times 1,20 = 2,40 \text{ cm}^2$),
- 2 (dve) trake **Sika CarboDur S812**
($F_{t2} = 2 \times 0,96 = 1,92 \text{ cm}^2$),

iz čega proizilazi da je ukupna površina preseka traka koje će se koristiti za ojačanje

$$F_t = 2,40 + 1,92 = 4,32 \text{ cm}^2 > 4,03 \text{ cm}^2.$$

Dispozicija ojačanja predmetne konstrukcije prikazana je na slici 5.

Kao što pokazuje slika 5, usvojene trake **Sika CarboDur S1012** i **Sika CarboDur S812** lepe se za donje površine predmetnih greda, pri čemu su na krajevima navedenih traka-laminata, u zonama njihovog "sidrenja", primenjene i po dve karbonske trake-tkanine tipa **SikaWrap-230C**. Ove trake-tkanine u sklopu sistema ojačanja predstavljaju elemente u obliku obrnutog ćiriličnog slova "II" koji sa tri strane opasuju poprečni presek i tako ojačavaju krajeve zalepljenih traka-laminata, odnosno osiguravaju njihovo "sidrenje".

Ovde se napominje da radovi na ojačanju predmetnih elementa konstrukcije (greda) treba da započnu pripremom betonskih površina, što je neophodno za kvalitetno lepljenje predviđenih karbonskih traka. To podrazumeva čišćenje površina betona u zonama lepljenja traka pikovanjem radi uklanjanja svih "labavih" delova i skrame od očvrslе cementne paste. Po završetku čišćenju betonskih površina treba da sledi postupak izravnavanja površina preko kojih će se lepiti trake odgovarajućom epoksidnom masom ("gletom"), kao i sam postupak lepljenja traka, koji se prvo sastoji u premazivanju pripremljenih betonskih površina epoksidnim lepkom - u nanošenju tzv. penetracionog premaza, a zatim i u nanošenju novog sloja lepka preko koga se postavljaju (lepe) karbonske trake. Prvo se lepe podužne trake-laminati, a zatim trake-tkanine koje "opasuju" krajeve zalepljenih podužnih traka-laminata.

Primer 2.

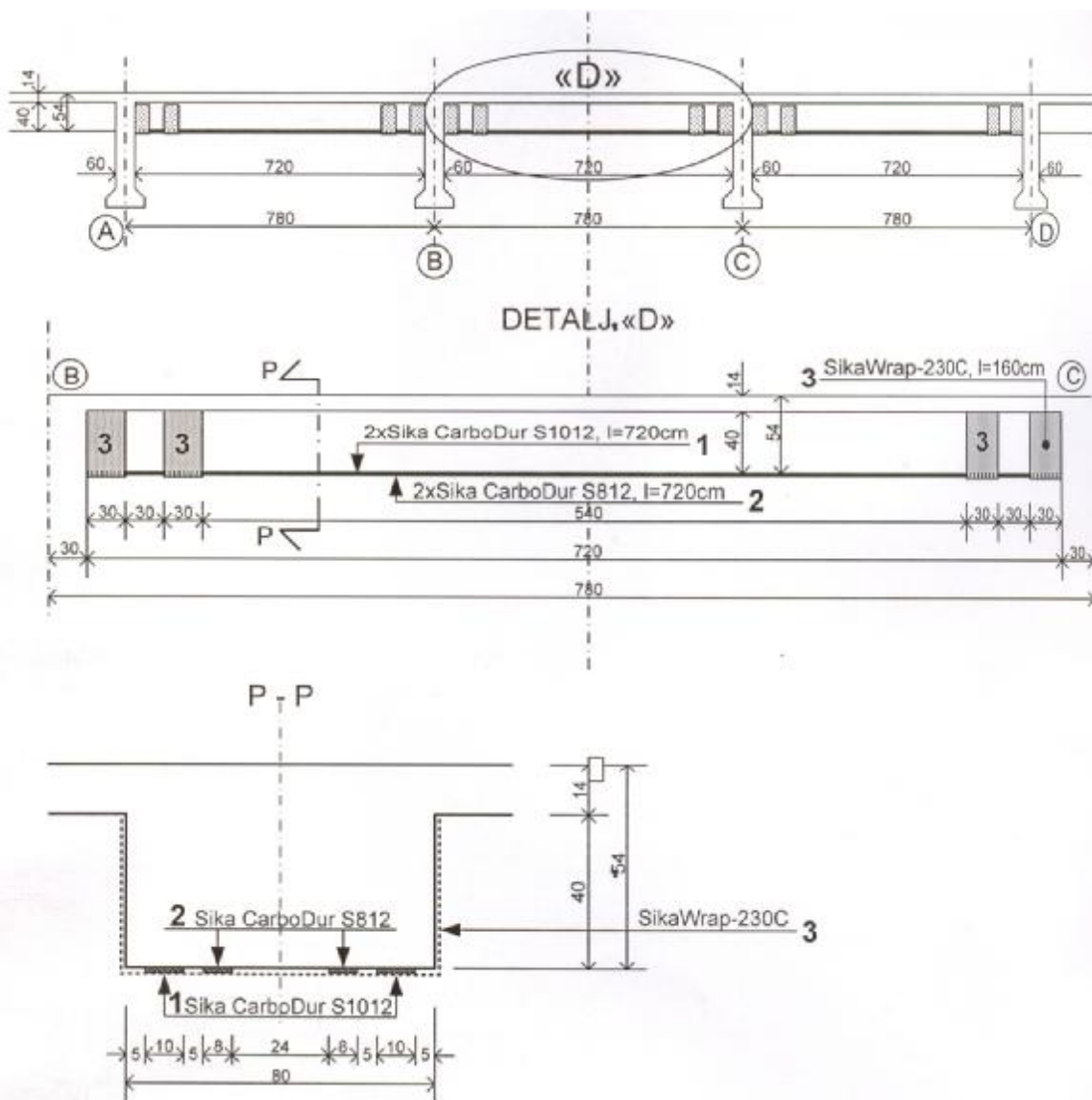
Ojačanje o kome će u daljem biti reči odnosi se na armiranobetonske ploče debljine 25cm u sklopu jednog višespratnog objekta skeletnog sistema. Ojačanje se odnosi na segment međuspratnih ploča ukupne površine ($L_x = 4 \times 6,00 \text{ m}$) ($L_y = 5,00 \text{ m} + 6,60 \text{ m} + 5,40 \text{ m}$) = 408,00m² (videti sliku 6), preko koje je, mimo osnovnog projekta, u X pravcu, a preko krstasto armiranih ploča dimenzija 6.00x6.60m, na rastojanju 1,80m u odnosu na drugi red stubova (videti sliku 6), izveden nov fasadni zid. Opterećenje od tog zida uslovalo je potrebu za ojačanjem - dopunskim armiranjem predmetne ploče u okviru zone uticaja tog zida.

Nakon sprovedenog proračuna, a na bazi upoređenja ranije sračunate i usvojene armature i neophodne dopunske armature prema novom proračunu, izvedeni su sledeći zaključci:

1. *Maksimalna neophodna rebrasta armatura u gornjoj zoni ploče bez ojačanja iznosi 21,68cm²/m. Prema planovima armature proizilazi da je u toj zoni usvojena armatura RØ22/10cm sa površinom $A_a = 38,0 \text{ cm}^2/\text{m}$. Razlika između potrebne i usvojene armature bila je dovoljna da "pokrije" novu neophodnu dopunsku armaturu u gornjoj zoni ploče $\Delta F_a = 5,38 \text{ cm}^2/\text{m}$ u oba pravca.*

2. *U donjoj zoni, u Y pravcu, između osa B i C, usvojena je armatura RØ12/15cm. Na bazi sprovedenog proračuna izveden je zaključak da između navedenih osa, ploča treba da bude ojačana dodatnom rebrastom armaturom površine $\Delta F_a = 4,36 \text{ cm}^2/\text{m}$.*

U donjoj zoni, u X pravcu, a takođe između osa B i C, dopunska rebrasta armatura treba da ima površinu $\Delta F_a = 1,88 \text{ cm}^2/\text{m}$.



Slika 5. Dispozicija ojačanja gredne konstrukcije

S obzirom na konkretne uslove, kao optimalno rešenje ojačanja predmetne ploče usvojeno je ojačanje putem karbonskih traka tipa **SikaWrap-230C** zalepljenih na donjoj površini ploče u količini ekvivalentnoj neophodnoj dodatnoj armaturi, pri čemu taj ekvivalent treba da odgovara rebrastoj armaturi sa granicom razvlačenja čelika od 400MPa.

Za proračun ojačanja, a s obzirom na primenu karbonskih traka tipa **SikaWrap-230C**, usvojene su sledeće karakteristike predmetnih traka:

- širina $b = 300\text{mm}$,
- debljina $d = 0,131\text{mm}$,
- čvrstoća pri zatezanju 4300MPa ,
- granično izduženje $1,8\%$,
- modul elastičnosti $E = 238000\text{MPa}$.

Granična nosivost jedne takve trake definisana je na bazi približnog, ali potpuno prihvatljivog postupka, zasnovanog na opšteprihvaćenim principima koji važe na području upotrebe karbonskih traka toga tipa.

Granična vrednost sile zatezanja u jednoj traci koja će biti zalepljena na donjoj površini ploče je sledeća:

$$Z_{u,1} = 0,7 \cdot 0,300 \cdot 0,000131 \cdot 4300000 \approx 118\text{kN}$$

Ako se sada pretpostavi da će na širini ploče od $1,0\text{m}$ biti zalepljeno "n" traka, granična vrednost sile zatezanja u tim trakama biće

$$Z_{u,1} = n \cdot 118 \text{ (kN/m)}$$

S obzirom da predmetne trake treba da budu primenjene za "pokrivanje" nedostajuće armature u ploči sa površinama preseka od $\Delta F_a \text{ (cm}^2/\text{m)}$, granična vrednost sile koja će obezbediti dato "pokrivanje" je

$$\Delta Z_{u,1} = 40,0 \cdot \Delta F_a \text{ (kN/m)}$$

Prema tome, nedostajuća armatura biće "pokrivena" sa sledećim brojem traka:

$$n = (40,0/118) \cdot \Delta F_a \approx 0,34 \cdot \Delta F_a \text{ (kom./m)}$$

S obzirom na napred prikazane veličine, ojačanje predmetne ploče u pravcima Y i X treba da bude izvedeno na sledeći način.

– pravac Y:

$$\Delta F_a = 4,36 \text{ cm}^2/\text{m},$$

$$n = 0,34 \cdot 4,36 = 1,48 \text{ kom./m}$$

Usvajaju se trake tipa **SikaWrap-230C** zalepljene na donjoj površini ploče na osovinskim rastojanjima

$$\lambda_y = 60 \text{ cm} \rightarrow n = 100/60 = 1,67 \text{ kom./m} > 1,48 \text{ kom./m}.$$

– pravac X:

$$\Delta F_a = 1,88 \text{ cm}^2/\text{m},$$

$$n = 0,34 \cdot 1,88 = 0,64 \text{ kom./m}$$

Usvajaju se trake tipa **SikaWrap-230C** zalepljene na donjoj površini ploče na osovinskim rastojanjima

$$\lambda_x = 100 \text{ cm} \rightarrow n = 100/100 = 1,00 \text{ kom./m} > 0,64 \text{ kom./m}.$$

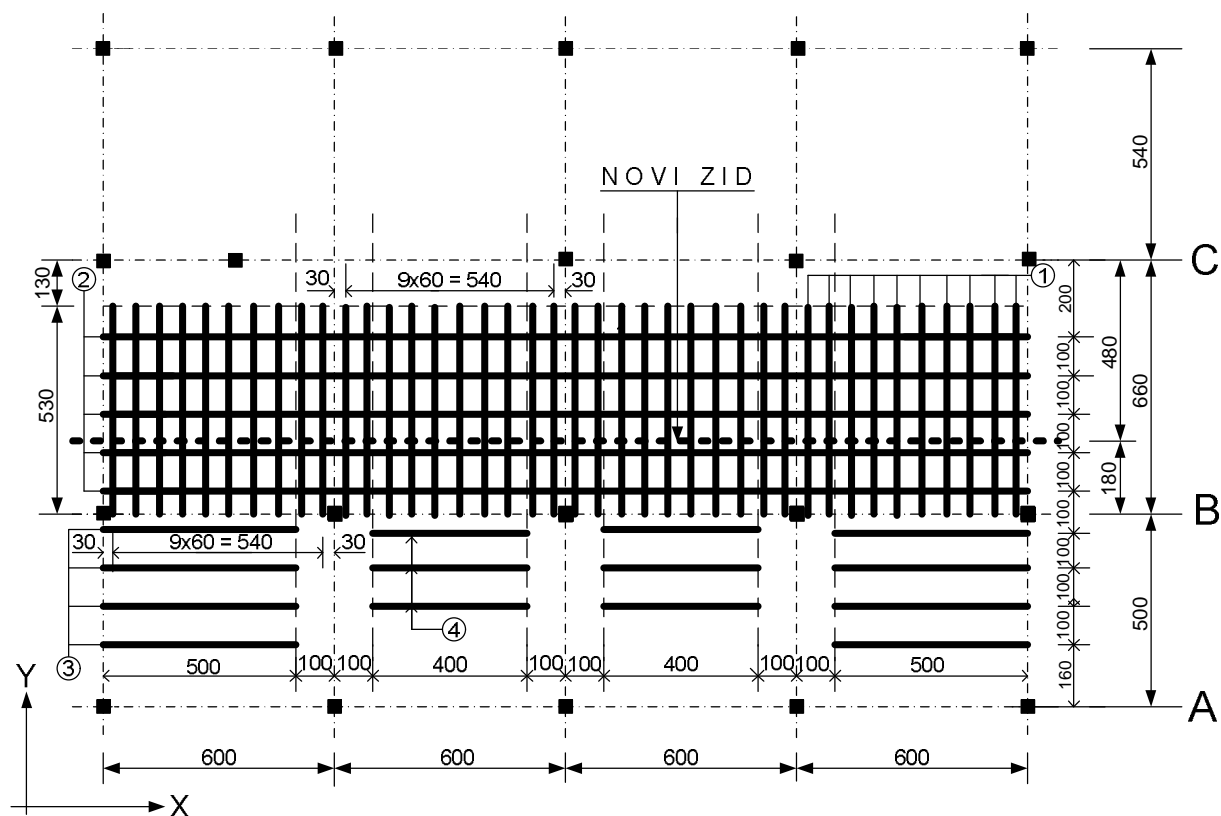
Lepljenje karbonskih traka u konkretnom slučaju treba da se izvede prema slici 6 (trake su označene punim debelim linijama).

Kao što pokazuje slika 6, postoje ukupno četiri pozicije traka (pozicije 1, 2, 3 i 4) od kojih najmanju dužinu ima Pos 4 (4,00m), a najveću Pos 2 (24,00m). Ukoliko se javi problem da se Pos 2 izvede iz jednog komada trake dužine 24,00m, data dužina se može dobiti i iz nekoliko kraćih komada, s tim da se na mestima nastavaka pojedinih komada ostvare preklopi

traka od 60cm. Pri ovome, mesta preklapanja (posmatrano u osnovi) treba da budu međusobno smaknuta za najmanje 2,00m.

U području preklapanja traka Pos 1 (trake u Y pravcu) i Pos 2 (trake u X pravcu), prvo treba izvesti lepljenje traka Pos 1, a tek nakon toga trake Pos 2 (to znači da se na mestima preklapanja traka iz pravca X i Y, trake Pos 2 lepe preko već prethodno zalepljenih traka Pos 1).

Predmetne karbonske trake se mogu lepiti samo za prethodno pripremljenu betonsku podlogu što, kao osnovno, podrazumeva da se sa podloge mora odstraniti sloj očvršle cementne paste. Optimalne neravnine površine na kojoj se vrši aplikacija ojačanja treba da su između 0,5-1,0 mm. Metode za postizanje ovog efekta na površini betona su peskarenje, udarci kuglicama ili brušenje. Strane primese kao prljavština, ulja i masti moraju biti odstranjeni. Pred sam početak nanošenja lepka - epoksidne smole, mora se površina na kojoj se sprovodi aplikacija, četkom ili usisivačem, očistiti od slobodnih delova, tako da podloga bude i bez prašine. Ravnost površine na kojoj se vrši aplikacija ojačanja mora se prekontrolisati metalnom letvom. Udubljenja na dužini od 2m ne smeju da pređu 5mm. Veće neravnine se moraju eliminisati određenim, primerjenom sistemom lepljenja kompatibilnim izravnavajućim malterom. Eventualna korodirana armatura koja se "otkrije" pri pripremi površine treba da se pre nanošenja maltera za izravnanje očisti peskarenjem, a zatim zaštititi odgovarajućim antikorozijskim sredstvom.



Slika 6. Dispozicija ojačanja armiranobetonske ploče

Na površinu gde treba da se zalepi karbonska traka četkom se nanosi odgovarajući - tiksotropan epoksidni lepak. Potom se traka ručno fiksira za tako pripremljenu podlogu pomoću valjka.

5 LITERATURA

- [13] M.Muravljev, M.Ačić: "Savremeni materijali za saniranje betonskih konstrukcija" Simpozijum SDGKJ, Vrnjačka Banja, 2000. godina, str. 133-144.
- [14] Vistasp M. Karbhari, Frieder Seible: "Fiber Reinforced Composites - Advanced Materials for the Renewal of Civil Infrastructure" Applied Composite Materials, No7, 2000. godina, str.95-124.
- [15] Ginter Gros: "Dodatno pojačanje građevinskih konstrukcija od armiranog betona i čelika pomoću karbonskih traka - Carbodur" I Naučno-stručni skup "Savremena teorija i praksa u građevinarstvu", ZIBL Banja Luka, 2005. godina, str. 35-44.

- [16] M.Muravljev, D.Bajić: "Održavanje i rehabilitacija betonskih mostova" Naučni skup "Integritet i vek konstrukcija", Beograd, 2007. godina.
- [17] M.Muravljev, D.Jevtić, D.Zakić, A.Savić, N.Tanasić, D.Gavrilović: "Mogućnost primene CFRP sistema "Sika" za ojačanje i sanaciju betonskih konstrukcija", Simpozijum 2008, Društvo građevinskih konstruktora Srbije, Zlatibor, 24-26. septembar 2008., str. 665-673.
- [18] M.Muravljev, D.Jevtić, D.Zakić, A.Savić, D-Gavrilović: "Ispitivanje svojstava karbonskih traka koje služe za ojačanje betonskih konstrukcija" Simpozijum o istraživanjima i primeni savremenih dostignuća u našem građevinarstvu u oblasti materijala i konstrukcija, XXIV Kongres, Divčibare, 15.-17. oktobar 2008., str. 50-55.
- [19] Katalozi - tehnički listovi proizvođača karbonskih traka – firme "Sika", Švajcarska.

REZIME:

ISPITIVANJE SVOJSTAVA I PRIMERI PRIMENE KARBONSKIH TRAKA ZA OJAČANJE BETONSKIH KONSTRUKCIJA

Mihailo MURAVLJOV
Dragica JEVTIĆ
Dimitrije ZAKIĆ
Aleksandar SAVIĆ
Dragan GAVRILOVIĆ

U radu su prikazani rezultati sopstvenih laboratorijskih ispitivanja svojstava dva tipa karbonskih traka (CFRP) - laminata pod nazivom Sika CarboDur Plates i pletenih tkanina pod nazivom SikaWrap, kao i odgovarajućih epoksidnih lepkova tipa Sikadur koji se koriste za lepljenje i/ili impregnaciju CFRP traka. Takođe, ispitivana je i athezija (prianjanje) predmetnih karbonskih traka za beton. Rezultati eksperimentalnih ispitivanja pokazuju da se radi o sistemu koji se može primeniti kao kvalitetno rešenje za ojačanje/sanaciju betonskih konstrukcija. Na kraju su dati i izvesni primeri primene u praksi.

Ključne reči: karbonske trake (CFRP), laminat, tkanina, epoksidni lepak, sanacija, ojačanje, fizičko-mehanička svojstva, betonske konstrukcije.

SUMMARY:

TESTING OF PROPERTIES AND APPLICATION EXAMPLES OF CFRP STRIPS FOR STRENGTHENING OF CONCRETE STRUCTURES

Mihailo MURAVLJOV
Dragica JEVTIĆ
Dimitrije ZAKIĆ
Aleksandar SAVIĆ
Dragan GAVRILOVIĆ

The results of authors' own laboratory testing of two CFRP strip types - Sika CarboDur Plates and SikaWrap fabrics, as well as the corresponding Sikadur epoxy adhesive used for bonding and/or impregnation of CFRP strips, are presented in this paper. Also, the adhesion of these CFRP strips to concrete was tested. The obtained experimental results show that the tested system can be successfully applied for strengthening/repair of concrete structures. In addition, certain examples of application in practice are presented.

Key words: carbon (CFRP) strips, plate, fabric(wrap), epoxy adhesive, repair, strengthening, physical-mechanical properties, concrete structures.

EKSPERIMENTALNA PODLOGA ZA UVOĐENJE KLASA ČVRSTOĆE ČETINARSKRE REZANE GRAĐE NA DOMAĆEM TRŽIŠTU

Tatjana KOČETOV-MIŠULIĆ
Boško STEVANOVIĆ

ORIGINALNI NAUČNI RAD
UDK: 006.44:624.624.011.1

1 UVOD

Približavanje Evropskoj uniji stavilo je domaću tehničku javnost u oblasti građevinarstva pred veoma obiman i težak zadatak po pitanju prevoda, usvajanja i implementacije standarda i tehničkih propisa za proračun, ispitivanje i kontrolu građevinskih objekata i proizvoda u građevinarstvu. Sistem Evrokodova (EC) i pratećih standarda (EN), kao i odredbe Direktive za proizvode u građevinarstvu (CPD), donose mnogo novih i nepoznatih pojmova i postupaka, za koje smo u stručnom pogledu, veoma često, materijalno i tehnički nespremni.

U oblasti drvenih konstrukcija, pored aktivnog rada na prevodu, kao i rada na upoznavanju i prihvatanju osnovnih pravila i zahteva proračuna prema Evrokodu 5, sprovodi se i niz pratećih istraživanja radi adekvatne identifikuje osnovnih materijala, spojnih sredstava, veza, sklopova i sl., a sa ciljem pravovremene pripreme za primenu EN standarda. U tom smislu, kao jedan od najbitnijih primarnih zadataka smatra se istraživanje građevinskog tehničkog drveta i njegovo svrstavanje u klase čvrstoće eksperimentalnim putem, sa ciljem verifikacija zahtevanog kvaliteta prema EN standardima i uspostavljanja korelacije postojećih kvalitetnih klasa prema domaćoj regulativi (JUS - SRPS) sa klasama čvrstoće definisanim u EN.

Klasiranje građevinskog drveta u klase čvrstoće je po prvi put predloženo u Australiji, a usvojeno je u sklopu preporuka i zahteva EC-5. Klasiranje građe prema ovom sistemu podrazumeva svrstavanje građe u odgovarajuću klasu prema zahtevu za karakterističnu čvrstoću pri savijanju (kao i odgovarajući modul elastičnosti MOE i zapreminsku masu), na osnovu čvrstih pravila za vizuelnu klasifikaciju, mašinskog gradiranja drveta i unificiranih

pravila ispitivanja sa tačno definisanom procedurom statističkog vrednovanja rezultata. Dve su osnovne prednosti sistema klasa čvrstoće: pogodnost za konstruktore u drvetu koja se sastoji u specifikovanju klase građe za odgovarajući element na osnovu proračuna, i pogodnosti za dobavljače-izvođače koji su slobodni da prema specifikovanoj klasi nabavljaju građu iz raznih izvora (ukoliko se inženjer ne odluči za posebnu vrstu drveta zbog potrebnog aspekta trajnosti). Posledično, omogućen je unificiran kvalitet i protok građe koji omogućuje jedinstveno i ravnopravno tržište, što rezultuje pozitivnim ekonomskim aspektima.

Zemlje koje imaju daleko značajnije šumske resurse od nas (Kanada, SAD, Finska, Australija, Novi Zeland, Norveška, Nemačka, Velika Britanija) imaju i dugotrajnije i razvijenije iskustvo u pokušajima da na stručno i ekonomski zadovoljavajući način gradiraju građevinsko drvo (još od 1920.). Po opštoj međunarodnoj oceni, EC sistem pravila za vizuelnu klasifikaciju i svrstavanje u kvalitetne klase smatra se veoma konsekvantnim i efikasnim, pri čemu se kao prednost ističe da ovim sistemom i velika gazdinstva za seču i rezanje mogu sama da definišu kojim klasama čvrstoće drveta raspolazu. Sigurno je da su bogate zemlje tu u prednosti, jer posedovanjem uređaja za mašinsko klasiranje drveta (koje se mogu setovati na zahteve klasa čvrstoće) značajno olakšavaju veoma obiman posao.

U našim uslovima i u prvom koraku, od posebnog je značaja okvirno svrstavanje, ili bolje rečeno – prepoznavanje, kojim klasama čvrstoće pripadaju naše tri kvalitetne klase tehničkog drveta. Istraživanja ovog, veoma bitnog, prvog, koraka su uglavnom eksperimentalnog karaktera i cilj im je verifikacija zahtevanog kvaliteta prema EN standardima, sa uočavanjem posledica razlika koje proističu iz vizuelne klasifikacije.

U radu su prikazani rezultati sopstvenih eksperimentalnih istraživanja kvaliteta tehničkog drveta-rezane četinarske građe prisutne na domaćem tržištu, realizovanih u tekućem i prethodnom periodu. Eksperimentalna istraživanja sprovedena su saglasno JUS - SRPS, EC5 i pratećim EN standardima. Radi izvođenja zaključaka na osnovu rezultata, dat je pregled i sprovedena je upo-

Adresa autora:
Dr Tatjana Kočetov Mišulić, dipl.inž.građ.
Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu
Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad
Prof. dr Boško Stevanović, dipl.inž.građ.
Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu
Bulevar kralja Aleksandra 73, 11000 Beograd

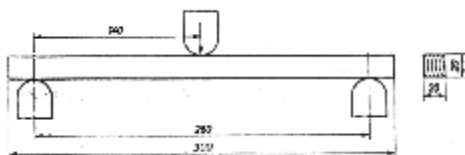
redna analiza postupaka za određivanje merodavnih svojstava drveta, metoda za prevođenje uticaja konfiguracije opterećenja, kao i korekcionih faktora koji uzimaju u obzir efekat veličine epruvete za ispitivanje i vlažnosti drveta. Eksperimentalna istraživanja sprovedena su na uzorcima čija veličina je reprezentativna, a rezultati se daju kao polazna i okvirna osnova za upotrebu, jer precizan sistem uvođenja klasa čvrstoće tek predstoji.

2 PREGLED STANDARDA I POSTUPAKA ISPITIVANJA SVOJSTAVA GRAĐEVINSKOG DRVETA (JUS - SRPS, EN)

Za utvrđivanje postupka prevođenja građevinskog drveta sa kvalitetnih klasa (monolitno drvo 3, LLD 2) na sistem klasa čvrstoće (MD 9+6, LLD 5) neophodno je uporediti same postupke ispitivanja relevantnih elasto-mehaničkih karakteristika. U okviru JUS-SRPS-a za ispitivanje drveta i proizvoda na bazi drveta postoji 65 različitih standarda, od kojih se 23 odnosi na utvrđivanje fizičkih i elasto-mehaničkih karakteristika drveta. Upoređivanje i usaglašavanje ovih standarda sa adekvatnim EN standardima, kao i uvođenje novih u smislu definisanja svojstava drveta koja naša regulativa ne poznaje (npr. pritisak po omotaču rupe), svakako predstoji. Međutim, može se reći da u ovom momentu tako obiman zadatak nije neophodan, već da je dovoljno uporediti i usaglasiti tri osnovna standarda za definisanje elasto-mehaničkih karakteristika: zapreminske mase, čvrstoće pri savijanju i modula elastičnosti pri savijanju. Prema preporukama EC5, na osnovu rezultata ispitivanja ova tri svojstva mogu se, na osnovu predloženih relacija, odrediti sa zadovoljavajućom tačnošću i ostala elasto-mehanička svojstva građevinskog drveta. Bitni pomoćni standardi u ovom kontekstu su svakako oni koji se bave načinom uzimanja uzoraka, neophodnim brojem ispitivanih tela i statističkom obradom rezultata. U daljem tekstu posebna pažnja će biti posvećena upravo ovim standardima u JUS - SRPS i EC-5 tj. EN regulativi.

2.1 Pregled postupaka ispitivanja drveta prema JUS - SRPS-u

Većina JUS - SRPS-a za ispitivanje drveta, [14], formirana je od 1946. do 1957.god. po ugledu na DIN propise, da bi od 1979. do 1986.god. bila revidovana i usaglašavana sa ISO standardima. Kako je usaglašavanje standarda bilo selektivno, poredeći tekstove različitih standarda moguće je uočiti određene nekonzistentnosti i ukazati na neke od njih.



Slika 1. JUS - SRPS: Šema ispitivanja savojne čvrstoće

2.1.1 Ispitivanje drveta - Određivanje zapreminske mase JUS - SRPS D.A1.044 (saglasno sa ISO 3131)

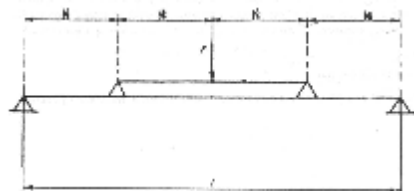
Predmet standarda je određivanje zapreminske mase drveta u momentu ispitivanja, u apsolutno suvom stanju i nazivne zapreminske mase. Epruvete za ispitivanje su drvene prizme kvadratnog poprečnog preseka dimenzija 20x20 mm sa dužinom u pravcu vlakana od 25 ± 5 mm. Standard dozvoljava i upotrebu epruveta drugog oblika čija se zapremina lako može odrediti merenjem. Izračunavanje rezultata je definisano izrazima u standardu, a kao referentna zapreminska masa se usvaja aritmetička sredina dobijena na osnovu rezultata pojedinačnih ispitivanja. Standard je direktno povezan sa standardima JUS - SRPS D.A1.040 za uzimanje uzoraka i JUS D.A1.043 za određivanje sadržaja vlage.

2.1.2 Ispitivanje drveta – Određivanje statičke savojne čvrstoće JUS - SRPS D.A1.046

Predmet standarda je utvrđivanje čvrstoće pri savijanju. Epruvete za ispitivanje se izrađuju u obliku prizme kvadratnog poprečnog preseka 20x20mm sa dužinom u pravcu vlakana od 300mm. Epruveta se postavlja na oslonce mašine za ispitivanje i opterećuje jednom koncentrisanom silom na sredini sa dužinom trajanja nanošenja opterećenja od $t=1,5 \pm 0,5$ min., slika 1. Izračunavanje rezultata se sprovodi prema izrazu datom u standardu, pri čemu postoji mogućnost svođenja rezultata na vlažnost epruvete od 12%. Statička savojna čvrstoća se izračunava kao aritmetička sredina pojedinačnih vrednosti. Standard je direktno povezan sa standardima JUS - SRPS D.A1.040 za uzimanje uzoraka i JUS - SRPS D.A1.043 za određivanje sadržaja vlage (vlažnost epruvete može se kretati u granicama od 9 do 15%).

2.1.3 Ispitivanje drveta – Određivanje modula elastičnosti pri statičkom savijanju JUS - SRPS D.A1.035

Predmet standarda je utvrđivanje modula elastičnosti drveta pri savijanju. Epruvete za ispitivanje se izrađuju u obliku prizme dimenzija preseka 50x46mm sa dužinom u pravcu vlakana od 600mm. Epruveta se postavlja na oslonce mašine za ispitivanje i opterećuje se posredno (sa opterćenjem i rasterećenjem) sa dve koncentrisane sile u četvrtinama raspona, slika 2. Izračunavanje rezultata se sprovodi prema izrazu datom u standardu, pri čemu postoji mogućnost svođenja rezultata na



Slika 2. JUS - SRPS: Šema ispitivanja modula elastičnosti pri savijanju

vlažnost epruvete od 12%. Statička savojna čvrstoća se izračunava kao aritmetička sredina pojedinačnih vrednosti. Standard je direktno povezan sa standardima JUS - SRPS D.A1.040 za uzimanje uzoraka i JUS - SRPS D.A1.043 za određivanje sadržaja vlage (vlažnost epruveta može se kretati u granicama od 9 do 15%).

2.2 Pregled postupaka ispitivanja drveta prema EC-5 i EN standardima

EC-5, [7], je skup preporuka i zahteva za dimenzionisanje i projektovanje drvenih konstrukcija koji je zasnovan na konceptu parcijalnih koeficijenata sigurnosti, za razliku od važećih JUS - SRPS standarda koji su zasnovani na konceptu dozvoljenih napona i globalnih koeficijenata sigurnosti. Indikativna preporučena vrednost parcijalnog koeficijenta sigurnosti za drvo i proizvode na bazi drveta u EC-5 iznosi $\gamma_m = 1,3$ za osnovne kombinacije opterećenja, dok u svim ostalim slučajevima iznosi $\gamma_m = 1,0$. Globalni koeficijenti sigurnosti za različita naponska stanja u konceptu dozvoljenih napona kreću se u granicama $n = 2 - 4$. Posledično, jasno je da se statističko vrednovanje rezultata ispitivanja mora razlikovati u ova dva koncepta, tj. EC se zasniva na određivanju karakterističnih vrednosti čvrstoća kao 5% fraktila preporučene statističke raspodele za granična stanja nosivosti odnosno 50% fraktila za elastična svojstva za granična stanja upotrebljivosti. Koncept dozvoljenih napona bazira na određivanju srednje vrednosti rezultata ispitivanja za sva elasto-mehanička i fizička svojstva. U daljem tekstu biće navedene razlike u samim postupcima ispitivanja prema EN standardima.

2.2.1 Drvene konstrukcije: Određivanje gustine - zapreminske mase EN 28970 na osnovu ISO 3131

Ovaj EN standard zasniva se na ISO 3131 sa kojim je usaglašen JUS - SRPS standard za određivanje zapreminske mase, tako da se rezultati ispitivanja prema domaćim standardima mogu bez rezerve primenjivati. Standard dodatno preporučuje dva metoda za određivanje zapreminske mase drveta za upotrebu pri ispitivanjima čvrstoća i krutosti veza ostvarenih mehaničkim spojnim sredstvima. Pretpostavljena je normalna raspodela sa koeficijentom varijacije oko 0,15. Karakteristične vrednosti gustine drveta određuju se saglasno EN 384.

2.2.2 Drvene konstrukcije: Monolitno i lamelirano lepljeno drvo – Određivanje fizičkih i mehaničkih svojstava EN 408 – savojna čvrstoća i modul elastičnosti pri savijanju

EN 408 podstiče ispitivanje drveta unificiranim metodama na epruvetama u prirodnoj veličini, oslanja se i istovremeno predstavlja metodu kontrole standarda za vizuelno (EN 518) i mašinsko (EN 519) gradiranje (klasiranje) drveta, koji su danas objedinjeni u EN 14081:1-4.

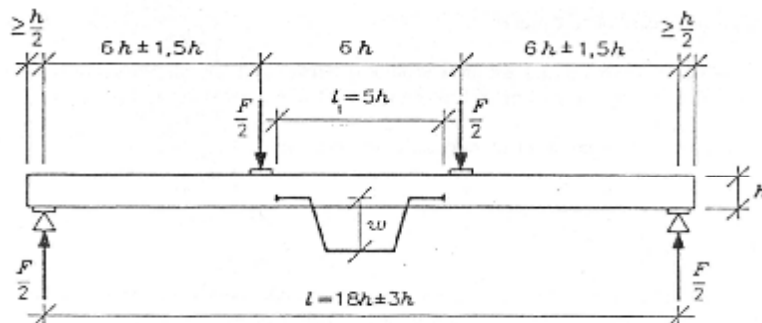
Ispitivanje savojne čvrstoće, prema [5], sprovodi se na epruvetama čija je dužina jednaka min 19 puta visina poprečnog preseka, slika 3. Referentna visina preseka iznosi $h=150\text{mm}$. Epruveta se opterećuje simetrično sa dve koncentrisane sile u trećinama raspona. Dužina trajanja opterećenja iznosi $t=300\pm 120\text{s}$. Izračunavanje savojne čvrstoće sprovodi se na osnovu izraza datog u standardu. Test se sprovodi u standardnim uslovima okoline $t=20\pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ i $RV=65\pm 5\%$, što je saglasno ISO 554 i JUS - SRPS-u.

Ispitivanje modula elastičnosti pri savijanju sprovodi se na epruvetama iste veličine i sa istom konfiguracijom opterećenja kao kod ispitivanja savojne čvrstoće, slika 3. Max brzina nanošenja opterećenja ograničena je na $0,003\text{ h mm/s}$, a max opterećenje na granicu proporcionalnosti, pri čemu ne sme izazvati oštećenje epruvete. Izračunavanje rezultata sprovodi se na osnovu izraza datog u standardu. Test se takođe sprovodi u standardnim uslovima okoline $t=20\pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ i $RV=65\pm 5\%$, saglasno ISO 554 i JUS - SRPS-u.

2.2.3 Drvene konstrukcije: Određivanje karakterističnih vrednosti mehaničkih svojstava i gustine (zapreminske mase) EN 384

Ovaj EN standard, [4], definiše način određivanja karakterističnih vrednosti meritornih svojstava drveta na osnovu kojih se odgovarajuća klasa i vrsta može direktno pridružiti sistemu klasa čvrstoće prema EN 338. Preko redukcionih faktora koji odslikavaju manji indeks pouzdanosti, obuhvaćeni su i uzorci sa manjim brojem ispitanih epruveta u prirodnoj veličini od potrebnog, kao i uzorci od malih čistih epruveta.

Karakteristična vrednost svojstava za granična stanja nosivosti određuje se kao 5% fraktil normalne raspodele ili kao 50% fraktil (srednja vrednost) za granična stanja upotrebljivosti, jednačine (1) i (2). Ove vrednosti se razlikuju na nivou uzorka i skupa uzoraka koje karakterišu drvenu populaciju. Korekcionni faktori za vlažnost drveta i



Slika 3. EN 408: Šema ispitivanja savojne čvrstoće i modula elastičnosti pri savijanju

uticaj geometrijskih karakteristika epruveta u uzorku, uvode se na nivou uzorka, jednačine (3) i (4).

Referentni uslovi sredine su $t=20^{\circ}\text{C}$ i $RV=65\%$, što uglavnom odgovara vlažnosti drveta od 12%. Srednja vlažnost u uzorku može se kretati u granicama od 10-18%, pri čemu se uvode korekcionni faktori za pritisak paralelno vlaknima (3% promene čvrstoće za svaki procenat vlažnosti različit od referentnog) i modul elastičnosti pri savijanju (2% promene), dok se za čvrstoće pri savijanju i zatezanju paralelno vlaknima ne predviđaju koeficijenti redukcije k_{mc} usled promene vlažnosti.

$$f_{05} = f_t = \bar{x} - 1,645s \quad (1)$$

$$\bar{E} = \frac{\sum E_i}{n} \quad (2)$$

Korekcionni faktori pri određivanju karakterističnih vrednosti predviđeni su i za odstupanje epruveta u uzorku od standardne veličine (visine k_h za $h \neq 150\text{mm}$, jedn.3, i dužine k_l , prema sl.3, jedn.4).

$$k_h = \left[\frac{150}{h} \right]^{0.2} \quad (3)$$

$$k_l = \left[\frac{l_{es}}{l_{et}} \right]^{0.2}; l_{et} = l + 5a_t; a_t = 6h \quad (4)$$

Određivanje mehaničkih svojstava (npr. čvrstoće pri savijanju) sprovodi se na osnovu EN 408 na uzorcima sa epruvetama u prirodnoj veličini i/ili na uzorcima sa malim čistim epruvetama. Zahtevani broj epruveta u uzorku je min $n=40$, a broj uzoraka za određenu drvenu populaciju se kreće od 1 do 5. Tada se karakteristična čvrstoća – karakteristično svojstvo populacije određuje kao srednja vrednost pojedinačnih karakterističnih vrednosti uzoraka, korigovanih sa faktorom koji uvodi uticaj broja ispitanih uzoraka i same veličine pojedinačnih uzoraka k_s i faktorom koji pravi razliku u odnosu na vizualno i mašinski klasirano drvo k_v , jednačina (5).

$$f_{mk} = \bar{f}_{05} \cdot k_s \cdot k_v \quad (5)$$

Redukcioni faktor k_s kreće u granicama od 0,7 do 1, zavisno od broja elemenata u uzorku i broja ispitanih uzoraka (prema dijagramu priloženom u standardu). Korekcionni faktor k_v iznosi $k_v = 1$ za vizuelno klasiranu građu i $k_v = 1,12$ za mašinski klasiranu građu.

Srednja vrednost modula elastičnosti za drvenu populaciju određuje se na osnovu osrednjavanja pojedinačnih srednjih vrednosti za svaki uzorak, jednačina (6), nakon redukovanja sa korekcionnim faktorima na nivou uzoraka k_{mc} , k_h i k_l .

$$E_{0,mean} = \frac{\sum \bar{E}_j \cdot n_j}{\sum n_j} \quad (6)$$

Kada su čvrstoća na savijanje i modul elastičnosti pri savijanju određeni samo na osnovu malih čistih epruveta (uobičajen slučaj kod nas), tada broj epruveta u uzorku mora biti min 40, a broj uzoraka min 5. Karakteristične

vrednosti određene za drvenu populaciju moraju se redukovati faktorom 0,9.

Karakteristična zapreminska masa (gustina) uzorka određuje se na osnovu jednačine (7),

$$\rho_{05} = (\bar{\rho} - 1.65s) \text{ kg/m}^3 \quad (7)$$

gde su $\bar{\rho}$ i s srednja vrednost i standardna devijacija gustine drveta za sve epruvete u uzorku, izražene u kg/m^3 . Karakteristična vrednost gustine, tj. zapreminske mase ispitnog drveta, - i drvne populacije, određuje se na osnovu jednačine (8):

$$\rho_k = \frac{\sum \rho_{0.5,j} \cdot n_j}{\sum n_j} \quad (8)$$

gde je n_j broj epruveta u svakom uzorku, a $\rho_{0.5,j}$ je 5% vrednost gustine svakog uzorka.

Ukoliko nisu sprovedena sva ispitivanja, ostala elasto-mehanička svojstva mogu se odrediti na osnovu relacija koje ih povezuju sa tri osnovna svojstva - čvrstoćom na savijanje, modulom elastičnosti pri savijanju i zapreminskom masom, jednačine (9-18).

čvrstoća na zatezanje II vlaknima

$$f_{t,0,k} = 0.6 \cdot f_{mk} \quad (9)$$

čvrstoća na pritisak II vlaknima

$$f_{c,0,k} = 5 \cdot (f_{mk})^{0.45} \quad (10)$$

čvrstoća na smicanje

$$f_{v,k} = 0.2 \cdot (f_{mk})^{0.8} \quad (11)$$

čvrstoća na zatezanje \perp na vlakna

$$f_{t,90,k} = 0.001 \cdot \rho_k \quad (12)$$

čvrstoća na pritisak \perp na vlakna

$$f_{c,90,k} = 0.015 \cdot \rho_k \quad (13)$$

karkt.modul elast. II vlaknima (meko drvo)

$$E_{0,05} = 0.67 \cdot E_{0,mean} \quad (14)$$

karkt.modul elast. II vlaknima (tvrdo drvo)

$$E_{0,05} = 0.84 \cdot E_{0,mean} \quad (15)$$

srednji modul elast. \perp na vlakna (meko drvo)

$$E_{90,mean} = 0.033 \cdot E_{0,mean} \quad (16)$$

srednji modul elast. \perp na vlakna (tvrdo drvo)

$$E_{90,mean} = 0.066 \cdot E_{0,mean} \quad (17)$$

modul klizanja

$$G_{mean} = 0.0625 \cdot E_{0,mean} \quad (18)$$

Ukoliko su za vrednovanje karakterističnih vrednosti svojstava drveta dostupni rezultati ispitivanja samo iz jedne klase drveta, standard dopušta mogućnost utvrđivanja karakterističnih vrednosti svojstava i za druge klase na osnovu istih podataka, ali uz uvođenje faktora relativnog gradiranja različitih klasa. Ovi faktori relativnog gradiranja mogu se ustanoviti iz odnosa karakterističnih vrednosti sličnih vrsta drveta za one slučajeve kada postoje podaci za sve kvalitetne klase.

2.2.4 Drvene konstrukcije: Klase čvrstoće – EN 338

Sistem klasa čvrstoće za monolitnu četinarsku građu (EN 338, [2]) dat je u Tabeli 1.

3 EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA ČETINARSKJE GRAĐE

Za utvrđivanje okvira za svrstavanje kvalitetnih klasa četinarskog drveta u klase čvrstoće korišćena su dva referentna eksperimenta koja su se sprovodila u okviru opsežnih eksperimentalnih istraživčkih projekata druge namene, [1], [15], ali pri kojima je bilo neophodno ustanoviti stvarna osnovna svojstva četinarskog drveta, jela/smreka. Ispitivanja su ili sprovedena prema ili interpretirana (prevedena) na zahteve EN.

3.1 Ispitivanje četinarske građe I klase prema EN standardima

U cilju eksperimentalnog određivanja relevantnih mehaničkih svojstava tehničkog četinarskog drveta, prema EN standardima ispitivana je, na Fakultetu za građevinarstvo i geodeziju u Ljubljani, čamova građa klasifikovana prema domaćoj regulativi kao I kvalitetna klasa na malim čistim epruvetama. Ispitani uzorak brojao je 42 epruvete. Ispitivanja su sprovedena na digitalnoj servo-hidrauličnoj presi Roell Amstler, HA 100 (kapacitet 100 kN), sa mogućnošću izvođenja statičkih i dinamičkih ispitivanja do frekvence od 100 Hz.

3.1.1 Zapreminska masa (gustina drveta) - (ISO 3131, EN 384)

Zapreminska masa ispitivanog drveta određena je na osnovu merenja na tri uzorka pri čemu se broj ispitanih epruveta u svakom uzorku se kretao od 13 do 15. Prilikom ispitivanja, merene su tačne dimenzije epruveta i vlažnost svake posebno, a vrednost zapreminske mase svake epruvete normalizovana je na standardnu vlažnost od 12% (korekcija od 0.5% za svaki % promene vlažnosti u odnosu na standardnu: EN 384, tačka 7 - Sadržaj vlage). 5% vrednost gustine svakog uzorka izračunavana je na osnovu jednačine (7), a karakteristična vrednost gustine, tj. zapreminske mase ispitivanog drveta, određivana je na osnovu jednačine (8). Ista jednačina korišćena je za određivanje srednje vrednosti zapreminske mase u ispitanim uzorcima ρ_{mean} , Tabela 2.

Tabela 1. Klase čvrstoće – monolitno četinarsko drvo i topola

	C14	C16	C18	C22	C24	C27	C30	C35	C40
	in N/mm^2								
$f_{m,k}$	14	16	18	22	24	27	30	35	40
$f_{c,k}$	8	10	11	13	14	16	18	21	24
$f_{t,90,k}$	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
$f_{c,0,k}$	16	17	18	20	21	22	23	25	26
$f_{t,m,k}$	4,3	4,6	4,8	5,1	5,3	5,6	5,7	6,0	6,3
$f_{t,k}$	1,7	1,8	2,0	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8
	in kN/mm^2								
$E_{0,mean}$	7	8	9	10	11	12	12	13	14
$E_{0,05}$	4,7	5,4	6,0	6,7	7,4	8,0	8,0	8,7	9,4
$E_{90,mean}$	0,23	0,27	0,30	0,33	0,37	0,40	0,40	0,43	0,47
G_{mean}	0,44	0,50	0,56	0,63	0,69	0,75	0,75	0,81	0,88
	in kg/m^3								
ρ_k	290	310	320	340	350	370	380	400	420

3.1.2 Modul elastičnosti pri savijanju – (EN 408, EN 384)

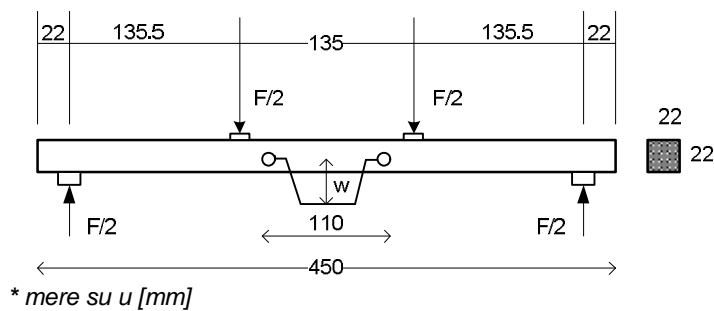
Određivanje modula elastičnosti pri savijanju sprovedeno je na epruvetama dimenzija $b \times h \times L_u = 22 \times 22 \times 450$ mm, pri čemu je raspon između oslonaca zadržan u predviđenom odnosu prema standardu od $L=18h = 396 - 400$ mm, slika 4. Ista dispozicija opterećenja (isti test) je korišćen za određivanje modula elastičnosti i čvrstoće pri savijanju i sproveden je do loma epruveta. Brzina opterećivanja iznosila je 0,07 mm/sek što je u saglasnosti sa predviđenom brzinom ispitivanja prema EN 408, tačka 8., od $v \leq 0,003$ h mm/s. Prilikom ispitivanja merena je vlažnost svake pojedinačne epruvete i sprovedena je korekcija modula elastičnosti od 2% za svaki % razlike vlažnosti u odnosu na nominalnu (EN 384, tačka 5.3.4.2). Za 15 ispitanih epruveta u jednom uzorku sračunata je vrednost modula elastičnosti pri savijanju prema jednačini (19), a dobijeni rezultati

srednje i karakteristične vrednosti, redukovani su faktorom zavisnim od broja i veličine uzorka ($k_s=0.75$).

$$E_m = \frac{a \cdot l_1^2 \cdot (F_2 - F_1)}{16 \cdot I \cdot (w_2 - w_1)} \quad (19)$$

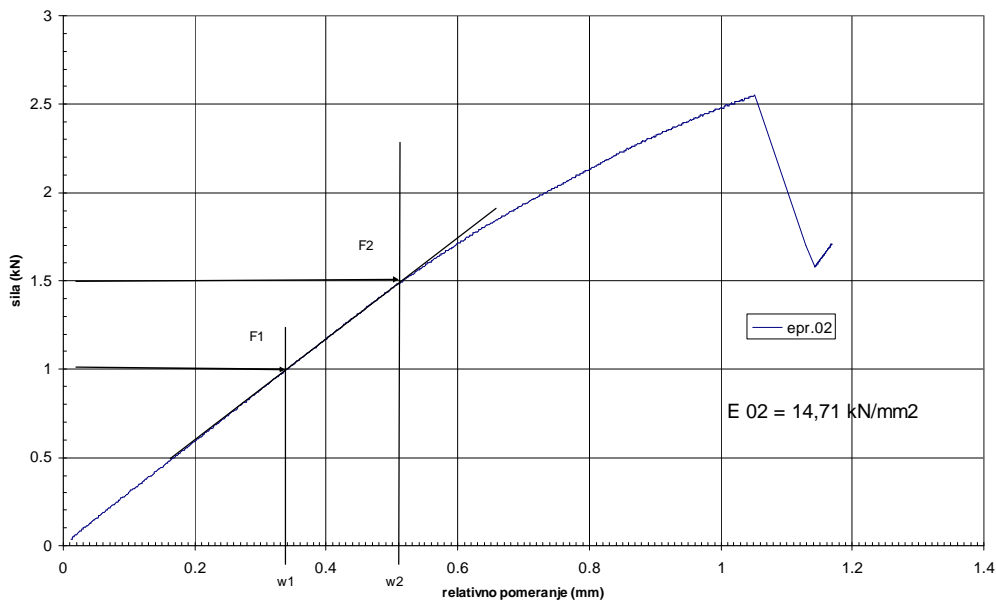
U jednačini (19), korišćene su sledeće oznake:

- E_m modul elastičnosti pri savijanju [kN/mm^2],
 - a razdaljina između oslonca i mesta unosa sile [mm],
 - l_1 raspon mosta za merenje [mm],
 - I moment inercije ispitivanog preseka [mm^4],
 - $(F_2 - F_1)$ inkrement opterećenja u pravolinijskom delu P/Δ dijagrama [kN],
 - $(w_2 - w_1)$ inkrement relativnog pomeranja [mm].
- Način određivanja inkrementa opterećenja i relativnog pomeranja prikazani su na slici 5.



Slika 4. Ispitivanje modula elastičnosti pri savijanju || vlaknima

Modul elastičnosti pri savijanju



Slika.5. Dijagram ispitivanja za određivanje modula elastičnosti pri savijanju - određivanje inkrementa sile i relativnog pomeranja

3.1.3 Čvrstoća pri savijanju (EN 408, EN 384)

Za određivanje čvrstoće pri savijanju korišćena je dispozicija i epruvete (15) iz prethodnog ispitivanja, u skladu sa EN 408, tačka 11. Rezultati ispitivanja određivani su na osnovu jednačine (20). Za određivanje srednje i vrednosti 5% fraktila uzorka, korišćeni su popravni koeficijenti s obzirom na visinu preseka k_h , jednačina (3), i s obzirom na mala odstupanja u dužinama testiranih epruveta i standardom predviđenih k_l , jednačina (4). Za prevođenje 5% svojstva uzorka u karakterističnu vrednost svojstva drvene populacije, korišćen je koeficijent $k_s = 0.75$. Pri računskom određivanju čvrstoće pri savijanju, za epruvete vlažnosti između 10 i 18% nije predviđena redukcija svojstva (EN 384, tačka 5.3.4.2).

$$f_m = \frac{a \cdot F_{max}}{2 \cdot W} \quad (20)$$

U jednačini (20), korišćene su sledeće oznake:
 f_m savojna čvrstoća [N/mm^2],
 a razdaljina između tačke opterećenja i najbližeg oslonca [mm],

F_{max} najveća dostignuta sila pri ispitivanju [N] i

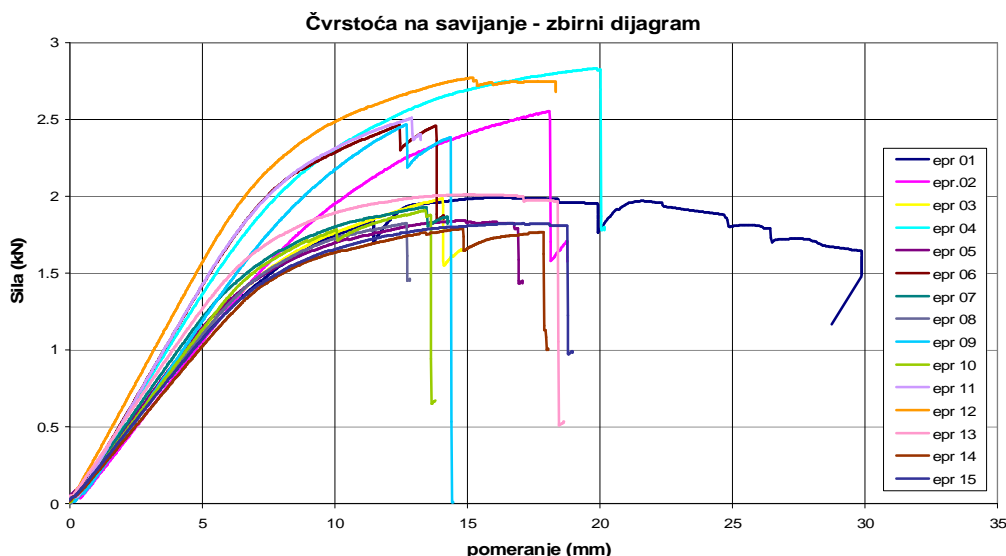
W otporni moment poprečnog preseka [mm^3].

Sračunata savojna čvrstoća na osnovu ispitivanja je redukovana koeficijentom visine k_h koji u ovom slučaju ima vrednost 1.46. Koeficijent dužine k_l u datom slučaju ima vrednost 0.97. Rezultati ispitivanja prikazani su u Tabeli 2, a skupni dijagram ispitanih epruveta na sl.6.

Pored ispitivanja osnovnih svojstava, u okviru ovog istraživanja, sprovedena su i dodatna ispitivanja pritiska II i upravno na vlakna, koja ovde neće biti posebno prikazivana, ali čiji su rezultati uvršteni u Tabelu 2, jer su važni za donošenje zaključka o polaznim okvirima za identifikaciju kvalitetnih klasa (JUS - SRPS) prema klasama čvrstoće (EN). U Tabeli 2 su takođe prikazane vrednosti dobijene u tekućem eksperimentu i njihova ekstrapolacija na adekvatnu drvnu populaciju.

Tabela 2. Rezultati ispitivanja četinarske čamove građe I kv. klase prema EN

Mehanička svojstva	uzorak / zapr.masa			srednja vrednost		fraktil 0,05		klasa čvrstoće	
	1	2	3	exp	pop	exp	pop	exp	pop
Čvrstoća pri savijanju f_m [N/mm^2]	$\bar{\rho}$ (kg/m^3)		435	54.2	40.7	40.0	30.0	C40	C30
	ρ_{05} (kg/m^3)		330						
Modul elastičn. pri savijanju E_m [kN/mm^2]	$\bar{\rho}$ (kg/m^3)		435 330	15.5	11.6	11.5	8.63	C40	C30
	ρ_{05} (kg/m^3)								
Čvrst. pri prit. II vlaknima $f_{c,0}$ [N/mm^2]	470	$\bar{\rho}$ (kg/m^3)		38.8	29.1	29.1	21.8	C40	C27
	370	ρ_{05} (kg/m^3)							
Čvrst. pri prit. \perp na vlakna $f_{c,90}$ [N/mm^2]	$\bar{\rho}$ (kg/m^3)	445	ρ_{05} (kg/m^3)	2.54	1.91	1.4	1.05	-	-
		360							
Modul elastič. pri prit. \perp na vl. $E_{c,90}$ [kN/mm^2]	$\bar{\rho}$ (kg/m^3)	445	ρ_{05} (kg/m^3)	0.29	0.22	-	-	C18	C14
		360							
Klasa čvrstoće prema gustini drveta u exp. uzorku / populaciji	C30	C27	C24	ρ_{sr} (kg/m^3) = 450				C40	
	C27	C24	C22	ρ_{05} (kg/m^3) = 420					C24
				$\bar{\rho}$ (kg/m^3) = 450					
				ρ_k (kg/m^3) = 355					



Slika 6. Dijagram ispitivanja čvrstoće pri savijanju četinarskog drveta I klase

3.2 Eksperimentalna ispitivanja četinara II (III) klase prema JUS - SRPS

Za potrebe istraživanja klasa čvrstoće četinarskog drveta II i III kvalitetne klase, iskorišćeno je ispitivanje drvene građe sprovedeno u IMS Beograd, na uzorcima pune veličine ($L=3m$), uzetim nasumice iz realne proizvodnje građe prisutne na domaćem tržištu, različitog porekla. Ispitan je uzorak od 150 epruveta sa svim greškama drveta u dopuštenim tolerancijama prema JUS - SRPS standardima, a sa potpuno slučajnim položajem najslabijeg mesta duž i po visini preseka pri ispitivanjima do loma. Ispitivanje je sprovedeno na univerzalnoj presi AMSLER sa kapacitetom od 0-500 kN, sa tačnošću čitanja od 5N (0,4%) i mogućom brzinom nanošenja opterećenja od 50 kN/min. P/δ dijagram je direktno registrovan pisacem na presi. Ovaj eksperiment korišćen je i za određivanje modula elastičnosti pri savijanju, bez obzira što ne odgovara standardnoj proceduri ispitivanja definisanoj u JUS - SRPS D.A1.035. Karakteristični dijagrami ispitivanja dr. građe na savijanje i grupisanje rezultata zavisno od vrste loma epruvete prikazani su na slici 7 i Tabeli 3.

Dimenzije ispitivanih epruveta su $b/h/l=3,5/12/300$ cm, pri čemu je osovinsko rastojanje oslonaca iznosilo 270cm. Ispitivanja su sprovedena prema važećim JUS - SRPS standardima (konfiguracija opterećenja, način izračunavanja), a obrada rezultata ispitivanja sprovedena je normalnom raspodelom, sa veoma strogim kriterijumom pouzdanosti. Ispitivanje na građi u prirodnoj veličini sprovedena su idejom utvrđivanja realnih koeficijenata sigurnosti građe u konstrukciji, a za ovu priliku, rezultati ispitivanja su korekcionim faktorima (visina, dužina, način opterećivanja), [11], [13], prevedeni na zahteve EC5 za male čiste epruvete.

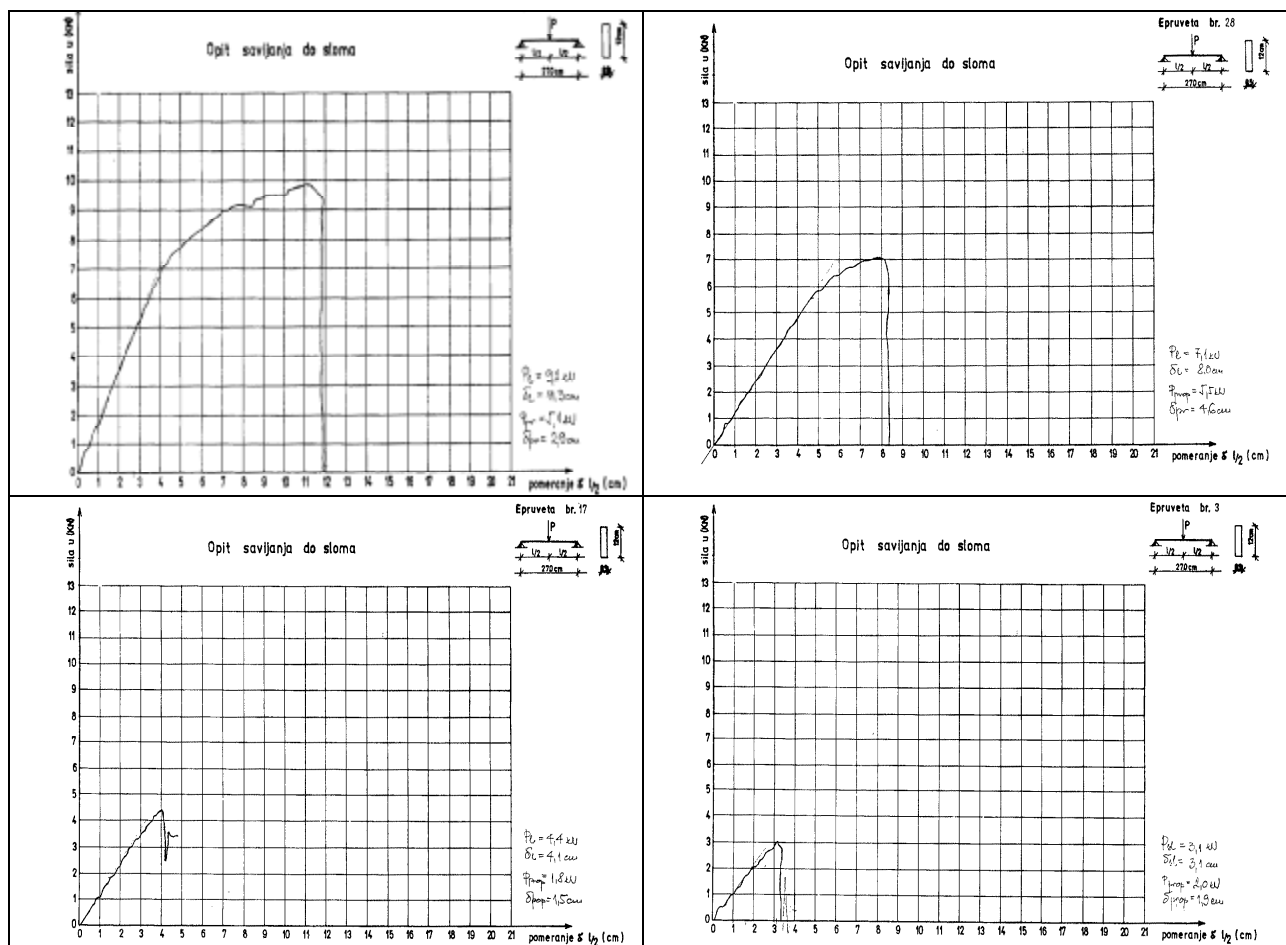
Uzorak je prvo statistički analiziran kao jedinstven skup, jer je ispitivana drva građa jedinstveno vizuelno klasirana kao građa II kvalitetne klase (prema JUS - SRPS U.DO.001). Međutim, kao što je i očekivano, tokom ispitivanja pokazalo se da postojanje grešaka

drveta (naročito kvrga* i zakošenosti žice**), čije postojanje je dozvoljeno u određenom procentu za normalne gređice rezane građe jela/smreka prema JUS - SRPS D.C1.041., dovodi do grupisanja rezultata oko nekoliko "tačaka nagomilavanja", odnosno značajno utiče na rezultat ispitivanja „full-size“ epruveta (prvenstveno na silu loma pojedinih epruveta). U Tabeli br. 3 dat je broj epruveta u korelaciji sa odgovarajućom silom loma i opisima četiri karakteristična loma epruvete, pri čemu je nasumično postojanje kvrga u pritisnutoj, zategnutoj zoni i na osloncima, kao i prekomerno zakošenje-usukanost žice, izdvojeno u odgovarajuću podklasu, koja je dodeljena III klasi kvaliteta građe.

Uz navedena tri osnovna ispitivanja, sprovedena su kao dodatna i ispitivanja na pritisak upravno na vlakna, na malim čistim epruvetama. Rezultati ovih ispitivanja, pored ispitivanja na savijanje i zapreminsku masu, su uključeni u Tabelu 4, jer su merodavni za donošenje okvirnih zaključaka o klasama čvrstoće domaćeg tehničkog četinarskog drveta. Statističkom obradom rezultata ispitivanja (korišćena normalna raspodela) određene su srednje i vrednosti 5% fraktila (karakteristične vrednosti): za čvrstoću na savijanje i modula elastičnosti pri savijanju, kao i zapreminske mase. U Tabeli 4 su prikazani rezultati i u odnosu na podskupove razmatrane kao III kvalitetna klasa, a za prevođenje rezultata u odnosu JUS - SRPS-EN standardi korišćeni su koeficijenti konfiguracije opterećenja i dužine epruvete prema Madsenu [13].

* kvрге: zdrave, srednje veličine (21-40mm), pojedinačne, ili srasle sa min razmakom od 40 cm.

** zakošenost žice: otklon vlaknaca od 10% (10cm / 1,0m).



Slika 7. Dijagram ispitivanja drvene čamove građe II(III) klase pri savijanju do loma

Tabela 3: Grupisanje rezultata ispitivanja epruveta na savijanje, jela/smreka II klasa, prema sili loma i vrsti karakterističnog loma ($S n = 150$)

OPIS LOMA SILA LOMA	LOM NA MESTU KVRGE, CELOM VISINOM PRESEKA	KIDANJE ZATEGNUTIH VLAKANA NA MESTU KVRGE	KIDANJE ZATEGNUTIH VLAKANA	GNJEČENJE PRITISNUTIH I KIDANJE ZATEGNUTIH VLAKANA	LOM U PRITISNUTOJ ZONI NA MESTU KVRGE
kN	br.epr. n_1	br.epr. n_2	br.epr. n_3	br.epr. n_4	br.epr. n_5
<2.0	1	2			
2.0-2.99	8	8	2		
3.0-3.99	5	14	5	1	
4.0-4.99	2	11	12		
5.0-5.99	1	7	14	1	
6.0-6.99		3	22	2	
7.0-7.99			12	5	1
8.0-8.99				7	
9.0-10.0				4	
Σ	17	45	67	20	1
Σ (%)	11.33	30.0	44.66	13.33	0.66
Σn_i	62		67	21	
Σn_i (%)	41.33		44.66	14.0	

Tabela 4. Upoređenje rezultata ispitivanja drvene građe II (III) kvalitetne klase (jela/smreka) prema JUS - SRPSu sa zahtevima odredbi EC-5 i EN 338

exp. vrednost σ , E (MPa) ρ (kg/m ³)	koef. konfigur. opt. i dužine epr. k_d (Madsen)	koef. vis.pres. $k_h=(150/h)^{0.2}$ (EC-5)	koef. lognom $k_1 = e^{-(2.645+1/\sqrt{n})\cdot v(x)+0.15}$ (EC-5)	karakterist. čvrstoća $f_{m,k}$ (MPa)	klasa čvrstoće (EN 338)
$\sigma_{m,l,mean}=41.324$ $v(150)=0.3667$	1.25	1.0456	0.42747	14.78	C14-C16
$\sigma_{m,l,mean}=43.51$ $v(133)=0.334$	1.25	1.0456	0.46655	16.98	C16-C18
$\sigma_{m,l,mean}=49.7$ $v(88)=0.2578$	1.25	1.0456	0.5715	23.76	C22-C24
$E_{m,mean}=10076$ $v(150)=0.1865$	-	-	0.6987	-	C22-C24
$\sigma_{c,\perp,mean}=5.62$ $v(21)=0.1717$	-	-	0.526	-	C14
$E_{c,\perp,mean}=349.8$ $v(9)=0.2898$	-	-	-	-	C22
$\rho=375$ $w=12\pm 1\%$	-	-	-	344	C22-C24

4 ANALIZA REZULTATA EKSPERIMENTALNIH ISPITIVANJA

Prema EN standardima, za potrebe kvantifikacije materijala drveta neophodno je sprovesti 3 ispitivanja osnovnih svojstava za definisanje klase čvrstoće: zapreminska masa (gustina drveta ISO 3131, EN 384), čvrstoća pri savijanju (EN 408, EN 384) i modul elastičnosti pri savijanju (EN 408, EN 384). U sprovedenim ispitivanjima, testirana građa je birana nasumično i iz proizvoljnog staništa, a broj ispitanih epruveta u uzorku je bio dovoljan za utvrđivanje reda veličine osnovnih svojstava, ali ne i za punu kvantifikaciju drvene populacije u celini. Kao dodatna ispitivanja, sprovedena su ispitivanja pritiska II (EN 408, EN384) i upravno na vlakna (EN1193, EN384), kao kontrolna verifikaciona ispitivanja. Svi dobijeni rezultati su korigovani na referentnu vlažnost, a sprovedena je i redukcija dobijenih vrednosti s obzirom na potrebnu veličinu uzorka za ocenu populacije, kao orijentacionim podacima.

Pri ispitivanjima drvene građe u punoj veličini, prisutne na domaćem tržištu i komercijalno klasirane u II kvalitetnu klasu, razmatrani su podskupovi koji odražavaju II i III kvalitetnu klasu malih čistih uzoraka. Ispitivana su ista osnovna svojstva koja zahtevaju EN standardi, ali prema konfiguracijama opterećenja koja definišu JUS - SRPS standardi. Sprovedeno je prevođenje uticaja konfiguracije opterećenja i veličine prema u literaturi datim koeficijentima, kao i korigovanje na referentnu vlažnost. Pored osnovnih, sprovedeno je i ispitivanje na pritisak upravno na vlakna, u svrhu verifikacione kontrole.

4.1 Komentari rezultata ispitivanja čamovog drveta I kvalitetene klase:

U određivanju gustine drveta javlja se nelogičnost u dva EN standarda za ispitivanje koja se tiču određivanja srednje i karakteristične čvrstoće u odnosu na uzorak sa odgovarajućim brojem epruveta i formiranja ukupnog uzorka od svih ispitanih epruveta. Primena dva kriterijuma propisana međusobno povezanim standardima dovodi do razlike u oceni klase čvrstoće drveta od C24 do C40.

Ispitivanja čvrstoće i modula elastičnosti pri savijanju dovode do nedvosmislenog zaključka da se u ispitanom uzorku radi o klasi drveta C40, odnosno o drvnj populaciji C30. Na osnovu ovih rezultata, mogu se na osnovu predloženih jednačina odrediti i ostala svojstva drveta i drvo svrstati u klasu C30. Dodatno ispitivanje pritiska II vlaknima takođe upućuje da se u ispitanom uzorku radi o drvetu klase C40, odnosno drvnj populaciji klase C27.

Međutim, ispitivanje modula elastičnosti i čvrstoće na pritisak upravno na vlakna na istom uzorku daje kontradiktorne rezultate koji se kreću u granicama od C14, C18, C24, do C27. Siguran zaključak je da ovo ispitivanje, zbog prirode nanošenja opterećenja, osetljivije od drugih i značajno zavisi od broja ispitanih epruveta u uzorku, jer se opterećenje nanosi tangencijalno u odnosu na godove, odnosno rasipanje rezultata direktno zavisi od širine godova i odnosa ranog i kasnog drveta, slika 8. Zahtevana vrednost prema klasama čvrstoće EN 338 je višestruko veća i saglasna sa računskim vrednostima dobijenim na osnovu preporučenih jednačina. Ovako bitna razlika se delimično može objasniti razlikom čvrstoća upravno na vlakna u tangencijalnom i radialnom pravcu, kao i nedovoljnim brojem ispitanih epruveta. Takođe, zahtevi za vizuelnom klasifikacijom doma-



Slika 8. Drvena četinarska građa I klase - ispitivanje mehaničkih svojstava

ćih standarda i standarda EN 14081 (1-4), [6], (prethodno EN 518 i 519) su značajno različiti i direktno utiču na ovu vrstu rezultata. Za čamovu građu I kvalitetne klase može se smatrati da pripada klasi $C \geq 27$.

4.2 Komentari rezultata ispitivanja čamovog drveta II (III) kvalitetene klase:

Rezultati eksperimentalnih istraživanja čamove građe II kvalitetne klase u prirodnoj veličini takođe pokazuju rasipanje, tj. računsko pripadanje različitim klasama čvrstoće u okviru istog uzorka. Niže vrednosti se takođe iskazuju u vrednostima pritiska upravno na vlakna, pri čemu je ispitivana tangencijalna čvrstoća pritiska upravno na drvena vlakna, a širina godova građe epruveta se kretala od 2 do 9mm, što se bitno odrazilo na iskazane čvrstoće. S obzirom da raspodela napona po visini preseka pri ovakvom ispitivanju nije uniformna (pritisk upravno na vlakna izaziva gnječenje drveta pri čemu dolazi do poremećaja strukture ranog i kasnog drveta), principijelno se iz ovakvog ispitivanja ne može određivati modul elastičnosti na pritisak upravno na vlakna, ali kako je granica proporcionalnosti jasno izražena, vrednosti $E_{c\perp}$ su ipak izračunate kao orijentacione jer ne postoji odgovarajući JUS - SRPS za ovakve vrste ispitivanja. Ovi rezultati takođe upućuju na problem klasiranja građe.

Stoga, kao polazni podatak, može se usvojiti da četinarska građa II kvalitetne klase pripada klasi $C \geq 22$, dok se za drvene elemente sa većim greškama (npr. kvrgama i velikom zakošenošću žice u odnosu na osu štapa), koja bi odgovarala III kvalitetnoj klasi četinaru, može smatrati da pripada klasi čvrstoće $C \geq 14$.

5 ZAVRŠNE NAPOMENE I PRAVCI DALJIH ISTRAŽIVANJA

Generalni razlozi za poteškoće u svrstavanju građe na domaćem tržištu u sistem sistem klasa čvrstoće, čak i prema veoma opsežnim istraživanjima, leže u razlici između 3 postojeće kvalitetne klase u domaćoj praksi, koje počivaju na vizuelnom klasiranju na osnovu prilično deklarativnih opisa, i 9 iznijansiranih klasa čvrstoće za četinarsku građu, čija su detaljna pravila za vizuelno i mašinsko klasiranje izložena u EN 14081 (1-4).

EN 14081 (1-2) definiše osnovne principe i minimalne zahteve za vizuelnu klasifikaciju drvene građe, uvažavajući različitosti vrsta drveta na različitim geografskim prostorima Evrope, različite dimenzionalne zahteve i zahteve namene građe, ograničavanjem karakteristika drveta koje utiču na smanjenje čvrstoće: kvrga i nagiba žice (vlakana), zapreminske mase i širine godova, pukotina, ograničavanjem geometrijskih i bioloških karakteristika, kao i oštećenja nastalih pri sečenju građe i transportu, prema [8].

Mašinska klasifikacija drvene građe zasnovana je na mašinskom određivanju modula elastičnosti pri savijanju i dva različita pristupa kontroli pouzdanosti samih uređaja. "Output controlled system" je ekonomičan kod velike količine drvene građe istih dimenzija i klase. "Machine controlled system" podesniji je za područja sa velikom raznolikošću drvene građe u dimenzijama, vrstama i klasama, a koja se javlja u manjim količinama (evropsko tržište). Sa ovakvim sistemom kontrole nisu potrebna česta kontrolna ispitivanja uzoraka, što postupak mašinskog gradiranja drvene građe čini manje skupim. EN 14081 (3-4), pravila za mašinsku klasifikaciju drvene građe, daju zahteve za oba tipa "grading" mašina, i za sam proces klasifikacije građe prema čvrstoći. Standard zahteva i propisuje način određivanja svih promenljivih koje mogu da utiču na rezultat rada mašine, a takođe zahteva i nezavisne rezultate eksperimentalnih istraživanja, prema [8].

Potreba za uvođenjem sistema klasa čvrstoće u oblast građevinskog drveta na teritoriji naše zemlje jedan je od prvih koraka koji se mora učiniti u smislu izlaza na evropsko tržište. Takođe, poznavanje klasa čvrstoće građe koja je prisutna na domaćem tržištu je jedan od početnih podataka neophodnih svakom projektantu prilikom proračuna prema EN 1995.

Procena kvaliteta građevinskog drveta, koju su na bazi iskustva dali Gojković i Stojić 1996., [9], svrstala je našu četinarsku građu III klase kvaliteta u klase čvrstoće C18-C22, II kvalitetnu klasu u C24, a I kvalitetnu klasu u C30. Na osnovu diskusija u [10] i [12], čini se da su sprovedena ispitivanja postavljene granice pomerila još više u pravcu nižih vrednosti, tj. III = C14-16, II = C22, I = C27. Ove vrednosti su svakako okvirne, ali daju projektantima mogućnost usvajanja referentnih čvrstoća na strani sigurnosti.

Dalje aktivnosti na definisanju sistema klasa čvrstoće tehničkog drveta na domaćem tržištu sigurno predstoje i podrazumevaju zajedničku i široku akciju proizvođača, dobavljača, šumarskih i građevinskih inženjera. Ovladavanje metodama ispitivanja definisanim u EN standardima nije velik problem, ukoliko postoji adekvatna oprema. Takođe, na osnovu navoda datih u okviru ovog rada, može se uvideti da je moguće sprovesti numeričko prevođenje rezultata, odnosno da je moguće iskoristiti postojeće rezultate za korelaciju sa EN standardima (mali čisti uzorci ili „full-size“ epruvete), a što je prilično značajno za siromašne ekonomije kao što je naša. Ono što je sigurno, to je da bolja vizuelna klasifikacija, sa jasno definisanim pravilima koja se poštuju, i adekvatnom kontrolom, najbrže doprinosi ujednačenom kvalitetu drvene građe na tržištu.

6 LITERATURA

- [1] Dujić, B., Gramatikov, K. (2002): "Razvoj računskih metod za dinamično analizo potresne otpornosti lesenih objekat", Bilateralni SLO-MAK projekat,
- [2] EN 338 (1995): „Structural timber – Strength classes“, CEN, Brussels, 6p.
- [3] EN 380 (1993): „Timber structures – Test methods – General principles for static load testing“, CEN, Brussels, 8p.
- [4] EN 384 (1995): „Structural timber – Determination of characteristic values of mechanical properties and density“, CEN, Brussels, 13p.
- [5] EN 408 (1995): „Timber structures – Structural timber and glued laminated timber – Determination of some physical and mechanical properties“, CEN, Brussels, 19p.
- [6] EN 14081 (2009): „Timber structures – Structural timber with rectangular cross-section. Visual and machine grading“, CEN, Brussels, 119p.
- [7] EN 1995-1-1(2004): „EUROCODE 5: Design of Timber Structures, Part 1.1: General Rules and Rules for Buildings“, CEN, Brussels, 124 p.
- [8] Glos, P. (1995): "Strength grading" & "Solid timber - Strength classes" Timber engineering - Step 1, Centrum Hout, The Netherlands, A6/8 & A7/8.
- [9] Gojković, M., Stojić, D. (1996): Drvene konstrukcije, Gros knjiga, Beograd, 1996., poglavlje 8, str. 613-640.
- [10] Kočetov Mišulić, T., Dujić, B., Gramatikov, K., Žarnić, R. (2006): "Influence of the loading protocols on the Hysteresis response of sheathing to framing nailed joints in shear walls" Proceedings of COST E29 Invited International Workshop on Earthquake Engineering on Timber Structures, Coimbra, Portugal, pp. 135-142.
- [11] Kočetov Mišulić T., Stevanović, B. (2003): "Postupci ispitivanja elastomehaničkih svojstava drveta prema JUS - SRPS i EC-5: uvođenje klasa čvrstoće" Zbornik radova INDIS 2003. - 9.og nacionalnog simpozijuma, Novi Sad, SCG, str. 283-290.
- [12] Kočetov Mišulić, T., Stevanović, B. (2008): „Eksperimentalna istraživanja drvene četinarske građe kao podloga za uvođenje klasa čvrstoće domaćeg tehničkog drveta“, Zbornik radova Simpozijuma o istraživanjima, primeni savremenih dostignuća u našem građevinarstvu u oblasti materijala i konstrukcija, XXIV kongres DIMK, Divčibare, Srbija, str. 351-360.
- [13] Madsen, B. (1992): "Structural behaviour of timber", Timber engineering Ltd., British Columbia, Canada, 405p.
- [14] Zbirka jugoslovenskih pravilnika i standarda za građevinske konstrukcije (1995): Drvene konstrukcije, knjiga 4, Beograd, 687 str.
- [15] Zakić, B., Kočetov, T., Janković, D. (1989-1991): Dokumentacioni materijal: Zapisi sa ispitivanja osnovnih materijala i veza kod NZP MDK, sv. 1; 153 p., YU-USA projekat Structural Behaviour of Low-Rise Wood-Framed Buildings produced in Yugoslavia.

REZIME

EKSPERIMENTALNA PODLOGA ZA UVOĐENJE KLASA ČVRSTOĆE ČETINARSKRE REZANE GRAĐE NA DOMAĆEM TRŽIŠTU

Tatjana KOČETOV-MIŠULIĆ
Boško STEVANOVIĆ

Uvođenje Evropske regulative u domaću građevinsku praksu u oblasti drvenih konstrukcija podrazumeva, pored upoznavanja i prihvatanja osnovnih pravila i zahteva proračuna prema Evrokodu 5, i sprovođenje niza pratećih istraživanja radi adekvatne identifikacije osnovnih materijala, spojnih sredstava, veza, sklopova i sl. U radu je dat prikaz i analiza eksperimentalno zasnovanih istraživanja tehničkog četinarskog drveta I, II i III kvalitetne klase, prisutnog na domaćem tržištu, prema zahtevima EN standarda sa ciljem formiranja osnove za svrstavanje domaćeg tehničkog drveta u klase čvrstoće prema EN 338. Izvedena komparativna analiza daje okvire projektantima i izvođačima za identifikovanje domaćih kvalitetnih klasa (JUS - SRPS) u vidu odgovarajućih klasa čvrstoće (EN).

Ključne reči : Drvo za konstrukcije, kvalitetne klase, klase čvrstoće, metodi konverzije, JUS - SRPS/EN regulativa

SUMMARY

EXPERIMENTAL PLATFORM FOR STRENGTH CLASS SYSTEM INTRODUCTION OF DOMESTIC CONIFEROUS TIMBER

Tatjana KOČETOV-MIŠULIĆ
Boško STEVANOVIĆ

Introduction of European legislation in domestic civil engineering practice in the field of timber structures considers, besides recognition and acceptance of basic rules and requirements for structural design according to EC5, performing of huge number of accompanying investigations in order to adequate identification of basic materials, fasteners, assemblies, etc. The experimentally supported analysis of domestic coniferous technical wood of I, II, and III quality class according to EN requirements, in order to identify the adequate strength classes, is given in the paper. The performed comparative analysis is given as the platform for strength class system introduction in domestic legislative, with the idea to give the frame to designers and constructors of correct appliance of timber present on domestic market into the structures.

Key words: Structural timber, grades-quality classes, strength class system, methods of conversion, JUS - SRPS/EN structural codes.

ISPITIVANJE AB KONSTRUKCIJE POD PROBNIM OPTEREĆENJEM PRE I POSLE SANACIJE NOVIM BETONOM I FRP LAMINATIMA

Slobodan RANKOVIĆ
Dragan ZLATKOV
Radomir FOLIĆ

STRUČNI RAD
UDK: 624.012.45.042

1 UVOD

Zbog propusta i nesavesnog rada često smo, nažalost, u situaciji da saniramo i objekte koji su u fazi gradnje. Predmet ovog rada je poslovni objekat u Nišu, koji je morao biti saniran jer je ostvarena marka betona armiranobetonske (AB) međuspratne konstrukcije iznosila svega MB15, odnosno 50% od projektovane MB30. Izrada, transport i nega betona nisu bili u skladu sa pravilima struke, a kao posledica toga javilo se niz nedostataka u statičkom i funkcionalnom smislu (prekomerne prsline i ugibi, zaostale deformacije, povišene vibracije). Radi potpune analize postojećeg stanja, pravilnog izbora vrste i obima sanacije, kao i radi uvida u sanirano stanje, konstrukcija je ispitivana na uticaj probnog opterećenja, pre i nakon sprovedenih mera sanacije, u skladu sa dokumentom SRPS U. M1. 047 [8]. Sanacija konstrukcije izvršena je kombinovanjem konvencionalnih metoda (dodavanje novog sloja betona i armature na AB ploči, uz dodatne podvlače u polovinama raspona), i savremene tehnike pojačanja primenom spolja lepljenih FRP elemenata kao dodatne armature za pojačanja AB greda [4,5,10,11].

Konstruktivni sistem ispitivanog objekta je skeletni sa nosećim okvirima u dva ortogonalna pravca i međuspratnim konstrukcijama betoniranim na licu mesta. Objekat se sastoji od prizemnog magacinskog prostora visine 9 m, i upravnog dela koji ima dve etaže prizemlje i sprat. Osovinski raspon konstrukcije iznosi 8,0x7,45 m.

Adresa autora:

Mr Slobodan Ranković, dipl. inž. građ, asistent,
Građevinsko-arhitektonski fakultet Niš,
slobodan.rankovic@gaf.ni.ac.yu
Mr Dragan Zlatkov, dipl. inž. građ, asistent,
Građevinsko-arhitektonski fakultet Niš,
dragan.zlatkov@gaf.ni.ac.yu
Dr Radomir Folić, dipl. inž. građ, profesor emeritus,
Fakultet Tehničkih nauka Novi Sad,
folic@ftn.uns.ns.ac.yu

Dimenzije rigli okvira su b/h=40/65 cm u unutrašnjim osama, odnosno 30/65 cm u krajnjoj osi E. AB stubovi su dimenzija 40/40 cm kod unutrašnjih i 30/40 cm kod krajnjih osa. Eksploataciono opterećenje na koje je međuspratna konstrukcija računata iznosi 2,0 kN/m². Predmet eksperimentalnog određivanja statičkih i dinamičkih karakteristika bila je međuspratna krstasto armirana betonska ploča, betonirana na licu mesta, debljine 15 cm i noseće AB grede u nivou sprata (kota +7,65 m). Za ispitivanje su odabrana dva karakteristična polja u osama C-D i D-E odnosno osama 4 i 5 (Slika 1), koja su proveravana pre i posle izvedene sanacije.

2 MERE SANACIJE

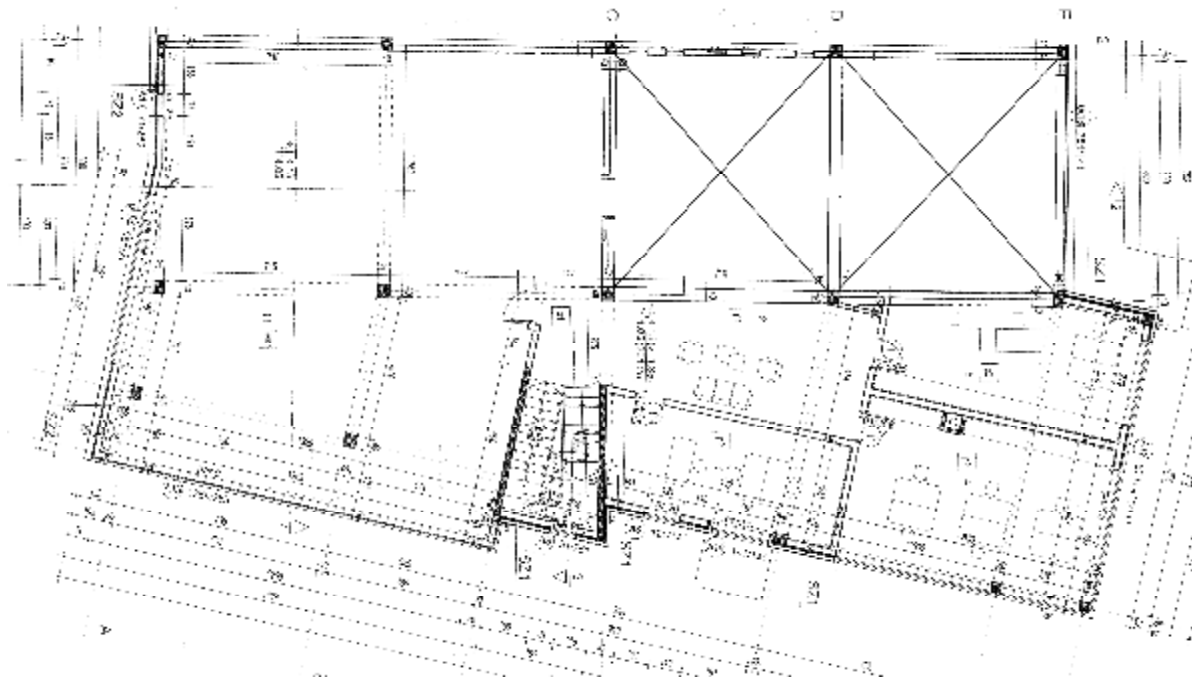
Nakon prikupljanja relevantnih podataka, dobijenih ispitivanjem ostvarene čvrstoće betona na pritisak (kernovanjem), i ispitivanjem površinske zatezne čvrstoće betona ("Pull-of" testom) i ispitivanjem međuspratne konstrukcije na uticaj probnog opterećenja [6], pristupilo se kontrolnom proračunu odnosno izradi projekta sanacije i sprovođenju predviđenih mera sanacije. Neophodno pojačanje pojedinih konstruktivnih elemenata izvršeno je na sledeći način:

a) AB krstasto armirana ploča debljine 15 cm, sa ostvarenom markom betona MB 15, spregnuta je sa novom betonskom pločom debljine 7 cm, projektovane marke MB 40, koja je armirana mrežnom armaturom Q188. Smicanje usled sprežanja na spoju starog i novog betona obezbeđeno je ankerima od rebraste armature prečnika Ø10 mm, prema proračunu. Međuspratna konstrukcija osovinskog raspona 8m x 7,45m ojačana je novim AB podvlakama dimenzija 30/40 cm i MB40, koje su projektovane po sredini osovinskog raspona AB ploče.

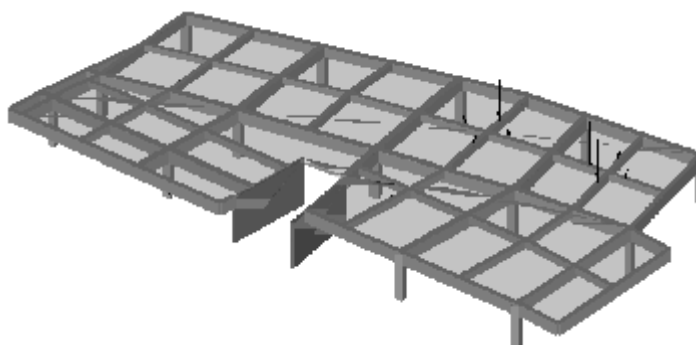
b) Pojačanje armiranobetonskih greda izvršeno je primenom FRP (Fibre reinforced polymer) elemenata u vidu laminata od karbonskih vlakana CFRP (sistem CarboDur), lepljenjem na spoljnu površinu epoksidnim

smolama. Dimenzionisanje pojačanja je sprovedeno prema statičkom proračunu i karakteristikama materijala datim od strane proizvođača, Švajcarske firme SIKA. Usvojene su CarboDur trake S 512 širine 50 mm i debljine 1,2 mm sa modulom elastičnosti $E_F=165$ kN/mm². Primenjen je dvokomponentni lepak na bazi epoksidnih smola *Sikadur-30*. Priprema površine, način lepljenja i zaštita FRP kompozitnih laminata od karbon-

skih vlakana (karbonskih traka), izvedeni su prema traženoj tehnologiji i uputstvu proizvođača [2] i [12]. Naročita pažnja posvećena je ostvarenju veze između postojećeg betona i FRP laminata. Pre eksperimentalnog istraživanja obavljen je kontrolni proračun međuspratne konstrukcije na 3D modelu koji je prikazan na slici 2.



Slika 1. Osnova ispitivane konstrukcije



Slika 2. Računski 3D Model međuspratne konstrukcije

3 EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA

3.1 Ispitivanje pre sanacije

Rezultati eksperimentalnog određivanja osnovnih statičkih i dinamičkih karakteristika međuspratne konstrukcije i AB okvira pre sanacije detaljno su prikazani u [9].

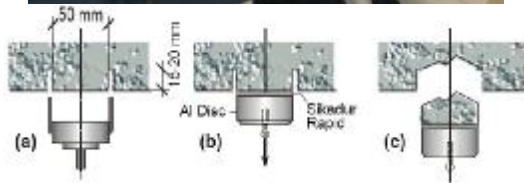
Vizuelnim pregledom predmetne konstrukcije registrovana je pojava prslina otvora 0,2 mm na donjoj, do 2 mm na gornjoj površini AB ploče. Prsline u AB gredama bile su otvora do 0,2 mm. Geometrijskih i drugih nepra-

vilnosti u AB stubovima nije bilo, jer su oni urađeni sa betonom propisane marke i predviđenom armaturom, što je umnogome olakšalo kasniju sanaciju.

Radi provere mogućnosti saniranja AB konstruktivnih elemenata primenom FRP laminata izvršeno je ispitivanje površinske zatezne čvrstoće betona standardnom metodom „Pull-off” testa (slika 3), korišćenjem hidrauličkog aparata, od strane ovlašćenih lica predstavništva SIKA. Merenje je izvršeno u 8 kontrolnih tačaka na AB gredama i AB ploči, a dobijeni rezultati prikazani su u tabeli T1.

Tabela T1: Rezultati "Pull-off" testa

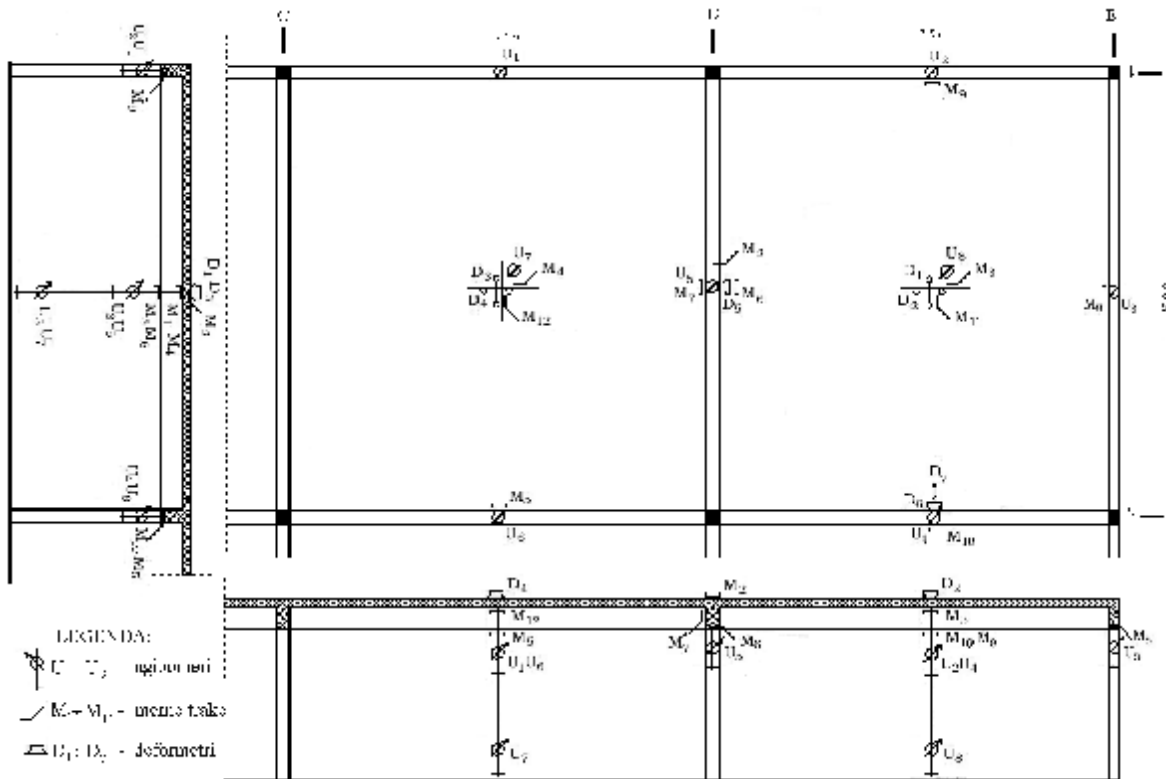
Uzorak br.	Lokacija mernog mesta	Izmerena vrednost (N/mm ²)
1	AB greda	3.69
2	AB ploča	3.54
3	AB ploča	2.94
4	AB greda	3.21
5	AB ploča	2.99
6	AB ploča	2.45
7	AB ploča	2.35
8	AB ploča	1.99



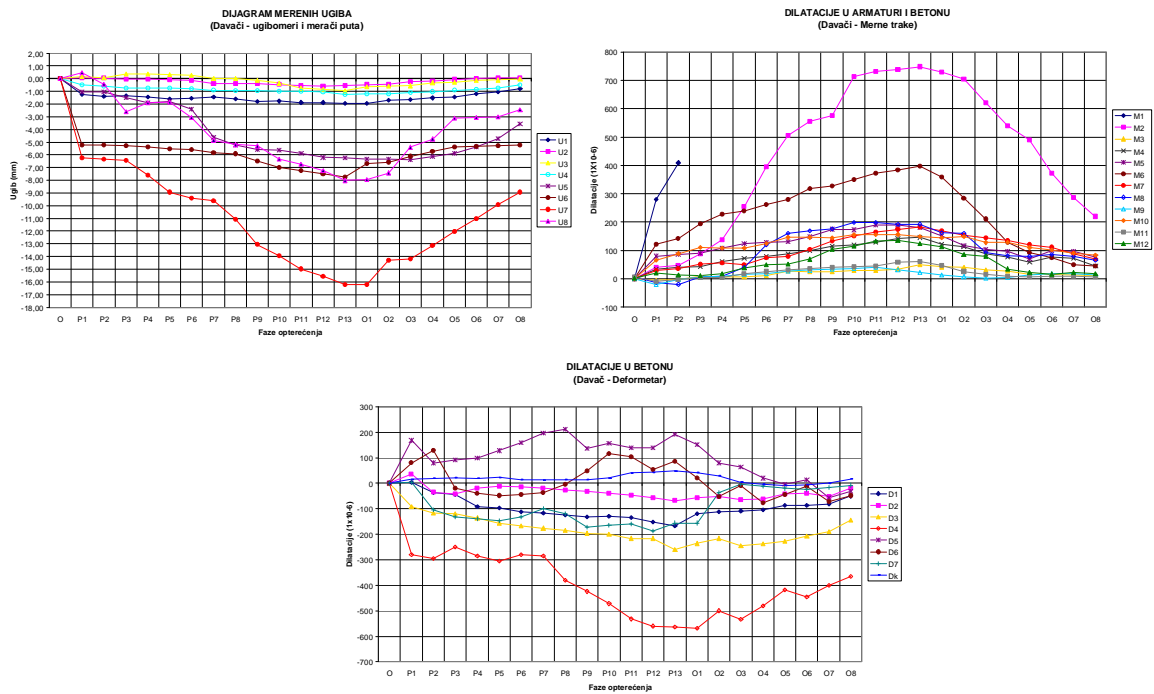
Slika 3. "Pull-off" test za proveru zatezne čvrstoće betona

Najmanja dozvoljena vrednost zatezne čvrstoće betona za adekvatnu primenu ojačanja FRP laminatima od karbonskih vlakana iznosi 1.5 N/mm², pa je u konkretnom slučaju konstatovana potrebna zatezna čvrstoća, odnosno moguća prima FRP laminata ili platana.

U okviru ispitivanja probnim opterećenjem, u skladu sa SRPS U.M1.047, mereni su uticaji od sopstvene težine u prvom polju (otpuštanjem skele) i uticaji od jednakopodeljenog, probnog opterećenja za maksimalnih 3,0 kN/m² koje je nanošeno po fazama (opekarskim blokovima) na gornju površinu ploče. Opterećenje je držano 16 sati, nakon čega je konstrukcija rasterećena i praćena narednih 16 sati. Korišćena je oprema (mehanički i elektronski instrumenti) za praćenje globalnih i lokalnih deformacija (ugiba i dilatacija) u skladu sa principom *opasivanja* preseka. Zaključci na osnovu sprovedenih ispitivanja pokazuju da su zbog smanjene krutosti mereni ugibi veći od računskih, a zbog nedovoljne elastičnosti zaostale vrednosti ugiba nakon rasterećenja veće od maksimalno dozvoljenih 25% za AB konstrukcije [6]. Dilatacije, odnosno naponi, u armaturi i betonu bile su u granicama dozvoljenih vrednosti, ali veće od odgovarajućih računskih za primenjeno probno opterećenje.



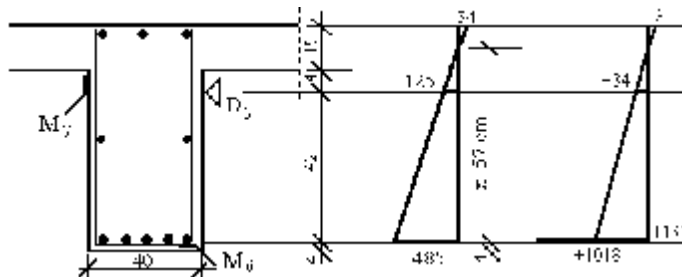
Slika 4. Raspored instrumenata pri ispitivanju na uticaj statičkog opterećenja, pre sanacije.



Slika 5. Izmerene vrednosti ugiba i lokalnih deformacija pre sanacije

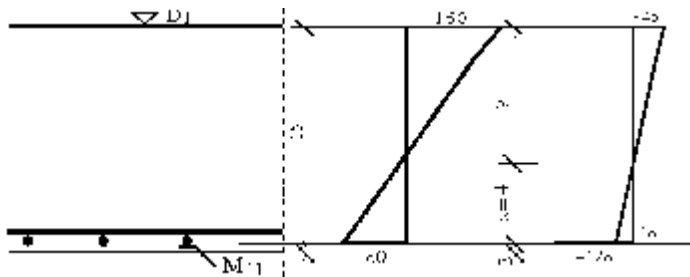
– Rigla rama u osi D4÷D5 (presek u //2)

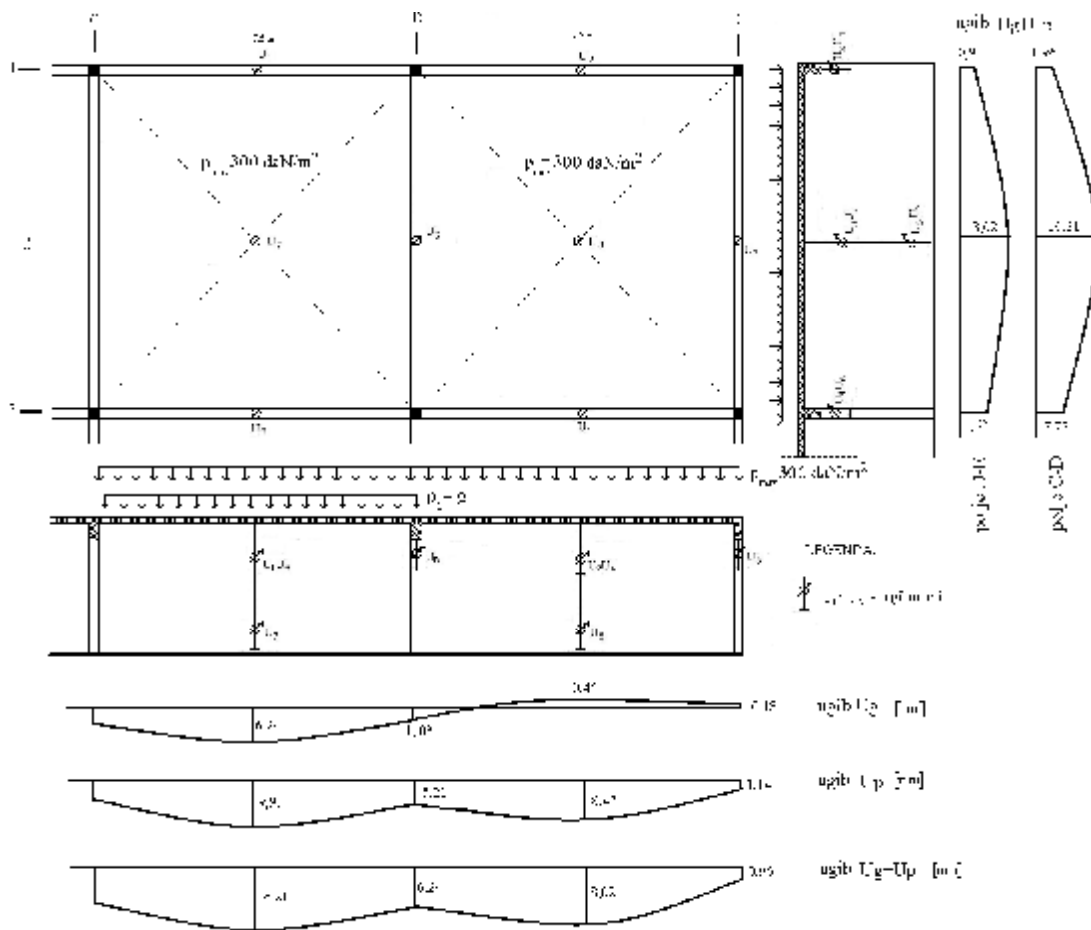
$$\epsilon \times 10^6 \times E = \sigma \text{ [daN/cm}^2\text{]}$$



– AB ploča između osa D÷E i 4÷5 (presek u sredini polja - poprečni pravac)

$$\epsilon \times 10^6 \times E = \sigma \text{ [daN/cm}^2\text{]}$$

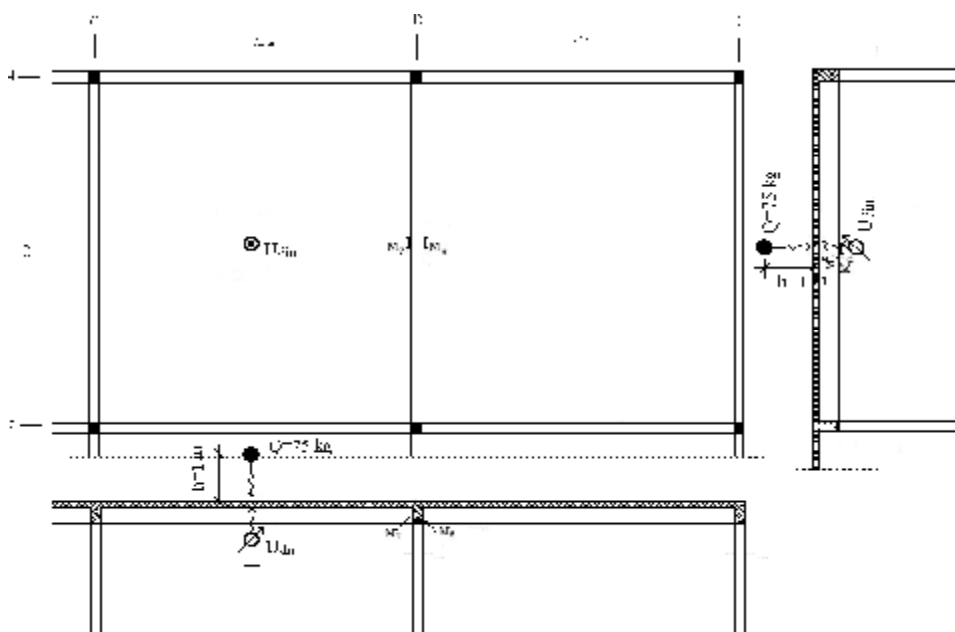




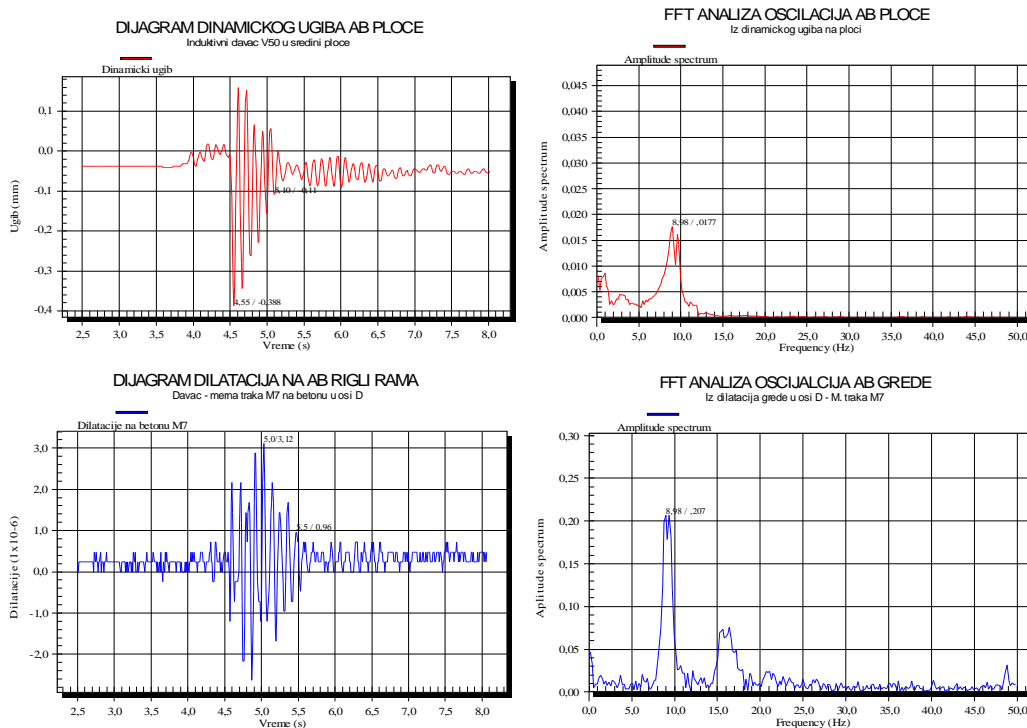
Slika 6. Grafički prikaz izmerenih deformacija pri statičkom opterećenju pre sanacije

Dinamička pobuda međuspratne konstrukcije radi definisanja sopstvenih vibracija i prigušenja ostvarena je

slobodnim padom tereta težine 75 kg sa visine od 1,0 m u sredini raspona ploče.



Slika 7. Raspored mernih instrumenata pri dinamičkoj pobudi konstrukcije



Slika 8. Dijagrami dinamičkih zapisa ugiba i dilatacije i FFT analiza signala.

ANALIZA DINAMIČKIH PARAMETARA PRE SANACIJE

Apliciranim impulsnim opterećenjem izazvane su vibracije armirano betonske međuspratne konstrukcije i praćen njen odgovor (odziv) do potpunog prigušenja.

Na osnovu snimljenih zapisa dinamičkog ugiba i FFT (Fast Fourier Transformation) analize zaključeno je da ispitivani elementi AB konstrukcije (krstasto armirana ploča i AB rigle rama) imaju gotovo identične vrednosti sopstvene frekvencije. FFT analiza urađena je softverskim paketom CATMAN (s/n 70341313408), firme HBM.

Dobijeni dijagrami amplitudno faznog spektra iz kojih se vide dominantne frekvencije oscilovanja pojedinih konstruktivnih elemenata pokazuju frekvenciju u osnovnom (prvom) tonu od $f=8,98$ Hz kod ploče i rigle rama u osi D na betonu odnosno $9,37$ Hz kod armature na istoj rigli rama. Uočena je dominantnost ovih frekvencija u amplitudnom spektru.

Vremensko trajanje vertikalnih vibracija do potpunog smirivanja iznosilo je oko $1,0$ sekunde za riglu rama, odnosno $2,0$ sekunde za ploču.

Sa stanovišta vrednosti prigušenja izraženog preko logaritamskog dekrementa sa vrednošću $\delta_1=0,252$ za ploču, odnosno $\delta_2=0,295$ za rigle, konstatuje se zadovoljavajuća moć apsorpcije dinamičke energije od strane osnovnih konstruktivnih armirano betonskih elemenata.

Na osnovu navedenih rezultata zaključeno je da se međuspratna konstrukcija tokom ispitivanja ponašala kruto, odnosno da je vreme slobodnih vibracija svega par sekundi. Karakteristične frekvencije javljaju se u domenu oscilovanja od približno $f \approx 9$ Hz, što je nešto veća vrednost od uobičajenih. Veoma male razlike u izmerenim vrednostima frekvencija, sa druge strane, navode na zaključak da se radi o sinhronom radu osnov-

nih konstruktivnih elemenata, što predstavlja povoljan efekat.

Nešto veća dužina trajanja vibracija do potpunog prigušenja kod AB ploče rezultat je uticaja njenog raspona i za posledicu može izazvati nelagodnost kod korisnika u eksploataciji. S obzirom da projektom nije predviđeno postavljanje mašina koje predstavljaju potencijalni izvor vibracija, nije postojala bojazan od eventualne rezonance. Brže prigušenje AB gređa govori o njihovoj većoj krutosti u odnosu na AB ploču, što je očekivani i povoljan efekat.

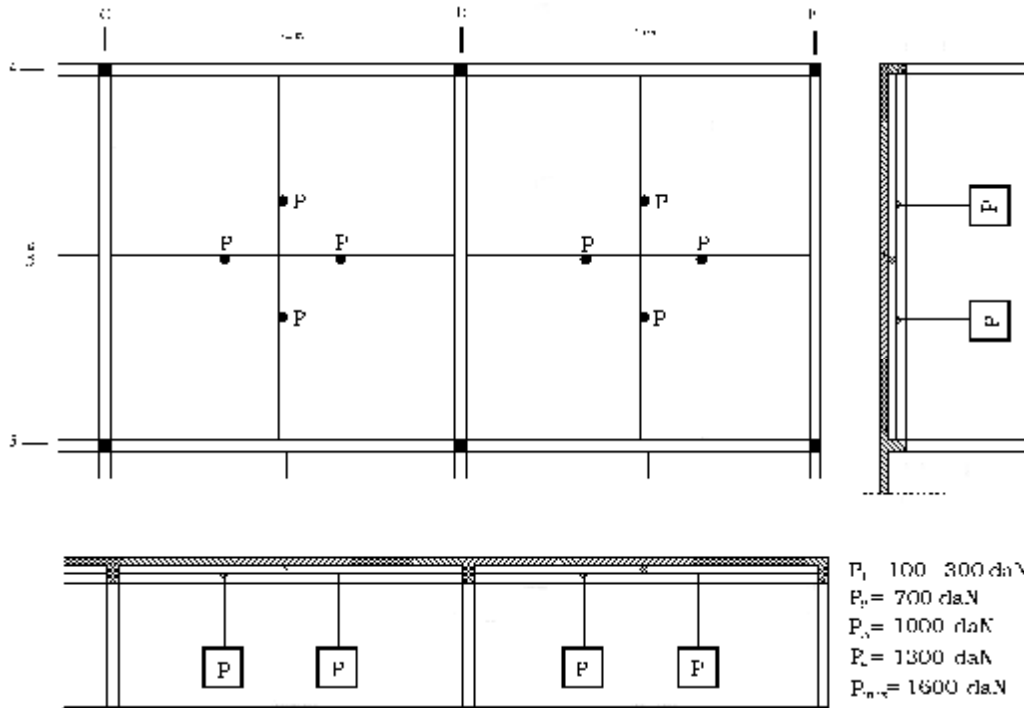
Na osnovu izmerenih dinamičkih parametara, može se konstatovati da su one za ispitivanu konstrukciju na granici uobičajenih veličina za ovaj tip konstrukcija. Izmerene su približno iste vrednosti sopstvene frekvencije od $f=9$ Hz na AB ploči i AB rigli rama u osi D. Vrednosti logaritamskog dekrementa od $\delta=0,252$ i $\delta=0,29$ pokazuju zadovoljavajuće karakteristike za AB konstrukciju u pogledu prigušenja dinamičke energije i njene apsorpcije.

3.2 ISPITIVANJE POSLE SPROVEDENIH MERA SANACIJE

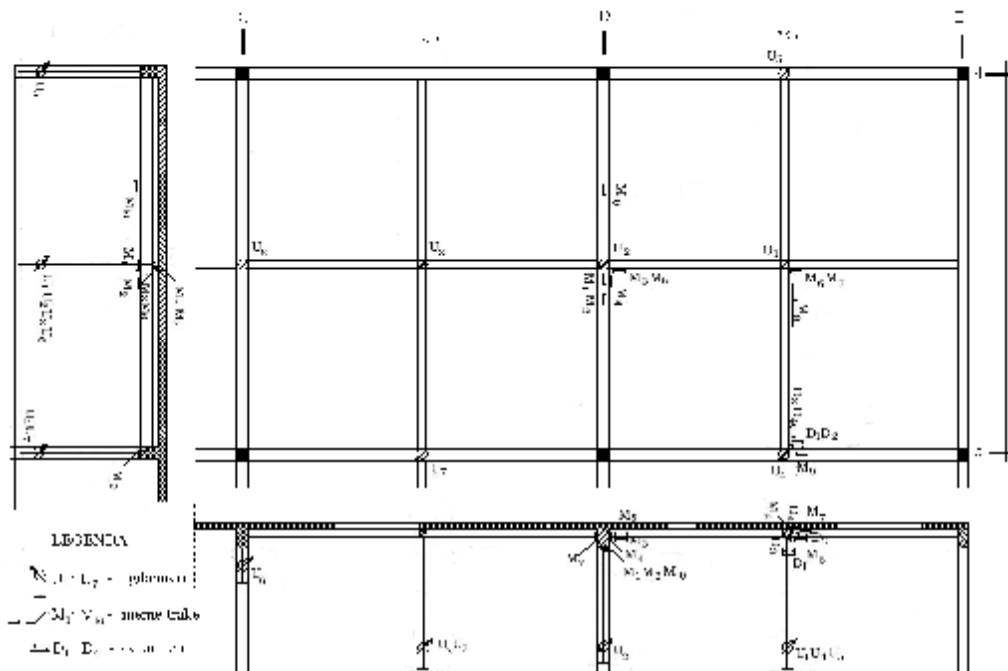
Način nanošenja probnog opterećenja, posle sanacije, diktiran je činjenicom da je gornja površina konstrukcije zatvorena krovnom pokrivačem i da je opterećenje moralo biti nanošeno (vešano) sa donje strane međuspratne konstrukcije. Kao probno statičko opterećenje korišćeni su betonski blokovi za zidanje kontrolisane težine. Probno opterećenje nanošeno je, primenom platformi od cevaste skele, u vidu koncentrisanih sila koje deluju na novoprojektovanim grednim nosačima za pojačanje i to u dva ispitna polja, između osa 4 i 5 tj.

D=E i osa C=D (slika 9). Na predviđenim mestima (1,2 m od sredine ploče) tokom izrade greda za pojačanje ugrađene su kuke (po 4 komada u polju) preko kojih je vešan probni teret od betonskih blokova. Efikasnost probnog opterećenja proverena je računskim putem sa ciljem da izazove približno iste ugibe kao i korisno opterećenje u vidu raspodeljenog tereta od 2,0 kN/m². Opterećenje je aplicirano u koracima, pomoću platformi (ukupno 8), koje su simetrično postavljene u dva polja. Ukupno pojedinačno opterećenje koje je nanošeno u

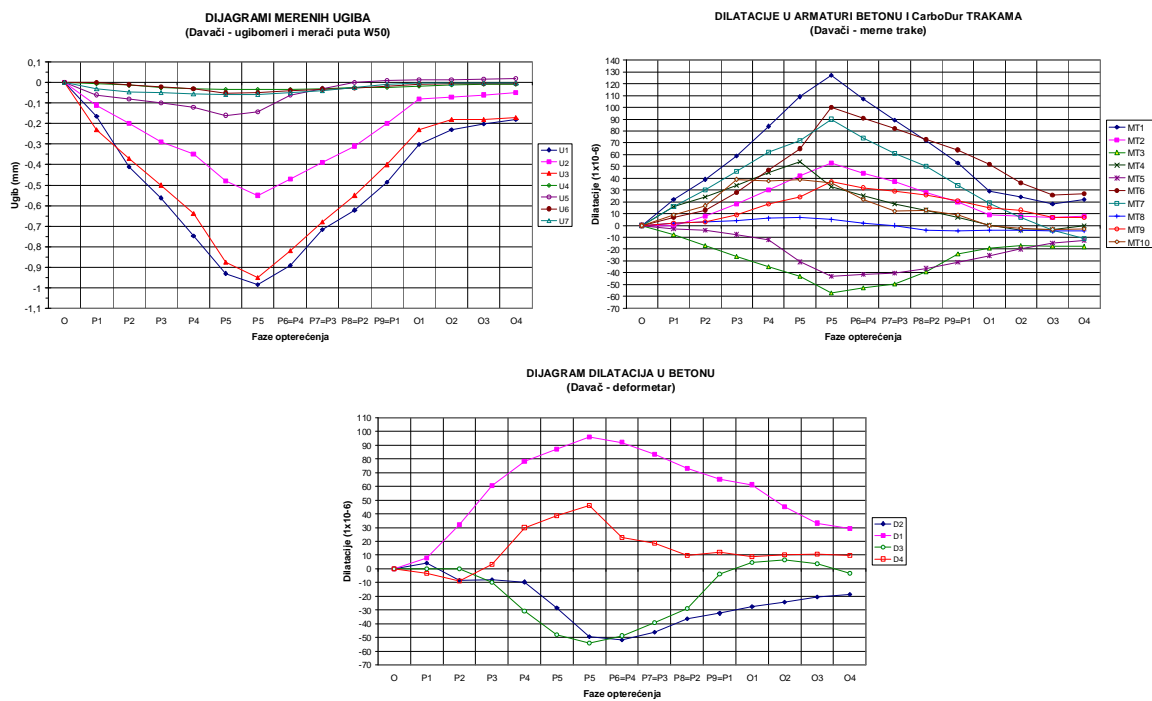
jednom polju iznosilo je 4x1600 daN. Nakon svakog koraka vršeno je očitavanje mernih instrumenata po svim mernim mestima. Maksimalno naneto opterećenje je zadržano na konstrukciji 16 sati nakon čega je izvršeno rasterećenje uz očitavanje vrednosti na instrumentima u narednih 16 sati tokom rasterećenja. Korišćeni su mehanički i elektronski instrumenti pri čemu su ovi drugi vezani preko merno akvizicijskog sistema SPIDER 8 za računar, a vrednosti pomeranja i dilatacija očitavane su automatski na svakih 15 minuta.



Slika 9. Šematski prikaz apliciranja probnog opterećenja na saniranoj konstrukciji.

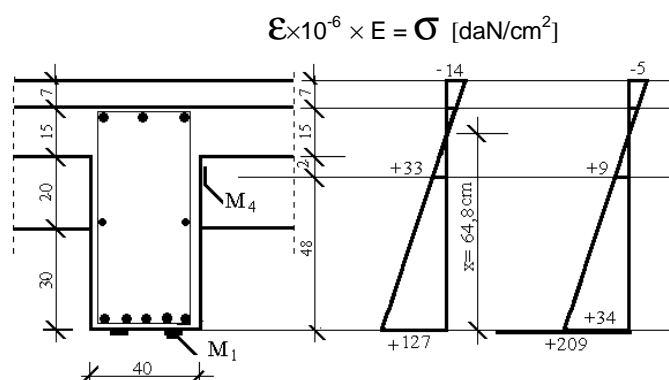


Slika 10. Raspored instrumenata na saniranoj konstrukciji pri ispitivanju na statičko opterećenje

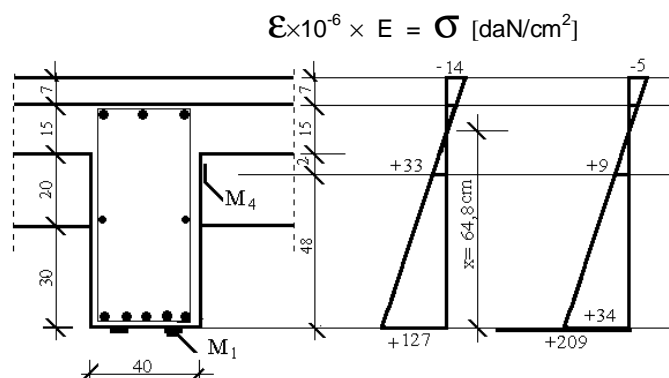


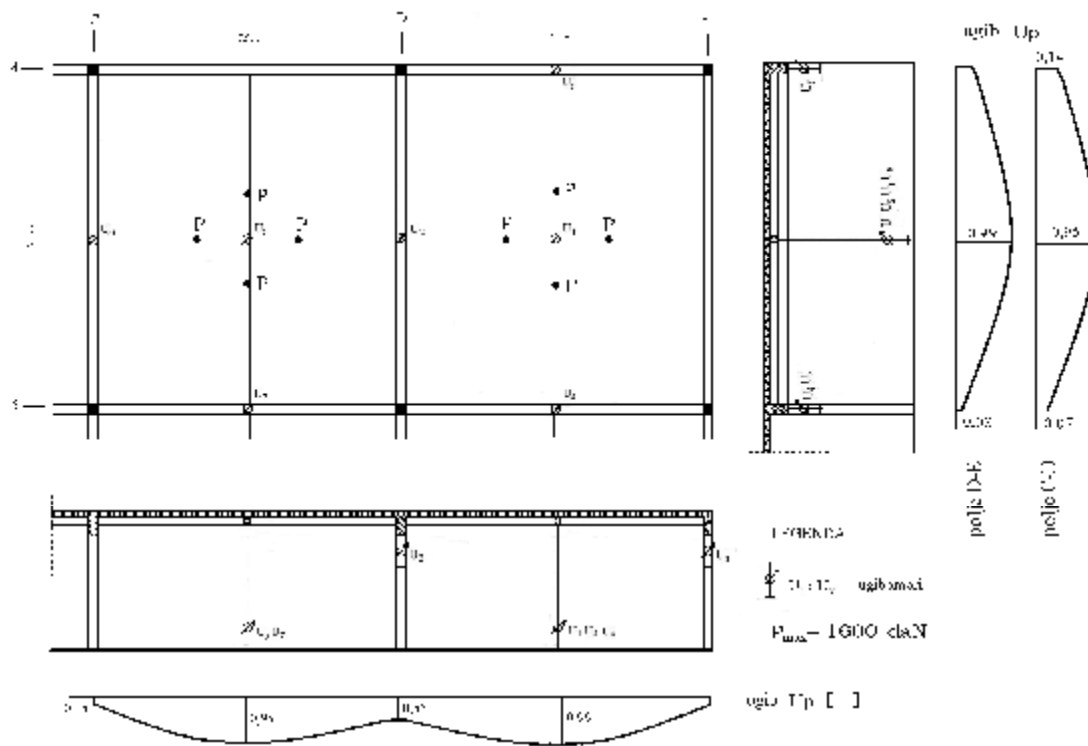
Slika 11. Izmerene vrednosti ugiba i lokalnih deformacija posle sanacije.

– Rigla rama u osi D4-D5 (presek u //2)



– Rigla rama u osi D4-D5 (presek u //2)

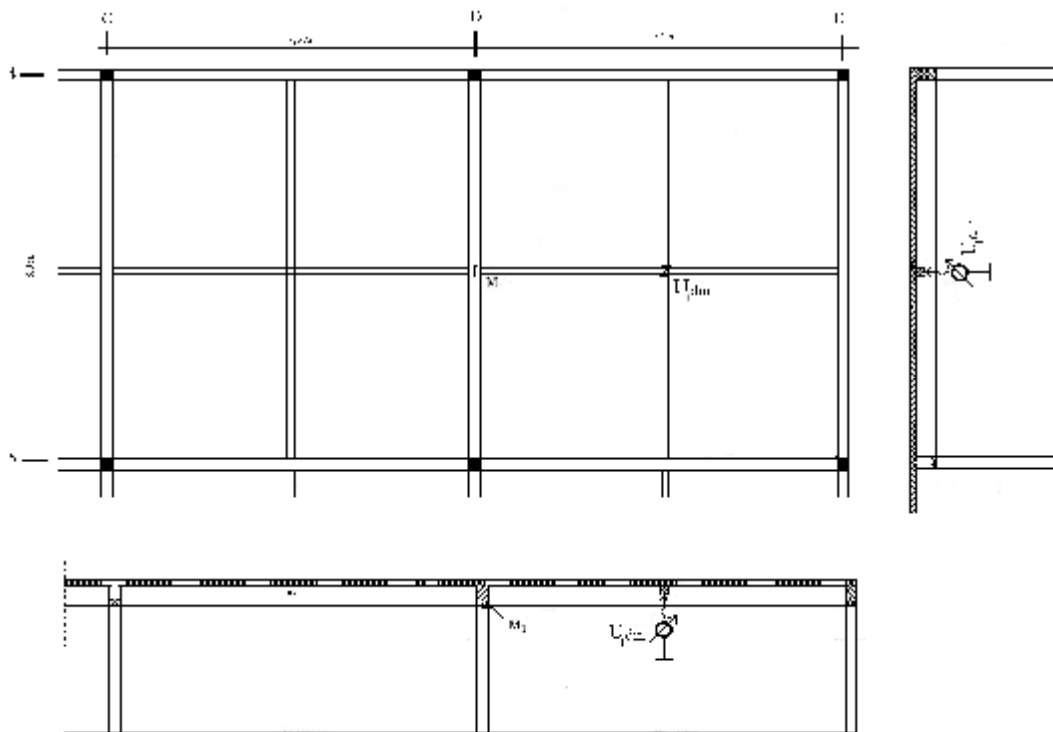




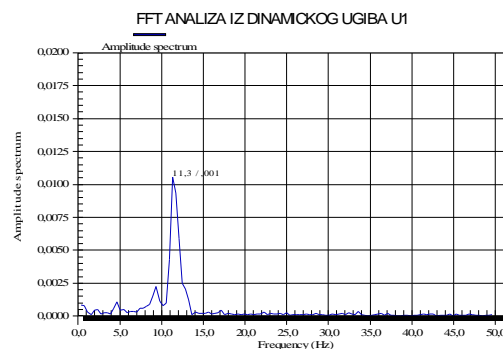
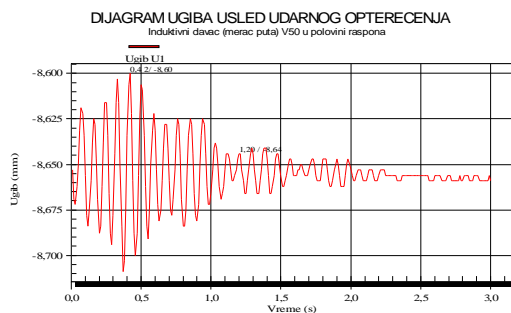
Slika 12. Grafički prikaz izmerenih deformacija pri statičkom opterećenju posle sanacije.

Zbog ograničenih uslova i mogućnosti dinamičke pobude, na osnovu koje bi se odredila sopstvena frekvencija konstrukcije, aplicirano je impulsno opterećenje u polovini raspona, čime su izazvane vibracije AB međuspratne konstrukcije i praćen njen odgovor (odziv)

do potpunog prigušenja. Jačina impulsa i krutost konstrukcije uslovile su male amplitude oscilovanja. Dinamički signali sa mernih traka, zbog malog intenziteta promene, bili su na nivou "šuma", pa se nisu mogli iskoristiti sa svih mernih mesta za dinamičku analizu.



Slika 13. Raspored mernih mesta u osnovi i presecima pri dinamičkom opterećenju



Na osnovu snimljenih zapisa dinamičkog ugiba U_1 koji je dobijen preko induktivnog davača postavljenog u sredini ploče na podvlakama za pojačanje i dilatacija sa merne trake MT1 postavljene na CarboDur laminatima od FRP, kojima je ojačana AB greda, urađena je FFT (Fast Fourier Transformation) analiza. Uočene su dominantne frekvencije oscilovanja pojedinih konstruktivnih elemenata, koje pokazuju frekvenciju slobodnih vibracija u osnovnom (prvom) tonu AB ploče od $f=11,3$ Hz i AB grede od 11,7 Hz. Sa dijagrama se može takođe jasno uočiti dominantnost ovih frekvencija u amplitudnom spektru.

Sa stanovišta vrednosti prigušenja konstatovana je zadovoljavajuća moć apsorpcije dinamičke energije. Analizom se zaključuje da se međuspratna konstrukcija tokom ispitivanja ponašala dovoljno kruto, odnosno da je vreme slobodnih vibracija svega par sekundi.

4 DISKUSIJA REZULTATA I ZAKLJUČCI

Greške u izvođenju građevinskih konstrukcija, nažalost, su česte u građevinarstvu. Konstrukterima je, sa druge, na raspolaganju sve veći broj savremenih metoda za njihovu sanaciju, odnosno pojačanje. Pored tradicionalnih metoda pojačanja AB konstrukcija novim betonom i dodatnom armaturom [2], koje još uvek imaju najširu primenu, sve je aktuelnija primena kompozitnih materijala. Jedna od metoda u usponu je i primena FRP (fibre reinforced polymer) tehnike kao načina pojačanja, koja ima niz prednosti u odnosu na konvencionalne metode [1]. I dugo osporavani ekonomski momenat problema, sagledan u celini, čini FRP elemente sve konkurentnijim. Brzina i lakoća gradnje, otpornost na agresivna dejstva sredine, nepromenjen gabarit i estetika, samo su neki od argumenata koji idu u prilog primeni ovih materijala kod pojačanja AB konstrukcija. Ne treba ipak zaboraviti i neke nedostatke kao što su: viša investiciona cena, problem protivpožarne zaštite, nedovoljna iskustva o dugotrajnom ponašanju. U konkretnom slučaju primenjena je kombinacija konvencionalnih i FRP načina pojačanja konstrukcije, a rezultati su provereni eksperimentalnim putem, da bi se došlo do realnih saznanja o efektima primeni ove još uvek malo korišćene metode u našim uslovima.

Merenja su pokazala, da ugibi na saniranoj konstrukciji u odnosu na prvobitno stanje imaju daleko manje vrednosti i da je došlo do smanjenja relativne (procentualne) veličine zaostalih ugiba. Dilatacije su bile u dozvoljenim granicama za sve primenjene materijale: beton, čeličnu armaturu i FRP kompozite. Ovde se

navode najvažniji rezultati i na osnovu njih formulisani zaključci:

1) Izmereni ugibi u osnovnim konstrukcijskim elementima (ploči i riglama okvira) su bili manji od računskih vrednosti. Računska vrednost ugiba u pojačanoj ploči, odnosno podvlakama, iznosio je $y_{rac}=1,12$ mm, a merena je $y_{mer}=0,99$ mm što daje dodatni koeficijent sigurnosti od $\eta=1,13 > 1,0$. Proračunska vrednost ugiba rigle okvira je $y_{rac}=0,68$ mm, a merena $y_{mer}=0,55$ mm, što daje dodatni koeficijent sigurnosti $\eta=1,24 > 1,0$. Svi ispitivani elementi ostvarili su dodatnu sigurnosti u odnosu na proračunsku jer je $\eta > 1,0$.

2) Na osnovu kriterijuma zaostalih deformacija konstatovano je da izmereni povratni ugibi u novoprojektovanim podvlakama za pojačanje od $y_{zaos}=0,18$ mm u odnosu na maksimalno merene od $y_{max}=0,99$ mm predstavljaju vrednost od oko 18 %, što je manje od propisima dozvoljenih vrednosti za AB konstrukcije, tj. od 25%. Izmereni zaostali ugibi u AB riglama okvira od $y_{zaos}=0,05$ mm u odnosu na maksimalno merene $y_{max}=0,55$ mm predstavljaju vrednost od 9,1%, što je znatno manje od propisima ograničenih na 25%, pa se može konstatovati da konstrukcijski elementi imaju dovoljnu povratnu (elastičnu) deformaciju, te zadovoljavaju kriterijume date u [8].

3) Merene vrednosti dilatacija (napona) u FRP laminatima, za primenjeni nivo opterećenja i novu (povećanu) krutost konstrukcije, imaju daleko niže vrednosti od maksimalno dozvoljenih, a ponašanje je bilo elastično. Izmerene su maksimalne vrednosti dilatacije, na mernom mestu MT₁ $\epsilon_{max}=+127 \times 10^{-6}$, naponi $\sigma_{max}=+209$ daN/cm² i zaostale dilatacije od $\epsilon_{zaos}=+22 \times 10^{-6}$, što predstavlja zaostala naprezanja od 17,3%, te konstrukcija i ovaj kriterijum zadovoljava. Merene vrednosti dilatacija na FRP laminatima i betonu sa istom statičkom visinom, u njihovoj okolini, potvrđuju saglasne dilatacije (sadejstvo u „radu“). Na osnovu merenja zaključeno je da su se FRP elementi za pojačanje uključili u konstrukcijski sistem i povećali nosivost rigli okvira, tj. da je ostvarena potrebna adhezija između CarboDur sistema i starog betona, što dokazuju merenja na MT₂ na betonu neposredno do kraja lamele.

4) Merene dilatacije odnosno naponi u betonu i armaturi manje su od odgovarajućih računskih vrednosti i dozvoljenih vrednosti za primenjene materijale.

Na kraju, može se konstatovati da je sanirana konstrukcija ispunila zahteve za tehnički ispravnu konstrukciju, ali da zbog nivoa opterećenja nije bilo moguće doneti neke generalne zaključke o ponašanju

FRP elemenata pri pojačanju konstrukcija. Naime, treba imati u vidu činjenicu da je ispitivanje sprovedeno na realnom objektu u ograničenim (eksploatacionim) uslovima opterećenja koje, uz povećanu krutost konstrukcije, nije moglo da izazove naprezanja bliska graničnim. Tek u tim, graničnim, uslovima moguće je izvesti relevantne zaključke o maksimalnoj nosivosti i ponašanju FRP laminata i sistema veze sa pojačanim betonskim elementom. Rezultati dostupnih eksperimentalnih istraživanja, sprovedenih u laboratorijskim uslovima, pokazuju da presudan uticaj na krajnju nosivost FRP elementima pojačanih konstrukcija ima upravo adhezija na spoju laminata i betona ("bond" efekat), što ovde, zbog nivoa opterećenja, nije bilo moguće proveriti.

Sa druge strane, merenjem je ustanovljena skoro identična vrednost dilatacija na FRP laminatima i na betonu za istu visinu preseka, što pokazuje sadejstvo u „radu“, odnosno da je došlo do potpunog sprejanja dva materijala (betonske konstrukcije i FRP laminata), čime je na osnovu Bernulijeve pretpostavke potvrđeno potpuno ostvarenje veze epoksidnim lepkom.

Napomena: Ovaj rad je deo istraživanja na projektima 16001 i 16018 koje finansira Ministarstvo za nauku Republike Srbije

5 LITERATURA

- [1] American Concrete Institute (ACI), Committee 440: ACI440.2R-02, Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures, 2002.
- [2] CarboDur sistem / Sika katalog 2007.
- [3] Ekspertiza stanja međuspratne konstrukcije poslovnog objekta u izgradnji "promont komerc" u Nišu nakon sprovedenih mera sanacije, Institut za građevinsko i arhitekturu Građevinsko-arhitektonskog fakulteta u Nišu, 2008.
- [4] Folić R.: Armiranobetonski elementi izloženi savijanju pojačani dodatnim betonom i vlaknastim kompozitima (FRP), Simpozijum o istraživanjima i primeni savremenih dostignuća u našem građevinarstvu u oblasti materijala i konstrukcija-JUDIMK, 20 i 21. oktobar, 2005, Novi Sad, str. 325-332.
- [5] Folić R., Glavardanov D.: Analiza metoda pojačavanja armiranobetonskih elemenata lepljenjem vlaknastih kompozita (FRP), Izgradnja br. 5-6, 2006, str. 113-126.
- [6] Izveštaj o ispitivanju br. IK 09/07, Laboratorija za ispitivanje konstrukcija, Institut za građevinsko i arhitekturu Građevinsko-arhitektonskog fakulteta u Nišu, 2007.
- [7] Pravilnik za beton i armirani beton - BAB '87.
- [8] Propisi za ispitivanje konstrukcija objekata visokogradnje SRPS U. M1. 047, 1984.
- [9] Ranković, S., Zlatkov D., Grdić Z.: Eksperimentalna analiza stanja jedne međuspratne AB konstrukcije u izgradnji kod koje je značajno podbacila marka betona, Zabljak, mart 2008, Crna Gora, (str.139-144),
- [10] Ranković S., Filić R., Glavardanov D.: Pojačavanje AB greda FRP materijalima lepljenjem na površini i armiranjem unutar preseka, Simpozijum DGKS, Zlatibor, septembar 2008., str. 357-364.
- [11] Ranković S., Filić R., Mijaljković M.: Pojačanje AB greda FRP armaturom postavljenom unutar zaštitnog sloja betona, Zbornik radova GAF Niš, 2008., str. 39-48.
- [12] Verstärken von Betonbauteilen mit geklebten CFK-Lamellen Sika CarboDur, Sika Fascseminar, Einführung und Berechnungsbeispiele, 1997.

REZIME

ISPITIVANJE AB KONSTRUKCIJE POD PROBNIM OPTEREĆENJEM PRE I POSLE SANACIJE NOVIM BETONOM I FRP LAMINATIMA

Slobodan RANKOVIĆ
Dragan ZLATKOV
Radomir FOLIĆ

U radu su prikazani i analizirani rezultati ispitivanja pod probnim opterećenjem jedne armiranobetonske (AB) konstrukcije u izgradnji, pojačane kombinovanjem konvencionalne tehnike dodatnog sloja betona i armature i savremene metode spolja lepljenih FRP (Fibre reinforced polymer) laminata sistema Sika CarboDur. Prikazan je način pojačanja konstruktivnih elemenata kao i metodologija i rezultati samog ispitivanja međuspratne konstrukcije pre i nakon njene sanacije. Na osnovu ispitivanja zaključeno je da je ovako sanirana konstrukcija ispunila zahteve nosivosti i ugiba za eksploatacione uslove sa dodatnom sigurnošću.

ključne reči: Konstrukcijsko pojačanje, čvrstoća betona, nosivost, međuspratna konstrukcija, FRP vlaknasti kompoziti, ispitivanje

SUMMARY

TESTING OF RC STRUCTURES WITH BEFORE AND AFTER STRENGTHENED WITH NEW CONCRETE AND WITH FRP LAMINATES

Slobodan RANKOVIĆ
Dragan ZLATKOV
Radomir FOLIĆ

The paper presents and analyses results of testing under test loading of an RC structure under construction, strengthened by combining the conventional technique of additional concrete layer and reinforcement with a contemporary method of outside glued FRP (Fibre reinforced polymer) laminates of the Sika CarboDur system. It displays the mode of strengthening in structural members as well as the methodology and results of the testing of the floor structure before and after its repair. Based on the testing it has been concluded that the structure repaired in this way fulfils the requirements regarding bearing capacity and deflections for service conditions with additional safety.

Key words: Structural strengthening, strength of concrete, bearing capacity, floor structures, FRP composite, testing

ISPITIVANJE POSTOJEĆEG STANJA NAPONA U KONSTRUKCIJI METODOM BUŠENJA OTVORA

Nebojša ĐURANOVIĆ

PREGLEDNI RAD
UDK: 624.014.2.042.1

1 UVOD

Postojeći naponi u konstrukciji i način njihovog određivanja i danas predstavljaju izazov prilikom ispitivanja konstrukcija. Oni su po svojoj prirodi slični tzv. zaostalim naponima. Termin "*zaostali naponi*" najviše se koristi u mašinstvu, gdje se tehnika određivanja zaostalih napona inicijalno i razvila. Međutim, ista tehnika se može primjenjivati i u građevinarstvu - i to ne samo za određivanje zaostalih napona (koji u građevinskim konstrukcijama obično nemaju taj značaj kao u mašinskim), već i za određivanje postojećeg, tj. trenutnog stanje napona u konstrukciji - za koju nemamo poznatu ni istoriju, ni veličinu nanijetog opterećenja - a ponekad čak ni jasno definisan konstruktivni sistem. Direktna primjena tehnike, onako kako je razvijena u mašinstvu, ostvaruje se kod metalnih konstrukcija, dok kod betonskih konstrukcija imamo njenu implementaciju - uz određene napomene, povezano sa nehomogenošću i ostalim karakteristikama tipičnim za materijal poput betona.

Zaostali naponi u konstrukcijama su oni naponi koji postoje u elementu konstrukcije prije nanošenja bilo kakvog opterećenja. Glavni izvor zaostalih napona obično je sam proces proizvodnje.

U principu, izlivanja, varenja, mašinske obrade, toplotni tretmani, druge temperaturne obrade i tome slično predstavljaju glavne izvore zaostalih napona u čeličnim konstrukcijama. U pojedinim situacijama ovakvi naponi mogu biti unijeti u konstrukciju i kroz montažu ili instalacione procedure, kroz dodatna opterećenja, slijevanja zemlje u podzemnim konstrukcijama ili kroz nepokretna opterećenja koja su vremenom postala sastavni dio konstrukcije i tome slično.

Efekti zaostalih napona obično su štetni po konstrukciju, u većoj ili manjoj mjeri - zavisno od njihove veličine, znaka, raspodjele napona u odnosu na napone

koji su izazvani samim opterećenjem, itd. Postoje mnogi dokumentovani slučajevi kada su ovi naponi bili glavni faktor koji je doveo do loma konstrukcije.

Postojeći, kao i zaostali naponi, vezani su sa istorijom prethodnog opterećenja - tokom izrade konstrukcije (npr. temperaturni naponi u masivnom betonu, uslijed tehnoloških postupaka izgradnje itd.) i tokom korišćenja konstrukcije - od eksploatacionih opterećenja. Znači, za razliku od efekata zaostalih napona, ukupno stanje postojećih napona u konstrukciji je posljedica ukupnog dejstva stalnog tereta, faktora poput načina montaže i izvođenja, kao i eksploatacionog (korisnog i ostalog) opterećenja.

Mjerenje postojećeg stanja napona u ispitivanim konstrukcijama ne može se sprovesti konvencionalnim procedurama eksperimentalne analize napona, budući da su klasični ekstenzometri i ekstenzometarske metode u potpunosti neosetljivi na predhodnu istoriju opterećenja nanijetog na samu konstrukciju, tj. mogu da mjere samo promjenu deformacija koja se desila poslije postavljanja mjernih senzora. Jedan od mogućih načina rješavanja problema je put suprotan klasičnom načinu ispitivanja konstrukcija - umjesto da se dodatno opterećuje, konstrukcija (ili njen manji ili veći dio) se rasterećuje.

Znači, kada se mjerenje postojećeg stanja napona sprovodi korišćenjem standardnih ekstenzometara, mjereni naponi moraju biti na neki način relaksirani, tj. "oslobođeni" - pri čemu ekstenzometri moraju biti unaprijed postavljeni, kako bi registrovali promjenu deformacije koja je prouzrokovana uklanjanjem postojećih (zaostalih) napona. Drugim riječima, ako su, prije uklanjanja dijela ispitivanog elementa, ekstenzometri pravilno postavljeni, oni će biti u mogućnosti da zabilježe (povratne) deformacije koje je prouzrokovalo uklanjanje tog dijela elementa, jer u tom novonastalom stanju uklonjeni dio elementa neće biti opterećen. Početno (nulto) stanje napona i deformacija može se zatim uporediti sa stanjem izmjerenim nakon vađenja ili uklanjanja dijela posmatranog elementa iz konstrukcije - a njihova razlika će predstavljati stanje koje je vladalo u konstrukciji prije početka ispitivanja, tj. stanje napona pod postojećim opterećenjem. Pri tome, analizu je neop-

Adresa autora:
Dr, vanredni profesor, Građevinski fakultet,
Univerzitet Crne Gore, Cetinjski put bb,
81.000 Podgorica, nebojsadj@hotmail.com

hodno izvršiti koristeći postulate elastičnog ponašanja materijala u konstrukcije.

Jedan logičan pristup rješavanju takvog problema je naknadno formiranje otvora u ispitivanoj konstrukciji. Bušenje otvora, čak i veoma malog prečnika u elementu koji je napregnut dovodi do relaksacije napona na posmatranom mjestu. Eliminacija napona koji su postojali na mjestu formiranog otvora mijenja stanje napona i u njegovom neposrednom okruženju, prouzrokujući da se i lokalne deformacije na površini ispitivanog elementa promjene u skladu sa tim. Mjerenjem ovih promjena moguće je definisati postojeće naponsko stanje u čeličnim, betonskim, armiranobetonskim i ostalim konstrukcijama.

U tekstu koji slijedi, kada se koristi termin *zaostali naponi*, govori se, u stvari, o principima koji se direktno koriste kod ispitivanja čeličnih konstrukcija (pri čemu se podrazumjeva da se ne govori samo o zaostalim naponima, već se izlaganje odnosi i na određivanje postojećeg stanja napona od bilo kog postojećeg opterećenja - uključujući i eventualne zaostale napone), tj. o principima koji se implementiraju i na betonskim i AB konstrukcijama - prvenstveno za definisanje postojećeg stanja napona u konstrukciji.

2 METODA ODREĐIVANJA ZAOSTALIH NAPONA FORMIRANJEM OTVORA

Najčešće primjenjivana tehnika za određivanje zaostalih napona u čeličnim konstrukcijama je pomoću mjernih traka postavljenih u okolini naknadno izbušenog otvora na konstrukciji. Metoda se bazira, kako je predhodno i rečeno, na relaksaciji napona na mjestu samog novoformiranog otvora, tj. u njegovoj neposrednoj okolini.

Procedura utvrđivanja trenutnog stanja napona (tj. "zaostalih" napona) na ovaj način, onako kako je formulisana u oblasti mašinskih konstrukcija [1], sastoji se od opremanja mjernog mjesta potrebnom mjernom opremom (ekstenzometrima), na kome se, nakon očitavanja nultog stanja sprovodi bušenje ispitivanog elementa. Na taj način sprovedeno formiranje otvora praćeno je novim setom mjerenja "oslobođenih" dilatacija i potom korišćenjem pogodnih izraza za vezu napona i deformacija - u cilju sračunavanja glavnih

napona i ugla njihovog djelovanja. Tako sračunate naponsko deformacione karakteristike ispitivanog elementa odgovaraju stanju napona u konstrukciji prije nego je formiran otvor.

Metoda najbolje rezultate daje ako su naponi isti po cijeloj dubini otvora, ili ako su, u najgorem slučaju, približno ravnomjerno raspoređeni po njoj. Zbog toga se pri primjeni metode zahtijeva pažljiv, inženjerski pristup, kako bi se potvrdila pretpostavka o ovakvoj raspodjeli napona po visini otvora - ali i zbog zadovoljavanja ostalih uslova koji su preduslov kvalitetnog mjerenja. Pri tome, sama procedura prikupljanja i analize podataka je prilično precizna i direktna.

Kod čeličnih konstrukcija najjednostavnija procedura za mjerenje postojećeg stanja napona i dilatacija je da se koristi rozeta od obično tri mjerne trake. Takva rozeta je šematski prikazana na slici 1., na kojoj se vidi da su tri radialno postavljene mjerne trake locirane tako da im se centri poklapaju sa tačkom za koju se vrše mjerenja, i da su sve tri postavljene na udaljenju R mjereno od centra otvora koji treba formirati.

Glavni naponi koji su vladali prije formiranja otvora (postojeći naponi u konstrukciji) i njihovo pravac, mogu se odrediti koristeći izraze [3]:

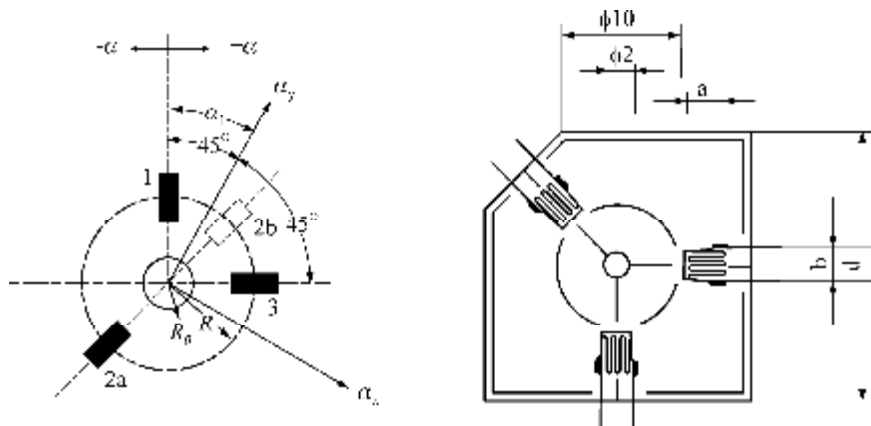
$$\sigma_{\max} = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_3}{4A} - \frac{1}{4B} \sqrt{(\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2 + (\varepsilon_3 + \varepsilon_1 - 2\varepsilon_2)^2} \quad (1)$$

$$\sigma_{\min} = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_3}{4A} + \frac{1}{4B} \sqrt{(\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2 + (\varepsilon_3 + \varepsilon_1 - 2\varepsilon_2)^2} \quad (2)$$

$$\tan 2\alpha = \frac{\varepsilon_1 - 2\varepsilon_2 + \varepsilon_3}{\varepsilon_1 - \varepsilon_3} \quad (3)$$

gdje je α ugao između glavne ose i mjerne trake br. 1 (u pravcu označavanja mjerne trake 1, ako je pozitivan, ili u suprotnom - ako je negativan), a ε_1 , ε_2 i ε_3 su dilatacije izmjerene mjernim trakama 1 do 3.

Koeficijenti A i B zavise od mehaničkih karakteristika materijala od koga je napravljena konstrukcija koja se ispituje i od udaljenosti mjernih instrumenata za određivanje dilatacija, od mjesta otvora koji se formira - tj. od geometrije mjernog aranžmana.



Slika 1. Rozeta mjernih traka za određivanje postojećih (zaostalih) napona u konstrukciji [2]

Umjesto upotrebe mjernih traka kod ispitivanja na betonskim i AB konstrukcijama za ove potrebe moguće je koristiti i druga mjerna sredstva koja se koriste kod ekstenzometričkih metoda, recimo deformetar PFENDER, dilatometre direktno zasnovane na mjerenju pomjeranja mjernim satovima (ugibomjerima) i t.sl (slika 2.), o čemu će više riječi biti kasnije.



Slika 2. Upotreba dilatometara i mjernih satovi (ugibomjera) kod utvrđivanja postojećeg stanja napona na AB konstrukciji [4]

Prethodno izloženi izrazi zasnovani su na pretpostavci da je (mali) otvor formiran po cijeloj debljini ispitivane konstrukcije - tanke i široke ravne ploče - uz dodatnu pretpostavku da na posmatranom mjestu konstrukcije imamo konstantno (u prostornom smislu) dvoaksijalno stanje napona.

Sem kod pojedinih betonskih i čeličnih konstrukcija - recimo kod tankih ploča, visokih rebara, zidnih platana i sl., ove pretpostavke veoma grubo idealizuju situaciju koja se sreće u većini stvarnih ispitivanja, budući da konstruktivni elementi koji se ispituju u cilju određivanja postojećih napona mogu da budu proizvoljnog oblika i dimenzija, proizvoljnog mjesta i funkcije u konstruktivnom (statičkom) sistemu i, svakako, u principu ne moraju biti ni tanki ni ravni.

Usljed toga, u većini aplikacija pomenute metode, koristi se druga vrsta pristupa problemu - metoda formiranja plitkog, "slijepog" otvora, koji ne izlazi na drugu stranu ispitivanog elementa, ali, iako su uslovi primjene ove metode veoma slični, [5], o njoj ovog puta neće biti više riječi. Samo kao napomena - njena primjena posebno je odomaćena i efikasna kod ispitivanja čeličnih konstrukcija i kablova prethodno napregnutih konstrukcija.

2.1 Određivanje koeficijenata "A" i "B" eksperimentalnim baždarenjem

Pomenuti koeficijenti "A" i "B", bez obzira po kojoj se metodi vrši određivanje postojećih napona u konstrukciji (da li metodom bušenja otvora po cijeloj debljini

elementa ili bušenjem slijepog otvora), mogu se odrediti i analitičkim i eksperimentalnim putem..

Eksperimentalnim putem oni se određuju postupcima klasičnog baždarenja. Cilj baždarenja je uspostavljanje veze između tačno definisanog, presom nanijetog opterećenja i naponsko deformacijskih karakteristika ispitivanog uzorka - kako bi se tako definisane vrijednosti koeficijenata A i B mogle iskoristiti za ispitivanje na stvarnoj konstrukciji, kada nam nivo nanijetog opterećenja (sile) nije poznat.

Proces baždarenja, po svojoj prirodi i postupcima koje treba sprovesti, gotovo je identičan postupku koji se sprovodi pri samom in-situ ispitivanju posmatranog objekta, slika 3.

Nakon očitavanja nultog stanja postavljenih ekstenzometara (posebno dilatacija e_1' i e_3') - vidi sliku 1, presama se nanosi opterećenje P, koje će izazvati željene napone baždarenja s_c . Ovi naponi trebaju da po svojoj veličini manje-više odgovaraju naponima koji se očekuju prilikom bušenja otvora na stvarnoj konstrukciji. Potom se ukloni opterećenje P sa uzorka, uzorak izvadi iz mašine za ispitivanje - ako je potrebno, pa se na njemu izbuši otvor, tačno onakav kakav će biti formiran prilikom in-situ ispitivanja na stvarnoj konstrukciji. Nakon toga uzorak se, nakon ponovnog očitavanja nule mjernih instrumenata, optereti istim onim opterećenjem P koje je bilo nanijeto prije formiranja otvora - pa se potom ponovo izmjere dilatacije - posebno e_1'' i e_3'' .

Jasno je da će dilatacija koje su posljedica baždarenja, a koje odgovaraju opterećenju P i naponu s_c , biti određene kao:

$$\varepsilon_{c1} = \varepsilon_1'' - \varepsilon_1' \quad (4)$$

$$\varepsilon_{c3} = \varepsilon_3'' - \varepsilon_3' \quad (5)$$

Ako se dalje izvrši upoređivanje izraza za glavne napone sračunate tokom baždarenja i onih prethodno datih za definisanje stanja napona u okolini izbušenog otvora (izrazi 1 do 3), tj. izrazi riješe po nepoznatim "A" i "B", dobiće se vrijednosti samih kalibracionih koeficijenata [6]:

$$A = \frac{\varepsilon_{c1} + \varepsilon_{c3}}{2\sigma_c} \quad (6)$$

$$B = \frac{\varepsilon_{c1} - \varepsilon_{c3}}{2\sigma_c} \quad (7)$$

čime je izvršeno baždarenje.



Slika 3. Postupak određivanja koeficijenata baždarenja u laboratorijskim uslovima [4]

Treba primijetiti da vrijednosti za osnovne koeficijente "A" i "B", koje su određene prilikom baždarenja, mogu da se primjene samo za mjerenja postojećih napona stvarne konstrukcije u uslovima koji (u potpunosti) odgovaraju uslovima ostvarenim prilikom baždarenja. U principu, ti uslovi su da materijal ima iste elastične karakteristike, da se koriste identični ekstenzometrijski mjerni instrumenti ili rozeta mjernih traka (uključujući i geometriju) - pri čemu orijentacija mjernih traka u rozeti ne mora da bude identična, da se formira otvor iste veličine [5], da se koristi isti metod analize - tj. da je otvor istog oblika (otvor cijelom debljinom ispitivanog elementa ili "slijepi" otvor), da imamo ravnomjernu raspodjelu napona po dubini otvora i, konačno, da na mjestu ispitivanja imamo konstantne napone u ravni otvora - kao što je to kod stvarnog elementa koji ispitujemo in-situ.

3 SPECIFIČNOSTI PRIMJENE TEHNIKE KOD BETONSKIH I ARMIRANO BETONSKIH KONSTRUKCIJA

Utvrđivanje postojećeg stanja napona u betonskoj konstrukciji, koja je, znači, već izložena opterećenju, je veoma komplikovano. Prije nego pogledamo aplikaciju prethodno opisanog metoda formiranja otvora i mjerenja "oslobođenih" dilatacija mjernim trakama ili drugim pogodnim ekstenzometrijskim mjernim sredstvima, pogledajmo jednu drugu, sličnu tehniku.

Metoda prošlicavanja

Ponekad se u svrhu definisanja postojećih napona kod betonskih konstrukcija koristi tehnika takozvanog "prošlicavanja" konstrukcije. Metoda pripada grupi poludestruktivnih metoda ispitivanja.

Ova metoda koristi se uglavnom za određivanje postojećih napona pritiska, ali uz neophodne modifikacije, može se primijeniti i kod zatezanja. Postupak se sprovodi tako što se betonska konstrukcija prošlicava (slika 4.), otvorom širine oko 4 cm, pri čemu je dubina šlica u svakom inkrementu po 10 mm, sve do ukupne dubine od oko 80 mm.



Slika 4. Prošlicavanje betonske konstrukcije [7]

Poslije svakog inkrementa, posebni uređaj za nanošenje sile, slika 5., postavlja se u tako formirani otvor i njime se, u prošlicano mjesto na konstrukciji, unosi bočni pritisak koji je potreban da bi se povratilo prethodno stanje deformacija na zasječenom mjestu. [8]



Slika 5. Uređaj za nanošenje sile na prošlicano mjesto u betonskoj konstrukciji [7]

Iščitavanjem sila (napona) koji su potrebni da bi se konstrukcija dovela u naponsko stanje koje je postojalo prije nego je formiran otvor (uz korišćenje za to prikladne mjerne opreme - prvenstveno mjernih traka) praktično smo odredili postojeće stanje napona u samoj konstrukciji, na tom konkretnom mjestu.

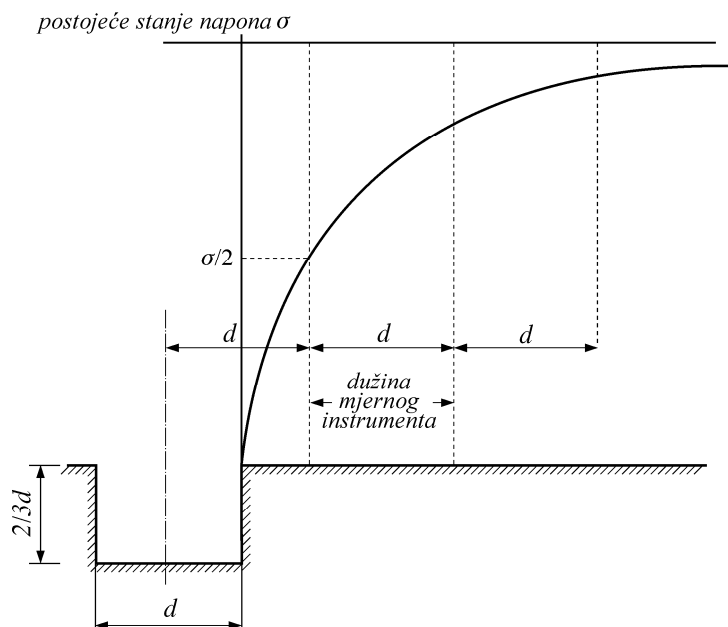
Za niske nivoe napona u konstrukciji ova tehnika ponekad daje čak i bolje rezultate nego tehnike kod kojih se naknadno formira kružni otvor i mjere "relaksirani" naponi.

Kako smo to prethodno vidjeli, tehnika formiranja otvora zasniva se na definisanju relaksacije napona prouzrokovane bušenjem relativno malog otvora na ravnomjerno napregnutoj betonskoj konstrukciji. Ovakva tehnika, koja se aplicira na betonskim i armirano betonskim konstrukcijama po svojoj suštini, u potpunosti odgovara tehnici objašnjenjima u prethodnom poglavlju.

U tom smislu valja konstatovati da i će i ovdje, radialni naponi na ivici novoformiranog otvora biti jednaki nuli, pa će i razlika napona prije bušenja otvora i onih koji postoje nakon toga biti jednaka ukupnoj relaksaciji napona - tj. naponima koji su postojali u konstrukciji prije naknadnog formiranja otvora. Kod betonskih konstrukcija ukupna relaksacija napona smanjuje se kako se odmičemo od otvora, kako je prikazano na slici 6.

Mjerenjem promjene dilatacije na određenom rastojanju (u literaturi se najčešće pominje rastojanje od otprilike dva prečnika otvora - mjereno od centra otvora) moguće je, kod betonskih konstrukcija, utvrditi kolika je bila veličina deformacija, pa znači i napona, prije nego što je počelo formiranje otvora. Ova tehnika najkvalitetnije rezultate daje ako u neposrednoj blizini novoformiranog otvora nema armature.

U slučaju betonskih konstrukcija umjesto formiranja "malih" otvora u stvarnosti se vade kernovi, slika 7., i to primjenom što kvalitetnijih dijamantskih rezača. Zato se i ovdje metoda smatra poludestruktivnom.



Slika 6. Relaksacija napona prouzrokovana pravljenjem otvora u konstrukciji [9]



Slika 7. Vađenje kerna u cilju određivanja postojećeg stanja napona u betonskoj konstrukciji

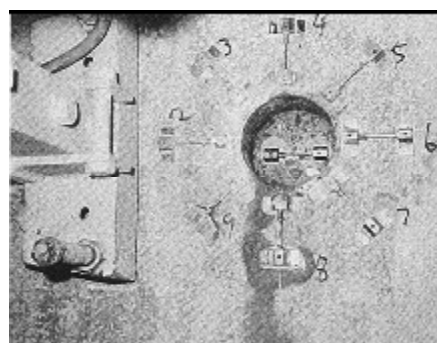
Dubina i prečnik otvora koji se formira, kao i veličina i položaj mjernih traka (ili ekstenzometričkih instrumenata druge vrste) koje se koriste, određuje se na osnovu dubine na kojoj treba odrediti napone. Pri tome, ako se koristi tehnika slijepog otvora, dubina otvora ne bi trebalo da bude manja od polovine debljine ispitivanog elementa konstrukcije.

Kod određivanja prethodnih parametara u razmatranje treba uzeti i veličinu zrna agregata u ispitivanom betonu, pri čemu većem zrnu agregata odgovara i veći prečnik otvora. Prečnik novoformiranog otvora trebalo bi da bude najmanje dva puta veći nego što je veličina zrna agregata koji je korišćen za spravljanje betona. Kod betona veličine zrna agregata do 20mm najprecizniji rezultati se dobijaju ako se bušenje vrši dijamantskom bušilicom prečnika oko 65 mm, (koji za sobom ostavlja otvor veličine oko 75 mm) i ako se ide do dubine od 50 mm [7].

Ponekad je promjena napona po dubini elementa veoma značajna i u takvim slučajevima posebno je bitno obezbijediti da novoformirani otvor bude paralelnih stranica i konstantnog prečnika.

Eksperimentalnim provjerama došlo se do zaključka da novoformirani otvor proizvodi uticaje na naponsko stanje elementa sve do udaljenosti od oko pet prečnika otvora, mjereno od ivice otvora. U ovom području se vrše i mjerenja. Poželjno da u njoj nema nikakvih ivica niti drugih diskontinuiteta.

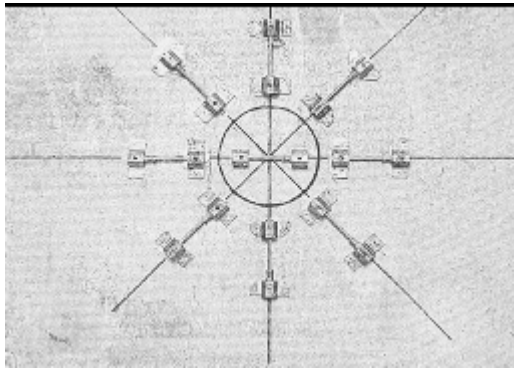
Kako se obično radi o veoma malom nivou oslobođenih (zaostalih, postojećih) napona, to se obično koristi mjerni sistem koji se sastoji od 8 elemenata - mjernih traka veličine min 50 mm, slika 8.



Slika 8. Upotreba mjernih traka za određivanje postojećeg stanja napona u betonskim konstrukcijama

Umjesto mjernih traka moguće je primijeniti i odgovarajuće dilatometre, slika 9. Ovoliki broj dilatometara (osam, a ne neophodna tri) se postavlja, jer se obično računa na otkazivanje pojedinih od ovih instrumenata - uslijed pojave prslina, oštećenja drugog tipa, ali i drugih razloga.

Veličina otvora koji se formira vađenjem kerna je obično takva da je omogućeno postavljanje mjerne trake i na samom kenu, gdje se ostvaruje potpuna relaksacija napona.



Slika 9. Upotreba klasičnih dilatometara umjesto mjernih traka

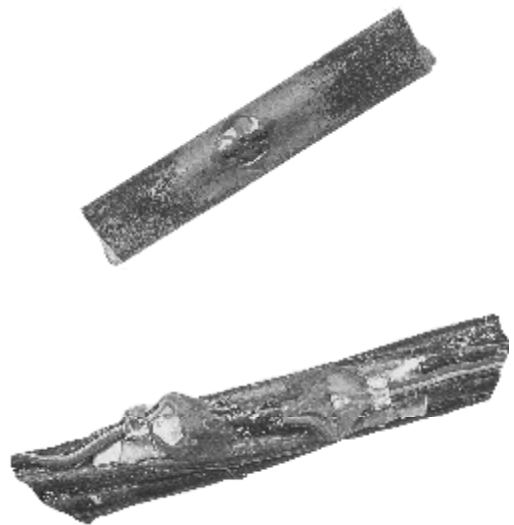
Kada je otvor od 75mm prevelik, kao recimo kod prethodno napregnutih nosača gdje je rastojanje kablova i manje od toga, postoje razrađene metode pravljenjem otvora manjih prečnika. Ovakvi postupci se obično koriste u cilju određivanja jednoosijalnog stanja napona, pri čemu se prave otvori veličine 35 do 50 mm. Nekad se umjesto mjernih traka koriste vibrirajuće žice [10] veličine obično oko 50 mm, koje su postavljene radijalno od centra otvora na površini betona, ali i u sredini kerna. Pri tome se, tokom formiranja otvora do dubine od oko 50mm, vrši nekoliko inkrementalnih čitanja. Nakon toga se uklanja kern, dno otvora se ravna i tu se stavlja još jedna vibro žica. Poslije toga se ponovo vrši bušenje za sljedećih 50 mm. Modul elastičnosti E za ovakav materijal obično se dobija testiranjem samog kerna. Greška pri određivanju glavnih napona je reda veličine $\pm 0,3\text{MPa}$, a ide najviše do $\pm 3\%$ od ukupnog čitanja.

4 SPECIFIČNOSTI PRIMJENE TEHNIKE KOD METALNIH KONSTRUKCIJA, ARMATURE I KABLOVA ZA PRETHODNO NAPREZANJE

Čelični konstruktivni elemenat koji je izložen dejstvu stalnog opterećenja ima ukupni napon koji čine eventualni zaostali naponi iz procesa proizvodnje i naponi usled samog opterećenja. Eventualni zaostali napon se, u slučaju potrebe, može jednostavno dodati proračunatom naponu od spoljnog opterećenja, kako bi se sračunao totalni napon.

Kod primjena metode formiranja otvora pri ispitivanju metalnih građevinskih elemenata, koristi se procedura identična onoj prethodno objašnjenju u poglavlju 2. Kod njih standardna rozeta za određivanje zaostalih napona ima u sebi otvor reda veličine 1 do 5 mm i može se koristiti za analizu napona za dubine 0.5 do 3 mm. Kada se želi ustanoviti stanje napona na većim dubinama, treba formirati i veći otvor. Tako, uz uslov da nema diskontinuiteta u elementu u oblasti koja trpi promjene uslijed formiranja otvora, za određivanje napona na mjestima koja se nalaze na većoj dubini u elementu (preko 30mm) koriste se otvori i veći od 50mm.

U cilju određivanja postojećeg stanja napona u čeličnoj armaturi ili kablovima za prednaprezanje, potrebno je izbušiti otvor prečnika oko 1,5 mm, do dubine od 1 mm pri čemu će deformacije biti mjerene minijaturnim elektrooptičnim mjernim trakama, slika 10.



Slika 10. Postavljanje rozete za određivanje stanja postojećeg stanja napona u armaturi i kablovima za prednaprezanje [7]

I kod ovakvih primjena, bušenje malih otvora može se smatrati polu destruktivnim metodama, jer smanjenje poprečnog presjeka u ovakvim situacijama iznosi do oko 8% za žicu koja je prečnika 5mm, tj. do oko 4% za žicu koja je prečnika 7mm, [7].

Kod ovakvih ispitivanja posebno je značajno obezbijediti precizno postavljanje instrumenata - mjernih traka, kao i samo bušenje otvora. Pri tome, treba koristiti kvalitetne bušilice koje ne proizvode dodatne napone u ispitivanom uzorku. Preciznost određivanja napona u armaturi na ovaj način obično je reda veličine do $\pm 7\text{MPa}$, pri čemu greška ide do $\pm 3\%$ od ukupnog čitanja.

5 ZAKLJUČCI

Mjerenje zaostalih napona i trenutnog stanja napona u postojećim konstrukcijama i elementima ne može se sprovesti konvencionalnim procedurama eksperimentalne analize napona, budući da su klasični ekstenzometri i ekstenzometarske metode (kao što su mjerna traka, metoda foto elastičnosti i tome slično) u potpunosti neosjetljivi na prethodnu istoriju opterećenja na samoj konstrukciji, tj. mogu da mjere samo promjenu deformacija koja se desila poslije postavljanja mjernih senzora.

Prethodno opisana procedura je prilično jednostavna. Kvalifikovano tehničko osoblje može je rutinski upotrebljavati, pri čemu nije potrebno nikakvo posebno specijalističko znanje. Upotrebe metoda su veoma raznovrsne i ona se može sprovoditi kako u laboratoriji, tako i in-situ, na stvarnim konstrukcijama.

Ova tehnika spada u grupu poludestruktivnih metoda ispitivanja konstrukcija, budući da otvor koji se stvara prilikom ispitivanja u većini situacija neće značajno uticati na integritet ispitivane konstrukcije. Sama veličina otvora (prečnik i dubina), kod ispitivanja čeličnih elemenata se kreće od 1 - 5 mm.

6 LITERATURA

- [1] ASTM Standard E837, "Determining Residual Stresses by the Hole-Drilling Strain-Gage Method".
- [2] Brčić, V., Rastko Čukić, "Eksperimentalne metode u projektovanju konstrukcija", Građevinska knjiga, 1988.
- [3] Measurement group, North Carolina, SAD, "Interactive Guide to Strain Gauge Technology", 2000.
- [4] Ispitivanje rashladnog tornja Termoelektrane Pljevlja, Građevinski fakultet Podgorica, 2008.
- [5] Rendler, N.J. and Vigness, I., "Hole-drilling Strain-gage Method of Measuring Residual Stresses", Proceedings of SESA XXIII, No. 2, 1966.
- [6] Schajer, G.S., "Measurement of Non-Uniform Residual Stresses Using the Hole Drilling Method", Journal of Engineering Materials and Technology, 110, No. 4: Part 1, Part 11, 1988.
- [7] Strainstall engineering services, Bath, England, "Prospektna dokumenta", 2000.
- [8] Abdunur, C., "Manual of bridge engineering", urednici, M.J RYall, itd., Thomas Telford, UK, 2000.
- [9] G. P. Mallett., "Repair of Concrete Bridges", Thomas Telford, 1994.
- [10] Đuranović, N., "Eksperimentalna analiza konstrukcija mjernim trakama", Građevinski fakultet Podgorica, 2008

REZIME

ISPITIVANJE POSTOJEĆEG STANJA NAPONA U KONSTRUKCIJI METODOM BUŠENJA OTVORA

Nebojša ĐURANOVIĆ

Mjerenje postojećeg stanja napona u ispitivanim konstrukcijama ne može se sprovesti konvencionalnim procedurama eksperimentalne analize napona, budući da su klasični ekstenzometri i ekstenzometarske metode u potpunosti neosjetljivi na predhodnu istoriju opterećenja nanijetog na samu konstrukciju, jer mogu da mjere samo promjenu deformacija koja se desila poslije postavljanja mjernih senzora. Jedan od mogućih načina rješavanja problema je put suprotan klasičnom načinu ispitivanja konstrukcija - umjesto da se dodatno opterećuje, konstrukcija (ili njen manji ili veći dio) se rasterećuje.

Bušenje otvora, čak i veoma malog prečnika u elementu koji je napregnut dovodi do relaksacije napona na posmatranom mjestu. Eliminacija napona koji su postojali na mjestu formiranog otvora, mijenja stanje napona i u njegovom neposrednom okruženju, prouzrokujući da se i lokalne deformacije na površini ispitivanog elementa promjene u skladu sa tim. Mjerenjem ovih promjena moguće je definisati postojeće naponsko stanje u čeličnim, betonskim, armiranobetonskim i ostalim konstrukcijama.

Ovaj rad daje osnovne informacije o primjeni metode, uključujući i osvrt na slične postupke ispitivanja, zasnovane na istom principu.

Ključne reči: ispitivanje, naponi, ekstenzometri, bušenje otvora, deformacije

SUMMARY

ESTABLISHING CURRENT STATE OF STRESS USING DRILLED HOLE METHOD

Nebojša ĐURANOVIĆ

Defining state of stress of existing structures can not be performed using well established methods of experimental stress analysis, since these methods are insensitive to the history of loading prior to the sensors being placed on the structure. One possible way to solve the problem is to go in opposite direction to classical methods of experimental testing – instead of loading the structure we should unload it, or part of it. This paper deals with that approach.

Drilling a hole in a structure that is exposed to the outside loading will lead to the relaxation of the stresses at the place of drilling. Elimination of the stresses at the removed part of the structure also causes the change of stresses in the vicinity of the drilled hole, what in return leads to the changes in the state of stress on the surface of the tested element. By measuring these changes it is possible to establish stress state of the concrete and RC elements.

This paper provides basic information regarding application of the method, and also an insight into the similar testing procedures based on the same principle.

Key words: testing, stress, extensometer, drilling hole, deformation

PRIMENA NUMERIČKE INTEGRACIJE NAPONA KOD ELASTOPLASTIČNIH MODELA ZA TLO U ANALIZI GEOTEHNIČKIH KONSTRUKCIJA MKE

Mirjana VUKIĆEVIĆ

ORIGINALNI NAUČNI RAD
UDK: 624.131.5.042:519.87

1 UVOD

Geotehničke konstrukcije, u najširem smislu, predstavljaju konstrukcije koje su u neposrednom kontaktu sa tlom:

- konstrukcije koje se oslanjaju na tlo, u šta spadaju sve vrste temeljnih konstrukcija građevinskih objekata
- konstrukcije koje istovremeno trpe pritiske od tla i oslonjene su na tlo, u šta spadaju potporni masivni zidovi, sve vrste ukopanih konstrukcija (fleksibilne potporne i zaštitne konstrukcije, sve vrste tunela itd.)

Problem koji se javljaju u analizi sadejstva konstrukcije i tla, a čime se one izdvajaju u posebnu grupu, predstavlja izrazita razlika u ponašanju tla i konstrukcije. U mehaničkom ponašanju, tlo je u odnosu na konstrukciju vrlo stišljiv materijal čije osobine proističu iz njegove zrnasto porozne strukture:

- Tlo spada u frikционе materijale čija se čvrstoća definiše otpornošću na smicanje u funkciji srednjeg normalnog napona i poroznosti.
- U naponsko - deformacijskom ponašanju tla uočava se izrazito elasto plastično nelinearno ponašanje.
- Elastične i plastične deformacije se javljaju od početka opterećenja. Plastične deformacije su inicijalno manje od elastičnih, ali sa povećanjem priraštaja napona plastične deformacije dominiraju.
- Plastične zapreminske deformacije su posledica prisustva pora i zato tlo za razliku od, na pr. metala, ima značajne plastične promene zapremine.
- Prilikom smicanja zapremina tla može ostati konstantna ili se menjati u zavisnosti od koeficijenta poroznosti i pritiska.

Da bi na adekvatan način dali odgovore o naponsko - deformacijskom ponašanju, konstitutivni modeli za tlo moraju pre svega da obuhvate sledeće: elasto plastične

nelinearne deformacije, značajan uticaj inicijalne poroznosti (kod peskova, relativne zbijenosti, i kod glina stepena prekonsolidacije), uticaj srednjeg normalnog napona kao i devijatora napona. Odgovori su do sada uglavnom traženi u teoriji elastičnosti, teoriji plastičnosti (mekanika kontinuuma) i poslednjih godina u termomehanici. Sa aspekta mehaničkog ponašanja, tlu najviše odgovaraju elasto-plastični konstitutivni modeli.

2 KONSTITUTIVNO MODELIRANJE TLA

Konstitutivno modeliranje tla spada u posebnu savremenu oblast mehanike tla.

Prema rezultatima standardnih i istraživačkih laboratorijskih ispitivanja došlo se do zaključka da se pored elasto plastičnog ponašanja tlo može u makroskopskom ponašanju idealizovati kao kontinuum.

Prvi moderni elasto-plastični konstitutivni model tla je bio "Cam Clay" model (Schofield and Wroth, 1968, Roscoe and Burland, 1968). Model je bio formulisan u p - q dijagramu (p - srednji normalni napon, q - devijator napona), koristeći podatke iz standardnog triaksijalnog opita. Konstitutivnim relacijama modela se obuhvataju neki rezultati dobijeni triaksijalnim opitima kao što su: veza između zapreminske deformacije i hidrostatičkog opterećenja; veza između promene zapremine i promene smičućih napona; povećanje zapremine kod zbijenog tla a smanjenje kod rastresitog u toku smicanja.

Od 60-tih godina prošlog veka nastao je određen broj elasto- plastičnih modela na bazi Cam - Clay modela u pokušaju prevazilaženja njegovih ograničenja i nedostataka. Najpopularniji i široko korišćeni modeli iz te grupe su modeli sa kapom (Roscoe i Burland [17], Di Maggio i Sandler [5], Baladi [2], bazirani na klasičnoj izotropnoj teoriji plastičnosti.

U većini modela pretpostavlja se da je ponašanje tla rotaciono simetrično u odnosu na hidrostatičku osu, što ne odgovara eksperimentalnim rezultatima naročito za peskove. Granične površi realno su mnogo bliže Mohr - Coulomb-im uslovima loma. Na prevazilaženju ovih nedostataka najviše je doprineo Lade [10]. Granična

Adresa autora:
Doc. dr Mirjana Vukićević, dipl.inž.građ.
Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar
kralja Aleksandra 73, 11000 Beograd

površ koja vrlo dobro aproksimira Mohr - Coulomb-ov uslov je prezentirana u radovima Matsuoka-e i Nakai-a [11].

U pokušaju opisivanja evidentne anizotropije prirodno formiranog tla nastalo je nekoliko konstitutivnih anizotropnih modela (Dafalias [3], Davis i Newton [4], Sekiguchi i Ohta [18]).

Da bi se za ciklična opterećenja uveli efekti histerizeza u elastoplastične modela je uvedena kombinacija izotropnog i kinematičkog ojačanja. Važan teorijski doprinos tome dali su simultano Mroz [12] i Iwan [6]. Kasnije su se iz takvog koncepta razvili različiti modeli sa kombinacijom izotropnog i kinematičkog ojačanja: Mroz [12], Prevost [15]. Zienkiewicz, Mroz i Norris [13] su dali generalizovani model zasnovan na konceptu granične površi koji je pogodan za opisivanje povratnog i cikličnog opterećenja.

Kao posebna klasa modela razvili su se tkz. deformacijski zavisni modeli. U takve modele spadaju "Bubble" (mehur) model za londonske gline koja su predložili Al-Tabbaa i Wood [1] kao i 3-SKH model koji je predložila Stallebrass [19]. Oni spadaju u modele sa više površi koji mogu imati izotropno i kinematičko ojačanje. Model se ponaša kao modifikovani "Cam-Clay" model kada se naponsko stanje nalazi na graničnoj površi.

Ima mnogo modela koji su se kasnije razvili iz navedenih osnovnih konceptata. U ovom vrlo kratkom opisu konstitutivnih modela za tlo naznačeni su, uglavnom, samo modeli i autori koji su najviše doprineli razvoju ove oblasti.

3 PRIMENA ELASTO PLASTIČNIH MODELA U MKE

Da bi se složeni elasto plastični modeli primenili u praktičnim proračunima, neophodna je primena numeričkih metoda, pre svega metoda konačnih elemenata (MKE). Poseban problem implementacije elastoplastičnih modela za tlo u MKE predstavlja integracija konstitutivnih relacija modela, odnosno napona i unutrašnjih promenljivih modela. Važnost integracije konstitutivnih relacija proističe iz toga što su osnovne nepoznate promenljive u MKE deformacije, dok su u konstitutivnim jednačinama modela osnovne nezavisne promenljive naponi. Postoji više numeričkih metoda za integraciju konstitutivnih relacija koje manje ili više uspešno rešavaju ovaj problem: metoda trapeznog pravila, metoda srednje tačke, opšta metoda povratnog preslikavanja i razni tipovi implicitnih metoda.

Zahvaljujući razrađenim metodama integracije mnogi modeli su implementirani u programske pakete za proračun konstrukcija MKE. Jedan od takvih komercijalnih programskih paketa kod nas je PAK, program za statičku i dinamičku analizu konstrukcija MKE, Laboratorije za inženjerski softver Mašinskog fakulteta u Kragujevcu. Zahvaljujući razrađenim implicitnim metodama integracije (M.Kojić [7]), u program su implementirani i Cam Clay (modifikovan) model, model sa graničnom površi Mrozza (M. Kojić, M. Vukićević, [8], [9]), M. Vukićević [20].

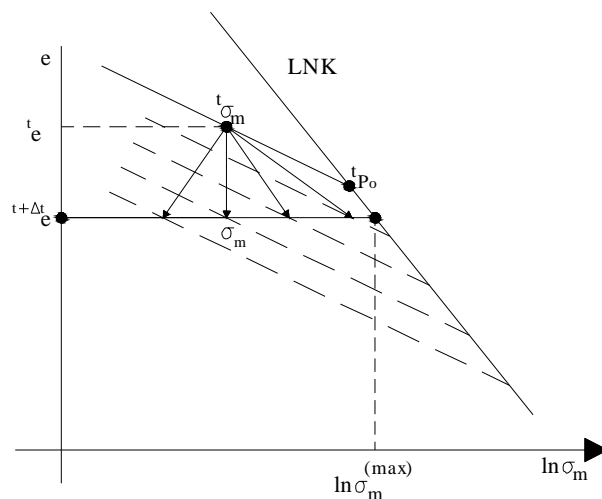
3.1 IMPLICITNA METODA VODEĆEG PARAMETRA (GPM) ZA MODIFIKOVANI CAM-CLAY MODEL

U radu će biti opisana implicitna metoda Kojića [7] koji je algoritam za integraciju nazvao metoda vodećeg parametra ("governing parameter method").

Ovaj algoritam integracije je nazvan "metoda vodećeg parametra" (GPM) zato što se problem integracije napona redukuje na rešenje jedne nelinearne jednačine sa jednom nepoznatom, gde se kao nepoznata veličina uzima pogodno izabrana unutrašnja promenljiva modela. U magistarskoj tezi (M.Vukićević,1990) dat je algoritam integracije modifikovanog Cam - Clay modela metodom implicitne integracije. Kao osnovni parametar preko koga se izražavaju sve relevantne veličine modela usvojen je priraštaj srednje plastične zapreminske deformacije $\Delta \epsilon_m^p$.

U ovom radu je razrađen algoritam implicitne integracije vodećeg parametra tako što je kao osnovni parametar usvojen srednji normalni efektivni napon σ_m . Ovako odabrani parametar ispunjava sve uslove za uspešnu primenu implicitne integracije kao i $\Delta \epsilon_m^p$, ali ima i bitnu prednost. Prednost je u tome što, osim potpuno jasnog fizičkog značenja, σ_m ima i potpuno definisan interval mogućih veličina u konfiguraciji $t + \Delta t$.

Posmatrajmo liniju normalne izotropne konsolidacije (NLK) u ravni $e - \ln \sigma_m$, koja kod Cam-Clay modela u toj ravni deli oblast mogućeg i nemogućeg naponskog stanja (sl. 1.1). $t \sigma_m$ je poznati napon u konfiguraciji t , a $t + \Delta t e$ poznati koeficijent poroznosti u konfiguraciji $t + \Delta t$ koji se direktnom integracijom može sračunati preko ukupne zapreminske deformacije $t + \Delta t \epsilon_v$. Iz dijagrama se vidi da je interval mogućih veličina $t + \Delta t \sigma_m$ od $\sigma_m = 1,0$ do veličina σ_m^{max} koja se nalazi na LNK za $e = t + \Delta t e$. Ovako definisan interval mogućih veličina $t + \Delta t \sigma_m$ je od velike pomoći prilikom određivanja početne veličine vodećeg parametra u postupku implicitne integracije gde se ta veličina mora zadati na početku iterativnog procesa.



Sl. 1.1. Moguće veličine napona σ_m

Pre opisa algoritma implicitne GPM integracije biće date osnovne veličine i jednačine modifikovan Cam-Clay modela pogodno za primenu u MKE.

Osnovne naponsko deformacijske veličine koje se koriste u integraciji za prostorno naponsko stanje pri inkrementalnoj formulaciji su sledeće:

$$\Delta \varepsilon_v = \Delta \varepsilon_{ii} = \Delta \varepsilon_{xx} + \Delta \varepsilon_{yy} + \Delta \varepsilon_{zz} \quad (1)$$

$$\Delta \varepsilon'_{ij} = \Delta \varepsilon_{ij} - \frac{1}{3} \Delta \varepsilon_{ii} \cdot \delta_{ij}$$

$$\Delta \varepsilon_q = \sqrt{\frac{1}{2} \Delta \varepsilon'_{ij} \cdot \Delta \varepsilon'_{ij}} \quad (2)$$

$$\Delta \sigma_m = S_{ij} = \sigma_{ij} - \frac{1}{3} \sigma_{ii} \cdot \delta_{ij} \quad (3)$$

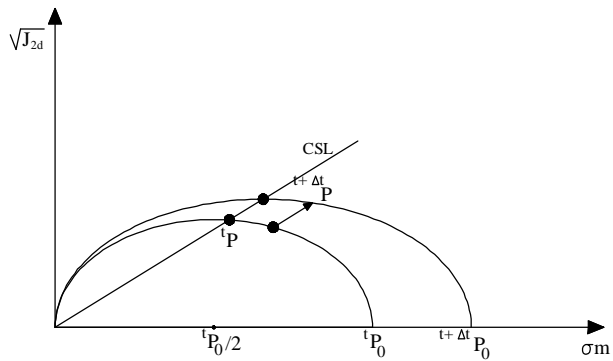
$$\frac{1}{3} \sigma_{ii} = \frac{1}{3} (\sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz})$$

Jednačina funkcije tečenja, odnosno uslova tečenja:

$$f(\sigma_{ij}; p_0) = \sigma_m^2 - \sigma_m \cdot p_0 + \frac{q^2}{M_1^2} = 0 \quad (4)$$

$$q = \sqrt{J_{2D}} \quad J_{2D} = \frac{1}{2} S_{ij} \cdot S_{ij} \quad M_1 = \frac{M}{\sqrt{3}} \quad (5)$$

M_1 je nagib linije kritičnog stanja u dijagramu $\sigma_m - \sqrt{J_{2D}}$
 p_0 je parametar ojačanja i predstavlja prečnik elipse tečenja na σ_m osi. (sl. 1.2)



Sl. 1.2. Modifikovani Cam-Clay model

Veza zapreminske elastične i plastične deformacije i srednjeg normalnog napona data je u inkrementalnom obliku:

$$\Delta \varepsilon_v^e = \frac{k}{1+e} \cdot \frac{\Delta \sigma_m}{\sigma_m} \quad \Delta \varepsilon_v^p = \frac{\lambda - k}{1+e} \cdot \frac{\Delta p_0}{p_0} \quad (6)$$

S druge strane, veza priraštaja plastičnih deformacija i napona može se izraziti korišćenjem jednačina teorije plastičnosti za asocijativni zakon tečenja

$$\Delta \varepsilon_{ij}^p = \Delta \lambda \cdot \frac{\partial f}{\partial \sigma_{ij}} \quad (7)$$

Usvajajući kao osnovne deformacijske veličine ε_v i ε'_{ij} dobijamo da je

$$\Delta \varepsilon_v^p = \Delta \lambda \cdot \frac{\partial f}{\partial \sigma_m} \quad \Delta \varepsilon'_{ij}{}^p = \Delta \lambda \cdot \frac{\partial f}{\partial S_{ij}} \quad (8)$$

$$\frac{\partial f}{\partial \sigma_m} = 2\sigma_m - p_0 \quad \frac{\partial f}{\partial S_{ij}} = \frac{S_{ij}}{M_1^2} \quad (9)$$

Tako da jednačine (8) glase:

$$\Delta \varepsilon_v^p = \Delta \lambda (2\sigma_m - p_0) \quad \Delta \varepsilon'_{ij}{}^p = \Delta \lambda \cdot \frac{S_{ij}}{M_1^2} \quad (10)$$

Elastične devijatorske deformacije su linearne u odnosu na devijatorske komponente napona

$$\Delta \varepsilon'_{ij}{}^e = \frac{S_{ij}}{2G} \quad G \text{ modul smicanja} \quad (11)$$

Diferencijalna veza zapreminske deformacije i koeficijenta poroznosti može se neposredno integraliti, tako da se za svaki korak za poznato ${}^{t+\Delta t} \varepsilon_v$ može eksplicitno dobiti ${}^{t+\Delta t} e$

$$de_v = - \frac{de}{1+e} \quad e = (1 + e_0) \cdot \exp(-\varepsilon_v) - 1 \quad (12)$$

Takođe se može uspostaviti eksplicitna veza između parametra ojačanja p_0 i srednjeg normalnog napona σ_m integracijom diferencijalne jednačine

$$p_0 = \exp\left(\frac{e_0 - e}{\lambda - k}\right) \cdot \sigma_m^{\frac{-k}{\lambda - k}} \quad (13)$$

Kao što je prethodno navedeno, kao pogodna nezavisna veličina preko koje se mogu implicitno izraziti sve ostale nepoznate veličine modela usvojen je srednji normalni napon ${}^{t+\Delta t} \sigma_m$. Algoritam GPM implicitne integracije je sledeći:

a) Poznate veličine u konfiguraciji t i $t + \Delta t$

$${}^t \sigma_{ij}, {}^t \varepsilon_{ij}, {}^t \varepsilon_{ij}^p, {}^t p_0, {}^{t+\Delta t} \varepsilon_{ij}$$

b) ${}^{t+\Delta t} \varepsilon_v = {}^{t+\Delta t} \varepsilon_{ii} \quad \Delta \varepsilon_v = {}^{t+\Delta t} \varepsilon_v - {}^t \varepsilon_v \quad (14)$

c) Elastično predviđanje

$${}^{t+\Delta t} \underline{\sigma}^E = \mathbf{C}^E \cdot {}^{t+\Delta t} \underline{\varepsilon}^e = \mathbf{C}^E \left({}^{t+\Delta t} \underline{\varepsilon} - {}^t \underline{\varepsilon}^p \right) \quad (15)$$

d) Kontrola funkcije tečenja

$${}^{t+\Delta t} f^E = {}^{t+\Delta t} f \left({}^{t+\Delta t} \underline{\sigma}^E, {}^t p_0 \right) \quad (16)$$

Ukoliko je ${}^{t+\Delta t}f^E < 0$ deformacije su elastične, a napon ${}^{t+\Delta t}\sigma^E$ su naponi u konfiguraciji $t + \Delta t$.

Za ovaj model tačke od a) do d) su date sledećim izrazima:

$$\Delta \varepsilon_v^e = \frac{k}{1+e} \cdot \frac{\Delta \sigma_m}{{}^{t+\Delta t}\sigma_m} = \Delta \varepsilon_v \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta \sigma_m^E = \frac{\Delta \varepsilon_v \cdot {}^t\sigma_m}{\frac{k}{1+e} - \Delta \varepsilon_v} \quad (17)$$

$${}^{t+\Delta t}\sigma^E = {}^t\sigma_m + \Delta \sigma_m^E$$

$$\varepsilon_{ij}^E = {}^{t+\Delta t}\varepsilon_{ij}' = \frac{{}^{t+\Delta t}S_{ij}^E}{2G} \Rightarrow {}^{t+\Delta t}S_{ij}^E = 2G \cdot {}^{t+\Delta t}\varepsilon_{ij}' \quad (18)$$

$${}^{t+\Delta t}q^E = \sqrt{\frac{1}{2} S_{ij}^E \cdot S_{ij}^E}$$

$$f = (\sigma_m^E, S_{ij}^E, p_0) = \sigma_m^E - \sigma_m^E p_0 + \frac{q^{E2}}{M_1^2} \leq 0 \quad (19)$$

elastično rešenje

Ako je $f > 0$, javljaju se plastične deformacije i za određivanje napona koristi se iterativni postupak:

e) Za odabran vodeći parametar ${}^{t+\Delta t}\sigma_m^{(i)}$, sračuna se ${}^{t+\Delta t}p_0^{(i)}$

$${}^{t+\Delta t}p_0^{(i)} = \exp\left(\frac{e_0 - {}^{t+\Delta t}e}{\lambda - k}\right) \cdot ({}^{t+\Delta t}\sigma_m^{(i)})^{\frac{-k}{\lambda - k}} \quad (20)$$

f) Iz jednačine (6)

$$\Delta \varepsilon_v^{p(i)} = \frac{\lambda - k}{1+e} \cdot \frac{\Delta p_0^{(i)}}{{}^{t+\Delta t}p_0^{(i)}} \quad (21)$$

$$\Delta p_0^{(i)} = {}^{t+\Delta t}p_0^{(i)} - {}^{t+\Delta t}p_0^{(i-1)}$$

g) S obzirom da se $\Delta \varepsilon_v^p$ može izraziti kao

$$\Delta \varepsilon_v^{p(i)} = \Delta \lambda^{(i)} \left(2 {}^{t+\Delta t}\sigma_m^{(i)} - {}^{t+\Delta t}p_0^{(i)} \right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta \lambda^{(i)} = \frac{\Delta \varepsilon_v^{p(i)}}{2 {}^{t+\Delta t}\sigma_m^{(i)} - {}^{t+\Delta t}p_0^{(i)}} \quad (22)$$

h) Sa poznatom veličinom $\Delta \lambda^{(i)}$ dobija se

$$\Delta \varepsilon_q^{p(i)} = 2 \Delta \lambda^{(i)} \cdot \frac{{}^{t+\Delta t}q^{(i-1)}}{M_1^2}$$

odnosno

$$\Delta \varepsilon_{ij}^{p(i)} = 2 \Delta \lambda^{(i)} \cdot \frac{{}^{t+\Delta t}q^{(i-1)}}{M_1^2} \cdot {}^{t+\Delta t}S_{ij}^{(i-j)} \quad (23)$$

Naponi $q^{(i)}$ i $S_{ij}^{(i)}$ se mogu dobiti iz relaksacionih jednačina:

$${}^{t+\Delta t}q^{(i)} = {}^{t+\Delta t}q^{(i-1)} - \Delta \varepsilon_q^{p(i)} \cdot 2G \quad (24)$$

$${}^{t+\Delta t}S_{ij}^{(i)} = {}^{t+\Delta t}S_{ij}^{(i-1)} - \Delta \varepsilon_{ij}^{p(i)} \cdot 2G$$

i) Kontrola uslova tečenja

$$\left\| f \left({}^{t+\Delta t}\sigma_m^{(i)}, {}^{t+\Delta t}q^{(i)}, {}^{t+\Delta t}p_0^{(i)} \right) \right\| =$$

$$= \left\| {}^{t+\Delta t}\sigma_m^{(i)} - {}^{t+\Delta t}\sigma_m^{(i)} \cdot {}^{t+\Delta t}p_0^{(i)} + \frac{\left({}^{t+\Delta t}q^{(i)} \right)^2}{M_1^2} \right\| \leq \text{TOL}$$

$${}^{t+\Delta t}\varepsilon_v^p = {}^t\varepsilon_v^p + \Delta \varepsilon_v^{p(1)} + \Delta \varepsilon_v^{p(2)} + \mathbf{K} \Delta \varepsilon_v^{p(i)}$$

$${}^{t+\Delta t}\varepsilon_q^p = {}^t\varepsilon_q^p + \Delta \varepsilon_q^{p(1)} + \Delta \varepsilon_q^{p(2)} + \mathbf{K} \Delta \varepsilon_q^{p(i)}$$

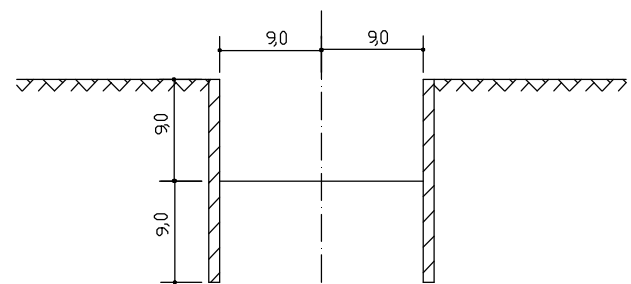
S obzirom da je za traženje rešenja jednačine $f=0$ bitno da funkcija bude monotona, može se pokazati da je funkcija $f(\sigma_m)=0$ monotono opadajuća, što znači da iterativni postupak konvergira ka tačnom rešenju.

3.2 PRIMER

Kao primer proračuna geotehničke konstrukcije MKE uz primenu PAK-a (sa opisanom metodom integracije), odabran je primer dat u članku Powrie-a i Li-a [14] "Finite element analyses of an in situ wall propped at formation level", *Geotechnique* 41, No 4.

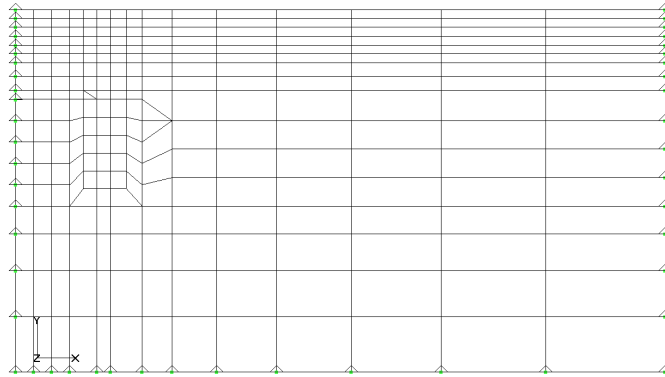
Primer je odabran zbog mogućnosti komparacije rezultata, jer autori u proračunu potporne konstrukcije koriste model za tlo koji je kombinacija originalnog Cam-Clay modela i površi Hvorslav-a, tako da se parametri tla dati u članku mogu direktno koristiti kod modifikovanog Cam-Clay modela.

Analizirana je potporna konstrukcija koja se sastoji od dva reda betonskih dijafragmi visine 18,0m i dubinom iskopa 9,0m. Tlo u kome se izvode dijafragme je glina debljine sloja 40,0m iznad čvrste stene. Idealizovana geometrija je data na sl. 1.3



Sl. 1.3. Skica potporne konstrukcije

Usvojena mreža konačnih elemenata i granični uslovi po pomeranjima su dati na sl. 1.4. U idealizovanoj geometriji problem je simetričan tako da je mreža konačnih elemenata formirana za simetričan problem.



Sl. 1.4. Mreža konačnih elemenata

Proračun je rađen za uslove ravanskog stanja deformacije.

Tlo i zid su modelirani, uglavnom, devetočvornim pravougaonim elementima. Zidovi su betonske dijafragme, modelirane kao elastični gredni elementi.

Nivo podzemne vode je na 1,0m od površine terena i u svakoj fazi iskopa se crpi iz temeljne jame.

Tabela 1. Parametri tla

Parametri tla	
Nagib linije normalne konsolidacije	$\lambda=0,155$
Nagib linije bubrenja	$k=0,016$
Nagib linije kritičnog stanja	$M=1,03 \quad \varphi=26^\circ$
Poisson-ov koeficijent	$\nu =0,2$
Zapreminska težina tla	$\gamma=20,0 \text{ kN/m}^3$
Zapreminska težina vode	$\gamma_w =9,81 \text{ kN/m}^3$

Faze proračuna u analizi odgovaraju fazama izvođenja konstrukcije i napredovanju iskopa, osim faze izvođenja dijafragme koja nije obuhvaćena analizom.

Analiza obuhvata sledeće faze:

a) Iskop 4,0m od površine terena uklanjanjem četiri prva reda elemenata

b) Izvođenje krutog privremenog oslonca i iskop do kote -10,0m uklanjanjem sledećih pet redova elemenata

c) Izvođenje betonske ploče debljine 1,0m na koti -10,0m i uklanjanje privremenog oslonca

U radu su dati sledeći rezultati:

- Dijagrami bočnih efektivnih pritisaka tla sa obe strane dijafragme

- Dijagrami momenata savijanja duž dijafragme

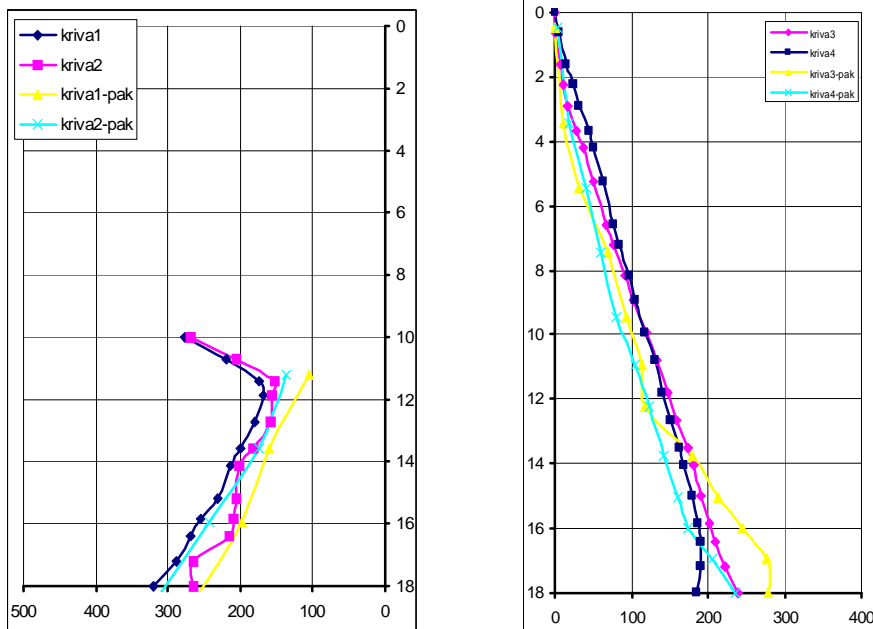
- Dijagrami bočnih pomeranja dijafragme.

Primer je rađen programom PAK, a odabrani model je modifikovani Cam-Clay model.

Zbog upoređivanja rezultata, odabrana je ista mreža konačnih elemenata sa istim graničnim uslovima i istim parametrima tla.

Uporedni rezultati su prikazani na slikama 1.5, 1.6 i 1.7.

Na slici 1.5 dati su dijagrami efektivnih bočnih pritisaka sa obe strane dijafragme za fazu iskopa do 10 m uz prethodno postavljanje privremenog oslonca (krive 2 i 4) i za fazu postavljanja betonske ploče i uklanjanja privremenog oslonca (krive 1 i 3).

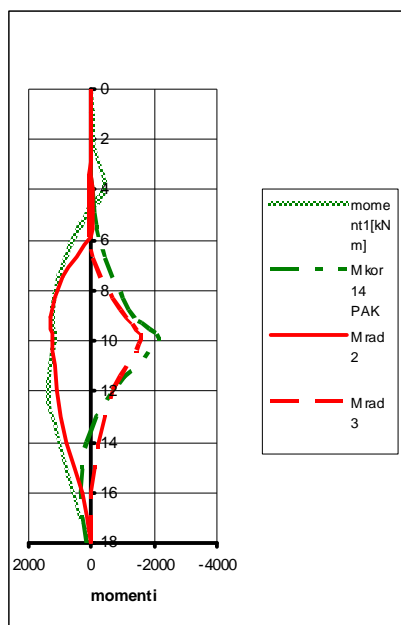


Sl. 1.5. Uporedni dijagrami efektivnih bočnih pritisaka tla

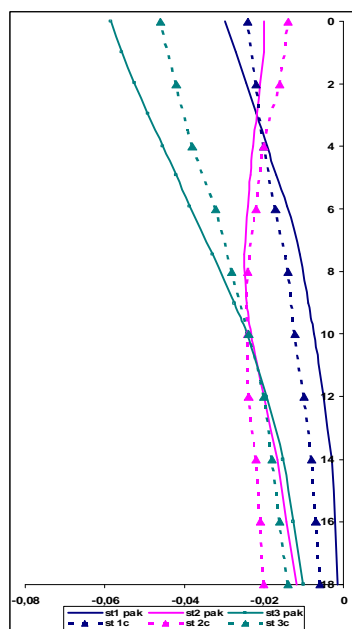
Na slici 1.6 i 1.7 su dati dijagrami momenata savijanja duž dijagrafme i bočnih pomeranja za iste faze iskopa.

Sa uporednih dijagrama može se uočiti da se rezultati dobro slažu.

U uporednom primeru nije navedeno koji je postupak korišćen pri rešavanju materijalno nelinearnog problema, samo inkrementalni ili inkrementalno iterativni postupak, tako da se sa tog aspekta rezultati ne mogu uporediti.



U PAK-u je primenjen inkrementalno iterativni postupak sa implicitnom GPM integracijom. Prosečan broj iteracija u koraku je 5 uz vrlo strog energetski kriterijum konvergencije sa tolerancijom 10^{-9} . Sa primenjenom itegracijom broj iteracija je minimalan, što povećava brzinu rada računara a u isto vreme obezbeđuje visoku tačnost rezultata.



Sl. 1.6. i 1.7. Momenti savijanjai i pomeranja

4 LITERATURA

- [1] Al-Tabba A., Muir Wood D. (1989), An experimentally based "bubble" model for clay, Proceedings of Numer Model in Geomech. III, Elsevier, Rotterdam, 91-99
- [2] Baladi G.Y, Rohani B. (1979) Elastic - plastic model for saturated sand, Jour. Geotech. Engng Div, ASCE, 105 (674), 465-480
- [3] Dafalias Y.F (1986), Bounding surface Plasticity: Mathematical Foundation and Hypo - plasticity, Jour. Engng. Mech. ASCE, Vol 112, No 9, 966-987.
- [4] Davis, M.C., Newton T.A. (1993), Critical state constitutive model for an isotropic soil; In "Predictive Soil Mechanics", Holsby and Schofield, 219-229, Thomas Telford, London.
- [5] Di Maggio F.L., Sandler I.S. (1971), Material models for granular Soils, Jour. Engng ASCE, 97, 935-950.
- [6] Iwan W.D. (1967), On a Class of Models for the Yielding Behavior of Contriuous an Composite System, Jour. Apol. Mech., AME, vol 34, 612-617.d
- [7] Kojic M., (1996), The governing parameter method for implicit integration of viscoplastic constitutive relations, Comp. Mech. vol 19, 49-57.
- [8] Kojic M., Vukicevic M., (1992), In implicit procedure for stress integration in elastic - plastic deformation on the modified Cam-Clay model, COMPLAST III, Barcelona.
- [9] Kojić M., Vukicevic M.; (1998) Implicit stress integration - the governing parametar method for Bounding surface CS material, Fifth International Conference on Computational Plasticity, Barcelona
- [10] Lade P.V., (1977), Elastoplastic Stress - Strain Theory for Cohesionless Soils with Curved Yield Surface, Int. Jour. Solids Struct., ASCE, Vol 13, 1019-1035.
- [11] Matsuoka H, Nakai T., (1974), Stress - deformation and strength characteristics of soil under three different principal stress, Procee JSCE, 232, 59-74.
- [12] Mrozz Z. (1980), Hipelasticity and Plasticiry Approaches to Constitutive Modelling of Inelastic Behavior of soilc, Int. Jour. Num. Analyt. Meth. Geom., vol 4, 45-66
- [13] Mrozz Z., Norris, V.A, Zienkiewicz O.C. (1981), An an isotropic, critical state model for soils subject to cyclic loading, Geotechnique 31, Vol 4, 451-469.
- [14] Powrie W., L.E.S. (1991), Finite element analyses on in sity wall proped at formation level, Geotechnique 40, No 4, 499-514.
- [15] Prevost J.H., (1978), Anisotropic Undrained Stress-Strain Behavior of Clays, Jour. Geotech. Engng. Div. ASCE, vol 104, NOG t8, 1075-1090.
- [16] Prevost J.H. (1982), Two-surface vs. multi surface plasticity theories, Int. Jour. Num. Anal. Meth. Geomech. (6), 323-338
- [17] Roscoe K.N., Burland J.B., (1968), On the Generalized Stress - Strain Behavior of Wet Clay,

- Engineering Plasticity, Sekiguchi H., Ohta H. (1977), Induced anisotropy and time dependency in clays, Proc. int. Confer. Soil Mech. and Found. Engng., Tokyo, 229-238
- [18] Sekiguchi H., Ohta H. (1977), Induced anisotropy and time dependency in clays, Proc. int. Confer. Soil Mech. and Found. Engng., Tokyo, 229-238

- [19] Stallebrass S.E. (1990), Modelling the effect of recent stress history on the deformation of over consolidated soils, PhD. Thesis, The City University, London
- [20] Vukicevic M.; (2007) Primena elastoplastičnih modela za tlo u proračunu fleksibilnih potpornih konstrukcija, doktorska disertacija

REZIME

PRIMENA NUMERIČKE INTEGRACIJE NAPONA KOD ELASTOPLASTIČNIH MODELA ZA TLO U ANALIZI GEOTEHNIČKIH KONSTRUKCIJA MKE

Mirjana VUKIĆEVIĆ

Geotehničke konstrukcije su poseban tip konstrukcija kod kojih je izrazito sadejstvo konstrukcije i tla. U mehaničkom ponašanju, tlo je u odnosu na konstrukciju vrlo stišljiv materijal čije osobine proističu iz njegove zrnasto porozne strukture. Sa aspekta mehaničkog ponašanja, tlu najviše odgovaraju elastoplastični konstitutivni modeli. Primena elastoplastičnih modela u proračunu geotehničkih konstrukcija MKE zahteva numeričku integraciju napona jer su osnovne nepoznate promenljive u MKE deformacije, dok su u jednačinama modela osnovne nezavisne promenljive naponi. U radu je prikazana implicitna GPM metoda integracije napona za modifikovani Cam-Clay model i urađen primer jedne geotehničke konstrukcije primenom opisane metode u programu PAK.

Ključne reči: geotehničke konstrukcije, elastoplastični modeli, implicitna integracija, MKE

SUMMARY

APPLICATION AN NUMERICAL STRESS INTEGRATION OF ELASTO-PLASTIC MODELS FOR SOILS IN THE ANALYSIS OF GEOTECHNICAL STRUCTURES

Mirjana VUKIĆEVIĆ

In terms of analysis, the geotechnical structures are one of the most complex structures. Because of interaction, the deformations of the structure and soil displacement significantly influence the distribution of pressures onto the structure. The most correspond models for soil are elasto-plastic models. The particular problem with the implementation of the elasto-plastic model for soils in the analysis of geotechnical structures using FEM is the integration of constitutive relations of the model. The paper deal with implicit GPM integration for modified Cam-Clay model and its application in software PAK.

Key words: geotechnical structures , elasto-plastic model for soils, implicit integration, FEM

SVOJSTVA SAMOUGRAĐUJUĆIH BETONA U ZAVISNOSTI OD VRSTE I KOLIČINE MINERALNOG DODATKA

Mirjana MALEŠEV
Vlastimir RADONJANIN

ORIGINALNI NAUČNI RAD
UDK: 666.972.5

1 UVOD

Samougrađujući betoni (SCC) su po svojim svojstvima u svežem stanju bliski tečnostima i ne zahtevaju primenu bilo kojeg postupka kompaktiranja tokom procesa ugrađivanja. Zbog toga je ova vrsta betona veoma interesantna sa ekonomskog, tehničkog i ekološkog stanovišta. Međutim, ovi betoni zahtevaju mnogo više pažnje u fazi projektovanja kako bi se dobila stabilna betonska mešavina u dužem vremenskom periodu, radi sprečavanja pojave izdvajanja vode, raslojavanja i segregacije, kako u toku ugrađivanja, tako i u ugrađenom stanju do završetka vremena vezivanja betona i početka očvršćavanja. Time se postiže ujednačenost fizičkih, mehaničkih, reoloških i ostalih karakteristika očvršlog betona. Zato su ključne osobine, koje karakterišu samozbijajuće betone i koje ih razlikuju od tradicionalnih betona:

– Sposobnost popunjavanja koja se izražava preko tečljivosti i viskoznosti (filling ability),

– Sposobnost prolaska (passing ability) i

– Otpornost na segregaciju (segregation resistance).

Optimalan sastav se pronalazi uzimajući u obzir i tečljivost i homogenost tj. stabilnost betonske mešavine, što se može postići kombinacijom različitih materijala za spravljanje betona i korekcijom njihovog učešća.

2 KOMPONENTNI MATERIJALI I PREPORUKE ZA SPRAVLJANJE SAMOUGRAĐUJUĆIH BETONA

Komponentni materijali samougrađujućih betona se ne razlikuju od komponentnih materijala tradicionalnih –

Adresa autora:

Dr Mirjana Malešev, vanredni profesor, dipl.inž.građ.,
Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu,
Novi Sad

Dr Vlastimir Radonjanin, vanredni profesor, dipl.inž.građ.,
Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Novi
Sad

vibriranih betona. Generalno, sve vrste cementa, koje su u skladu sa EN 197-1, mogu se koristiti za spravljanje samougrađujućih betonskih mešavina. Ipak najčešće se koriste cementi iz grupa CEM I i CEM II. Optimalna količina cementa je 350-450 kg/m³. Količine cementa, manje od 350 kg/m³, mogu biti primenjivane samo uz prisustvo nekog mineralnog dodatka, dok količine cementa, veće od 500 kg/m³, mogu prouzrokovati povećano skupljanje očvršlog betona.

Radi poboljšanja i očuvanja kohezije i otpornosti na segregaciju, kao i radi smanjenja veličine skupljanja samougrađujućih betona i količine toplote oslobođene pri hidrataciji, koriste se različite vrste mineralnih dodataka. U tabeli 1 prikazane su osnovne vrste mineralnih dodataka koje su klasifikovane prema sposobnosti reagovanja sa vodom.

Tabela 1 - Vrste mineralnih dodataka

TIP I	Inertan ili poluinertan	Mineralni filer (krečnjak, dolomit...), Pigmenti
TIP II	Pucolani	Leteći pepeo, prilagođen EN 450 Silikatna prašina, prilagođena EN 13263
	Hidraulični	Granulisana zgura

Mineralni dodaci na bazi kalcijum karbonata se najčešće primenjuju u samougrađujućim betonima i mogu obezbediti dobra reološka svojstva betona.

Prirodni pucolani (pucolanska, santorinska ili dijatomejska zemlja, opalska breča, vulkanski tuf, vulkanski pepeo, apatiti i dr.), zatim veštački pucolani (elektrofilter-ski pepeo, granulisana zgura, silikatna prašina i dr.) i kameno brašno su vrlo fine čestice (ispod 0,125mm) koje povećavaju strukturnu čvrstoću i plastičnu viskoznost.

Leteći pepeo se pokazao kao efikasan dodatak SCC-u koji obezbeđuje povećanu koheziju i umanjuje osetljivost na promene u sadržaju vode.

Visok nivo silikatne prašine rezultuje dobrom kohezijom i poboljšanom otpornosti na segregaciju.

Granulisana zgura je već prisutna u nekim cementima (CEM II i CEMIII), ali takođe je dostupna u nekim zemljama i kao dodatak. Visok sadržaj granulirane zgre može nepovoljno uticati na stabilnost betonske mešavine jer sporije vezivanje povećava rizik od segregacije.

Sve vrste agregata, koje su u skladu sa EN 12620, smatraju se pogodnim za spravljanje samougrađujućih betonskih mešavina. Prirodno usitnjeni i drobljeni agregati mogu se koristiti i kao sitan i kao krupan agregat. Veličina zrna i oblik krupnog agregata direktno utiču na tečenje i sposobnost prolaska SCC-a. Što su zrna agregata zaobljenija, manje je unutrašnje trenje, pa samim tim je manja mogućnost blokiranja zrna agregata i veći protok betona. Sa druge strane, drobljeni krupan agregat utiče na poboljšanje čvrstoće zbog povećanog unutrašnjeg trenja. Razmak između šipki armature je glavni faktor u određivanju maksimalnog zrna krupnog agregata. Maksimalno zrno agregata bi generalno trebalo biti ograničeno na 12-20mm, kako bi se izbeglo blokiranje agregata tokom prolaska SCC-a kroz sklopove armature i obezbedila fluidnost, jer su krupna zrna, zbog veće mase, teže pokretljiva. Uticaj sitnog agregata na svojstva svežeg betona je znatno veći od uticaja krupnog agregata. Čestice agregata veličine manje od 0,125mm ulaze u sastav paste i moraju se uzeti u obzir prilikom proračunavanja vodo-praškastog odnosa. Velika zapremina paste u SCC mešavinama pomaže smanjenju unutrašnjeg trenja između zrna agregata.

Za spravljanje samougrađujućih betona može se koristiti voda koja je u skladu sa EN 1008. U slučaju korišćenja reciklirane vode iz fabrika betona, mora se uzeti u obzir vrsta i količina suspendovanih čestica jer se, u protivnom, lako može narušiti uniformnost sastava betona od mešungaa do mešungaa.

Hemijski dodaci, posebno superplastifikatori tipa HRWRA (EN 934-2), su vrlo bitna i obavezna komponenta SCC-a. Pored superplastifikatora, često se koristi posebna vrsta hemijskih dodataka za modifikaciju viskoziteta (VMA). Specifičnost ovih aditiva jeste da, povećavajući kohezivnost cementne paste, spreče blokiranje zrna agregata pri prolasku kroz armaturne sklopove. Takođe, za vreme ugrađivanja samozbijajućeg betona, ova vrsta aditiva može da obezbedi potpuno obavljanje zrna krupnog agregata slojem maltera dovoljne debljine.

Projektovanje sastava samougrađujućih betona se suštinski razlikuje od projektovanja sastava tradicionalnih – vibriranih betona. Kod tradicionalnih betona projektovanje se zasniva na ispunjenju zahtevanih karakteristika očvrslog betona – prvenstveno čvrstoće pri pritisku (MB), dok su osnovne karakteristike koje određuju sastav samougrađujućih betona upravo svojstva svežeg betona (fluidnost, viskoznost, otpornost na segregaciju). Pri tome se smatra da će zahtevane mehaničke karakteristike biti ostvarene primenom malog vodo-praškastog odnosa i zadovoljavajuće gustine zbog velike količine čestica manjih od 0.125mm.

Po načinu postizanja zahtevanih karakteristika samougrađujućih betona u svežem stanju razlikuju se tri karakteristična tipa, to su:

- Tip I (Powder type) – kod koga se zahtevana svojstva svežeg betona postižu primenom velike količine sitnih čestica, tj. upotrebom punioca
- Tip II (VMA type) – kod koga se zahtevana svojstva postižu upotrebom nove vrste hemijskih dodataka

tzv. modifikatora viskoznosti koji mešavini obezbeđuje stabilnost i manju osetljivost na varijacije u količini i kvalitetu komponentnih materijala.

– Tip III – mešoviti tip kod koga se zahtevana svojstva postižu i upotrebom punioca i upotrebom modifikatora viskoznosti.

Bez obzira na odabrani tip, sastav SCC treba da zadovolji sledeće osnovne zahteve:

- Povećanu zapreminu cementne paste
- Veliku količinu čestica manjih od 0.125mm
- Smanjenu zapreminu krupnog agregata
- Nizak odnos vode i sitnih čestica
- Obavezno prisustvo superplastifikatora
- Eventualna primena modifikatora viskoznosti

U tabeli 2 date su uobičajene količine sastojaka samougrađujućih betona prema evropskim preporukama ("The European Guidelines for Self Compacting Concrete").

Tabela 2 - Uobičajene količine sastojaka SCC-a prema evropskim preporukama

Komponente	Uobičajene vrednosti (kg/m ³)	Uobičajene vrednosti (l/m ³)
Praškasta komponenta	380-600	
Pasta		300-380
Voda	150-210	150-210
Krupan agregat	750-1000	270-360
Sitan agregat (pesak)	48-55% od ukupne mase agregata	
Vodopraškasti faktor		0.85-1.10

U literaturi iz ove oblasti se može naći niz preporuka za određivanje sastava samougrađujućih betona. Među njima najčešće se koristi postupak koji su razvili Hajime Okamura i Masahiro Ouchi i koji se zasniva na sledećim principima:

- Količina krupnog agregata treba da iznosi cca 50% u odnosu na zapreminu čvrstih sastojaka,
- Količina sitnog agregata treba da iznosi cca 40% u odnosu na zapreminu malterske komponente (praškasta komponenta+fini agregat-pesak+voda)
- Vodo-praškasti faktor (zapreminski odnos) treba da bude u rasponu 0,9 - 1,0 u zavisnosti od svojstava unetih praškastih čestica
- količina superplastifikatora i konačna vrednost vodopraškastog faktora, određuje se iz uslova obezbeđenja samougradljivosti"

3 SVOJSTVA SAMOUGRAĐJUĆIH BETONA U SVEŽEM STANJU

Vrlo bitan deo celokupnog ispitivanja samougrađujućih betona jeste provera postavljenih zahteva, koji se odnose na njihove karakteristike u svežem stanju. Kao što je već spomenuto, četiri ključne osobine SCC u svežem stanju su:

- fluidnost
- viskoznost
- sposobnost prolaska

– otpornost na segregaciju

Navedene osobine SCC mešavina prevazilaze granice i klase date u standardu (BAB 87 i EN 206), tako da se ne mogu koristiti standardizovane metode (metoda sleganja itd.). Zbog nepostojanja standarda, razvijen je širok opseg metoda kojima bi se odredile ključne karakteristike samougrađujućih betona u svežem stanju. Međutim, ni jedna metoda nije sposobna da samostalno obezbedi sve ključne parametre. Evropska projektna komisija, koju sačinjavaju pet evropskih asocijacija (BIBM, CEMBUREAU, ERMACO, EFCA i EFNARC) je skicirala evropske preporuke za samougrađujuće betone ("The European Guidelines for Self Compacting Concrete"), i predložila je sledeće metode za specificiranje SCC, (tabela 3).

Tabela 3 - Test metode prema evropskim preporukama

Osobine	Test metode
fluidnost (filling ability)	Slump-flow test
viskoznost (viscosity)	T500 Slump-flow test ili V-funnel test
sposobnost prolaska (passing ability)	L-box test
otpornost na segregaciju (segregation resistance)	segregation resistance (sieve)

Fluidnost se određuje na osnovu klase konzistencije odnosno merenja prečnika rasprostiranja po metodi sleganja rasprostiranjem (tabela 4).

Tabela 4 - Klase konzistencije samougrađujućih betona

Klasa konzistencije	Metoda sleganja rasprostiranjem
SF1	550-650 mm
SF2	660-750 mm
SF3	760-850 mm

Konzistencija SF2 odgovara najčešćoj primeni betona u građevinarstvu.

Viskoznost se može odrediti na osnovu izmerenog vremena T_{500} tokom slump-flow testa ili V-funnel vremena, (tabela 5).

Tabela 5 - Klase viskoznosti samougrađujućih betona

Klasa viskoznosti	T_{500} , s	V-funnel test	Opis betona
VS1/VF1	≤ 2	≤ 8	može se javiti izdvajanje vode
VS2/VF2	>2	9-25	može imati nedovoljnu tečljivost

Sposobnost prolaska se određuje na osnovu najmanjeg otvora, kroz koji beton mora kontinualno da teče da bi ispunio oplatu. Razlikuju se dve klase betona u zavisnosti od veličine otvora koji predstavlja razmak između šipki armature:

PA1, za konstrukcije sa najmanjim otvorom 80-100mm (slabije armirani preseći).

PA2, za konstrukcije sa najmanjim otvorom 60-80mm (inženjerski objekti).

Tabela 6 - Klase sposobnosti prolaska samougrađujućih betona

Klasa	sposobnost prolaska
PA1	≥ 0.80 sa dve šipke
PA2	≥ 0.80 sa tri šipke

Otpornost na segregaciju je vrlo bitno svojstvo kada je u pitanju očuvanje homogenosti i kvaliteta betona, posebno kod visokih klasa konzistencije i/ili nižih klasa viskoznosti. Određuje se na osnovu količine paste u % koja u određenom vremenu prođe kroz sito otvora 5mm (tabela 7).

Tabela 7 - Klase otpornosti na segregaciju samougrađujućih betona

Klasa	Otpornost na segregaciju %	Primena
SR1	≤ 20	dužina tečenja <5m kroz otvor >80mm
SR2	≤ 15	dužina tečenja >5m kroz otvor >80mm dužina tečenja <5m kroz otvor <80mm
SR3	≤ 10	dužina tečenja >5m kroz otvor <80mm

4 SOPSTVENO EKSPERIMENTALNO ISTRAŽIVANJE

Ovim istraživanjem obuhvaćeno je utvrđivanje uticaja vrste mineralnog dodatka i odnosa između količina mineralnog dodatka i cementa na osnovna svojstva svežeg i očvrstlog betona. U tu svrhu odabrane su dve vrste mineralnih-praškastih dodataka:

- Krečnjak - iz grupe poluinertnih dodataka (Tip I) i
- Leteći pepeo - iz grupe latentno hidrauličnih dodataka (Tip II)

Radi utvrđivanja uticaja odnosa m_{md}/m_c na osnovna svojstva SCC betona napravljeno je sedam betonskih mešavina:

- E-etalonska betonska mešavina u kojoj nema mineralnih dodataka ($m_{md}/m_c=0$)

- L1-SCC beton sa 350 kg cementa u 1 m^3 i potrebnom količinom mlevenog krečnjaka i sitnih čestica u agregatu, da bude zadovoljen uslov za konstantnu količinu čestica manjih od 0,125mm ($m_{md}/m_c \sim 0,4$)

- L2-SCC beton sa 400 kg cementa u 1 m^3 i potrebnom količinom mlevenog krečnjaka i sitnih čestica u agregatu, da bude zadovoljen uslov za konstantnu količinu čestica manjih od 0,125mm ($m_{md}/m_c \sim 0,2$)

- L3-SCC beton sa 450 kg cementa u 1 m^3 i potrebnom količinom mlevenog krečnjaka i sitnih čestica u agregatu, da bude zadovoljen uslov za konstantnu količinu čestica manjih od 0,125mm ($m_{md}/m_c \sim 0,1$)

- FA1-SCC beton sa 350 kg cementa u 1 m^3 i potrebnom količinom letećeg pepela i sitnih čestica u agregatu, da bude zadovoljen uslov za konstantnu količinu čestica manjih od 0,125mm ($m_{md}/m_c \sim 0,4$)

- FA2-SCC beton sa 400 kg cementa u 1 m^3 i potrebnom količinom letećeg pepela i sitnih čestica u

agregatu, da bude zadovoljen uslov za konstantnu količinu čestica manjih od 0,125mm (mmd/mc~0,2)

– FA3-SCC beton sa 450 kg cementa u 1 m³ i potrebnom količinom letećeg pepela i sitnih čestica u agregatu, da bude zadovoljen uslov za konstantnu količinu čestica manjih od 0,125mm (mmd/mc~0,1)

Na svežem betonu ispitivana su sledeća svojstva:

– rasprostiranje sleganjem (zahtevana je klasa SF2) pomoću Slump-flow testa nakon 5, 20 i 60min od spravljanja betonske mešavine,

– viskoznost (izmerena vrednost VS) pomoću T₅₀₀ Slump-flow testa,

– sposobnost prolaska (izmerena vrednost PA) pomoću L-boksa,

– otpornost na segregaciju (izmerena vrednost SR) pomoću sita,

– količina uvučenog vazduha,

– zapreminska masa betona.

Na očvrslom betonu obavljena su sledeća ispitivanja:

– čvrstoća pri pritisku pri starosti betona od 2,7 i 28 dana,

– čvrstoća na zatezanje cepanjem pri betona starosti od 28 dana,

– čvrstoća na zatezanje savijanjem pri starosti betona od 28 dana,

– upijanje vode metodom postupnog potapanja pri starosti betona većoj od 28 dana,

– površinsko upijanje pri starosti betona većoj od 28 dana,

– upijanje vode pod povišenim pritiskom pri starosti betona većoj od 28 dana,

– skupljanje pri starosti betona od 3,4,5,6,7,14,21 i 28 dana,

– dinamički modul elastičnosti pri starosti betona većoj od 28 dana,

– statički modul elastičnosti pri starosti betona većoj od 28 dana,

– athezija između betona i armature (glatka i rebrasta) pri starosti betona većoj od 28 dana.

Za planirana ispitivanja ukupano je napravljeno 189 uzoraka.

Za spravljanje predmetnih betonskih mešavina upotrebljeni su sledeći materijali:

– portland-kompozitni cement CEM II/A-M(S-L)42.5R (Lafarge-BFC),

– rečni agregat, pran i separisan u tri frakcije 0/4mm, 4/8mm i 8/16mm (A.G.D. "Budućnost", Novi Sad),

– leteći pepeo, kao mineralni dodatak (Termoelektrana "Nikola Tesla B", Obrenovac), koji sadrži cca 65% čestica sitnijih od 0.09mm,

– mleveni krečnjak, kao mineralni dodatak (Majdan Rudnik), čije su sve čestice manje od 0.09mm,

– superplastifikator-modifikovani polikarboksilat, Sika Viscocrete 3079, kao hemijski dodatak (SIKA, Beograd),

– voda iz gradskog vodovoda.

Hemijski dodaci modifikatori viskoznosti nisu korišćeni jer je odabran Tip I (Powder type) samougrađujućeg betona.

4.1 Sastavi betonskih mešavina

Sastavi betonskih mešavina određeni su na osnovu sledećih pretpostavki:

– D_{max}=16mm,

– količina uvučenog vazduha u_v=2%,

– minimalna količina cementa m_c=350kg,

– količina sitnih čestica m_i=500kg,

– količina superplastifikatora 1,2% od mase cementa,

– vodopraškasti faktor mv/mf= 0,33 u cilju postizanja zahtevane klase SF2,

– apsolutna zapremina krupnog agregata iznosi 45% apsolutne zapremine čvrstih sastojaka,

– uzorna kriva za određivanje granulometrijskog sastava dobijena je iz prethodnog uslova da krupan agregat čini 45% od apsolutne zapremine čvrstih komponenti,

– klasa rasprostiranja sleganjem SF2.

Količine komponentnih materijala su određene korigovanom metodom Okamura – Ouchi.

U tabeli 8 date su računске količine komponentnih materijala.

Tabela 8 - Projektovane količine komponentnih materijala

Betonske mešavine	Količina cementa (kg/m ³)	Količina vode (kg/m ³)	Količina min. dodatka (kg/m ³)		Količina superplast. (kg/m ³)	Količina agregata (kg/m ³)	Zapreminska masa (kg/m ³)
			kreč.	l. pepeo			
E	492	165	-	-	5,9	1743	2406
L1	350	165	142,5	-	4,2	1738	2400
L2	400	165	91,3	-	4,8	1740	2401
L3	450	165	41,3	-	5,4	1742	2404
FA1	350	224	-	142,2	4,2	1556	2276
FA2	400	190	-	91,7	4,8	1655	2341
FA3	450	175	-	41,4	5,4	1722	2394

U tabeli 9 dati su projektovani odnosi komponentnih materijala.

Tabela 9 - Projektovani odnosi komponentnih materijala

Betonske mešavine	m_v/m_c	m_f/m_f	m_a/m_c	m_{md}/m_c	m_{ad}/m_c
E	0.335	0.33	3.543	0	0.012
L1	0.471	0.33	4.966	0.407	0.012
L2	0.412	0.33	4.35	0.228	0.012
L3	0.367	0.33	3.871	0.092	0.012
FA1	0.64	0.448	4.446	0.406	0.012
FA2	0.475	0.38	4.137	0.229	0.012
FA3	0.389	0.35	3.827	0.092	0.012

4.2 Rezultati ispitivanja i analiza svojstava svežeg samougrađujućeg betona

4.2.1 Konzistencija i viskoznost

Metodom "Slump-flow test"-a ispitana je pokretljivost (fluidnost) betonskih mešavina. Na slici 1 prikazan je

sam postupak ispitivanja konzistencije, a dobijeni rezultati u tabeli 10.

U tabeli 11 upoređene su upotrebljene količine vode za postizanje zahtevane klase konzistencije (SF2). Iz prikazanih rezultata može se zaključiti da vrsta mineralnog dodatka ima uticaja na potrebnu količinu vode za postizanje zahtevane klase konzistencije. Naime, ako se za spravljanje samougrađujućih betona koristi mleveni krečnjak, ovaj mineralni dodatak, pri istoj količini vode za spravljanje betona daje nešto pokretljivije betone - betone sa većom merom rasprostiranja posle 5 i 20 minuta u odnosu na etalonski uzorak, pri čemu, klasa konzistencije i dalje ostaje u granicama za SF2. Ako se kao mineralni dodatak koristi elektrofilterski pepeo, tada količina ovog dodatka ima direktnog uticaja na potrebnu količinu vode - sa povećanjem količine letećeg pepela povećava se i potrebna količina vode za ostvarivanje tražene klase konzistencije.

Tabela 10 – Rezultati ispitivanja svojstava svežeg betona

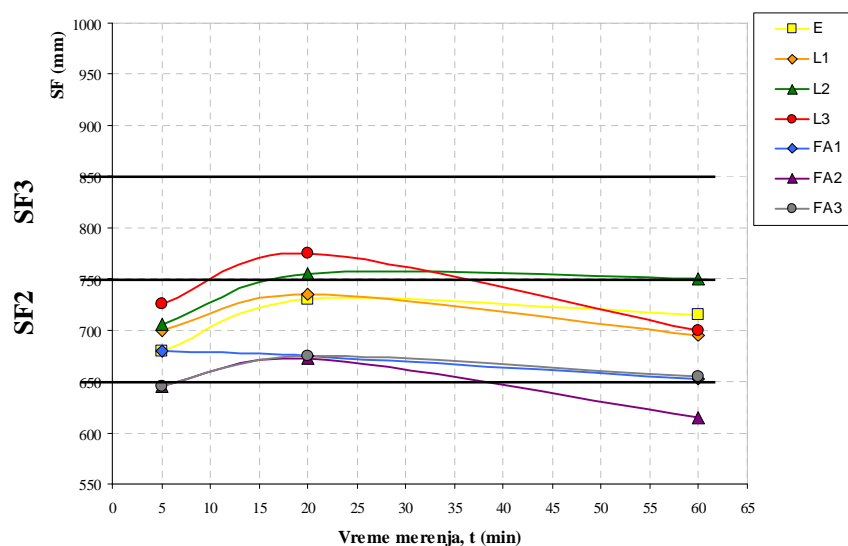
Vrsta betona	Vreme merenja	d_{sr} (cm)	T_{500} (s)	H1/H2	SR (%)	Zapr.masa kg/m^3
E	nakon 5 min	68	6			
	nakon 20 min	73	5	0.82	3.72	
	nakon 60 min	71.5	6			2380
L1	nakon 5 min	70	5			
	nakon 20 min	73.5	4.5	0.875	14.05	
	nakon 60 min	69.5	6			2401
L2	nakon 5 min	70.5	6			
	nakon 20 min	75.5	4	0.82	13.15	
	nakon 60 min	75	5			2394
L3	nakon 5 min	72.5	5			
	nakon 20 min	77.5	3.5	0.875	7.41	
	nakon 60 min	70	7			2372
FA1	nakon 5 min	68	6			
	nakon 20 min	67.5	6	0.778	7.39	
	nakon 60 min	65.25	6.5			2185
FA2	nakon 5 min	64.5	9			
	nakon 20 min	67.25	7.5	0.65	1.59	
	nakon 60 min	61.5	14			2284
FA3	nakon 5 min	64.5	8			
	nakon 20 min	67.5	7	0.778	2.84	
	nakon 60 min	65.5	9			2344

Tabela 11 - Voda potrebna za postizanje zahtevane konzistencije u zavisnosti od vrste i količine mineralnog dodatka

	E	L1	L2	L3	FA1	FA2	FA3
R_5 , cm	68	70	70.5	72.5	68	64.5	64.5
$m_{vi,stv}$ kg	163	165	164	163	215	185	171
$(m_{vi}-m_{ve})/m_{ve}$, %	-	1.23	0.61	0	31.9	13.5	4.91



Slika 1 – Određivanje klase konzistencije metodom sleganja



Slika 2 – Promena konzistencije u funkciji vremena ispitivanih vrsta samougrađujućih betona

Na slici 2 su prikazani rezultati ispitivanja konzistencije nakon 5, 20 i 60 minuta. Analizom prikazanih rezultata može se uočiti:

– Nakon 5 minuta od spravljanja betonskih mešavina, 5 od 7 ispitivanih vrsta betona (cca 71%) ispunjavaju uslov za zahtevanu klasu konzistencije (SF2), dok 2 vrste (FA2 i FA3) imaju prečnik rasprostiranja koji je za

samo 5mm manji od donje granice za klasu konzistencije SF2.

– Nakon 20 minuta od spravljanja betonskih mešavina, 5 od 7 ispitivanih vrsta betona (cca 71%) ispunjavaju uslov za klasu konzistencije SF2, pri tome beton L2 ima veći prečnik rasprostiranja za svega 5mm od gornje granice za klasu SF2.

– Nakon 60 minuta od spravljanja betonskih mešavina, 6 od 7 ispitivanih vrsta betona (cca 86%) ispunjavaju uslov za klasu konzistencije SF2.

– Primenjenom hemijskog dodatka - HRWR - visco-crete 3079 (SIKA) potreban je izvestan vremenski period da bi ispoljio svoje dejstvo. Zbog toga su mere rasprostiranja posle 5 minuta manje od rasprostiranja posle 20minuta. Efekat hemijskog dodatka se postepeno gubi nakon 60minuta od spravljanja, tako da su za analizu najobjektivnije mere rasprostiranja nakon 20minuta.

Za određivanje klase viskoznosti korišćen je T500 slump/flow test. Dobijeni rezultati prikazani su u tabeli 10. Analizom dobijenih rezultata zaključeno je da sve ispitivane vrste betona imaju vreme T_{500} veće od 2 sekunde i pripadaju istoj klasi viskoznosti VS2.

4.2.2 Spособnost prolaska

Ispitivanje je obavljeno pomoću L-box-a, a sastoji se u merenju visina H1 i H2 (slika 3) i sračunavanju odnosa H2/H1. Sračunati odnosi visina dati su u tabeli 10.

Kao oprema za ispitivanje korišćen je L –boks sa tri šipke armature. Na slici 4 prikazane su sračunate vrednosti H1/H2 za ispitivane vrste betona, kao i donja granica za ispunjavanje ovog uslova kvaliteta kod samougrađujućih betona.

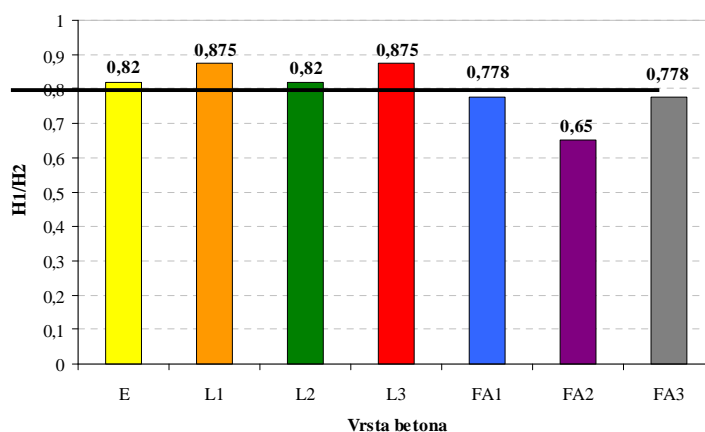
Sa dijagrama na slici 4 se uočava:

– 4 od 7 ispitivanih vrsta betona (cca 57%) ispunjavaju postavljeni uslov kvaliteta (PA 2).

– Etalonska mešavina i mešavine sa krečnjakom ispunjavaju postavljeni uslov kvaliteta, dok mešavine sa elektrofilterskim pepelom ne, što znači da vrsta primenjenog mineralnog dodatka utiče na sposobnost prolaska betonskih mešavina.



Slika 3 – Određivanje sposobnosti prolaska metodom L -boksa



Slika 4 – Sposobnost prolaska, PA, ispitivanih vrsta samougrađujućih betona

– Betonske mešavine sa elektrofilterskim pepelom imaju smanjenu sposobnost prolaska kroz armaturni sklop.

4.2.3 Otpornost na segregaciju

Metodom "Sieve segregation resistance test"-a ispitana je otpornost betonske mešavine na segregaciju. Postupak ispitivanja ilustrovan je na slikama 5a i 5b, a

vrednosti merodavne za ocenu date su u tabeli 10.

Kao kriterijum za upoređenje odabrana je klasa SR 2 ($SR \leq 15\%$). Dobijeni rezultati su ilustrovani na slici 6.

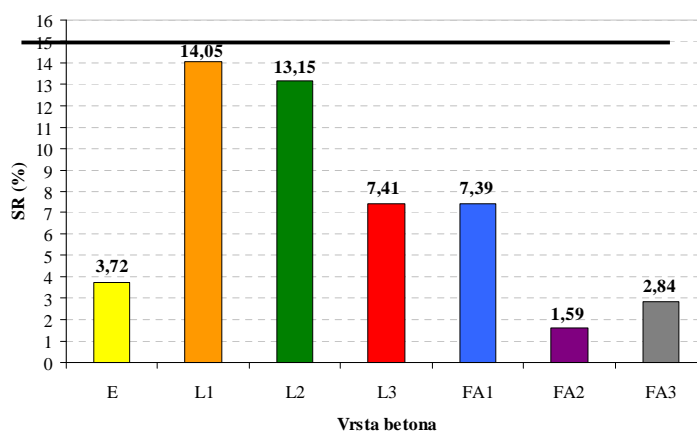
Na osnovu rezultata prikazanih na predmetnoj slici zaključeno je da sve ispitivane vrste samougrađujućih betona ispunjavaju dati kriterijum. Pri tome su betonske mešavine sa mlevenim krečnjakom kao mineralnim dodatkom, uslovno sklonije segregaciji od etalonske i od mešavine sa elektrofilterskim pepelom.



Slika 5a – Određivanje otpornosti na segregaciju samougrađujućih betona pomoću "Sieve segregation resistance test"-a (priprema i merenje mase)



Slika 5b – Određivanje otpornosti na segregaciju pomoću "Sieve segregation resistance test"-a – nastavak (ceđenje i ostatak na dnu)



Slika 6 - Otpornost na segregaciju SR (%) ispitivanih vrsta samougrađujućih betona

4.3 REZULTATI ISPITIVANJA I ANALIZA SVOJSTAVA OČVRSLOG SAMOUGRAĐUJUĆEG BETONA

4.3.1 Čvrstoća pri pritisku

U tabeli 12 prikazani su rezultati ispitivanja čvrstoće pri pritisku referentnog betona (E), betona sa krečnjačkim mineralnim dodatkom (L1, L2 i L3) i betona sa letećim pepelom (FA1, FA2 i FA3) za starosti od 2, 7 i 28 dana. Čvrstoće su dobijene ispitivanjem kocki ivice 15cm i predstavljaju srednje vrednosti od 3 odnosno od 6 rezultata ispitivanja (starost od 28 dana).

Tabela 12 - Čvrstoća betona pri pritisku

Vrsta betona	gb.očv (kg/m ³)	f _{p,2} (MPa)	f _{p,7} (MPa)	f _{p,28} (MPa)
E	2404	38.9	53.4	65.1
L1	2438	26.8	41.9	48.1
L2	2449	32.5	45.9	56.9
L3	2389	37.6	43.3	61.9
FA1	2241	13.0	22.7	36.8
FA2	2321	25.2	38.3	44.4
FA3	2356	30.8	40.1	55.8

Upoređenjem prikazanih rezultata može se zaključiti:

– Betonske mešavine sa mlevenim krečnjakom imaju manje sve tri karakteristične čvrstoće od čvrstoća etalonske betonske mešavine.

– Sa smanjenjem odnosa količine mlevenog krečnjaka i cementa povećavaju se sve tri karakteristične čvrstoće pri pritisku.

– Manje vrednosti čvrstoće pri pritisku nakon 7 dana betonske mešavine L3 od očekivanih, s obzirom na količine krečnjaka i cementa, su najverovatnije posledica nedovoljne zbijenosti betona.

– Procentualno smanjenje čvrstoće pri pritisku nakon 28 dana betonske mešavine L1 (mmd/mc=0.407) u odnosu na betonsku mešavinu E iznosi 26%.

– Procentualno smanjenje čvrstoće pri pritisku nakon 28 dana betonske mešavine L2 (mmd/mc=0.228) u odnosu na betonsku mešavinu E iznosi 13%.

– Procentualno smanjenje čvrstoće pri pritisku nakon 28 dana betonske mešavine L3 (mmd/mc=0.092) u

odnosu na betonsku mešavinu E iznosi 5%. Betonske mešavine sa elektrofilterskim pepelom imaju manje sve tri karakteristične čvrstoće od čvrstoća etalonske betonske mešavine.

– Sa smanjenjem odnosa količine elektrofilterskog pepela i cementa povećavaju se sve tri karakteristične čvrstoće pri pritisku.

– Procentualno smanjenje čvrstoće pri pritisku nakon 28 dana betonske mešavine FA1 (mmd/mc=0.406) u odnosu na betonsku mešavinu E iznosi 43%.

– Procentualno smanjenje čvrstoće pri pritisku nakon 28 dana betonske mešavine FA2 (mmd/mc=0.229) u odnosu na betonsku mešavinu E iznosi 32%.

– Procentualno smanjenje čvrstoće pri pritisku nakon 28 dana betonske mešavine FA3 (mmd/mc=0.092) u odnosu na betonsku mešavinu E iznosi 14%.

Zavisnost čvrstoće samougrađujućih betona pri pritisku, nakon 28 dana, od odnosa količine mineralnog dodatka i cementa (m_{md}/m_c), prikazana je na slici 7. Sa slike se uočava:

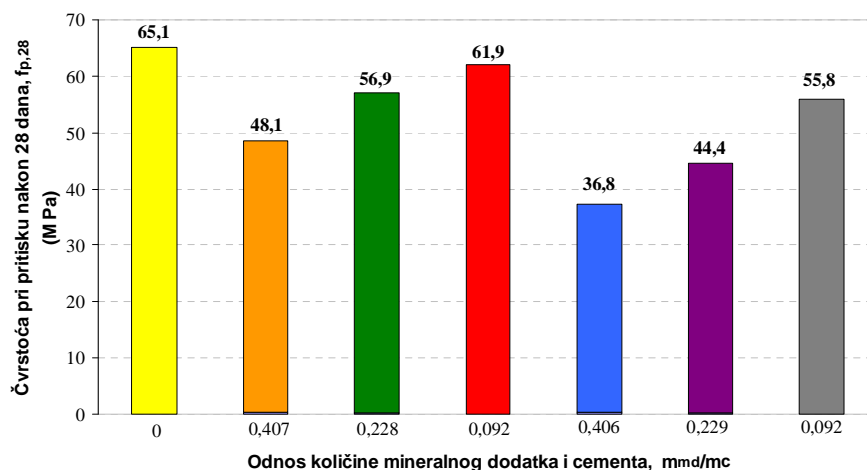
– Ostvarene čvrstoće zavise od vrste mineralnog dodatka, odnosno mineralni dodatak utiče na smanjenje čvrstoće pri pritisku nakon 28 dana. Elektrofilterski pepeo u većoj meri utiče na smanjenje čvrstoće.

– Količina mineralnog dodatka takođe ima uticaja na vrednost čvrstoće pri pritisku nakon 28 dana. Smanjenjem količine mineralnog dodatka, povećava se vrednost čvrstoće.

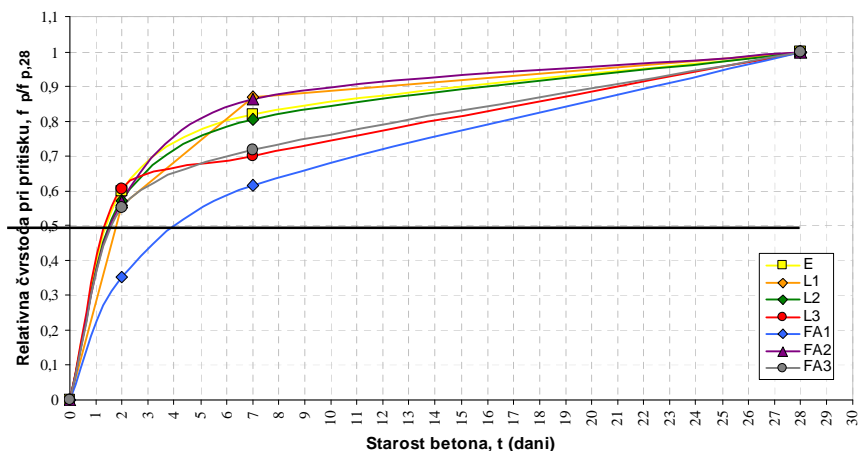
Na slici 8 date su relativne čvrstoće pri pritisku za sve betonske mešavine. U skladu sa uslovom ($100 \cdot f_{p,2} / f_{p,28} \geq 50\%$, (EN206), može se konstatovati da su sve vrste samougrađujućih betona, osim FA1, betoni sa brzim prirastom čvrstoće.

Razlog brzog prirasta čvrstoće leži i u činjenici da je za spravljanje betonskih mešavina upotrebljen R cement, u količini $\geq 350 \text{ kg/m}^3$.

Prirast čvrstoće se usporava u slučaju primene većih količina mineralnih dodataka, kao i dodataka koji imaju povećanu potrebu za vodom. Prema navedenoj činjenici može se zaključiti da betonska mešavina FA1, koja je radi postizanja konzistencije spravljena sa najvećom količinom vode, ima spor prirast čvrstoće. Prema [8], elektrofilterski pepeli, koji sadrže CaO i C₃A, imaju veću potrebu za vodom.



Slika 7 - Zavisnost čvrstoće pri pritisku nakon 28 dana od odnosa količine mineralnog dodatka i količine cementa



Slika 8 - Relativna čvrstoća pri pritisku ($f_{p2}/f_{p,28}$)

4.3.2 Čvrstoća na zatezanje cepanjem

Vrednosti čvrstoće na zatezanje cepanjem prikazane su tabeli 13 zajedno sa rezultatima ispitivanja ostalih svojstava očvrslog betona pri starosti od 28 dana. Čvrstoća na zatezanje pri cepanju ispitana je na

kockama ivice 20cm (slika 9). Grafička interpretacija rezultata ispitivanja data je na slici 10.

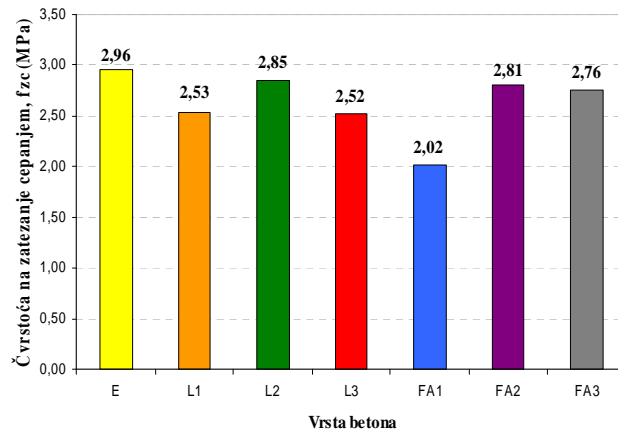
Pošto se upoređenjem rezultata ispitivanja nije mogla uočiti zavisnost između čvrstoće na zatezanje cepanjem i vrste i količine mineralnog dodatka, urađena je statistička ocena pripadnosti istom skupu.

Tabela 13 – Rezultati ispitivanja svojstava očvrslog betona pri starosti od 28 dana

Vrsta betona	E	L1	L2	L3	FA1	FA2	FA3
Upijanje vode, (%)	4.28	5.03	4.8	4.59	7.92	6.39	5.12
Koeficijent kapilarnog upijanja	11.30	16.52	14.68	9.48	29.30	19.68	14.89
Vodonepropustljivost, (mm)	34	20	20	24	>100	20	26
Čvrstoća na zatez. pri cepanju, MPa	2.96	2.53	2.85	2.52	2.02	2.81	2.76
Čvrstoća pri savijanju, MPa	6.08	6.38	5.96	6.45	4.28	6.00	5.55
Statički modul elastičnosti, GPa	35.3	33.9	34.9	34.4	23.8	30.7	33.0
Dinamički modul elastičnosti, GPa	52.5	51.5	52.5	50.4	36.7	43.9	48.1
Athezija između betona i GA, MPa	7.7	8.9	8.8	8.0	8.0	8.0	9.6
Athezija između betona i RA, MPa	11.1	10.2	10.4	10.9	11.5	11.3	11.8



Slika 9 - Ispitivanje čvrstoće betona na zatezanje cepanjem



Slika 10 - Čvrstoće na zatezanje cepanjem ispitivanih vrsta samougrađujućih betona

U cilju ocene pripadnosti istom skupu čvrstoća na zatezanje cepanjem, formirani su parovi odgovarajućih 28-dnevnih čvrstoća od dve vrste betona (E-L1, E-L2, E-L3, E-FA2, E-FA3, L1-L2, L1-L3, L1-FA2, L1-FA3, L2-L3, L2-FA2, L2-FA3, L3-FA2, L3-FA3, FA2-FA3) i testirana je razlika njihovih aritmetičkih sredina. Na osnovu rezultata testiranja utvrđeno je da vrsta i količina mineralnog dodatka nemaju veliki uticaj na vrednost čvrstoće na zatezanje cepanjem.

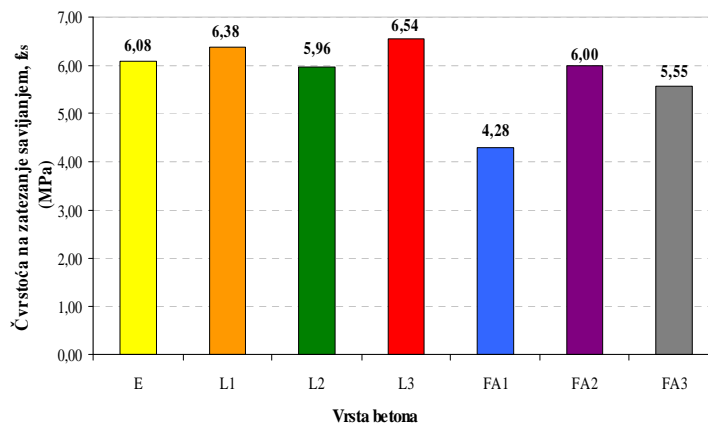
4.3.3 Čvrstoća na zatezanje pri savijanju

Vrednosti čvrstoće na zatezanje pri savijanju, ispitivanih betonskih mešavina, prikazane su u tabeli 13. Ispitivanje je obavljeno na po 3 prizme dimenzija 10x10x40cm (slika 11).

Grafička interpretacija dobijenih rezultata data je na slici 12. Upoređenjem prikazanih vrednosti nije se mogla uočiti veza između predmetne čvrstoće i variranih parametara (vrste i količine mineralnog dodatka), pa je sprovedena ocena pripadnosti istom skupu svih dobijenih rezultata po proceduri prikazanoj u tački 4.3.2. Na osnovu rezultata testiranja utvrđeno je da vrsta i količina mineralnog dodatka nemaju veliki uticaj na vrednost čvrstoće na zatezanje pri savijanju.



Slika 11 - Ispitivanje čvrstoće betona na zatezanje pri savijanju



Slika 12 - Čvrstoća na zatezanje pri savijanju

4.3.4 Upijanje vode

Izmerene vrednosti upijanja vode odabranih vrsta samougrađujućih betona, prikazane su u tabeli 13. Ispitivanje je obavljeno na kockama ivice 15cm metodom postupnog potapanja. Grafička interpretacija dobijenih rezultata data je na slici 13.

Analizom vrednosti upijanja vode, prikazanih na slici 13, zaključeno je:

– Najmanje upijanje vode registrovano je kod betonske mešavine E (4.28%), dok je najveće kod betonske mešavine FA1 (7.92%).

– Procentualno povećanje vrednosti upijanja vode betonskih mešavina sa mlevenim krečnjakom, u odnosu na etalonsku mešavinu, kreće se u granicama od 7.24-17.52%.

– Procentualno povećanje vrednosti upijanja vode betonskih mešavina sa elektrofilterskim pepelom, u odnosu na etalonsku mešavinu, kreće se u granicama od 19.63-85.05%.

– Primenjena vrsta mineralnog dodatka utiče na povećanje vrednosti upijanja vode. Elektrofilterski pepeo ima znatno izraženiji uticaj na povećanje vrednosti upijanja vode u poređenju sa mlevenim krečnjakom.

– U okviru mešavina sa istom vrstom mineralnog dodatka, količina mineralnog dodatka ima uticaja na vrednosti upijanja vode, međutim uticaj količine elektro-

filterskog pepela je izraženiji od uticaja količine mlevenog krečnjaka. Povećanjem količine mineralnog dodatka povećava se vrednost upijanja vode.

4.3.5 Upijanje vode pod povišenim pritiskom

Upijanje vode pod povišenim pritiskom ispitano je na kockama ivice 20cm, prema standardu SRPS U.M1.015 (slika 14).

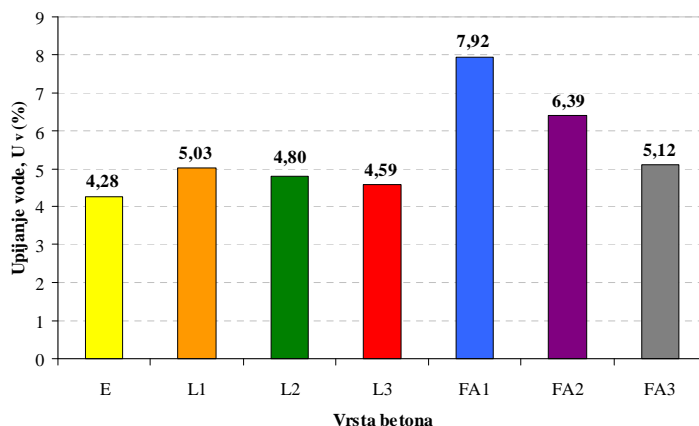
Vrednosti dubine prodora vode, ispitivanih betonskih mešavina, prikazane su na slici 15.

Analizom srednjih vrednosti dubine prodora vode, prikazanih na slici 15, zaključeno je:

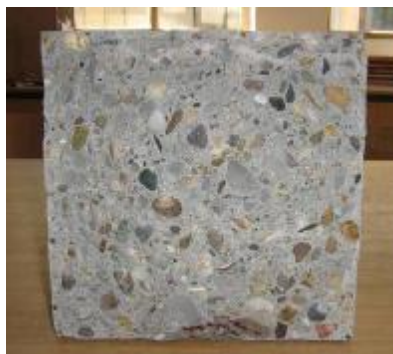
• Najmanja dubina prodora vode registrovana je kod betonske mešavine L2 (19.7mm), dok je najveća kod betonske mešavine FA1 (>100mm).

• Vrednost dubine prodora šest betonskih mešavina je u dozvoljenim granicama, odnosno manja od referentnih 40mm, pa se predmetni betoni tretiraju kao vodonepropustljivi.

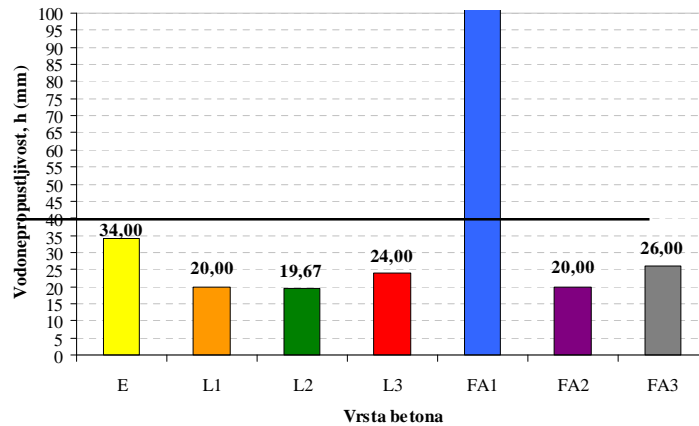
• Betonska mešavina FA1 je, zbog povećane kapilarne poroznosti, imala znatno veću vrednost dubine prodora od referentne, pa je svrstana u grupu vodopropustljivih betona.



Slika 13 - Vrednosti upijanja vode ispitivanih vrsta samougrađujućih betona



Slika 14 - Ispitivanje vodonepropustljivosti betona



Slika 15 – Najveće vrednosti dubine prodora vode

4.3.6 Statički modul elastičnosti

Statički modul elastičnosti određen je prema standardu SRPS U.M1.025 na uzorcima dimenzija 10x10x40cm (slika 16).

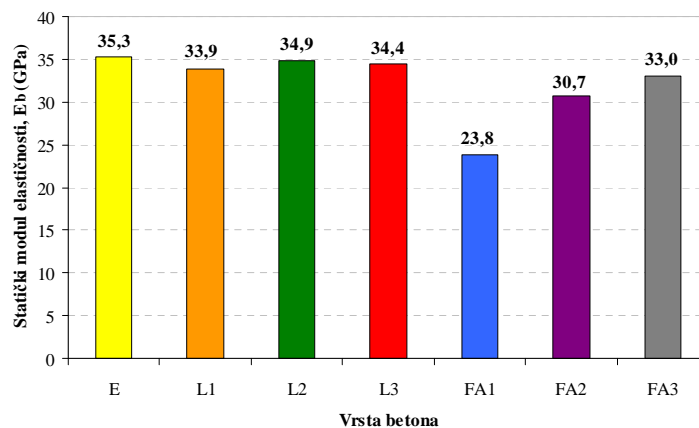


Slika 16 – Merenje dilatacija betona pri pritisku, radi određivanja modula elastičnosti

Vrednosti statičkog modula elastičnosti, ispitivanih vrsta betona, prikazane su u tabeli 13 i na slici 17.

Analizom vrednosti statičkih modula elastičnosti, prikazanih na slici 17, zaključeno je:

- Najmanja vrednost modula elastičnosti registrovana je za beton FA1 (23.8 GPa), a najveća vrednost za referentni beton E (35.3 GPa). Modul elastičnosti betona FA1 je za cca 33% manji od modula elastičnosti betona E.
- Vrednost statičkog modula elastičnosti zavisi od vrste mineralnog dodatka. Elektrofilterski pepeo ima znatno izraženiji uticaj na smanjenje vrednosti statičkog modula elastičnosti u poređenju sa mlevenim krečnjakom. Vrednosti statičkog modula elastičnosti etalonskog betona i betona sa mlevenim krečnjakom (L1, L2 i L3) se razlikuju najviše za 4%, što znači da mleveni krečnjak nema bitniji uticaj na smanjenje vrednosti statičkog modula elastičnosti.
- U okviru grupe betona sa elektrofilterskim pepelom, količina mineralnog dodatka ima uticaja na smanjenje vrednosti statičkog modula elastičnosti. Dominantan uticaj na navedeno svojstvo ima matrica malterske komponente, a kako betoni sa elektrofilterskim pepelom zahtevaju veću količinu vode u poređenju sa etalonskom mešavinom, količina elektrofilterskog pepela ima evidentan uticaj na navedeno svojstvo. Povećanjem količine elektrofilterskog pepela, smanjuje se vrednost statičkog modula elastičnosti.



Slika 17 - Vrednosti statičkog modula elastičnosti ispitivanih vrsta samougrađujućih betona

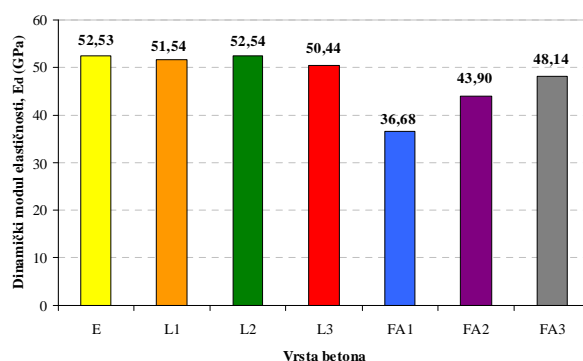
4.3.7 Dinamički modul elastičnosti

Dinamički modul elastičnosti određenjem je merenjem brzine prolaza ultrazvučnih talasa kroz uzorke dimenzija 10x10x40cm (slika 18).

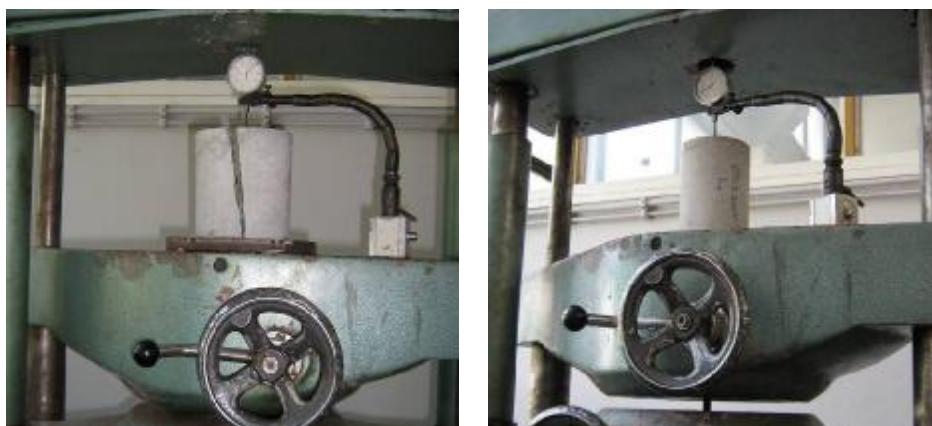


Slika 18 – Merenje brzine prolaza ultrazvučnih talasa radi određivanja E_d

Izmerene vrednosti dinamičkih modula elastičnosti, ispitivanih vrsta betona, prikazane su u tabeli 13 i na slici 19.



Slika 19 - Vrednosti dinamičkog modula elastičnosti ispitivanih vrsta betona



Slika 20 – Merenje athezije između armature i samougrađujućeg betona



Slika 21 – Rebrasta armatura – lom betona (a), glatka armatura - proklizavanje (b)

Analizom vrednosti dinamičkog modula elastičnosti, prikazanih na slici 19, izvedeni su isti zaključci o uticaju vrste i količine mineralnih dodataka, kao i za statički modul elastičnosti.

4.3.8 Atezija između betona i armature

Ispitivanje athezije je obavljeno na cilindričnim uzorcima, dimenzija $H=150\text{mm}$ i $\varnothing=100\text{mm}$. Merenja su vršena na po 3 uzorka sa glatkom armaturom i 3 uzorka sa rebrastom armaturom, od svake vrste betona, pri starosti većoj od 28 dana. Ugibomerom, koji je postavljen na gornjem ispuštenom delu armature, merena je veličina proklizavanja šipke armature (slika 20), a na slici 21a i 21b prikazan je karakter loma u zavisnosti od vrste armature.

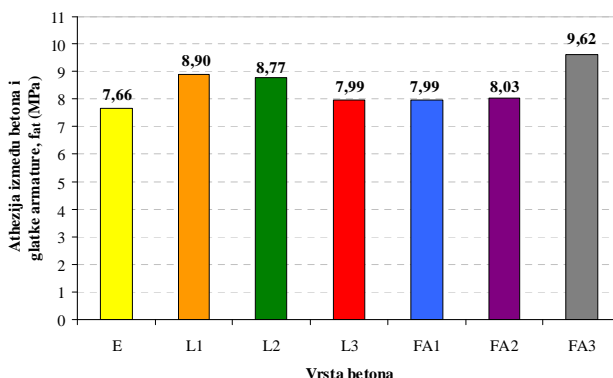
Izmerene vrednosti athezije između betona i glatke armature i betona i rebraste armature, date su u tabeli 13 i na slikama 22 (glatka armatura) i 23 (rebrasta armatura).

Analizom vrednosti athezije između betona i armature, a na osnovu testiranja značajnosti razlika vrednosti athezije na svim betonskim mešavinama, zaključeno je da dobijene vrednosti napona prijanjanja pripadaju istom skupu, odnosno vrsta i količina mineralnog dodatka nemaju bitniji uticaj na vrednost ostvarene athezije između armature i betona. Atehzija između betona i rebraste armature je veća za cca 20% od athezije između betona i glatke armature.

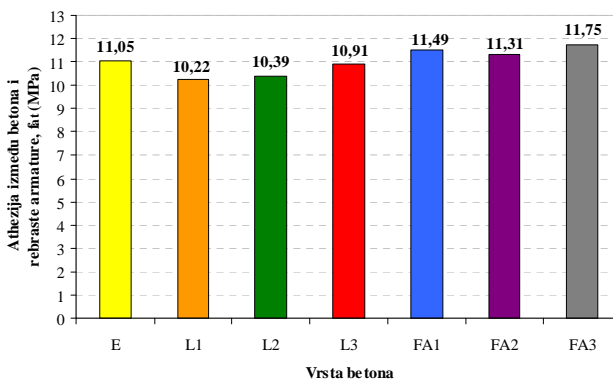
4.3.9 Skupljanje betona

Skupljanje betona usled sušenja mereno je registrovanjem promene dužine prizmatičnih uzoraka, dimenzija 10x10x40cm, kao i 4x4x16cm u koje su bili ugrađeni reperi. Ispitivanje je vršeno na po 3 uzorka, od svake vrste betona, pri starosti od 3, 4, 7, 14, 21 i 28 dana.

Za merenje promene dužine prizmi 10x10x40cm korišćen je deformetar (slika 24a), dok je za prizme 4x4x16cm korišćen komparater (slika 24b).



Slika 22 - Vrednosti athezije između betona i glatke armature



Slika 23 - Vrednosti athezije između betona i rebraste armature



Slika 24 - Merenje skupljanja pomoću deformetra (a) i pomoću komparatera (b)

Izmerene pojedinačne vrednosti skupljanja kreću se oko 0.4mm/m, odnosno dobijene su vrednosti koje su bliske vrednostima skupljanja klasičnih betona [9].

5 ZAKLJUČAK

Na osnovu prikazanih rezultata ispitivanja i komparativne analize svojstava svih sedam betonskih mešavina (E, L1, L2, L3, FA1, FA2, FA3) u svežem i očvrslom stanju, a u cilju utvrđivanja uticaja vrste i količine mineralnog dodatka na svojstva samougrađujućih betona, zaključeno je sledeće:

– Vrsta i količina mineralnog dodatka imaju uticaja na potrebnu količinu vode za postizanje zahtevane klase konzistencije i promenu konzistencije kroz vreme. Krečnjak, kao mineralni dodatak, ne menja potrebnu količinu vode za razliku od elektrofilterskog pepela, koji zahteva veću količinu vode. Količina elektrofilterskog pepela ima direktnog uticaja na potrebnu količinu vode. Sa povećanjem količine letećeg pepela povećava se i potrebna količina vode za ostvarivanje tražene klase konzistencije; procentualno povećanje vode se kreće u granicama od 5-32%.

– Vrsta i količina mineralnog dodatka utiču na konzistenciju – fluidnost betonske mešavine. Prosečno povećanje mere rasprostiranja posle 20 minuta u odnosu na rasprostiranje posle 5minuta, kod etalonske mešavine iznosi cca 7.4%, kod mešavina sa krečnjakom cca 6.3%, a kod mešavina sa elektrofilteriskim pepelom 2.73%. Sa povećanjem odnosa količine mineralnog dodatka i cementa, smanjuje se povećanje prečnika rasprostiranja nakon 20 minuta. Mineralni dodatak smanjuje meru rasprostiranja i posle 60minuta u odnosu na etalonski uzorak, pri tome elektrofilterski pepeo ima veći uticaj na predmetno smanjenje.

– Sve betonske mešavine imaju istu klasu viskoznosti VS2, bez obzira na vrstu i količinu primenjenog mineralnog dodatka, ipak kada se uporede pojedinačne vrednosti, uočava se da leteći pepeo povećava viskoznost samougrađujućih betona.

– Vrsta mineralnog dodatka utiče na sposobnost prolaska betonskih mešavina; etalonska mešavina i mešavine sa krečnjakom ispunjavaju uslov za klasu PA2, dok mešavine sa elektrofilterskim pepelom, zbog neispunjavanja uslova kvaliteta, imaju smanjenu sposobnost prolaska kroz armaturni sklop.

– Vrsta mineralnog dodatka utiče na otpornost ka segregaciji; betonske mešavine sa mlevenim krečnjakom su sklonije segregaciji od etalonske i od mešavine sa elektrofilterskim pepelom.

– Mleveni krečnjak, kao mineralni dodatak, nema uticaja na vrednost zapreminske mase u svežem stanju iz razloga što se sve četiri vrste betona spravljaju sa približno istom količinom vode. Zapreminske mase u svežem stanju betonskih mešavina sa elektrofilterskim pepelom se značajno razlikuju i međusobno i u odnosu na etalonsku mešavinu, a razlog za ovako značajnu razliku je pre svega potrebna količina vode za postizanje zahtevane klase konzistencije.

– Čvrstoća pri pritisku zavisi od vrste i količine mineralnog dodatka. Mineralni dodatak u samougrađujućim betonima ima uticaja na sve tri karakteristične čvrstoće betona pri pritisku (2, 7 i 28 dana). Mleveni krečnjak, kao mineralni dodatak, utiče na smanjenje čvrstoća pri

pritisku; prosečno smanjenje se kreće u granicama od 5-26%, što zavisi od odnosa količine krečnjaka i cementa. Betonske mešavine sa elektrofilterskim pepelom, zbog povećane potrebe za vodom radi ostvarivanja svojstva samougradljivosti, imaju najmanje sve tri karakteristične čvrstoće; prosečno smanjenje se kreće u granicama od 14-43%, što zavisi od odnosa količine elektrofilterskog pepela i količine cementa. Sa povećanjem odnosa količine mineralnog dodatka i količine cementa smanjuju se sve tri karakteristične čvrstoće pri pritisku. Svi ispitivani betoni, osim FA1, su betoni sa brzim prirastom čvrstoće prema EN 206.

– Na vrednosti čvrstoća betona na zatezanje cepanjem, kao i čvrstoća na zatezanje savijanjem, vrsta mineralnog dodatka nema značajniji uticaj. Čvrstoće na zatezanje cepanjem kreću se u granicama od 2.0-3.0 MPa, a čvrstoće na savijanje od 4.5 – 6 MPa, pri čemu su uvek najmanje vrednosti dobijene kod betona FA1.

– Vrsta i količina mineralnog dodatka utiču na povećanje vrednosti upijanja vode. Elektrofilterski pepeo, kao vrsta mineralnog dodatka, ima znatno izraženiji uticaj na povećanje vrednosti upijanja vode u poređenju sa mlevenim krečnjakom. Mleveni krečnjak, kao mineralni dodatak, utiče na povećanje vrednosti upijanja vode u granicama od 7-18%, što zavisi od odnosa količine krečnjaka i cementa. Elektrofilterski pepeo ima mnogo izraženiji uticaj na povećanje vrednosti upijanja vode u poređenju sa mlevenim krečnjakom i ono se kreće u granicama od 20-85%.

– Sve betonske mešavine, osim FA1, se smatraju vodonepropustljivim. Na vodonepropustljivost utiče kapilarna poroznost cementnog kamena. Kako je betonska mešavina FA1 napravljena sa najvećom količinom vode, kod nje se formirala najveća kapilarna poroznost, koja je i prouzrokovala prodor vode znatno veći od dozvoljenog.

– Vrednosti statičkog i dinamičkog modula elastičnosti zavise od vrste mineralnog dodatka. Elektrofilterski pepeo ima znatno izraženiji uticaj na smanjenje vrednosti statičkog i dinamičkog modula elastičnosti u poređenju sa mlevenim krečnjakom. Dominantan uticaj na navedena svojstva ima matrica malterske komponente, a kako mešavine sa mlevenim krečnjakom ne menjaju potrebnu količinu vode u poređenju sa etalonskom mešavinom, količina krečnjaka nema bitnijeg uticaja na vrednosti statičkog i dinamičkog modula elastičnosti. Takođe, betonske mešavine sa elektrofilterskim pepelom sadrže različitu količinu vode, pa zbog toga količina elektrofilterskog pepela ima uticaja na navedena svojstva. Povećanjem količine elektrofilterskog pepela, smanjuju se vrednosti oba modula elastičnosti.

– Mineralni dodatak nema značajnijeg uticaja na vrednost atezije između betona i glatke, odnosno rebraste armature. Atezijska između betona i rebraste armature je veća za cca 20% od atezije između betona i glatke armature. Pri ispitivanju atezije između betona i rebraste armature u većini slučajeva je došlo do loma po betonu, dok je pri ispitivanju atezije između betona i glatke armature došlo do proklizavanja armature.

ZAHVALNOST

U radu je prikazan deo istraživanja koje je pomoglo Ministarstvo za nauku Republike Srbije u okviru tehnološkog projekta TR-16004 pod nazivom: "Istraživanje

savremenih betonskih kompozita na bazi domaćih sirovina, sa posebnim osvrtom na mogućnosti primene betona sa recikliranim agregatom u betonskim konstrukcijama".

6 LITERATURA

- [1] A Database for the Evaluation of Hardened Properties of SCC /Klaus Holschemacher, Yvette Klug, 2002
- [2] A rational mix-design method for mortar in self-compacting concrete/ Ouchi M, Hibino M, Ozawa K. and Okamura H./Proceedings of Sixth South-East Asia Pacific Conference of Structural Engineering and Construction. Taipei, Taiwan, 1998, pp1307-1312.
- [3] Measurement of Properties of Fresh Self-Compacting Concrete, Final report, ACM Centre, University of Paisley, UK Sept 2005, pp. 62.

- [4] Properties of Hardened Self-Compacting Concrete, Final report, ACM Centre, University of Paisley, UK May 2000, pp. 73.
- [5] Samozbijajući beton injegova primena u proizvodnji prefabrikovanih elemenata) / B. Vučković, // FTN, seminarski rad na magistarskim studijama, 2008, pp22,
- [6] A simple mix design method for self-compacting concrete/ Nan Su, Kung-Chung Hsu, His-Wen Chai/ Cement and Concrete research 31, 2001 pp 1799-1807
- [7] Samozbijajući beton, svojstva i tehnologija / Sekula Živković/Građevinski kalendar 2007, 234-304
- [8] Cement, cementni kompozit i dodaci za beton/ A.Đureković/IGH Školska knjiga, Zagreb, 1996.
- [9] The European Guidelines for Self Compacting Concrete / specification, production and use / EPG, 2005., pp. 68

REZIME

SVOJSTVA SAMOUGRAĐUJUĆIH BETONA U ZAVISNOSTI OD VRSTE I KOLIČINE MINERALNOG DODATKA

Mirjana MALEŠEV
Vlastimir RADONJANIN

U radu su dati kratki prikazi osnovnih vrsta i svojstava komponentnih materijala, principa i osnovnih načela bitnih za projektovanje sastava, kao i kriterijuma i načina klasifikovanja svojstava svežeg samougrađujućeg betona. U nastavku rada prikazani su rezultati sopstvenog eksperimentalnog istraživanja uticaja vrste i količine mineralnog dodatka na svojstava svežeg i očvrsllog samougrađujućeg betona. Kao mineralni dodaci korišćeni su mleveni krečnjak i leteći pepeo, a njihova učešća su iznosila 0.1mc, 0.2mc i 0.4mc. Nakon postizanja svojstava samougradljivosti, na očvrslom betonu ispitivano je upijanje vode, čvrstoća pri pritisku za različite stosti, statički i dinamički moduli elastičnosti, čvrstoća na cepanje i na savijanje, skupljanje usled sušenja i athezija između betona i armature. Zaključci su izvedeni na osnovu analize sedam različitih betonskih mešavina kod kojih su postignuta svojstva samougrađujućih betona (fluidnost, viskoznost, sposobnost prolaska i otpornost na segregaciju). Zaključeno je da vrsta i količina mineralnog dodatka imaju uticaja i na svojstva svežeg i na ispitivana svojstva očvrsllog samougrađujućeg betona.

Ključne reči: samougrađujući beton, leteći pepeo, krečnjak, svež beton, očvrslili beton, svojstva

SUMMARY

PROPERTIES OF SELF-COMPACTING CONCRETE DUE TO KIND AND AMOUNT OF MINERAL ADDITIONS

Mirjana MALEŠEV
Vlastimir RADONJANIN

Short review of basic kinds and properties of component materials, principles and fundamental recommendations that are important for mix design, as well as criteria and way of classification of properties of fresh self-compacting concrete, are presented in the paper. The biggest part of the paper is devoted to the results of own experimental research of fresh and hardened self-compacting concrete properties, regarding to the influence of kind and amount of mineral addition. Fine limestone and fly ash were used as mineral additions and their participation were 0.1mc, 0.2mc and 0.4mc. After properties of self-compacting were achieved, following properties of hardened concrete are tested: water absorption, compressive strength for different ages, static and dynamic modulus of elasticity, splitting and flexural strength, drying shrinkage and bond between concrete and reinforcement. Conclusions were derivate on the base of the analyses of testing results of seven different concrete mixtures which fulfil the properties of self-compacting concrete (filling ability, viscosity, passing ability and segregation resistance). It was concluded that kind and amount of mineral addition have influence on properties of fresh and hardened self-compacting concrete.

Key words: SCC, fly ash, limestone, fresh concrete, hardened concrete, properties

ZAKLJUČCI

sa XXIV Kongresa i Simpozijuma Društva za ispitivanje i istraživanje materijala i konstrukcija (DIMK) Srbije

XXIV Kongres DIMK Srbije je održan od 15-17 oktobra na Divčibarama u hotelu "Vujić".

U okviru Kongresa održan je Simpozijum o istraživanjima i primeni savremenih dostignuća u našem građevinarstvu u oblasti materijala i konstrukcija, na kome je prisustvovalo više od 80 učesnika. Na Simpozijumu su rezultate svojih istraživanja saopštili predstavnici fakulteta, instituta, građevinskih preduzeća, projektantskih organizacija i proizvođača građevinskih materijala. U radu Simpozijuma aktivno su učestvovali i zaslužni i počasni članovi DIMK Srbije.

Na Kongresu i Simpozijumu su, pored učesnika iz Srbije, svoje radove prezentovali i inženjeri i naučni radnici iz Crne Gore, Republike Srpske, Federacije BiH i iz Ruske federacije.

Radovi učesnika Simpozijuma su štampani u Zborniku, koji je obuhvatio 60 radova iz sledećih tematskih oblasti:

- "Ispitivanja i istraživanja na području materijala i njihove primene" - 20 radova,
- "Teorijska analiza konstrukcija" - 6 radova,
- "Statička i dinamička ispitivanja konstrukcija" - 5 radova,
- "Betonske konstrukcije" - 6 radova,
- "Metalne konstrukcije" - 2 rada,
- "Drvene konstrukcije" - 3 rada,
- "Zidane konstrukcije" - 4 rada,
- "Materijali, konstrukcije i životna sredina" - 2 rada,
- "Održavanje i sanacija konstrukcija" - 6 radova i
- "Građevinsko-tehnička regulativa i sistem kvaliteta" - 7 radova.

U publikovanim radovima su prikazani rezultati originalnih eksperimentalnih i teorijskih istraživanja, kao i različita stručna ostvarenja:

U okviru oblasti "Ispitivanja i istraživanja na području materijala i njihove primene" predložena su nova rešenja u proizvodnji i primeni savremenih materijala. Obrađivane su sledeće teme; Mogućnosti primene elektrofilter-skog pepela u putogradnji; Savremeni dodaci u cementnim kompozitima za izradu industrijskih podova; Analiza uticaja vrste i količine mineralnog dodatka na svojstva svežeg i očvrstlog samougrađujućeg betona; Spravljanje i primena betona ultra visokih čvrstoća; Mikroarmirani sitnozrni cementni kompoziti; Ispitivanje svojstava kar-

bonskih traka; Mogućnosti primene recikliranog struganog asfalta; Savremene tehnologije u proizvodnji crepa i trendovi razvoja u opekarskoj industriji; Analiza uticaja različitih vrsta drobljenih agregata na svojstva očvrstlog betona; Mikrostrukturna analiza betona sa recikliranim agregatom i primena analize slike za karakterizaciju vatrostalnih betona.

U oblasti "Teorijska analiza konstrukcija" saopšteni su sledeći rezultati istraživanja: Primena elastoplastičnih modela za tlo u proračunu geotehničkih konstrukcija; Teorija slojevitih sistema u konstrukcijama; Analiza stabilnosti plastično deformisanih višespratnih okvira i Aseizmička analiza konstrukcija;

Oblast "Statička i dinamička ispitivanja konstrukcija" obuhvatila je sledeće radove: Ispitivanje greda od recikliranog betona pri smicanju; Nove metode za ispitivanje konstrukcija primenom metode zaostalih napona; Primeri probnog opterećenja gradskog stadiona i AB konstrukcije nakon sanacije FRP laminatima.

U oblasti "Betonske, metalne, drvene i zidane konstrukcije" prezentovane su sledeće teme: Ponašanje betonskih konstrukcija pod dugotrajnim opterećenjem; Modeliranje spoja AB montažne ploče i monolitnog zida; Nelinearna seizmička analiza AB okvirnih konstrukcija i približni proračun vitkih dvoosno savijanih AB stubova; Izolacije i zaštita metalnih konstrukcija na bazi poliuretana postupkom toplog cinkovanja; Mogućnosti primene lepljenih lameliranih drvenih konstrukcija; Eksperimentalna istraživanja drvene četinarske građe; Analiza otpornosti pregradnih zidova na bočne udare; Korozija opekarskih proizvoda u zidanim konstrukcijama i analiza svojstava srednjevekovnih opeka i maltera.

Oblast "Materijali, konstrukcije i životna sredina" obuhvatila je dva rada: Nove tendencije u arhitekturi XXI veka i Uloga pasivnih zgrada u uštedi energije.

U okviru oblasti "Održavanje i sanacija konstrukcija" prikazani su sledeći rezultati istraživanja: Održavanje i rehabilitacija betonskih mostova; Modeli mehanizama oštećenja i modeli održavanja betonskih elemenata ojačanih FRM materijalima; Analiza trajnosti betona sa novim rešenjima za sprečavanje i sanaciju određenih tipova korozije betona, kao i nekoliko primera iz prakse.

Oblast "Građevinsko-tehnička regulativa i sistem kvaliteta" obuhvatila je sledeće radove: Uloga standar-

dizacije u zidanim konstrukcijama; Usporedne analize novih evropskih metoda ispitivanja sa domaćim standardima iz oblasti kamenog agregata, crepova od betona, samougrađujućih betona i zaštite od požara.

Analizom prikazanih radova na Simpozijumu, zaključeno je da je u radovima iz svih tematskih oblasti obuhvaćenih programom Simpozijuma, obrađena tematika koja prati aktuelne trendove, a naročito u oblasti razvoja i ispitivanja građevinskih materijala. S obzirom na kvalitet i aktuelnost publikovanih radova, Zbornik radova predstavlja dragocen materijal, koji će biti od velike pomoći, kako inženjerima u praksi, tako i istraživačima i naučnim radnicima u daljem radu.

Sumirajući aktivnosti DIMK Srbije između dva Kongresa, učesnici Simpozijuma ocenili su da su svi prethodno organizovani skupovi bili izuzetno uspešni, a da su štampane publikacije doprinele afirmaciji novih dostignuća u oblasti ispitivanja i istraživanja materijala i konstrukcija. Uz čestitke rukovodstvu DIMK Srbije za uspe-

šan rad u proteklom periodu, učesnici Kongresa i Simpozijuma su izrazili želju da se održavanje sličnih manifestacija u organizaciji Društva za ispitivanje i istraživanje materijala i konstrukcije Srbije, nastavi i u narednom periodu.

Nakon Kongresa održana je redovna Skupština DIMK Srbije, na kojoj su izabrani novi predsednik, potpredsednik i generalni sekretar Društva, glavni i odgovorni urednik i zamenik glavnog i odgovornog urednika časopisa "Materijali i konstrukcije", kao i članovi Upravnog i Redakcionog odbora.

Predsednik DIMK Srbije
Prof. dr Vlastimir Radonjanin, dipl.inž.građ.

PRIKAZ KONGRESA I SIMPOZIJUMA DIMK SRBIJE

U novom hotelu "Vujić-Divčibare" gostovalo je, od 15. do 17. oktobra **Društvo za ispitivanje i istraživanje materijala i konstrukcija Srbije - DIMK** - radi održavanja **XXIV Kongresa Društva i Simpozijuma** o radovima članova društva, u prelepom ambijentu Divčibara.

Kongres je otvorio pozdravnim govorom dosadašnji predsednik Društva - prof. dr Mihailo Muravljov. Izneo je izveštaj o radu Društva. Naglasio je da je u međuvremenu Društvo promenilo ime, od JUDIMK, preko DIMK-SCG. Sada je registrovano kao **Društvo za ispitivanje i istraživanje materijala i konstrukcija - DIMK - Srbije**. Izveštaj je obuhvatio rad Društva za period od XXIII Kongresa (Novi Sad, oktobar 2005.) do sada, čime je prikazano celokupno delovanje Društva, odnosno njegovih organa. U tom periodu održana su i dva naučno-stručna skupa. Naglašena je saradnja sa IGP Srbije (ranije SIG) preko njihovog predstavništva i direktora ing. V. Denića. To udruženje ciglara Srbije pruža značajnu pomoć DIMK, posebno u kontinualnom izdavanju stručnog časopisa *Materijali i konstrukcije* (4 broja godišnje). Časopis je do sada, pod uredništvom prof. dr em R. Folića uredno izdavan, i pored vrlo skromnog finansijskog stanja, s tim da su svi troškovi Društva bili uravnoteženi, uredno pokriveni doticajima, sponzorstvo i kotizacijama.

Na Kongresu je izabrano aklamacijom novo rukovodstvo, za predsednika prof. dr **Vlastimir Radonjanin**, sa FTN Novi Sad, s tim da prof. dr M. Muravljov ostaje počasni predsednik Društva. Takođe je izabrano i novo uredništvo časopisa, u kome je glavni urednik i dalje prof. dr em **Radomir Folić**. Navedeni su i budući zadaci nove uprave, prošireni u odnosu na prethodni period.

Po završetku Kongresa održan je **Simpozijum** o istraživanju i primeni dostignuća u našem građevinarstvu u oblasti materijala i konstrukcija, koji je okupio autore 60 referata prikazanih tokom dva dana. Radovi su objavljeni u Zborniku. Taj obiman materijal je podeljen na deset tematskih jedinica.

Sledi prikaz svih referata na informativan način - tj. sažeto radi prepoznavanja obrađenih tema, tih stručno-naučnih radova.

1 ISTRAŽIVANJA NA PODRUČJU MATERIJALA I NJIHOVE PRIMENE

Dr S. Cmiljanić, mr V. Vujanić, S. Jotić, B. Rosić, S. Tošović, dr P. Mitrović (Institut za puteve a.d., Beograd)

Prethodni rezultati IRP: „Primena elektrofilterskog pepela u putogradnji“

Na deponijama površine oko 1.600 ha odloženo je oko 300 miliona tona. Deponije pepela stvaraju probleme jer se tretiraju kao opasan otpad, pokrenuto je više inicijativa da se primene elektrofilterskog pepela i šljake u izgradnji puteva, a da se spreče negativni uticaji na životnu sredinu. Istraživačko-razvojni projekat urađen u toku 2007. g, prema zahtevima EN, dao je moguća rešenja korišćenja pepela i šljake kao putno-građevinskog materijala.

Istraživanja pepela i šljake, na uzorcima uzetim iz proizvodnje termoelektrana obavljena 2007. godine, pokazala su sledeća svojstva: imaju promenljiva mineraloška, hemijska, fizička i mehanička svojstva, sadržaj radionuklida i teških metala ne ugrožavaju prirodnu sredinu mogu se primeniti u putnom građevinarstvu, karakteristike pepela sa dodatkom cementa ili kreča

pokazuju da se mogu kao materijal koristiti za izgradnju objekata u putogradnji, sprovedena analiza strukture troškova građenja nasipa pokazuje da je izrada nasipa od pepela, po m³, zavisno od vrste nasipa jeftinija od 30-80%, rezultati postignuti projektom ukazuju na mogućnost upotrebe pepela i šljake u izgradnji nosećih slojeva kolovoznih konstrukcija.

M. Dimitrijević, R. Jančić-Heinemman, D. Jevtić, T. Volkov-Husović (Tehnološko-metalurški fakultet i Građevinski fakultet, Beograd)

Primena analize slike za karakterizaciju kompozitnih vatrostalnih betona

Vatrostalni betoni se koriste u uslovima visoke temperature, dejstva agresivnih sredina (tečni metal ili legura, gasovi, šljaka), i vrlo često nagle promene temperature. Metoda ispitivanja otpornosti vatrostalnog materijala naglim hlađenjem u vodi spada u standardne metode ispitivanja. Predstavljena je metoda analize slike, na primeru analize uzoraka vatrostalnog betona pri ispitivanju termošoka.

Prikazane su mogućnosti primene programa za analizu slike u materijala, na primeru karakterizacije kompozitnih vatrostalnih betona za primenu u uslovima naglih promena temperature. Korišćena je radi određi-

vanja početnog stepena oštećenja uzorka i njegove promene u toku ispitivanja. Rezultati mogu poslužiti za predviđanje veka trajanja materijala.

D. Jevtić, D. Zakić, A. Savić
(Građevinski fakultet, Beograd)

Uticaj PAN vlakana na fizičko-mehanička svojstva kompozita tipa maltera

Rezultati laboratorijskih ispitivanja kompozita maltera spravljenog sa dodatkom monofilamentnih poliakrilonitrilnih (PAN) vlakana u svojstvu mikroarmature: četiri vrste maltera sa različitim sadržajem materijala – cementa, vode, peska, silikatne prašine i PAN vlakana. Na svežem malteru ispitivane je zapreminska masa, na očvrslom malteru ispitivane su zapreminska masa, upijanje vode, skupljanje, čvrstoća pri pritisku, čvrstoća pri zatezanju savijanjem, athezija za betonsku podlogu, i mikroskopsko proučavanje.

Može se zaključiti da dodatak PAN vlakana kao mikroarmature može biti uspešno korišćen kod kompozita tipa maltera. Procenat vlakana treba brižljivo odabrati na osnovu eksperimentalnih istraživanja.

Dodatak mikroarmature PAN vlaknima može povećati čvrstoću pri pritisku do 18%, čvrstoću pri zatezanju savijanjem do 29%. Athezija za betonsku podlogu može se povećati približno 12% uz primenu mikroarmature. Primena PAN vlakana u malterima proizvodi efekte kao i primena polipropilenskih vlakana. Primenu PAN vlakana treba u narednom periodu najviše očekivati kod cementnih košuljica, podloga i podova, kao i kod izrade reparaturnih maltera.

R. Rekecki, J. Balint i P. Kermec
(iz firme "Postisje-Kanjiža-Tondach")

Perspektive i trendovi razvoja u opekarskoj industriji

U opekarskoj industriji se vrši uvođenje novih postupaka za preradu sirovina, oblikovanje, promene u postupcima termičkog tretmana, stalno poboljšanje energetske efikasnosti proizvodnje i uvode se savremene metode za površinsko oplemenjivanje proizvoda krovne keramike. Teži se ka razvijanju „user friendly“ proizvoda. "Potisje-Kanjiža" a.d. Kanjiža je u sklopu međunarodne kompanije Tondach među vodećima u opekarskoj industriji. U ovom radu pokušalo da se daje uvid u perspektive i trendove razvoja preko primera naše kompanije.

Razvoji u opekarskoj industriji su ograničeni sa jedne strane stalnim rastom cena energenata i repromaterijala, a sa druge strane zahtevi tržišta za kvalitetnijom robom stalno rastu. Ulaganja u proizvodnju mogu jedino obezbediti opstanak proizvođača na dugoročnom planu. U poslednjih nekoliko godina došlo je do većih ulaganja kod značajnijih kompanija i time je ponuda kvalitetne robe na tržištu povećana. Detaljno proanalizirani najvažniji pomoci u pojedinim tehnološkim fazama proizvodnje radi uvida u pozitivne promene u eksploatacionim osobinama opekarskih proizvoda. Ovaj trend u razvoju će se nastaviti, sa pojavom još boljih, kvalitetnijih proizvoda posebno u slučaju engobiranih i glaziranih crepova.

K. Janković, D. Bojović, D. Nikolić, Lj. Lončar
(Institut IMS - Beograd)

Spravljanje i primena Betona ultra-visokih čvrstoća

Značajno mesto u primeni novih materijala zauzima upotreba betona ultra-visokih čvrstoća. Svojstva, struktura i tehnologija izrade ove vrste betona se intenzivno proučava prikazana mogućnost dobijanja betona ultra-visokih čvrstoća na osnovu eksperimentalnih istraživanja primenom materijala dostupnih na tlu Srbije.

Betoni kod kojih su čvrstoće pri pritisku veće od 115 N/mm², odgovaraju betonima ultra-visokih čvrstoća. Prema nekim autorima ta granica je 150 N/mm². Na osnovu dobijenih rezultata ispitivanja pokazano je da je moguće dobiti betone ultra-visokih čvrstoća sa komponentnim materijalima dostupnim u našoj zemlji. U Srbiji nisu dostupni cementi sa niskim sadržajem aluminata koji se u svetu koriste za beton čije su čvrstoće pri pritisku veće od 200 N/mm².

B. Rosić, A. Rosić (Institut za puteve, Beograd i Rudarsko-geološki fakultet, Beograd)

Vreme i mehaničke čvrstoće letećeg pepela sa malim dodacima kreča ili cementa

Prikazani su rezultati ispitivanja mehaničkih čvrstoća uzoraka elektrofilterskog pepela u uslovima vlage sa malim učešćem veziva kreča ili cementa (do 6 %). Rezultati ukazuju na razlike u dobijenim vrednostima u zavisnosti od vrste veziva i trajanja izlaganja, dobijeni parametri upućuju na mogućnost značajne primene ovakvih materijala u putogradnji.

Ispitivanja i dobijeni rezultati ukazuju na razlike između uzoraka pepela sa krečnim i cementnim vezivom u pogledu intenziteta i vremena potrebnog za postizanje konačnih čvrstoća. Cementno vezivo utiče na postizanje konačnih čvrstoća elektrofilterskog pepela. Krečno vezivo ponaša se drugačije. Na početku daje manju čvrstoću od cementnog veziva, da bi se vrednosti brzo znatno povećale i u dužem periodu postale veće. Konačnu čvrstoću uzorci pepela sa dodatkom kreča dobijaju nakon 40 do 64 nedelje zavisno od količine dodatog kreča.

V. Dimitrijević, A. Nedog (firma MAPEI)

Primena savremenih dodataka u cementnim kompozitima za izradu industrijskih podova

Opisana je izrada tankoslojnog industrijskog poda za nadogradnju u malim debljinama gde nema potrebe za radom na dilatacionom presecanju podloge što smanjuje troškove i povećava eksploatacionu moć poda.

Primenom MAPECRETE SYSTEM-a omogućava se izrada reprofilirajućih slojeva malih debljina bez potrebe za izradom dilatacionih spojnica postizemo sledeće glavne prednosti: obezbeđenje kontrole skupljanja bez obzira na način nege sa eliminacijom prsline usled hidrauličkog skupljanja, lakša ugradnja, homogeno izvođenje u poljima od 1000 m².

Ispitivanje svojstava karbonskih traka koje služe za ojačanje betonskih konstrukcija

Dati su rezultati laboratorijskih ispitivanja svojstava dva tipa karbonskih traka laminata pod nazivom Sika CarboDur Plates i pletenih tkanina pod nazivom Sika Wrap, i odgovarajućih epoksidnih lepkova tipa Sikadur za lepljenje i/ili impregnaciju traka. Ispitivana je i atezija karbonskih traka za beton. Rezultati ispitivanja pokazuju da se radi o sistemu koji se može primeniti kao kvalitetno rešenje za ojačanje/sanaciju betonskih konstrukcija.

Osnovne fizičko-mehaničke karakteristike karbonskih traka S1012, S1014, S1214 - modul elastičnosti i zatezna čvrstoća - po numeričkim vrednostima u potpunosti odgovaraju karakteristikama materijala deklarisanim od strane proizvođača. Tkanine tipa Sika Wrap-230C, usled velikih deformacija istezanja, vitoperenja uzorka nije bilo moguće odrediti modul E_t , a čvrstoća pri zatezanju bila je nešto niža od deklarisanе. Može se smatrati da i ostali tipovi karbonskih traka-laminata firme Sika zadovoljavaju u pogledu karakteristika deklarisanih od strane proizvođača.

Pri lepljenju traka CarboDur S1012, S1014, S1214 i Sika Wrap-230C za beton marke MB 30 na način propisan od strane proizvođača dobijaju se čvrstoće pri smicanju spojeva *traka-beton* dovoljno veće od propisanih minimalnih čvrstoća betona na "čupanja", naime, te čvrstoće treba da budu sledeće: pri lepljenju traka-tkanina minimum 1,0 MPa, pri lepljenju traka-laminata minimum 1,5 MPa.

A. Terzić, Lj. Pavlović, Z. Radojević, D. Jevtić (Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Institut za ispitivanje materijala, Građevinski fakultet)

Ispitivanje mikrostrukture i svojstava vatrostalnog betona

Dati su rezultati ispitivanja korundnog vatrostalnog betona i njegovih varijacija sa dodatkom silikatne prašine i hemijskog vezivnog sredstva - Litopix P-56. Praćen je uticaj aditiva na svojstva finalnog kompozita. Uzorci su sušeni na 110°C, potom termički tretirani na 350 do 1500°C. Temperaturama su ispitivana mehanička i termo-mehanička svojstva uzoraka vatrostalnih betona. Poroznost je ispitivana pomoću kompjuterskog programa za analizu slike.

Mehanička i termo-mehanička svojstva betona K3 su bolja nego svojstva K2 i K1. Kod K3 betona, dolazi do nastanka mulita na 1400°C usled reakcije između alumine i silikatne prašine. Tipični su igličasti kristali koji teže da oforme jaku "mrežu" unutar strukture betona. Dodatak veziva Litopixa utiče na poboljšanje obradljivosti betona i potpomaže proces samo-ugrađivanja, ima negativan efekat na konačna mehanička svojstva. Dodatak silikatne prašine poboljšava svojstva vatrostalnog betona.

Iskustva u primeni reciklaže struganog asfalta po hladnom postupku u Srbiji

Stari asfaltni put moguće je, postupkom reciklaže struganog asfalta po hladnom ili toplom postupku, skoro 100% ponovo upotrebiti za izradu mešavina za habajuće i noseće slojeve kolovozne konstrukcije za puteve sa lakim i srednjim saobraćajnim opterećenjem. Strugani asfaltni materijal sa ekološkog i ekonomskog stanovišta predstavlja vredan materijal. Prikazana su iskustva u Srbiji sa primenom reciklaže struganog asfalta po hladnom postupku.

Proces reciklaže po hladnom postupku ima svojih prednosti u odnosu na proizvodnju asfaltnih masa po toplom postupku i to kroz smanjenje emisije štetnih isparenja u atmosferu i time očuvanju životne sredine i značajne uštede energije.

Z. Bačkalić, M. Vrebalov ("Polet", Novi Bečej)

Savremene tehnologije u proizvodnji crepa sa aspekta kvaliteta proizvoda

Savremene tehnike proizvodnje crepa pečenjem u "U – kasetama" i "H – kasetama" omogućavaju proizvodnju crepa visokog kvaliteta, tačnosti dimenzija i besprekornom izgledu vidne površine. Novim tehnologijama proizvodnje crepa granica upijanja vode se spušta sa 14,00 % do 5,00 % u velikoj meri poboljšane su osobine vodonepropustljivosti crepa i otpornosti na mraz. Omogućena je i proizvodnja niza varijacija osnovnih tipova crepa kao i proizvodnja crepa velikih dimenzija.

Savremenu proizvodnju crepa karakteriše proizvodnja crepa velikog formata, tačnih dimenzija, velikog spektra boja i malog upijanja vode. Proizvodnja crepa velikog formata je racionalna, dalji razvoj proizvodnje crepa biće usmeren ka crepu manje mase i velike pokrivne površine, otvoriće mogućnosti korišćenja glinenog crepa za pokrivanje i industrijskih objekata.

Z. Radojević (Institut za ispitivanje materijala, Beograd)

Proučavanje međudejstva anjonskih i katjonskih glina

Obuhvaćeno je proučavanje mehanizma promena reoloških osobina minerala montmorilonita pri oplemenjavanju sa natrijum-karbonatom i magnezijum-hidroksi-karbonatom. Promena reoloških osobina je izučavan na montmorilonitu "Jelenkovac", dobijen iz bentonita izdvajanjem čestica manjih od 2 μ m. Metodama strukturne analize utvrđeno je nastajanja nove faze anjonske gline. To dovodi do nastajanja novih struktura u obliku "umreženih trakastih struktura".

Ponašanje disperznih sistema: montmorilonit, voda, zahteva multidisciplinarni pristup u izučavanju. Hemijski procesi pri aktivaciji bentonita glina izazivaju strukturne promene glinenih minerala te omogućuju dobijanje savremenih materijala na bazi glinenih čestica. Rezultati istraživanja mogu se primeniti na sve heterogene sisteme sirovinske mešavine za proizvodnju opearskih proizvoda.

Mogućnost korišćenja i primene otpada od organske industrijske sinteze kao pojačivača u procesu mlevenja cementnog klinkera

Cilj rada je povećanje uticaja otpadnog materijala iz proizvodnji resorcinola radi intenzifikacije procesa mlevenja cementa, i na njegova konačna svojstva, uticaj otpadnog materijala na proces mlevenja glavnih minerala portland cementa - alita i belita. Zaključak rada je dat na engleskom jeziku.

G. Topličić-Ćurčić, Z. Grdić, I. Despotović
(Građevinsko-arhitektonski fakultet, Niš)

Uticaj različitih vrsta drobljenih mineralnih agregata na upijanje vode pod pritiskom kod očvrsllog betona

Poroznost agregata, propustljivost i apsorpcija utiču na bitne osobine betona, na moć povezivanja agregata za cementnu pastu, otpornost betona na dejstvo mraza, hemijsku stabilnost, otpornost na habanje i na upijanje vode pod pritiskom. Razmatran uticaj različitih vrsta drobljenog mineralnog agregata na veličinu upijanja vode pod pritiskom kod betona spravljenih sa njima u odnosu na etalon beton spravljen sa agregatom moravcem.

Zamenom prve frakcije agregata rečni, dobijamo manje vrednosti upijanja vode pod pritiskom pod uslovom da je prva frakcija rečnog agregata po pitanju osobina povoljnija u odnosu na istu frakciju drobljenog mineralnog agregata. Ne treba izostaviti ni mineraloško petrografski sastav zrna agregata.

R. Sinđić-Grebović (Građevinski fakultet - Podgorica)

Analiza čvrstoće betona kao parametra pri proračunu smičuće nosivosti greda

Data je ocena primjenljivosti aktuelnih proračunskih kodova za beton visoke čvrstoće. Analiza se zasniva na rezultatima istraživanja na gredama izrađenim od betona visoke čvrstoće (C90/105) i betona normalne čvrstoće (C35/45) i rezultatima drugih autora. Grede ispitane u istraživanju su izrađene kao parovi identičnih greda koje se razlikuju samo po čvrstoći betona.

Proračun nosivosti na smicanje betonskog dijela presjeka kod greda bez smičuće armature prema EN 1992-1-1: 2004 je nekonzervativan u odnosu na silu smicanja pri pojavi kose prsline. Za određivanje granične nosivosti na smicanje greda od betona visoke čvrstoće potrebno je definisati dodatni kriterijum iz čvrstoće betona u stanju napona. Proračun granične nosivosti greda na smicanje prema EC2 je primjenljiv za beton visoke čvrstoće, a od posebnog značaja je poštovanje zahteva o minimalnom procentu armiranja smičućom armaturom.

Održivi razvoj u industriji građevinske keramike

Industrija građevinske keramike može doprineti razvoju u brojnim segmentima i to: smanjenjem potrošnje prirodnih sirovina, primenom otpadnih materijala, smanjenjem potrošnje energije, manjom emisijom štetnih sanacijom i rekultivacijom kopova posle eksploatacije sirovine. Proizvodi građevinske keramike moraju zadovoljiti brojne zahteve kvaliteta, pre svega konstruktivne. Da bi se proizveli materijali tih svojstava, ekološki podobni i ekonomski isplativi, neophodno je izvršiti obimna ispitivanja.

Ciljevi održivog razvoja opekarske industrije Srbije, u skladu sa principima i načelima održivog razvoja treba da budu: društveni napredak koji prepoznaje, poštuje i štiti interese svih; efektivna zaštita životne sredine; održivo korišćenje resursa i održavanje visokog i stabilnog ekonomskog standarda i porasta zaposlenosti. U tome industrija građevinske keramike može dati svoj značajan doprinos.

Aleksandar Đureković
(Laboratorija, JP "Putevi Srbije"- Beograd)

Analiza rezultata ispitivanja dinamičkog modula asfaltnih mešavina

Ispitivanje bitumenom vezanih materijala na različitim temperaturama i frekvencijama opterećenja daje uvid u ponašanje materijala u fazi eksploatacije. To pruža veliki obim podataka koje treba sistematizovati, jedan od načina je kroz glatke "master" krive. Prikazan je jedan pristup za konstrukciju master krivih upotrebom odgovarajućih matematičkih funkcija. Pristup je ilustrovan na rezultatima ispitivanja za asfaltnu mešavinu AB 16s ugrađenu na autoputu N. Sad – Beograd.

Navedene činjenice pokazuju da algoritam daje dobre izgledne krivih. Postoji prostor za optimizaciju algoritma tako da se može i sa manjim skupom rezultata ispitivanja doći do rezultata. Prostor za unapređenje algoritma i ekonomičniji pristup ispitivanju treba potražiti u korišćenju nekih od reoloških modela.

M. Radeka (FTN-Departman za građevinarstvo, N. Sad)

Mikrostrukturalna analiza betona na bazi recikliranog agregata

Rad se bavi karakteristikama mikrostrukture normalnog betona, betona gde je delimično upotrebljen reciklirani agregat i u celosti upotrebljen reciklirani agregat. Za karakteristike ovih betona urađen je eksperiment gde su predviđena i ispitivanja mikrostrukture. Kombinovanjem informacija dobijenih na bazi upotrebe sekundarnih elektrona, povratno rasejanih elektrona dobijen je uvid u mikrostrukturne karakteristike betona.

Na osnovu elektronske mikroskopije moguće je definisati mikrostrukturu uzoraka kombinacijom kvalitativnih i kvantitativnih metoda. Kvalitativna ispitivanja je pogodnije raditi za manju starost betona kada faza pora nije u potpunosti popunjena produktima hidratacije.

Kvantitativne metode traže softverske mogućnosti za analizu slike.

M. Malešev, V. Radonjanin, B. Vučković
(Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad i Lafarge - Beočin)

Uticaj vrste i količine mineralnog dodatka na svojstva svežeg samougrađujućeg betona

Dati su prikazi osnovnih vrsta i svojstava komponentnih materijala, principa i preporuka bitnih za projektovanje sastava, i kriterijuma i načina klasifikovanja svojstava svežeg samougrađujućeg betona. Deo rada posvećen je rezultatima sopstvenog eksperimentalnog istraživanja svojstava svežeg samougrađujućeg betona sa aspekta uticaja vrste i količine mineralnog dodatka. Kao mineralni dodaci korišćeni su krečnjak i leteći pepeo. Zaključci su izvedeni na osnovu analize rezultata ispitivanja sedam različitih betonskih mešavina.

Vrsta i količina mineralnog dodatka ima uticaja na potrebnu količinu vode za postizanje zahtevane klase konzistencije i promenu konzistencije kroz vreme, utiču na konzistenciju – fluidnost betonske mešavine. Sve betonske mešavine imaju istu klasu viskoznosti, bez obzira na vrstu i količinu primenjenog mineralnog dodatka, ali leteći pepeo povećava viskoznost samougrađujućih betona. Vrsta mineralnog dodatka utiče na sposobnost prolaska betonskih mešavina; mešavine sa mlevenim krečnjakom su sklonije segregaciji od mešavine sa elektrofilterskim pepelom. Mleveni krečnjak, kao mineralni dodatak, nema uticaja na vrednost zapreminske mase u svežem stanju.

V. Radonjanin, M. Malešev, Milovanović V.
(Fakultet tehničkih nauka N. Sad)

Uticaj vrste i količine mineralnog dodatka na svojstva očvrslog samougrađujućeg betona

Prikazan je deo komparativnih ispitivanja svojstava očvrslog samougrađujućeg betona sa aspekta uticaja vrste i količine mineralnog dodatka na svojstva očvrslog betona. Kao mineralni dodaci korišćeni su krečnjak i leteći pepeo. Zaključci su izvedeni na osnovu analize rezultata ispitivanja sedam različitih betona.

Čvrstoća pri pritisku zavisi od vrste i količine mineralnog dodatka. Mineralni dodatak u samougrađujućim betonima ima uticaja na sve tri karakteristične čvrstoće betona pri pritisku. Na vrednosti čvrstoća betona na zatezanje cepanjem, kao i čvrstoća na zatezanje savijanjem, vrsta mineralnog dodatka nema značajniji uticaj. Vrsta i količina mineralnog dodatka utiču na povećanje vrednosti upijanja vode. Elektrofilterski pepeo ima znatno izraženiji uticaj na povećanje vrednosti upijanja vode u poređenju sa mlevenim krečnjakom. Sve betonske mešavine se smatraju vodonepropustljivim. Na vodonepropustljivost utiče kapilarna poroznost cementnog kamena. Vrednosti statičkog i dinamičkog modula elastičnosti zavise od vrste mineralnog dodatka. Mineralni dodatak nema značajnijeg uticaja na vrednost adhezije između betona i glatke, odnosno rebraste armature.

2 TEORIJSKA ANALIZA KONSTRUKCIJA

M. Vukićević (Građevinski fakultet, Beograd)

Primena elastoplastičnih modela za tlo u proračunu geotehničkih konstrukcija MKE

Geotehničke konstrukcije su takve da je izrazito sadejstvo konstrukcije i tla. Tlo je vrlo stišljiv materijal čije osobine proističu iz njegove porozne strukture. Sa aspekta mehaničkog ponašanja, tlu najviše odgovaraju elastoplastični konstitutivni modeli, što u proračunu geotehničkih konstrukcija MKE (metode konačnih elemenata) zahteva numeričku integraciju napona jer su nepoznate promenljive deformacije, a u jednačinama modela osnovne nezavisne promenljive naponi. Prikazana je implicitna GPM metoda integracije napona za modifikovani Cam-Clay model i dat primer geotehničke konstrukcije primenom metode u programu PAK. (Bez definitivnog zaključka)

Mladen Ćosić (Fakultetu tehničkih nauka, N. Sad)

Model interakcije višespratni okvir poluprostor tla, za pushover analizu

Dat je numerički model interakcije višespratni okvir-poluprostor tla, korišćen za nelinearnu statičku seizmičku analizu. Poluprostor tla je modelovan kao homogeni elastičan izotropan poluprostor, a veza temeljna konstrukcija ostvarena je primenom kontaktnih elemenata. Modelovanje okvira je izvršeno primenom linijskih konačnih elemenata, pritom su na krajevima štapova postavljene plastične zglobovi. Primenom metode spektra kapaciteta određen je nivo ciljnog lateralnog pomeranja.

Opisan numerički postupak omogućava uvođenje uticaja interakcije konstrukcija-tlo za nelinearnu statičku analizu okvira u uslovima seizmičkog dejstva. Uvođenjem interakcije dolazi do promene u raspodeli formiranja plastičnih zglobova po visini okvira, a što je delimično posledica povećanja horizontalne krutosti usled realnog modelovanja bočne interakcije konstrukcija -tlo.

D. Lukić, A. Prokić, E. Zlatanović (Građevinski fakultet, Subotica i Građevinsko-arhitektonski fakultet, Niš)

Teorija slojevitih sistema u konstrukcijama puteva

Merenje deformabilnosti postojećih kolovoznih konstrukcija od značaja je za donošenje odluke o rekonstrukciji i sanaciji. Rad prikazuje teorijske osnove slojevitih sistema, primenljivi na proračun sleganja ostalih objekata fundiranih na slojevitom tlu, i dat je praktični primer primene.

M. Ćosić
(Fakultetu tehničkih nauka Univerziteta u N. Sadu)

Stabilitetni kriterijum plastično deformisanog višespratnog okvira

Ponašanje okvira koji za vreme zemljotresa trpe oštećenja može se simulirati nelinearnom statičkom seizmičkom analizom. Pored analize okvira u uslovima seizmičkog dejstva analizira se stepen globalne stabil-

nosti primenom adaptivne *pushover* analize bazirane na korekciji matrice krutosti sistema, uzimanjem u obzir razvoja geometrijske i materijalne nelinearnosti. Procena globalne stabilnosti komparirana je sa referentnim analizama prema odgovarajućim propisima.

Numerički postupak za analizu globalne stabilnosti koristi tri različite analize: vibracija, nelinearne statičke analize i globalne stabilnosti. Moguće je odrediti lateralne seizmičke sile na osnovu svojstvenog oblika, razvoj nelinearnih deformacija primenom plastičnih zglobova. Ostale metode koriste princip bilinearizacije sistema za određivanje nivoa ciljnog pomeranja. Analizom kritične stabilnosti prema razvijenom postupku nivo ciljnog pomeranja određuje se preko stabilitetnog kriterijuma. Numerički postupak moguće je primeniti za analizu i neregularnih okvira.

I. Matijević, A. Rašeta, A. Radujković, D. Kovačević
(Fakultet tehničkih nauka, N. Sad)

Uparedna analiza metoda za određivanje odgovora objekata visokogradnje na seizmička dejstva

Prikazana je uporedna analiza metoda za rešavanje problema odgovora konstrukcijskog sistema objekata visokogradnje opterećenih seizmičkim silama: metoda direktne integracije, metoda modalne superpozicije kombinovana sa spektrima odziva i metoda ekvivalentnog statičkog opterećenja. Analiza rezultata sprovedena je na osnovu upoređenja horizontalnog pomeranja i smičuće sile u osnovi okvire AB konstrukcije.

Vremenska kombinacija navedenih parametara je ključni faktor koji određuje odgovor sistema. Direktna integracija je jedina pouzdana kao metod analize za seizmička dejstva. Ako je moguće/potrebno pojednostavljenje procedure analize metoda statički ekvivalentnog opterećenja je optimalna, posebno u slučajevima kod kojih je značajan samo osnovni oblik vibracija.

Đ. Lađinović, M. Čosić (Fakultet tehničkih nauka, N. Sad)

Seizmička analiza okvirnih konstrukcija primenom nelinearne statičke metode

Prikazana je konvencionalna i adaptivna nelinearna statička metoda procene veličine seizmičkih sila i nelinearnog ponašanja zgrada. Opterećenje je definisano preko modalnog opterećenja prema svojstvenom obliku vibracija. Promena perioda i oblika vibracija je korišćena za modifikaciju seizmičkog opterećenja posle svake inkrementalne "pushover" analize. Komparacijom krive kapaciteta i spektralnih kriva utvrđuje se odnos kapaciteta nosivosti zgrade i veličine seizmičkih zahteva.

Konstatuje se da se rezultati dobijeni sa ravnomernom i trougaonom raspodelom opterećenja i prema prvom svojstvenom obliku slažu sa rezultatima dobijenim pomoću inkrementalne dinamičke analize. U odnosu na model sa plastičnim zglobovima model sa vlaknima ima manju inicijalnu krutost. To je posledica primene različitog modela ponašanja materijala i propagacije nelinearnih deformacija duž štapova.

3 STATIČKA I DINAMIČKA ISPITIVANJA KONSTRUKCIJA

S. Marinković, I. Ignjatović (Građevinski fakultet, Beograd)

Ponašanje pri smicanju greda od betona na bazi recikliranog agregata

Sa aspekta uštede prirodnih resursa, energije kao i zaštite prirodne sredine, od važnosti je zaokružiti životni ciklus betonskih konstrukcija i proučiti kako se reciklirani agregat može koristiti kao komponenta novih konstrukcijskih betona. Predstavljena su dosadašnja eksperimentalna istraživanja ponašanja greda od recikliranog betona pri smicanju; poređenje mehanizma loma i graničnih nosivosti greda od betona na bazi prirodnog agregata i greda od betona na bazi recikliranog agregata.

Zaključci o ponašanju greda od RAC betona pri smicanju su: slika prslina i mehanizam loma kod greda od betona, nezavisno od agregata, ista je kao kod greda od klasičnog betona sa istim procentom armiranja uzengijama; kod greda od RAC betona bez uzengija formirane su značajne prsline u pravcu produžne armature, veće u odnosu na grede od običnog betona; za grede od RAC betona sa istim odnosom a/d , veći nagib dijagonalnih prslina je uočen kod greda sa uzengijama u odnosu na grede bez; sile pri formiranju dijagonalne prsline i pri lomu su nešto niže kod greda od RAC betona; postoji zavisnost između procenta armiranja grede poprečnom armaturom i nosivosti na smicanje.

N. Đuranović (Građevinski fakultet, Podgorica)

Ispitivanje stanja napona metodom zaostalih napona – ideja i primena kod armatura i kablova

Merenje stanja napona u postojećim konstrukcijama ne može se sprovesti konvencionalnim procedurama eksperimentalne analize napona, budući da su klasični ekstenzometri i ekstenzometarske metode u potpunosti neosetljivi na predhodna opterećenja na samoj konstrukciji, tj. mogu da mere samo promenu deformacija koja se desila posle postavljanja senzora. Jedan način rešavanja problema je da se konstrukcija rasterećuje.

Metoda "bušenja otvora" se može efikasno primeniti u oblasti građevinskih konstrukcija. Zasnovana je na činjenici da na uzorku koji je izvađen iz konstrukcije, ili neposredno na mestu gde se u konstrukciji formira otvor, dolazi do relaksacije napona koja je po svojoj veličini uporediva sa stanjem napona prije otpočinjanja eksperimenta.

N. Đuranović (Građevinski fakultet, Podgorica)

Ispitivanje stanja napona metodom bušenja otvora – primena kod AB konstrukcija

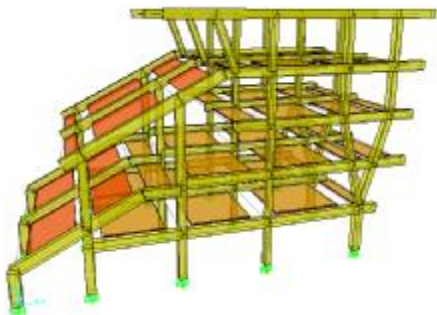
Bušenje otvora u elementu koji je napregnut dovodi do relaksacije napona na posmatranom mestu. Eliminacija napona na mestu formiranog otvora, menja stanje napona i u njegovom neposrednom okruženju, prouzrokujući da se i lokalne deformacije na površini promene. Merenjem promena moguće je definisati postojeće naponsko stanje u betonskim i AB konstrukcijama. Date su osnovne informacije o aplikaciji metode.

Bušenje otvora, čak i veoma malog prečnika u elementu koji je napregnut dovodi do relaksacije napona na posmatranom mestu. Eliminacija napona koji postoje na mestu otvora prouzrokuju da se i lokalne deformacije na površini promjene u skladu sa tim. Aplikacija metode pokazuje da se efikasno može primeniti i na betonske i AB konstrukcije.

N. Đuranović (Građevinski fakultet, Podgorica)

Ispitivanje tribina gradskog stadiona u Podgorici probnim opterećenjem

Noseći deo konstrukcije predstavljaju ramovi od 5 AB stubova i 5 rigli. Tribinska konstrukcija sedišta se nalazi na dva nivoa galerije. Ispitivanjem su obuhvaćena merenja i osmatranja pomeranja, dilatacije u betonu, ugao rotacije preseka, eventualni razvoj i veličina vidnih prsli- na, lokalni defekti, oštećenja, dinamičke karakteristike.



Prostorni model stadiona

Analizom izmerenih i sračunatih vrijednosti deformacionih karakteristika može se zaključiti da se konstrukcije tribina ponašaju saglasno projektovanom računskom modelu. Najveći izmereni ugibi manji su od proračunatih, najveći zaostali ugibi su manji od dozvoljenih i nisu registrovana nikakva dodatna oštećenja tj. prsline.

S. Ranković, Dr. Zlatkov, R. Folić
(GA fakultet Niš i FTN N. Sad)

Ispitivanje AB konstrukcije pojačane novim betonom i FRP laminatima sistema Sika CarboDur

Prikazani su i analizovani rezultati ispitivanja pod probnim opterećenjem jedne AB konstrukcije u izgradnji, pojačane kombinovanjem konvencionalne tehnike dodatnog sloja betona i armature i metode spolja lepljenih FRP laminata sistema Sika CarboDur. Prikazana su pojačanja elemenata, metodologija i rezultati ispitivanja međuspratne konstrukcije pre i nakon sanacije. Zaključeno je da je ovako sanirana konstrukcija ispunila zahteve nosivosti i ugiba za eksploatacione uslove.

Konstatuje se da je sanirana konstrukcija ispunila zahteve za tehnički ispravnu konstrukciju, ali zbog nivoa opterećenja nije bilo moguće doneti neke generalne zaključke o ponašanju FRP elemenata. Rezultati dostupnih eksperimentalnih istraživanja, sprovedenih u laboratorijskim uslovima, pokazuju da presudan uticaj na krajnju nosivost FRP elementima pojačanih konstrukcija ima upravo adhezija na spoju laminata i betona.

4 BETONSKE KONSTRUKCIJE

Mašović S. (Građevinski fakultet, Beograd)

Statički tretman betonskih konstrukcija sa uticajima dugotrajnog opterećenja

U velikom broju slučajeva elastična analiza daje zadovoljavajuće rezultate. U slučaju betonskih konstrukcija dolazi do izražaja materijalna nelinearnost problema. Usled tečenja i skupljanja betona, konstrukcije pokazuju različita ponašanja zavisno od promena spoljnjih ili unutrašnjih veza. Izvršena je klasifikacija betonskih konstrukcija sa stanovišta stepena materijalne nelinearnosti, raspoložive metode za rešavanje problema statike zavisno od tipa konstrukcije.

Uticaj reoloških karakteristika betona na ponašanje konstrukcije sa aspekta upotrebljivosti i trajnosti proizvodi i pozitivne i negativne efekte. Projektne postupke treba prilagoditi, voditi računa o tome, ne bi li iskoristili povoljne i minimizirali nepovoljne posledice reoloških karakteristika. Rezultati umnogome zavise od predviđanja tečenja i skupljanja betona. Funkcije zavise od upotrebljene betonske mešavine, u fazi projektovanja primeniti uprošćene postupke, obzirom na aproksimacije koje su iznete pri klasifikaciji konstrukcija, kako bi se došlo do gornje i donje granice za posmatrane veličine.

D. Zenunović, R. Folić, A. Imamović
(Univerzitet u Tuzli, FTN Novi Sad)

Modeliranje spoja armiranobetonske montažne ploče i monolitnog zida

Sprovedena su uporedna ispitivanja spojeva AB monolitne ploče i monolitnog zida, i AB montažne ploče i monolitnog zida. Registrovan je mehanizam rada spojeva i opisan radnim dijagramima. Utvrđen je stepen popustljivosti spojeva/veza za pojedine faze opterećenja. Rezultati eksperimenata upotrijebljeni su za izradu modela primjenom štapnih i površinskih konačnih elemenata, plastičnih veznih elemenata.

L. Babić, R. Folić (FTN Kosovska Mitrovica i FTN N. Sad)

Prilog nelinearnoj seizmičkoj analizi AB okvirnih konstrukcija

Analizovane su metode za određivanje nelinearnog odgovora AB konstrukcija na seizmička dejstva. Krutost AB elemenata bitno zavisi od razvoja deformacija i oštećenja. Vid osipanja energije sistema je neelastična histerezisna disipacija. Histerezisno ponašanje AB i nelinearni odnos unutrašnje sile i pomeranja zavisi od istorije opterećenja. Od izbora modela zavisi i tačnost i obim proračuna njihova analiza od značaja za istraživače i za projektante. U radu je analizovan jedan broj histerezisnih modela. Prikazani su rezultati parametar- ske analize odgovora konstrukcije.

Na sisteme sa malim periodom, uticaji svih parametara na odgovor konstrukcije su izraženiji. Za veću vrednost perioda, značajan je samo uticaj granične čvrstoće. Kada je postignuta adekvatna disipacija energije u konstrukciji, onda se maksimalni odgovor ne menja značajnije izborom različitih histerezisnih modela. Dobro

koncipirana konstrukcija je polazište za savremene metode projektovanja, tek iza toga sprovedi proračun u kome dolaze do izražaja prednosti nelinearne dinamičke analize. Komplikovani matematički aparat, danas dostupniji primenom specijalizovanog softvera i jakih računara, ne može da nadoknadi greške nastale na konceptualnom nivou, zato se sve više potenciraju pravila za takvo projektovanje, na šta se insistira u Evrokodu 8.

D. Ostojić, B. Milosavljević, M. Stojanović
(Građevinski fakultet, Beograd)

Projektovanje i izgradnja krovne ljuske glavnog ispraćajnog objekta na groblju "Orlovača" u Beogradu

Prikazani su aspekti projektovanja i izvođenja AB krovne ljuske Glavnog ispraćajnog objekta na groblju po projektu dr Mirjane Lukić, DIA. Ljuska se sastoji od osam segmenata projektovanih kao hiperbolički paraboloidi eliptičnih ivica. Segmenti se međusobno bočno dodiruju, te zajedno formiraju složenu prostornu naboranu površ. Prikazano je modelovanje i proračun konstrukcije ljuske. Opisan je postupak izbora načina izvođenja i prikazana usvojena rešenja skele i oplata.

Ljuska na Glavnom ispraćajnom objektu predstavlja originalno i jedinstveno arhitektonsko i konstruktersko rešenje. Primenom savremenih kompjuterskih metoda za proračun, konstrukcija je uspešno rešena. Projektanti i izvođači su bili u situaciji da rešavaju probleme koji se retko sreću u inženjerskoj praksi.

Z. Brujić (Fakultet tehničkih nauka, N. Sad)

Približni proračun vitkih dvoosno savijanih AB stubova

Proračun vitkih AB stubova, kada su dvoosno savijani, je još uvek povezan sa nizom nedoumica i

nedoslednosti. Razlozi su u visokoj složenosti problema i u zavisnosti od velikog broja parametara. Daje se prikaz približnog proračuna granične nosivosti ovakvih stubova, formulisano na osnovu rezultata numeričkih eksperimenata, sprovedenim primenom opšteg proračunskog pristupa, baziran na postavkama proračuna prema graničnom stanju nosivosti.

Postupak je formulisano primenom statističkog alata fitovanja površi i krivih određenih opštim proračunskim pristupom, u formi numeričkog eksperimenta. Tim postupkom se grubo aproksimira granična nosivost vitkog AB stuba, korišćeni parametri nisu u celini fizički izdiferencirani, a analiza je ograničena na momentnu nosivost.

5 METALNE KONSTRUKCIJE

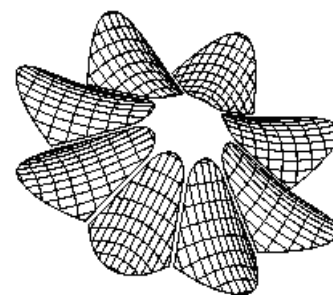
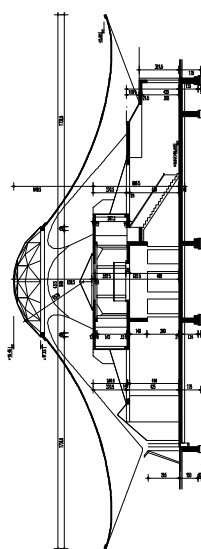
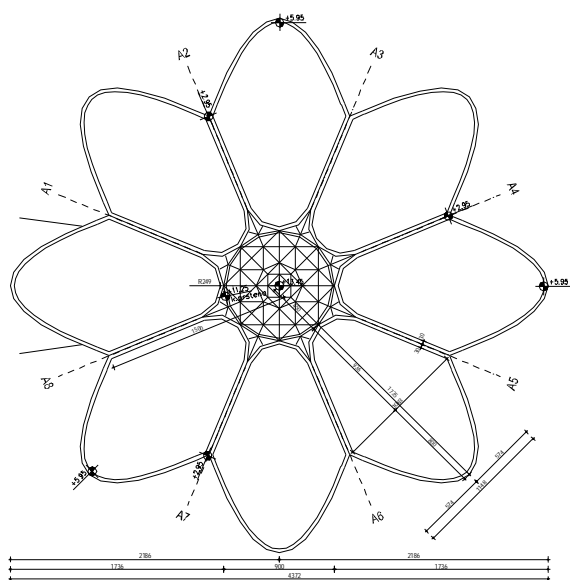
M. Pavlović, D. Buđevac, Z. Marković, M. Spremić
(Građevinski fakultet, Beograd)

Akustička izolacija na bazi poliuretanskih pena

Poliuretan nalazi posebnu primenu na polju zvučne izolacije. Primena materijala sa specifičnim dinamičkim karakteristikama pruža velike mogućnosti za kontrolu intenziteta buke i vibracija koje se prenose na konstrukciju. Dat je opšti primer primene akustičkih podloga na bazi poliuretanskih pena.

Prednosti poliuretana u odnosu na slične materijale je prihvatljiva cena obzirom na sada već masovnu proizvodnju, i karakteristike: izdržljivost, laka obrada, netoksičnost i dr. Neke vrste poliuretana poseduju karakteristike koje ne poseduje ni jedan drugi materijal.

Primena akustičke izolacije na bazi poliuretanskih penastih elastomera sa posebnim karakteristikama, donosi niz prednosti od koji su najvažnije: mogućnost kontrole ponašanja konstrukcije, trajnost, pouzdanost, odsustvo potrebe za održavanjem.



Arhitektonska osnova i presek kroz objekat

B. Petrović, V. Grabulov, Z. Radojević (IMS, Beograd)

Neki aspekti površinske zaštite metalnih konstrukcija toplim cinkovanjem

Brojne karakteristike, čine cink veoma pogodnim za upotrebu kao prevlake za zaštitu gvozdених i čeličnih konstrukcija od korozije, kao zaštitna prevlaka na različitim konstrukcijama u mnogim savremenim izlaganja, uslovljeno odličnom otpornošću prema koroziji u dosta sredina. Prikazani su značajni aspekti: zavarivanje pre i posle cinkovanja i reciklaža otpada iz galvanskog pogona.

6 DRVENE KONSTRUKCIJE

B. Stevanović, Č. Andrić, I. Glišović, K. Laketić
(Građevinski fakultet, Beograd, PIRAMIDA, Sremska Mitrovica)

Lepljene lamelirane drvene konstrukcije u Srbiji - stanje i perspektiva

Kvalitetna spojna sredstva, industrijska proizvodnja, velika otpornost na požar, laka i jednostavna montaža, nedvosmislena ekonomičnost, su neki od parametara koji utiču na uspešnu primenu savremenih lepljenih lameliranih drvenih konstrukcija. Prikazana je proizvodnja i izvođenje konstrukcija od lepljenog lameliranog drveta u Srbiji, primeri izvedenih objekata, i perspektiva ovih konstrukcija.

Doživljavanje drveta kao materijala i konstrukcija u vizuelnom i osećajnom smislu, manifestuju se tako što izazivaju posebne efekte lakoće, opuštenosti, smirenosti, individualnosti, mašte. Za razliku od betona i čelika koji su, bezlični, hladni i monotoni, drvo i drvene konstrukcije se lako i jednostavno uklapaju u sve zahteve koje korisnik može da zamisli. Koliko će trajati drvene konstrukcije? - Koliko i čovek. Drvo je, pored kamena, najstariji materijal za građenje, a o njemu se i danas najmanje zna: a superioran, plemenit, topao, dobar, lak i lepog izgleda.

B. Stevanović, I. Glišović (Građevinski fakultet, Beograd)

Dinamičko ponašanje drvenih tavanica

Metodologija proračun drvenih tavanica obuhvata i problem neprihvatljivih vibracija usled kretanja korisnika tavanice. Računski postupci kojima se razmatraju vibracije zahtevaju poznavanje dinamičkih karakteristika tavanice. Numerički model, zasnovan na metodi konačnih elemenata, prikazan je radi određivanja svojstvenih frekvencija, oblika oscilovanja i vibracionog odgovora drvenih tavanica.

Ponašanje drvenih tavanica i sličnih sistema je veoma kompleksno i interdisciplinarno pitanje, obuhvata mnogo faktora sadržanih u pobudi, odgovoru i prihvatljivosti rezultujućih vibracija. Sile su problematične zato što se javljaju učestalo i, ne mogu se izolovati. Preterane vibracije izazvane ljudskim korakom kao opterećenjem su okarakterisane kao verovatno najpostojaniji problem

upotrebljivosti tavanica. Poznavanje prirode vibracija može pomoći da se izbegnu ili umanje problemi vibracija. Povećanje krutosti, generalno će poboljšati vibracione karakteristike tavanice u poređenju sa važećom praksom. Kako nema direktne linearne veze između statičkih i dinamičkih karakteristika tavanica preporučuje se prvenstveno upotreba kriterijuma zasnovanih na dinamičkom ponašanju tavanica.

T. Kočetov Mišulić, B. Stevanović (FTN N.Sad, Građevinski fakultet, Beograd)

Eksperimentalna istraživanja drvene četinarske građe kao podloga za uvođenje klasa čvrstoće domaćeg tehničkog drveta

Uvođenje Evropske regulative u domaću praksu u oblasti drvenih konstrukcija podrazumeva, upoznavanja i prihvatanja osnovnih pravila i zahteva proračuna prema Evrokodu 5, sprovođenje niza istraživanja radi adekvatne identifikacije osnovnih materijala, spojnih sredstava, veza, sklopova. Dat prikaz i analiza istraživanja domaćeg tehničkog četinarskog drveta prema zahtevima EN standarda sa ciljem formiranja osnove za svrstavanje domaćeg tehničkog drveta u klase čvrstoće prema EN 338. Komparativna analiza daje okvire projektantima i izvođačima za identifikovanje domaćih kvalitetnih klasa.

Generalni razlozi za poteškoće u svrstavanju građe u kvalitetne čvrstoće, leže u razlici između 3 postojeće kvalitetne klase u domaćoj praksi koje počivaju na vizuelnom klasiranju na osnovu deklarativnih opisa, dok EN standardi EN 518 i EN 519, definišu detaljan pristup vizuelnom i mašinskom klasiranju građe, što rezultuje iznijansiranim (devet) klasa čvrstoće za četinarsku građu. Potreba za uvođenjem sistema klasa čvrstoće u oblast građevinskog drveta na teritoriji naše zemlje jedan je od prvih koraka koji se mora učiniti u smislu izlaza na evropsko-svetsko tržište.

7 ZIDANE KONSTRUKCIJE

B. Jovičević (Institut za standardizaciju Srbije)

Uloga standardizacije u oblasti zidanih konstrukcija u procesu harmonizacije sa EU

Nacionalna organizacija za standardizaciju ima zadatak u procesu usaglašavanja nacionalnih standarda sa evropskim i međunarodnim standardima kako bi se ostvarila liberalizacija trgovine. To obuhvata harmonizaciju svih standarda.

U 2009. godini planirano je preuzimanje 41 dokumenta iz CEN/TC 125, standarda iz oblasti metoda ispitivanja elemenata za zidanje iz serije SRPS EN 772 i standardi odnosni na komponente za povezivanje. Uporedo sa radom u Komisiji za zidane konstrukcije, Komisija za Evrokod 6, *Proračun zidanih konstrukcija*, KS U250-6, u svom programu rada za 2008. godinu planirala je i radi na prevođenju na srpski jezik EN 1996-1-1, Proračun zidanih konstrukcija.

M. Muravljov, D. Jevtić, A. Savić
(Građevinski fakultet, Beograd)

Jedan slučaj ispitivanja otpornosti pregradnih zidova na dejstvo bočnih udara

Dat je primer konkretnog ispitivanja pregradnih zidova na dejstvo bočnih udara. Ispitivanje je propisano Pravilnikom o tehničkim normativima za zidane zidove, ali Pravilnikom nije predviđena metoda ispitivanja. U nedostatku u praksi se primenjuje interna metoda IMK, u predmetnom radu prikazana u smislu materijalizacije postupka i njene ilustracije na jednom konkretnom objektu.

Na osnovu ispitivanja i analize dobijenih rezultata proizilazi da svi ispitivani zidovi zadovoljavaju uslov otpornosti na bočni udar propisan u aktuelnom domaćem *Pravilniku o tehničkim normativima za zidane zidove*. Pri sprovedenim ispitivanjima ni na jednom zidu nije došlo do oštećenja niti trajnih deformacija. Može se smatrati da su dinamičke karakteristike ispitivanih zidova u potpunosti zadovoljavajuće.

R. Vasić, Z. Radojević, M. Vasić
(Institut za ispitivanje materijala a.d. Beograd)

Uticaj radne sredine na koroziju opekarskih proizvoda u zidanim konstrukcijama

Dat prikaz savremenih teorijskih postavki o koroziji opekarskih proizvoda u zidanim konstrukcijama, povezana sa prodorom vode, vlage u zidanu konstrukciju. Do oštećenja i degradacije opekarskih materijala u zidanim šticećenim i nešticećenim konstrukcijama u toku eksploatacije dolazi usled: hemijskih reakcija vode sa nekim od konstituenata u keramičkom materijalu; rastvaranja konstituenata u porama materijala, hidratacionih i kristalizacionih pritisaka itd.

Da bi se korozija građevinskih keramičkih materijala smanjila neophodno je pridržavati se osnovnih načela:

Koristiti što kompaktniji keramički materijal. Da bi se sprečile posledice vlažnog širenja treba obezbediti nesmetano širenje opeka u podužnom i poprečnom pravcu. Zaštita se vrši nanošenjem hidrofobnih premaza.

V. Milovanović, M. Malešev, V. Radonjanin
(FTN, Novi Sad)

Osnovne karakteristike opeka i maltera ugrađenih u srednjovekovne kulturno-istorijske spomenike

U okviru projekta rađena su ispitivanja opeke i maltera upotrebljenih na Tvrđavi Bač (14 vek) i Crkvi Manastira Bođani (17 vek). Dati su rezultati tih ispitivanja i zaključci, i opis izabrane metode uzimanje uzoraka.

Upoređivanjem opeka upotrebljenih za izgradnju tvrđave i crkve dolazi se do zaključka da je ona korišćena na tvrđavi, iako starija skoro 3 veka, boljeg kvaliteta što može biti i posledica specifičnosti objekta izloženog u potpunosti atmosferilijama i vodenom kanalu oko utvrđenja.

Velika vlaga u zidovima crkve Manastira Bođani je posledica nepostojanja horizontalne hidroizolacije i neuspešnih pokušaja da se problem kapilarnog penjanja vode reši. Postojanje vlage u zidovima u zoni parodifuznog maltera, posledica je upijanja vlage kapilarno

poroznih materijala, pri čemu je samo privremeno rešen estetski izgled sa spoljne strane zidova, dok je proces deterioracije zidova nastavljen.

8 MATERIJALI, KONSTRUKCIJE I ŽIVOTNA SREDINA

Ž. Popović (Institut za materijale i konstrukcije Građevinskog fakulteta, Beograd)

Tek prvi korak u XXI vek (Nove tendencije u arhitekturi XXI veka)

XXI vek je stvorio velike promene u arhitektonskom oblikovanju zgrada, pogotovu oblikodera, što je uslovalo puno urbanih, tehnoloških i konstrukterskih novina. Stvoreni su novi stilovi.

Arhitektura je produkt i odraz svog vremena, željnog izmena i novina, u periodu značajnih društvenih, ekonomskih kretanja, državnih i međunarodnih promena, novih naučnih i tehničkih dostignuća, što se nažalost nedovoljno oseća i vidi u našoj zemlji - Beogradu, gde ni jedan trg nije potpuno definisan.



Predlozi za nebudere na periferiji Pariza (strelice = lebdeći parkovi)

M. Stanković (Arhitektonsko-građevinski fakultet, B. Luka)

"Pasivna" zgrada – imperativ i velika šansa

Akcentat je na tzv. "pasivnu" zgradu – građevinu budućnosti, koja ostvaruje prednost svim učesnicima procesa građenja – štedi energiju i novac. Kontinuiranim usavršavanjem u planiranju, projektovanju, građenju i upotrebi "pasivnih" zgrada, na bazi kriterijuma optimalnosti, gradnjom.

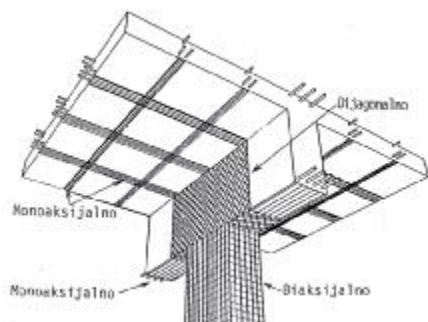
Zgrade su najveći potrošači energije, te su potencijalne uštede energije u graditeljstvu veće nego u bilo kom drugom sektoru. Adekvatnom toplotnom zaštitom zgrada smanjuju se troškovi grejanja i povećava toplotni komfor tokom celog perioda eksploatacije, uz određeni porast investicijskih troškova. Ovakve zgrade imaju ugodniju klimu u unutrašnjem prostoru. Energetska efikasnost se može izračunati Projektnim paketom pasivne kuće. Uštede u energiji su i do 90%. Ulaganja u povećanu energetske efikasnost smatramo ispravnim pristupom i putem savremenog graditeljstva.

9 ODRŽAVANE I SANACIJA KONSTRUKCIJA

M. Muravljov, D. Bajić, N. Tanasić
(Građevinski fakultet, Beograd)

Održavanje i rehabilitacija betonskih mostova

Betonski mostovi su izloženi dejstvima iz spoljašnje sredine koja na njima izazivaju oštećenja manjih i većih razmera dovodeći u pitanje sigurnost i upotrebljivost mosta. Analizovana je primena različitih mera: pravovremena rehabilitacija, kontrolisano održavanje, redovni pregledi kojima se omogućava dovoljno prihvatljiv nivo pouzdanosti mosta. Pored uobičajenih načina rehabilitacije, prikazana je upotreba materijala na bazi karbonskih vlakana.



Primer postupka ojačanja primenom zalepljenih karbonskih tkanina

Trajnost i pouzdanost betonskih mostova su u najtešnjoj vezi sa aktivnostima na njihovom održavanju, a zavisno od konkretnih okolnosti, podrazumeva da se tokom eksploatacionog veka mosta preduzimaju i odgovarajuće intervencije rehabilitacije. Da bi se ostvario eksploatacioni vek mosta od konvencionalnih cca 100 godina u periodu eksploatacije neophodna su i vrlo značajna ulaganja u most. Kroz održavanje i rehabilitacije još se mora "platiti" cena u visini cene dva nova mosta. Ako se trajnost mosta posmatra selektivno mogu se definisati i vremenski periodi trajnosti konstrukcijskih elemenata.

Z. Popović, L. Puzavac (Građevinski fakultet, Beograd)

Uticaj elastičnosti podloge na degradaciju geometrije koloseka

Prikazana su evropska iskustva i tehnička rešenja za povećanje veka trajanja i smanjenje troškova održavanja konstrukcije koloseka u zastoru. Cilj rada je da se ukaže na neophodnost primene savremenih tehničkih rešenja konstrukcije koloseka u zastoru i matematičkih modela propadanja stanja koloseka radi smanjenja troškova održavanja.

Na osnovu usvojenih modela može se odrediti optimalna strategija održavanja koloseka. Ukoliko se uvede propisani ritam održavanja koloseka i brušenja šina, može se računati sa propisanim komforom za prevoz putnika, sa manjim troškovima održavanja i dobrim dugoročnim ponašanjem geometrije koloseka.

J. Dražić, Ž. Jakšić, M. Trivunić (FTN, Novi Sad)

Pregled stanja najčešće primenjenih fasada višespratnih stambenih zgrada u Novom Sadu

Jedan od bitnih elemenata strukture višespratnih stambenih zgrada su fasade sa funkcijama: zaštite (fizičke, hemijske, mehaničke) i pregrađivanja (fizičko i vizuelno), kao i sa elementima oblikovanja, estetike. Značajnom delu fasada su umanjene ili poremećene zahtevane performanse. Dat je prikaz stanja primenjivanih struktura fasada višespratnih stambenih zgrada.

Predlaganjem adekvatnih rešenja tehnologije i organizacije izvođenja radova na revitalizaciji fasada obezbedila bi se funkcionalnost fasadnih elemenata (poboljšale termoizolacione karakteristike značajnih sa aspekta troškova grejanja i hlađenja), povećala trajnost i estetske karakteristike objekta.

D. Glavardanov, R. Folić
(Energogroup Beograd, FTN, N. Sad)

Modeli mehanizama oštećenja betonskih elemenata pojačanih FRP elementima

Pojačavanje AB preseka polimernim materijalima ojačanih vlaknima, FRP materijalima se izvodi lepljenjem elemenata na spoljašnju površinu betonskog preseka ili ugradnjom FRP šipki u zaštitni sloj betona. Primenjuje se i prednaprezanje FRP kablovima. Pojačanje uslovljava sprečavanje mehanizma loma u eksploataciji. Zbog toga je važno poznavanje mehanizama loma i kako izbeći njihovu pojavu.

Pojačavanje armirano betonskih preseka FRP materijalima je naročito efikasno u slučajevima relativno male količine zategnute armature u preseku, ali se mora voditi računa o potrebnoj duktilnosti preseka, i o sprečavanju nepoželjnog otkaza preseka usled lošeg kvaliteta izvođenja.

Kod pojačavanja AB ploča sa FRP elementima (trake, lamele, ploče) treba sprečiti lom odlepljivanjem jer ne dozvoljava da se razvije puni kapacitet nosivosti na savijanje. Zbog toga do otkaza najčešće dolazi na krajevima obloge, pa se za njegovo sprečavanje koristi ankerovanje na krajevima ili prednaprezanje.

R. Folić, D. Glavardanov (Fakultet tehničkih nauka, N. Sad, Energogroup Beograd)

Modeli održavanja betonskih konstrukcija ojačanih kompozitima -(FRP) elementima

Za sanacije i pojačavanja betonskih konstrukcija primenjuje se savremeno korišćenje kompozitnih (FRP) elemenata. Mehaničke karakteristike FRP materijala, se razlikuju od materijala BK na kojima se interveniše, jer su FRP krta. Ojačane konstrukcije su izložene dejstvima koja mogu prouzrokovati različita oštećenja. Zbog toga je od značaja redovno osmatranje njihovog ponašanja i procena njenog stanja tokom vremena, jer se nema dovoljno iskustava. U radu se analizuju načini praćenja ponašanja i izbor modela održavanja.

Preporuke za njihovo projektovanje sanacija/pojačavanja se često menjaju. S tim u vezi je i potreba njihovog adekvatnog nadgledanja i održavanja, naročito

AB konstrukcija pojačanih FRP elementima i procena stanja betona, armature i FRP materijala.

Trajnost i performanse u toku korišćenja su ključni faktori za primenu FRP materijala za sanacije/ojačanje betonskih konstrukcija.

I u našoj zemlji je neophodno usvojiti adekvatnu regulativu iz oblasti primene FRP elemenata za projektovanje i izvođenje novih ili pojačavanje postojećih AB konstrukcija kao i njihovog nadgledanja i održavanja.

A. Čeh, K. Kasaš, G. Karaman
(Građevinski fakultet Subotica)

Novi pristup problematici trajnosti betona sa predlogom rešenja određenih tipova korozije

Trajnost betona je zahtev, čija važnost se naglašava već više decenija kome se posvećuje sve veća pažnja prilikom projektovanja i izvođenja betonskih i AB konstrukcija. Štetni uticaji, razni tipovi korozije betona su opšteprisutna pojava. Dat je pregled tendencija razvoja shvatanja i novih preporuka za projektovanje i metode povećanja trajnosti betona. Pprezentovani su rezultati ispitivanja, koja su imala za cilj smanjenje uticaja karbonatizacije na beton i jednog mogućeg rešenja koja bi dala trajnu zaštitu AB konstrukcijama od korozije.

Radom smo želeli da doprinesemo širem razmišljanju, prilazu i rešavanju problematike trajnosti betonskih konstrukcija. Rezultati su pokazali da se hermetički zatvoreni betoni i normalni-etalonski betoni ponašaju vrlo slično, pre svega betoni pravljeni sa cementom CEM II i sa niskim vodocementnim faktorom. Pri većim vodocementnim faktorima razlike su veće, poroznost takvih betona u zatvorenim uslovima veća je od betona očvrslili pod normalnim okolnostima. Treba naglasiti da su rezultati ispitivanja vršena pod laboratorijskim idealnim uslovima.

10 GRAĐEVINSKO-TEHNIČKA REGULATIVA I SISTEM KVALITETA

B. Ivović, L. Marčeta, I. Delić-Nikolić
(Institut IMS, Beograd)

Nove metode za ispitivanje postojanosti kamenog agregata pomoću njegovih toplotnih svojstava

Novousvojeni srpski standardi SRPS EN 1367-5:2007 Određivanje otpornosti agregata prema toplotnom šoku i SRPS EN 1367-3:2008 Ispitivanje agregata bazalta iskuvanjem na znake zonenbrand procesa su dve potpuno nove metode u okviru ispitivanja agregata u našoj zemlji. Cilj ispitivanja je da se utvrdi promena fizičko-mehaničkih svojstava agregata kada su izloženi ekstremno visokim temperaturama.

Cilj je upoznavanje stručne javnosti sa značajnim dešavanjima u oblasti usvajanja evropskih standarda koji se odnose na ispitivanje građevinskog kamena.

Kako se može videti, novousvojeni standardi SRPS EN 1367-5:2007 i 1367-3:2008, bave se novom problematikom ponašanja i ispitivanja agregata, koja kod nas do sada nije zapažana i tumačena. Nije postojao domaći standard koji je ispitivao toplotna svojstva

agregata i njihovo fizičko-mehaničko ponašanje posle termičkih šokova.

Neophodno je opremiti laboratorije koje se bave ispitivanjima i laboratorije proizvođača agregata, opremom i ubaciti vrednosti ispitivanja u domaću tehničku regulativu.

B. Ivović, L. Marčeta, I. Delić-Nikolić
(Institut IMS, Beograd)

Određivanje otpornosti prema habanju prirodnog kamena u skladu sa novom metodom SRPS EN 14157:2008

Novousvojeni srpski standard SRPS EN 14157:2008 definiše metodiku ispitivanja otpornosti prema habanju prirodnog kamena, donosi značajne novine u metodici ispitivanja otpornosti prema habanju prirodnog kamena u odnosu na stari još uvek važeći.

Novousvojeni standard SRPS EN 14157:2008 - Određivanje otpornosti prema habanju kod prirodnog kamena, definiše jednu novu metodu ispitivanja otpornosti prema habanju brušenjem koja se u odnosu na stari standard značajno razlikuje.

R. Vasić, M. Vasić (Institut IMS, Beograd)

Nov evropski standard EN 490:2004 i određivanje usaglašenosti kvaliteta crepova od betona

Dat je prikaz harmonizovanog evropskog standarda EN 490:2004 za crepove i fazonske komade od betona i sistema za određivanje usaglašenosti kvaliteta u skladu sa odredbama direktive CPD/89/106/EEC. Ukazano je na razlike u zahtevima za kvalitet propisane standardom EN 490 i standardom SRPS. Dat je i prikaz sistema za određivanje usaglašenosti kvaliteta crepova od betona.

Na osnovu uporednog prikaza obastandarda konstatuje se da su zahtevi o kvalitetu rigorozniji u standardu SRPS nego u EN.

M. Drpić (Institut IMS, Beograd)

Evropska tehnička regulativa u oblasti toplotne zaštite i zaštite od požara

U skladu sa zahtevom o štednji energije i zadržavanju toplote, građevinski objekat i instalacije za grejanje, hlađenje i ventilaciju moraju biti projektovani i izvedeni tako da nivo potrebne energije bude nizak, uz uvažavanje lokalnih klimatskih uslova. Bitnim zahtevom o sigurnosti u slučaju požara, definiše se strategija požarne sigurnosti.

M. Vasić, M. Arsenović, R. Vasić (Institut IMS, Beograd)

Ispitne metode za proveru kvaliteta crepova od betona EN 491:2004

Dat prikaz ispitnih metoda harmonizovanim sa evropskim standardom EN 491:2004 za crepove i fazonske komade od betona. Ukazano je na razlike u ispitnim metodama koje su propisane standardom EN 491:2004 i standardom SRPS U.N1.210:1984.

Metode za proveru kvaliteta crepova i fazonskih komada od betona u standardu EN 491: 2004 se razlikuju od ispitnih metoda u standardu SRPS U.N1.210:1984. Ispitne metode u važećem SRPS standardu su oštrije u pogledu vodo-nepropustivosti i u pogledu otpornosti prema mrazu.

Po našem mišljenju potrebno je putem nacionalnog dodatka u budućem standardu pooštriti kriterijume u pogledu vodonepropustivosti i trajnosti crepa od betona.

Z. Grdić, I. Despotović, G. Topličić-Ćurčić
(Građevinsko-arhitektonski fakultet, Niš)

Metode ispitivanja SCC betona prema standardu EFCA (evropske asocijacije za beton)

Samougrađujući beton je najrevolucionarnije otkriće u betonskoj industriji u poslednjih nekoliko decenija. Nastala u Japanu, ta tehnologija je omogućena ranijim razvojem superplastifikatora za beton. Sa entuzijazmom prihvaćena širom Evrope, za ugradnju na gradilištu i za prefabrikovan beton. U potpunosti zadovoljava standard EN 206-1 u pogledu zapreminske mase, porasta čvrstoće, finalne čvrstoće i trajnosti. Dat je pregled metoda ispitivanja nekih njegovih svojstava.

Primena samougrađujućih betona kod nas je tek u povoju. Urađena su određena laboratorijska ispitivanja, dalji eksperimentalni rad predstoji u cilju ovladavanja tehnologijom za pouzdano spravljanje betonskih mešavina koje bi se mogle svrstati u kategoriju SCC.

Iz izloženog se vidi razvijen je i predložen veći broj metoda za ispitivanje svojstava svežeg samougrađujućeg betona u cilju ispitivanja sposobnosti tečenja, sposobnosti prolaza između šipki armature i otpornosti na segregaciju

V. Zlatanović - Tomašević
(Visoka građevinsko-geodetska škola - Beograd)

Prikaz strategije razvoja stručnog obrazovanja u Republici Srbiji

Dat je prikaz Strategije razvoja stručnog obrazovanja u Republici Srbiji, koji sadrži celovitu sliku razvoja i stručnog obrazovanja i obuke u Republici i saglasna je sa programima Evropske Unije koji podržavaju modernizaciju i reformu stručnog obrazovanja i obuke.

Obuhvaćen je samo jedan deo iz Strategije dokumenta koji omogućava sagledavanje obrazovanja u Republici Srbiji za duži vremenski period.

Ovaj Simpozijum koji je upriličen u okviru XXIV Kongresa, održan je u saradnji sa Građevinskim fakultetom Univerziteta u Beogradu, pod pokroviteljstvom MINISTARSTVA ZA NAUKU I TEHNOLOŠKI RAZVOJ SRBIJE, koje je finansijski potpomoglo, kao i Inženjerska komora Srbije.

Prof. dr Žorž Popović, dipl.inž.arh.

UPUTSTVO AUTORIMA

Prihvatanje radova i vrste priloga

U časopisu Materijali i konstrukcije štampače 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 prihvaćaju 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. 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 sopusšten 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 sopusštenja po pozivu Organizatora skupa ili sadrže originalne rezultate prvi put objavljene, pa ih je korisno uz određene dopune učiniti dostupnim široj stručnoj javnosti. Štampače se i stručni radovi za koje Redakcioni odbor oceni da su od šireg interesa.

Sinopsis-opsežni sažetak (Extended abstract) predstavlja skraćeni članak na dve strane font 10pt, koji će se štampati na engleskom jeziku za članke pisane na srpskom, a na srpskom jeziku za članke pisane na engleskom jeziku. U njemu se daje sažet opis predmeta i cilja rada, primenjenih metoda i postupaka istraživanja, prikazuju svi originalni rezultati potkrepljeni ilustracijama, kao i popis citirane literature. Objavlivanje Sinopsisa ne isključuje objavljivanje sažetka-rezimea od oko 150 reči uz tekst članka.

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. Recenzenti mogu, kada je to potrebno, direktno kontaktirati sa autorima, da bi se pre pisanja konačne recenzije otklonili eventualni nedostaci u radu. 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 slati, na adresu Redakcionog odbora, otkucan 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 i jednu kopiju svih delova rada i priloga. Uz rukopis se predaje i elektronska kopija teksta fajlova, na disketi ako je

sadržaj pretežno tekst, ili na CD-u ako ima više slika i grafičkih priloga. Autor je obavezan da čuva jednu kopiju rukopisa kod sebe zbog eventualnog oštećenja ili gubitka rukopisa.

Svaka stranica treba da bude numerisana, a optimalni obim članka 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 čitaocima 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-beloj tehnici, 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-beloj tehnici, 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 tabele 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. Literaturu u tekstu označiti arapskim brojevima u uglastim zagradama, kako se navodi i u Popisu citirane literature, napr [1]. 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 stranica poglavlja 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. Sva eventualna objašnjenja i uputstva mogu se dobiti od Redakcionog odbora.

Radovi se mogu slati i na e-mail: folic@uns.ns.ac.yu ili miram@uns.ns.ac.yu

