

ceste i mostovi

GLASILO HRVATSKOG DRUŠTVA ZA CESTE - VIA VITA

STO GODINA MOSTA NA DRAVI- DONJI MIHOLJAC

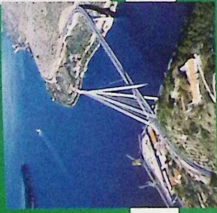
CIM god. 54. br.6 (str. 4-112), Zagreb, studeni/prosinac 2008.
UDK 625.7:624.2/3 > CODEN CSMVB2 > ISSN 0411-6380



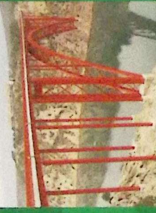
**HRVATSKE
CESTE d.o.o.**

za upravljanje, gradenje i
održavanje državnih cesta

Vončinina 3
10000 Zagreb
Hrvatska



- Prostorna, prometna, tehnička i ekonomska istraživanja i analize
- Programiranje i planiranje razvitka javnih cesta, ukupno projektiranje za državne ceste
- Projektiranje sa istražnim radovima te izrada stručne podloge za lokacijsku dozvolu za autoceste
- Građenje državnih cesta
- Održavanje državnih cesta
- Upravljanje državnim cestama
- Organiziranje financiranja i financiranje gradnje državnih cesta
- Provedba mjera za zaštitu cesta i sigurnost prometa
- Zaštita okoliša od utjecaja prometa na državnim cestama
- Pracenje prometnog opterećenja i prometnih tokova na javnim cestama
- Vodenje jedinstvene banke podataka o javnim cestama



ceste i mostovi

GLASILO HRVATSKOG DRUŠTVA ZA CESTE - VIA VITA

CIM, god. 54, br. 6/2008.

ceste i mostovi

ROADS AND BRIDGES

IZDAVAČ / PUBLISHER

HRVATSKO DRUŠTVO ZA CESTE - VIA VITA
Zagreb, Vončinina 3

PREDSJEDNIK / PRESIDENT

Željko Vivoda
tel. 01/47 22 605 fax 01/47 22 607

E - mail: cim@hdc - via - vita.hr
ceste - i - mostovi@zg.tinet.hr

www.hdc - via - vita.hr

MB 3280004

IZDAVAČKI SAVJET / PUBLISHING BOARD

Predsjednik / Publishing Director
Aleksa Ladavac

Članovi / Members

Mate Jurišić, Zdravko Duplantić, Frane Vrkljan,
Josip Sapunar, Ivan Banjad, Duro Podvezanec,
Luka Miličić, Mate Salaj

UREDNIŠTVO / EDITORS

Urednički odbor / Editorial Board
Glavni i odgovorni urednik / Editor - in - Chief

Miroslav Keller

Izvršni urednik / Executive Editor

Bruno Profaca

Grafički urednik / Layout Editor

Dragutin Novak

Članovi uredničkog odbora / Members of Editorial Board

Mario Crnjak (prostorno i prometno planiranje),
Mario Erdeji (projektiranje), Goran Puž (gradnje), Baldo
Bakalić (održavanje), Marija Glad (zimska služba), Željko

Schwabe (cestovni kolnici i asfaltna tehnologije),
Zlatko Savor (cestovni objekti), Stanišlav Pavlin
(aerodromi), Mladen Gledac (promet), Vladimir Golenić

(informativni sustavi ITS), Branimir Pačković (tehnička re-
gulativa), Bojan Vivoda (zaštita okoliša), Gordana Mijlković
(ekonomske analize), Milos Martinović (legislatura),
Eduard Klusen (hrvatska cestovna baština i estetika cesta)

1

PRETPLATA

Pojedinci 260 kn, poduzeća 1.200 kn (nije uračunat PDV)
Za inozemstvo: pojedinci 90 eura, tvrtke 175 eura

OGLAŠAVANJE

Unutarnja crnobjela: 1/2 stranice 1.500 kn,
1/1 stranica 2.500 kn. Unutarnja u boji: 1/1 stranica
3.000 kn, unutarnja obojna (b) 1/1 stranica 3.750 kn,
zadnja obojna (b) 1/1 stranica 5.500 kn.

Za inozemstvo: unutarnja 1/1 stranica 800 eura,
unutarnja 1/2 stranice 500 eura, 1/4 stranice 300 eura

ZIRO RAČUN: ZABA 236000 - 1101356175

GRAFIČKO OBLIKOVANJE I PRIPREMA ZA TISAK
N DESIGN, Bjelovar

TSKAK

Vjesnik d.d. Zagreb

NAKLADA

1.400 primjeraka

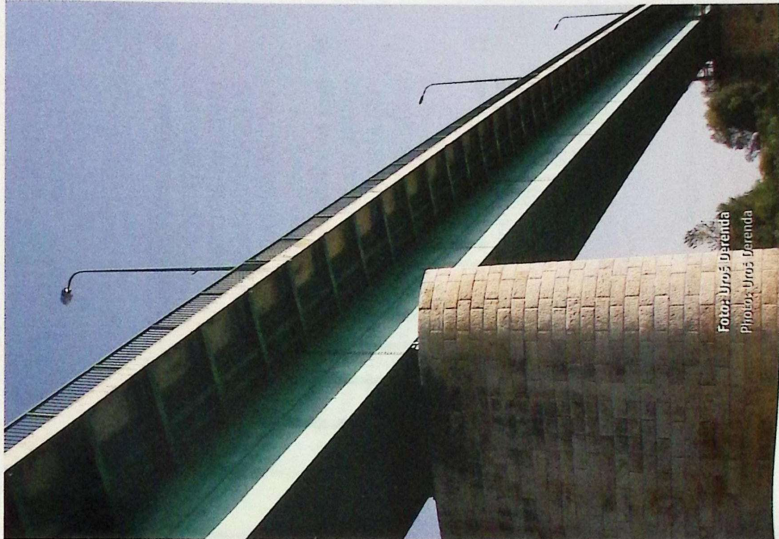


Foto: Uroš Drenča
Photo: Uroš Drenča

cestei mostovi

SADRŽAJ - CONTENTS

5

UVODNIK -
EDITORIAL

Mr.sc. Miroslav Keller, glavni i odgovorni urednik
SEKCIJA ZA MEĐUNARODNU SURADNJU HRVATSKOG
DRUŠTVA ZA CESTE - VIA VITA JE POKRENULA
INICIJATIVU ZA USPOSTAVU SURADNJE S
CESTOVNOM UDRUGOM EUROPSKE UNIJE
SECTION FOR INTERNATIONAL COOPERATION OF CROATIAN
ROAD SOCIETY - VIA VITA TOOK THE INITIATIVE IN ESTABLISHING
COOPERATION WITH THE EU ROAD FEDERATION

6

STRUČNI I ZNANSTVENI ČLANCI -
TECHNICAL AND RESEARCH PAPERS

Prof.dr.sc. Jure Radnić, **doc.dr.sc. Domagoj Matešan**,
prof.dr.sc. Alen Harapin

UTJECAJ KRUTOSTI BETONSKIH GREDA NA
RAZDIOBU MOMENATA SAVIJANJA U PLOČAMA
THE INFLUENCE OF STIFFNESS IN CONCRETE BEAMS ON
DISTRIBUTION OF BENDING MOMENTS IN SLABS

13

Prof.dr.sc. Nenad Gucunski

ODREĐIVANJE OŠTEĆENJA ARMIRANO-BETONSKIH
PLOČA MOSTOVA ISPITIVANJEM BEZ RAZARANJA
DETECTION OF DAMAGES IN RC BRIDGE DECKS BY NON-
DESTRUCTIVE TESTING TECHNIQUES

20

Prof.emer.dr.sc. Ivan Tomičić, **dipl.ing.grad.**

POBOLJŠANA SVOJSTVA
ARMIRANO-BETONSKIH STUPOVA
IMPROVED PERFORMANCE OF
REINFORCED CONCRETE COLUMNS

26

Boris Kuvčić, **dipl.ing.grad.**, **mr.sc. Smiljan Jurić**, **dipl.ing.grad.**
SUSTAV GOSPODARENJA GRABEVINAMA U
"HRVATSKIM AUTOCESTAMA" d.o.o.
MOTORWAY STRUCTURE MANAGEMENT SYSTEM AT
HRVATSKE AUTOCESTE d.o.o.

31

Mr.sc. Željko Schwabe, **dipl.ing.grad.**,
Barbara Popović, **dipl.ing.grad.**

OSVRT NA DIMENZIONIRANJE BETONSKOG KOLNIKA
PRAGA 05 I STAZE ZA VOŽNJU A
UZLETNO-SLETNE STAZE ZRAČNE LUKE ZAGREB
PAVEMENT DESIGN OF RUNWAY THRESHOLD 05 AND
TAXIWAY A OF THE ZAGREB AIRPORT RUNWAY

38

Mr.sc. Boris Huzjan, **dipl.ing.grad.**,
Zdeslav Karlovac, **dipl.ing.geologije**

SPELEOLOŠKI FENOMEN U TUNELU VRATA
SPELEOLOGIC PHENOMENON IN TUNNEL VRATA

44

IZ OBLASTI HRVATSKOG DRUŠTVA ZA CESTE - VIA VITA -
CROATIAN ROAD SOCIETY - VIA VITA - WORK**Dr.sc. Darko Milinarić**, **dr.sc. Krunoslav Perić**

MEĐUNARODNA SURADNJA HRVATSKOG
DRUŠTVA ZA CESTE - VIA VITA
INTERNATIONAL COOPERATION OF CROATIAN ROAD
SOCIETY - VIA VITA



62

SIGURNOST U PROMETU -
ROAD SAFETY**Prof.dr. Mladen Gledeac**, **dipl.ing.**

U BJELOVARU OTVOREN POLIGON ZA BICIKLISTE
BICYCLE GROUNDS OPENED IN BJELOVAR

64

PREHODNO'S MEĐUNARODNIH SAVJETOVANJA -
INTERNATIONAL CONFERENCES SPARKING**Donath Mravira**, **Luis Amador**

OPSEŽNO OPTIMIZIRANJE KOD DUGOROČNOG
PLANIRANJA ZA VIŠE VRSTA IMOVINE
COMPREHENSIVE OPTIMIZATION IN LONG-TERM
PLANNING OVER MULTIPLE ASSET TYPES

78

TURIZAM I PROMET -
TOURISM AND TRANSPORT**Dr.sc. Siniša Horak**, **Zrinka Marušić**

KORIŠTENJE AUTOCESTA DO PRIMORSKIH
TURISTIČKIH ODREĐIŠTA
USING MOTORWAYS TO REACH COASTAL TOURIST
DESTINATIONS

86

ZNAMENITE GRAĐEVINE -
FAMOUS BUILDINGS**Bruno Profaca**, **urednik-novinar**

BARCELONA, GRADITELJSTVO IZ
NAJSMIONIJIH SNOVA
BARCELONA BUILDINGS OUT OF
MOST DARING DREAMS

90

RAZGOVOR -
INTERVIEW

Dr.sc. Jakša Miličić,
POZITIVNI DOMETI
SPLITSKOG
"DISPETA"
POSITIVE REACHES
OF "DEFIANT SPIRIT"
IN SPLIT

RAZGOVORAC: **Bruno Profaca**
SNIMIO: **Nikola Vilić**

96

ŽIVOT I DJELO -
LIFE ACHIEVEMENTS**Dr.sc. Darko Milinarić**

ALEKSANDAR MAKSIMOVIĆ, NEZAOBILAZAN
ORGANIZATOR I DRUŠTVENI DJELATNIK
ALEKSANDAR MAKSIMOVIC, A MASTERMIND AND
A PUBLIC WORKER

100

KNJIGE I CASOPISI -
PUBLICATIONS**Melita Milković**

100 GODINA MOSTA
NA REJECI DRAVI -
DONJI MIHOLJAC
A CENTENARIAN
BRIDGE ON THE DRAVA
RIVER AT DONJI
MIHOLJAC



104

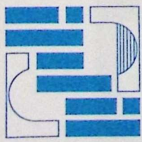
Stanislav Govrečić

IVO PALČIĆ "PAŠKI MOST - IZGRADNJA,
OBRANA, OBNOVA
PAŠKI MOST, TRAJAN SPOMENIK
CJELOVITOSTI LIJEPE NAŠE
THE PAG BRIDGE, A MONUMENT TO THE INTEGRITY
OF OUR BEAUTIFUL HOMELAND

108

Mr.sc. Miroslav Keller

IZVJEŠĆE PIARC-OVOG TEHNIČKOG
KOMITETA C4.1
"PRAKSA GOSPODARENJA CESTOVNOM
IMOVINOM"
PIARC TC C4.1 REPORT
ROAD ASSET MANAGEMENT PRACTICES

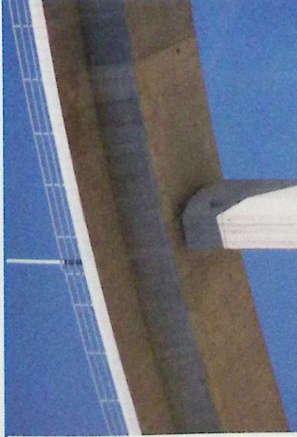


rijekaprojekt
d.o.o. za projektiranje, nadzor i izvođenje
Hrvatska • 51000 Rijeka • Moše Albararija 10a • Tel.: +385 51/344 250
• Fax: +385 51/344 195 • e-mail adresa: rijekaprojekt@rijekaprojekt.com

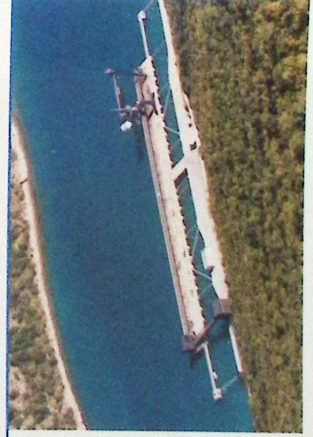
PROMETNICE



VIJADUKTI I MOSTOVI



TUNELI



POMORSKE GRAĐEVINE

Prije nego što se osvrnem na sadržaj ovog broja časopisa "Ceste i mostovi", moram se, u ime uredničkog odbora, ispričati za grešku, koja se dogodila u tiskari tijekom završne pripreme prošlog broja časopisa: na početku časopisa, umjesto uvodnika glavnog urednika, otišnuta je stranica iz jednog od priloga toga broja. Takve ozbiljne pogreške više se neće moći dogoditi.

Vjerujem da je većina hrvatskih cestograditelja uspješno okončala 2008. godinu, a iza njih su ostala vrijedna postignuća u vidu novih kilometara (auto)cesta i na njima izgrađenih zahtjevnih objekata. Ekonomsku i financijsku recesiju, za koju se nadamo da neće imati preteške posljedice na ukupno hrvatsko gospodarstvo i posebice hrvatsku cestogradnju, dočekujemo, srećom, s već gotovo potpuno izgrađenom autocestovnom mrežom.

Preostaje da gospodarstvo u potpunosti iskoristi sve blagodati brze i kvalitetne cestovne povezanosti svih hrvatskih krajeva. Ali isto tako moramo biti svjesni da sve veća i starija cestovna mreža iziskuje i značajna sredstva za održavanje na razini koju njeni korisnici s pravom očekuju.

To je stari/novi izazov za sve cestovne stručnjake koji su prvenstveno usmjereni na održavanje i iziskivat će od njih nova i bolja rješenja za racionalno gospodarjenje tom pojedinačno možda najvrednijom imovinom Republike Hrvatske.

U ovom broju časopisa donosimo već uobičajene rubrike. U bloku stručnih i znanstvenih radova objavljujemo šest članaka različitih tema: dva rada obraduju utjecaje svojstava betona na ponašanje cestovnih objekata, dva rada obraduju temu gospodarenja objektima na cestovnom sustavu, jedan rad se osvrće na probleme dimenzioniranja betonskih uzletno-sletnih staza u zračnim lukama, a jedan rad opisuje speleološki fenomen u tunelu Vrata.

Smatram potrebnim naglasiti da je jedan od navedenih radova priredio dr. Guncsi iz Sjedinjenih Američkih Država, opisujući tamošnja iskustva u nerazornom ispitivanju oštećenja armirano - betonskih ploča mostova.

Donosimo i opširniji prilog iz rada Hrvatskog društva za ceste Via-Vita. Sekcija za međunarodnu suradnju Hrvatskog društva za ceste - Via Vita pokrenula je inicijativu za uspostavu suradnje s Cestovnom udrugom Europske unije. Time ipak pokazujemo da smo i glasilo tog društva. Želio bih da takovih priloga bude više i česće, jer to sigurno zanima široki krug naših čitatelja.

I u ovom broju nastavljamo s rubrikom Radovi s međunarodnih savjetovanja, koja donosi pretske (i prijevod) zanimljivih radova stranih stručnjaka na međunarodnim skupovima - ovaj put o gospodarenju cestovnom imovinom u Kanadi. Kao što sam uvodno naglasio, ta tema će i u nas postajati sve aktualnija i iziskivati značajna poboljšanja u godinama koje dolaze.

U rubrici Sigurnost u prometu donosimo zanimljiv prilog o izgradnji poligona za obuku biciklista u Bjelovaru, pogotovo onih najmlađih i najugroženijih u prometu. Hvale vrijedan projekt.

U rubrici Razgovor predstavljamo vam poznato ime naše cestovne struke - dr.sc. Jakšu Milčića, utemeljitelja splitskog Građevinskog fakulteta i dvostrukog laureata nagrade za životno djelo.

U rubrici Knjige i časopisi objavljujemo osvrtne na tri publikacije, od kojih je jedna završno izvješće PIARC-ovog Tehničkog komiteta C4.1 pod nazivom „Asset Management Practice“ (u prijevodu - „Praksa gospodarenja cestovnom imovinom“), kao rezultat njegovog četverogodišnjeg rada (2004. - 2007.), odnosno radne grupe unutar tog tehničkog komiteta zadužene za temu 4.1.1. Promocija gospodarenja cestovnom imovinom.



Mr. sc. Miroslav Keller, dipl. ing. građ.
Glavni i odgovorni urednik

SEKCIJA ZA MEĐUNARODNU SURADNJU HRVATSKOG DRUŠTVA ZA CESTE - VIA VITA JE POKRENULA INICIJATIVU ZA USPOSTAVU SURADNJE S CESTOVNOM UDRUGOM EUROPSKE UNIJE

Prof.dr.sc. Jure Radnić, Doc.dr.sc. Domagoj Matešan,
Prof.dr.sc. Alen Harepin

UTJECAJ KRUTOSTI BETONSKIH GREDA NA RAZDIJEBU MOMENATA SAVIJA- NJA U PLOČAMA

1. Uvod

U praksi se koristi više proračunskih modela za proračun betonskih ploča u zgradastruktu, među kojima najčešće tri niže navedena modela koja su grafički interpretirana na slici 1.

(a) Uz pretpostavku da su oslonci ploče vertikalno nepopustljivi i da oko njih ploča može slobodno rotirati, pretpostavljajući preraspodjelu momenata savijanja u odnosu na proračun prema teoriji elastičnosti, mnogi iskusni inženjeri koriste tzv. efikasan "ručni" proračun momenata savijanja u pločama, temeljen na dobro poznatim rješenjima samostalnih križnih ploča ili ploča (nosaca) koje nose u jednom smjeru (slika 1b). Kod toga se redovito proračunava samo manji broj mjerodavnih presjeka ploča u poljima i iznad ležajeva, dok se najveći broj ploča armira na temelju dobivenih rezultata za odabrane mjerodavne presjeke. Iskusi inženjeri manje vremena posvećuju često dvojbjenim proračunima temeljenim na idealiziranim modelima, a više adekvatnom konstruiranju armature jer se tako mogu obuhvatiti i mnogi drugi važni utjecaji koje ne mogu simulirati ni mnogi sofisticirani proračunski modeli.

(b) Uz pretpostavku da su oslonci ploče vertikalno nepopustljivi i da ploča oko njih može slobodno rotirati, često se koriste proračunski modeli i odgovarajućim računskim programima za proračun betonskih ploča na bazi metode konačnih elemenata (MKE) i elastičnih svojstava betona (slika 1b). Kod toga, mnogi računski programi imaju kvalitetne procesore za jednostavno i brzo definiranje proračunskog modela konstrukcije te jednostavni grafički (vizualni) prikaz rezultata proračuna.

(c) Mnogi proračunski modeli i odgovarajući računski programi na bazi MKE i uz pretpostavku elastičnog ponašanja betona, uključuju štapne elemente i elemente ploče (slika 1c.). Veliki broj takvih računskih programa također imaju kvalitetne procesore za brzo definiranje proračunskih modela konstrukcije i efikasni prikaz dobivenih rezultata. Tim se modelima mogu istovremeno računati štapne i plošne konstrukcije, odnosno, pri proračunu ploče može se uključiti utjecaj deformabilnosti greda na unutarnje sile u ploči.

Koristeći velike mogućnosti računskih programa koji mogu kombinirati različite elemente konstrukcije (štapove, ploče, 2D elemente, 3D elemente, kabele i s.), uz pomoć moćnih računala, mnogi mladi inženjeri često formiraju samo jedan složeni globalni prostorni model nosive konstrukcije građevine, kojeg koriste za proračun sile u sustavu od različitih opterećenja i djelovanja. Takvim pristupom neki elementi konstrukcije često nisu ispravno proračunati, odnosno, imaju manju proračunsku sigurnost od potrebne.

Isto tako, kod nekih se elemenata često dobiva neodgovarajuća raspodjela unutarnjih sila. Takvim se modelom pretpostavlja da je konstrukcija nastala odjednom, a ne postupno u fazama. Zbog često precijenjene krutosti spoja elemenata i pravilu se dobivaju veći momenti savijanja na mjestima uklještenja elemenata i manji momenti savijanja u poljima elemenata. Kad se uz to zna da teorija elastičnosti u pravilu daje veće momente savijanja na ležajevima i manje momente savijanja u poljima nosaca od stvarnih, lako se može zaključiti da su takvim pristupom podcijenjeni momenti savijanja u poljima nekih elemenata.

Krajnja posljedica takvog pristupa su velike preraspodjele sile u konstrukciji i neujednadena sigurnost elemenata konstrukcije. Proračun ploča na vertikalno opterećenje u takvom globalnom modelu je primjer njegove neadekvatnosti za proračun "lokalnih" elemenata. Naime, u takvim se modelima često uzima da su ploče kruto vezane s gredama i zidovima, pa tako i s onima na rubovima objekta. Zbog protezanja zida kroz gornje etaže, stupanj uklještenja ploče u zid u tom je slučaju precijenjen u odnosu na stvarno stanje.

Konstruiranju armature ploča i drugih konstrukcijskih elemenata u glavnim pro-

Medutim, u slučajevima malih visina greda u odnosu na njihov raspon, odnosno u slučajevima većih relativnih progiba greda, preraspodjelu sile između ležajeva i polja ploče treba obuhvatiti bez obzira na korištenje modela proračuna.

Progibi greda su najveći u poljima i na krajevima konzola, dok prema osloncima oni istezavaju. Kako je ploča vezana s gredom, njeni će progibi pratiti progib greda. Očito je, da će preraspodjela sile u ploči između ležajeva i polja biti najveća u područjima najvećih progiba greda, a najmanja u područjima oslonaca greda iznad stupova i zidova. Ako se usvoje drastično manje savojne krutosti greda od uobičajenih za predmetne raspone i opterećenja, oblici dijagrama momenata savijanja u ploči mogu tada biti potpuno različiti od onih za nepopustljive oslonce ploče.

3. Utjecaj torzijske krutosti greda na razdiobu momenata savijanja u ploči

U modelima (a) i (b) iz točke 1., ploče se računaju uz pretpostavku da slobodno rotiraju oko oslonaca. Ako je ploča oslonjena na gredu i s njom kruto vezana, zbog njene torzijske krutosti (ako se moment torzije može prenijeti na osloncima greda) ploča ne može slobodno rotirati oko greda. Odnosno, torzijska krutost greda smanjuje kutove zaokreta ploče oko greda. Sto je veća veća torzijska krutost, to je veće njeno optiranje slobodnoj rotaciji ploče.

Grede male torzijske krutosti značajno ne sprječavaju rotaciju ploče oko oslonaca. Stoga se kod takvih greda može koristiti pretpostavka o slobodnoj rotaciji ploče oko ležajeva bez većih negativnih posljedica. Međutim, pri proračunu ploča koje su oslonjene na grede veće torzijske krutosti, ovi činjenicu treba uzeti u obzir.

Kad je ploča oslonjena na torzijski krutu rubnu gredu, u ploči će se javljati negativni momenti savijanja iznad greda od vertikalnog opterećenja. Radi toga će doći do smanjenja momenata savijanja u rubnom polju ploče i iznad susjednog ležaja. Istovremeno, u gredi će se javiti torzijski momenti koje treba preuzeti s odgovarajućim armaturom.

Kad je ploča oslonjena na torzijski krute unutarnje grede, u poljima ploče bit će manji pozitivni i manji negativni momenti savijanja, nego za slučaj greda male torzijske krutosti. Slobodna rotacija ploče oko greda

jeklima mnogi mladi inženjeri u pravilu ne pridaju potrebnu važnost. Naglasak se redovito stavlja na proračun, koji je ponekad (kao za prethodno navedeni slučaj) pogrešan, a konstruiranje armature (koje može obuhvatiti mnoge netočnosti proračunskog modela) se većinom zapostavlja.

Pri izradi armaturnih planova, u mnogim se slučajevima armatura konstruira tako da nisu zadovoljene postavke proračuna iz glavnog projekta i da nije postignuta podjednaka sigurnost svih konstrukcijskih elemenata. Posljedica toga može biti pojava pukotina u betonu i drugih oštećenja konstrukcije zbog velikih preraspodjela sile i drugih utjecaja koji nisu obuhvaćeni projektom konstrukcije. Ova problematika zavrjeđuje posebnu pažnju, ali o njoj ovdje dalje neće biti riječi.

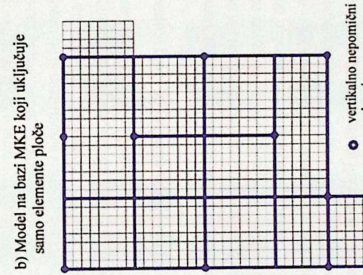
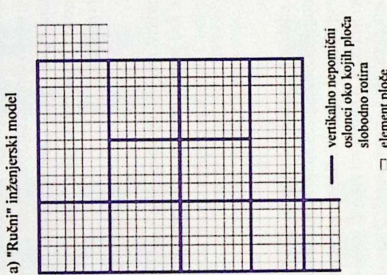
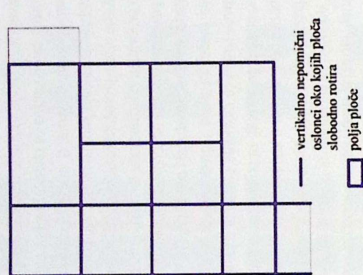
U ovom je radu analiziran utjecaj savojne i torzijske krutosti greda, tj. utjecaj progiba i uvijanja greda, na raspodjelu momenata savijanja u nekim betonskim pločama.

2. Utjecaj savojne krutosti greda na razdiobu momenata savijanja u ploči

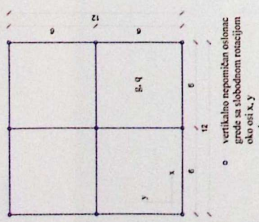
Kad nema slijezanja temeljnog tla, oslonci ploče iznad zidova su vertikalno nepopustljivi. Oslonci ploče iznad greda su vertikalno popustljivi. Progibi greda ovise o njenoj savojnoj krutosti. Grede velike savojne krutosti imaju male progibe, dok su progibi greda male savojne krutosti značajni.

Zbog progibanja greda općenito dolazi do smanjenja momenata savijanja u poljima i do povećanja momenata savijanja iznad ležajeva ploča od vertikalnih opterećenja. Kad su grede male savojne krutosti, ova je preraspodjela momenata savijanja značajna i treba je uključiti pri proračunu ploča. Ako se pri njihovom proračunu koristi model (c) iz točke 1., utjecaj progibanja greda na momente savijanja u ploči uključen je izravno.

Pri tome, treba voditi računa da se adekvatno modelira savojna krutost štapnog elementa grede koji je povezan s pločom. Ako se za proračun ploče koriste modeli (a) i (b) iz točke 1., treba adekvatno obuhvatiti utjecaj progibanja greda na preraspodjelu momenata savijanja između oslonaca i polja ploče. Kad su odnosi visine i raspone greda u uobičajenim granicama, koje osiguravaju relativno male progibe greda u odnosu na njihov raspon, utjecaj popustljivosti greda nema praktičnog značaja na preraspodjelu momenata savijanja u ploči.

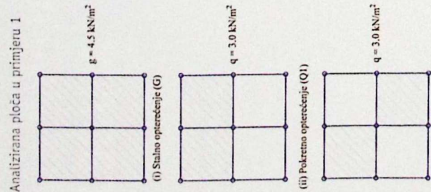


Slika 1. Grafička predodžba nekih najčešće korištenih modela proračuna ploča na primjeru neke mediatkatne konstrukcije

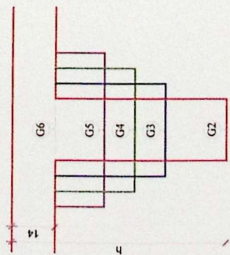


Slika 2. Analizirana ploča u primjeru 1

o vertikalno nepomičan oslonac grede sa slobodnim naslonjem oko osi x, y
 debljina ploče 14 cm
 beton C 25/30
 $E_{beton} = 31.000 \text{ MPa}$
 grede imaju jednaku visinu i težinu
 $q = 4.5 \text{ kN/m}^2$ – sabirno opterećenje
 $q = 3.0 \text{ kN/m}^2$ – pokretno opterećenje



Slika 3. Razmatrani slučajevi opterećenja za primjer 1



gredu:	b/h	vrlo visoke grede
G1	20/70 cm	
G3	30/50 cm	
G4	40/40 cm	
G5	50/30 cm	
G6	nema grede	

Slika 4. Razmatrani presjeci grede u primjeru 1

odgovara slučaju kad greda nema torzijsku krutost. Ako je u proračunski model grede uključena njihova torzijska krutost, grede treba dimenzionirati na proračunske momente torzije.

Kod grede okvira i ravninskih roštilja torzija je najčešće kompatibilna (sekundarna), tj. takva da nije nužno za ravnotežu sila u sustavu. U nekim je slučajevima torzija primarna, tj. nužna za uspostavu ravnoteže sila u konstrukciji. U slučaju kompatibilne torzije, torziju (torzijsku krutost) grede nije nužno proračunsku uključiti [1]. U tom je slučaju potrebno samo predviđjeti odgovarajuću torzijsku armaturu radi ograničenja širina pukotina u betonu od torzije. U slučaju ravnotežne torzije, torziju grede je nužno proračunski obuhvatiti [1].

Ako se u proračunski model za ploče i grede uključuje torzijska krutost grede, što u pravilu smanjuje momente savijanja u poljima ploča, grede je potrebno adekvatno armirati za prihvat proračunskih momenata torzije bez obzira da li se radi o kompatibilnoj ili ravnotežnoj torziji. Ako se u proračunski model za ploče i grede ne uključuje torzijska krutost grede, dobivaju se veći pozitivni momenti savijanja u poljima ploča od stvarnih, što je na strani veće sigurnosti za polja.

Međutim, za taj se slučaj dobivaju manji negativni momenti savijanja u ploči iznad rubnih ležajeva i manja sigurnost grede na torziju. Radi sprječavanja pukotina u ploči i gredi, u tom slučaju treba predviđjeti odgovarajuću armaturu ploče iznad rubnih ležajeva i odgovarajuću torzijsku armaturu grede.

4. Primjeri

Analizirani su dva praktična primjera proračuna ploča s različitim proračunskim modelima. Kod tog su u primjeru 1 analizirane križno armirane ploče, a u primjeru 2 ploče koje pretežno nose u jednom smjeru.

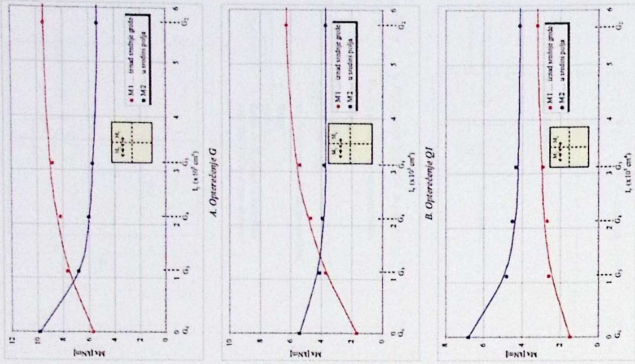
4.1 Primjer 1

Analiziran je utjecaj odabranih proračunskih modela, tj. utjecaj modeliranja savojne i torzijske krutosti grede na razdiobu momenata savijanja u međukatnoj ploči prema slici 2. Razmatrane sheme opterećenja prikazane su na slici 3, a razmatrani presjeci grede na slici 4. Greda G1 odgovara slučajevima iznimno visokih grede, kod kojih su progibi zanemarivi. Greda G2 je relativno visoka grede malih progiba. Greda G3 je uobičajene visine za promatrani problem, s umjerenim progibima. Greda G4 je nešto manje visine od uobičajene za promatrani problem, ali velike torzijske krutosti. Visina grede G5 je oko donje granice za predmetni problem, dok G6 odgovara slučaju kad nema grede (ploča oslonjena izravno na stupove).

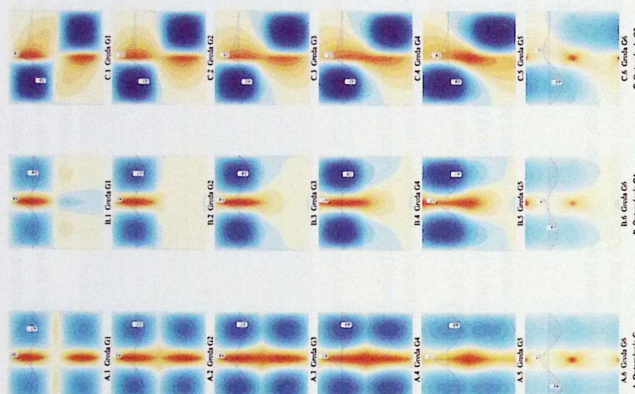
4.1.1 Momenti savijanja u ploči za različite savojne krutosti grede

Uzeto je da grede nemaju torzijsku krutost, tj. da ploča slobodno rotira oko grede. Istražen je utjecaj različitih savojnih krutosti grede na raspodjelu momenata savijanja u ploči. Za savojnu krutost grede uzeta je krutost samo njihovog čistog betonskog presjeka (bez doprinosa krutosti ploče i armature u gredi i ploči, te bez smanjenja krutosti grede zbog pojave pukotina u betonu i puzanja betona). Uzeta je jednaka savojna krutost po dužini grede (tablica 1). Stvarnu savojnu krutost grede je teško odrediti, jer ona ovisi o velikom broju parametara. Ova problematika zavrijeduje posebno razmatranje, ali o njoj ovdje neće biti riječi.

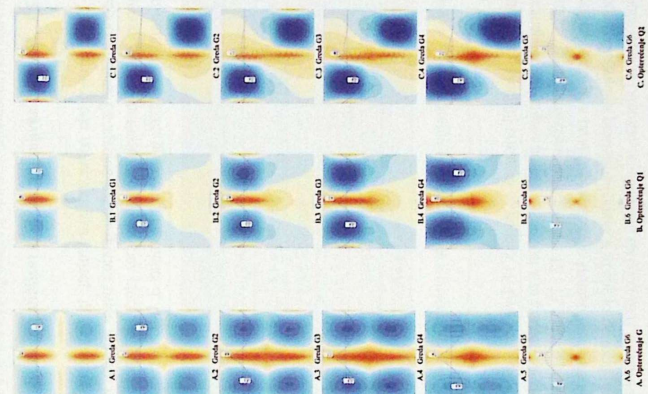
Za razmatranje predmetne problematike važniji je utjecaj odnosa navedenih krutosti grede iz tablice 1, nego stvarne krutosti pojedinih grede (koje su promjenjive po dužini grede i promjenjive u vremenu). Za odabranu prostornu diskretizaciju ploča i grede, unutarne sile u sustavu izračunate su s pomoću [6]. Dobiveni momenti savijanja u



Slika 6. Ovisnost maksimalnih momenata savijanja u ploči u smjeru osi x za primjer 1 o savojnoj krutosti grede



Slika 5. Momenti savijanja u ploči u smjeru osi x [kNm/m] za primjer 1 u ovisnosti o savojnoj krutosti grede



Slika 7. Momenti savijanja u ploči u smjeru osi x [kNm/m] za primjer 2 u ovisnosti o torzijskoj krutosti grede

Grede	I_p [cm ⁴]
G ₁	$x = x_p$
G ₂	$571.667 = 5.1 I_{p0}$
G ₃	$312.500 = 2.8 I_{p0}$
G ₄	$213.333 = 1.9 I_{p0}$
G ₅	$112.500 = I_{p0}$
G ₆	$0 = 0 I_{p0}$

Tablica 1. Savojna krutost razmatranih grede u primjeru 1

savojne krutosti grede veći su momenti savijanja u polju ploče od onih iznad srednje grede, dok je za veće savojne krutosti grede stanje suprotno (osim za opterećenje Q2). Promjena maksimalnih vrijednosti momenata savijanja za ovaj je primjer vrlo velika (čak ako se i izuzme slučaj G6 - kad nema grede, tj. kad je ploča izravno oslonjena na srednji stup).

4.1.2 Momenti savijanja u ploči za različite torzijske krutosti grede

Analizirano je kako uključivanje torzijske krutosti grede utječe na promjenu momenata savijanja u ploči koji su dobiveni u točki 4.1.1. Za torzijsku krutost grede uzeta je krutost njihovog "čistog" beton-