



DEPARTMAN ZA  
GRAĐEVINARSTVO  
I GEODEZIJU

**arh.ns**  
DEPARTMAN ZA ARHITEKTURU I URBANIZAM

**15** **iNDiS 2021**  
Međunarodna naučna konferencija  
International Scientific Conference

ZBORNİK RADOVA  
Novi Sad, Srbija, 24-26. novembar 2021.

PROCEEDINGS  
Novi Sad, Serbia, 24-26 November 2021

Organizaciju Konferencije i izdavanje Zbornika radova pomogli su suorganizatori i donatori  
Konferencije svojim priložima

- Urednici:** Prof. dr Vlastimir Radonjanin, dipl.inž.građ.  
V. prof. dr Vladimir Vukobratović, dipl.inž.građ.  
V. prof. dr Ivan Lukić, dipl.inž.građ.
- Tehnička organizacija skupa:** Departman za građevinarstvo i geodeziju, Fakultet tehničkih  
nauka, Novi Sad
- Tehnički urednik zbornika radova:** Ivan Lukić
- Izdavač:** Departman za građevinarstvo i geodeziju, Fakultet tehničkih  
nauka, Novi Sad
- Štampa:** Departman za grafičko inženjerstvo i dizajn, Fakultet  
tehničkih nauka, Novi Sad

CIP - Katalogizacija u publikaciji  
Biblioteke Mатице српске, Нови Сад

69.05(082)(0.034.4)  
624(082)(0.034.4)  
72:502.1(082)(0.034.4)

**МЕЂУНАРОДНА научна конференција Планирање пројектовање, грађење и обнова  
градитељства ИНДИС (15 ; 2021 ; Нови Сад)**

Zbornik radova [Elektronski izvor] = Proceedings / 15. međunarodna naučna konferencija  
Planiranje projektovanje, građenje i obnova graditeljstva iNDiS 2021, Novi Sad, 24-26. novembar  
2021. = 15th International Scientific Conference Planning, Design, Construction and Building  
Renewal [iNDiS], Novi Sad, 24-26 November 2021 ; urednici V. Radonjanin, V. Vukobratović, I. Lukić.  
- Novi Sad : Fakultet tehničkih nauka, Departman za građevinarstvo i geodeziju, 2018. - 1 elektronski  
optički disk (CD-ROM) : tekst, ilustr. ; 12 cm

Sistemske zahteve: Nisu navedeni. - Nasl. sa naslovnog ekrana. - Elektronska publikacija u formatu  
pdf opsega 1131 str. - Bibliografija uz svaki rad. - Rezime na engl. jeziku uz svaki rad.

ISBN 978-86-6022-253-6

а) Индустијска градња -- Зборници б) Грађевинске конструкције -- Зборници в) Архитектура --  
Еколошка градња -- Зборници

COBISS.SR-ID 51562505

## **PROGRAMSKI ODBOR**

Prof. emeritus dr Radomir Folić,  
predsedavajući  
Prof. dr Vlastimir Radonjanin  
Prof. dr Srđan Kolaković  
Prof. dr Đorđe Lađinović  
Prof. dr Milan Trivunić  
Prof. dr Mitar Đogo  
Prof. dr Mirjana Malešev  
Prof. dr Jelena Atanacković-Jeličić  
Prof. dr Milena Krklješ  
Prof. dr Igor Maraš  
Prof. dr Mirjana Laban  
Prof. dr Vladimir Bulatović

## **ORGANIZACIONI ODBOR**

Prof. dr Vlastimir Radonjanin, predsedavajući  
Prof. dr Mirjana Malešev  
Prof. dr Milena Krklješ  
V. prof. dr Ivan Lukić  
V. prof. dr Igor Peško  
V. prof. dr Vladimir Vukobratović  
Doc. dr Vesna Bulatović  
Doc. dr Slobodan Kolaković  
Doc. dr Miloš Šešlija  
Doc. dr Slobodan Šupić  
Doc. dr Marko Marković

## **NAUČNI KOMITET**

Atanacković –Jeličić Jelena,  
Srbija  
Balasz Gyorgy, Mađarska  
Banchila Radu, Rumunija  
Bešević Miroslav, Srbija  
Bjegović Dubravka, Hrvatska  
Broćeta Gordana, BiH  
Bulatović Vladimir, Srbija  
Ćirović Goran, Srbija  
Cvetkovska Meri,  
Makedonija  
Dan Daniel, Rumunija  
Dinulović Radivoj, Srbija  
Đogo Mitar, Srbija  
Folić Radomir, Srbija  
Forde Michael C., Engleska  
Gocevski Vlado, Kanada  
Grdić Zoran, Srbija  
Ignjatović Ivan, Srbija  
Ivanov Radan , Bugarska  
Ivanov Yatchko, Bugarska  
Jakimov Todor, Bugarska

Janković Ksenija, Srbija  
Knežević Miloš, Crna Gora  
Kolaković Srđan, Srbija  
Kovačević Dušan, Srbija  
Kovler Konstantin, Izrael  
Krklješ Milena, Srbija  
Kukaras Danijel, Srbija  
Kurtović-Folić Nađa, Srbija  
Kusunoki Koichi, Japan  
Kuzmanović Vladimir, Srbija  
Lađinović Đorđe, Srbija  
Laban Mirjana, Srbija  
Lakušić Stjepan, Hrvatska  
Legat Andraž, Slovenija  
Liolios Asterios, Grčka  
Lučić Duško, Crna Gora  
Malešev Mirjana, Srbija  
Maraš Igor, Srbija  
Marinković Snežana, Srbija  
Marković Zlatko, Srbija  
Markovski Goran,  
Makedonija

Markulak Damir, Hrvatska  
Milašinović Dragan, Srbija  
Merta Ildiko, Austrija  
Milojević Brankica, BiH  
Netinger Ivanka, Hrvatska  
Partov Doncho, Bugarska  
Popović Predrag, SAD  
Prokić Aleksandar, Srbija  
Radonjanin Vlastimir, Srbija  
Reba Darko, Srbija  
Shlicke Dirk, Austria  
Šajna Aljoša, Slovenija  
Šumarac Dragoslav, Srbija  
Tomažević Miha, Slovenija  
Trivunić Milan, Srbija  
Valeriu Stoian , Rumunija  
Varevac Damir, Hrvatska  
Veljković Milan, Holandija  
Vukobratović Vladimir, Srbija  
Zenunović Damir, BiH

Slobodan RANKOVIĆ<sup>1</sup>

Mladen MILINKOVIĆ<sup>2</sup>

Todor VACEV<sup>3</sup>

Žarko PETROVIĆ<sup>4</sup>

Bojan MILOŠEVIĆ<sup>5</sup>

## PRIMENA FEROCEMENTA ZA IZRADU PREFABRIKOVANIH ELEMENTATA I ISPITIVANJE NJIHOVE NOSIVOSTI PROBNIM OPTEREĆENJEM

**Rezime:** U radu su prikazane osnovne karakteristike ferrocementa kao materijala (kompozita) i mogućnosti njegove primene u građevinarstvu, pre svega u konstruktivnom smislu. Na primeru praktične primene kod prefabrikovanih elemenata (koruba), koje se koriste kao ispuna pri izradi višenamenskih hala, prikazane su osnovne mehaničke karakteristike. Prikazani su rezultati merenja lokalnih i globalnih deformacija pod uticajem probnog opterećenja i data njihova analiza. Izvedeni su zaključci u pogledu deformacija (ugiba) i napona pri eksploatacionom opterećenju i pri ispitivanju do loma.

**Ključne reči:** ferrocement, ispitivanje, tipski prefabrikovani elementi

## APPLICATION OF FERROCEMENT FOR THE PRODUCTOIN OF PRECAST ELEMENTS AND EXAMINATION OF THEIR BEARING CAPACITY USING TEST LOAD

**Abstract:** The paper presents basic characteristics of the ferrocement as a composite material, and the possibilities of its application dominantly in building structures. Its basic mechanical characteristics are presented on an example of practical use of precast elements (waffle slabs) used as infill in multi-purpose halls. Results of measuring of local and global deformations under test load, and their analysis are presented. Conclusions regarding deformations (deflections) at service and ultimate load are given.

**Key words:** ferrocement, testing, standardized precast elements

---

<sup>1</sup>dr, docent/Građevinsko-arhitektonski fakultet, Niš /Srbija, e-mail: rankovics@gmail.com

<sup>2</sup>inž.el. /Milinkovic Company/ Beograd/, e-mail: Milinkovicco@gmail.com

<sup>3</sup>dr, v. prof./Građevinsko-arhitektonski fakultet, Niš, e-mail: todor.vacev@gaf.ni.ac.rs

<sup>4</sup>dr, docent/Građevinsko-arhitektonski fakultet, Niš /Srbija, e-mail: zarko.petrovic@gaf.ni.ac.rs

<sup>5</sup>dr, docent/ Fakultet za mašinstvo i građevinarstvo u Kraljevu, Univ. u Kragujevcu, e-mail: prodic\_80@yahoo.com

## 1. UVOD

Ferocement je tanak kompozit koji sadrži slojeve žičane mreže relativno malog prečnika otvora utopljene u matricu maltera [1]. Mreža može biti načinjena od metala ili nemetalnih materijala, kao što su sintetička i prirodna vlakna. Ovom vrstom kompozita rešavaju se brojni problemi primene diskretizovanih armaturnih šipki od čelika ili FRP elemenata [6]. Ferocement nudi brojne poželjne karakteristike kao što su: čvrstoća, žilavost vodonepropustljivost, lakoća, otpornost na spoljne uslove, trajnost i povoljna cena [5]. Može se reći da objedinjena ova svojstva nije moguće sresti kod drugih materijala danas, pa je za očekivati da će ferocement postati sve zastupljeniji tanki armirani materijal u stanogradnji i izradi privrednih objekata [1].

U konkretnom slučaju radi se o originalnoj primeni ferocementa za izradu tipskih elemenata (koruba), koji se koriste kao ispuna kod izrade tipske hale čiju noseću strukturu čine armiranobetonski nosači lučnog oblika povezani sekundarnim, takođe armiranobetonskim, nosačima [3]. Preko ove ispune nalazi se sloj za izolaciju od simplrolita, koji ujedno predstavlja i završni sloj. Neki ferocementni elementi (korube) imaju kružne otvore (prozore), za osvetljenje i ventilaciju [5].

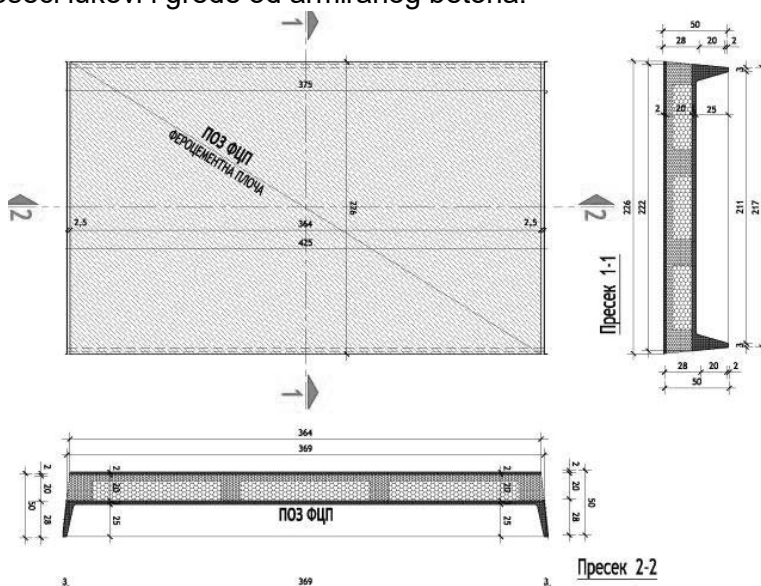
Karakteristike ovakve (originalne) hale od ferocementnih elemenata, koju proizvodi Milinković company, su brza i jeftina gradnja, odlična seizmička stabilnost, dobra zvučna i hidro izolacija [3,7]. Nabrojane prednosti preporučuju ovaj sistem gradnje za mnoge vrste industrijskih objekata i naročito sportske hale.

## 2. TEHNIČKI OPIS ISPITIVANIH FEROCEMENTNIH ELEMENATA

### 2.1. Ferocementni elementi

Ispitivana konstrukcija je montažni tipski element izrađen od ferocementa, materijala koji predstavlja kompozit sastavljen od sitnozrnog betona i više slojeva tanke žice ("rabc"-a). Sastavni deo elementa čine termoizolacioni i protivpožarni sloj od "simplrolita" (mešavina kuglica od stiropora i sitnozrnog betona) i završni sloj od sitnozrnog betona (*slika 1*).

Ovi elementi ugrađuju se u objekat (tipsku halu) i imaju ulogu oplata i ispune konstruktivnog sistema koji čine noseći lukovi i grede od armiranog betona.



Slika 1 – Osnova i preseci ispitivanog elementa od ferocementa.

## 2.2. Komponente ferocementa

Sitnozrni, tankoslojni beton, armiran je sa više slojeva tanke žičane mreže. U poprečnom preseku sadrži malo razmaknute homogeno raspoređene slojeve žičane mreže koji su utopljeni u cementnu matricu. Sastav ferocementa čine sledeće komponente:

- Žičane mreže: Prečnik žice:  $0.5\text{mm} \leq \varnothing \leq 1.5\text{mm}$   
Broj slojeva: do 6 / cm debljine elementa  
Učešće: do 8% zapremine elemenata
- MATRICA: Portland cement 42,5R  
Pesak:  $0.25\text{mm} \leq d_p \leq 2\text{mm}$   
 $1 \leq \text{pesak/cement} \leq 2.5$  težinski  
 $0.35 \leq \text{voda/cement} \leq 0.6$  težinski

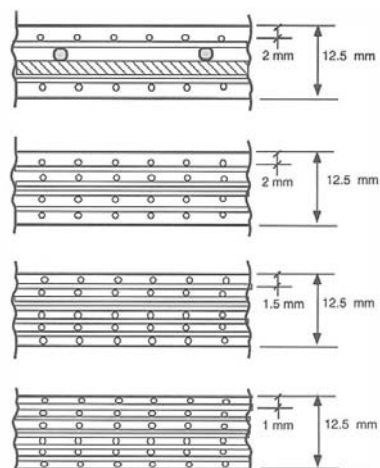
- ADITIVI:

Superplastifikatori:

Hiperplastifikator na bazi modifikovanih polikarboksilata za proizvodnju livenih prefabrikovanih elemenata visoke čvrstoće

Aditivi za VDP betone:

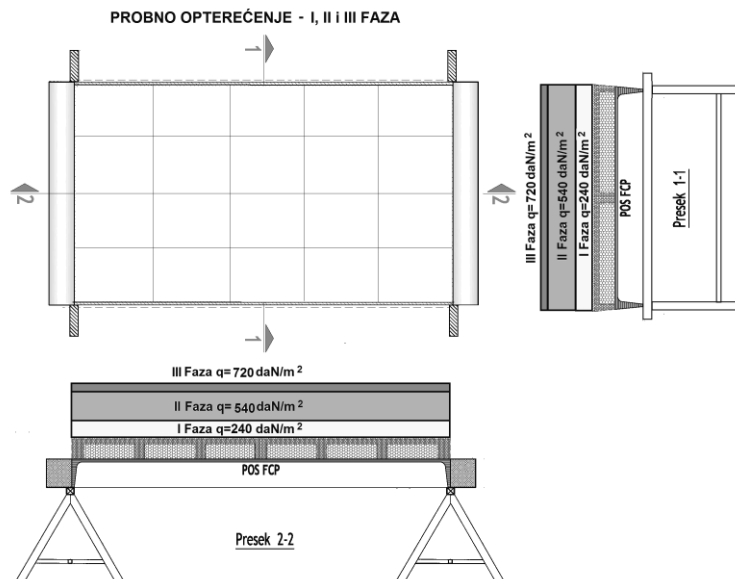
Hiperplastifikator na bazi modifikovanih polikarboksilata za transportne betone u svim vremenskim uslovima



## 3. ISPITIVANJE NA UTICAJE PROBNOG OPTEREĆENJA

Ispitivanje na uticaj zamenjujućeg (probnog) opterećenja sprovedeno je u skladu sa propisima za ovu vrstu radova SRPS U. M1. 047 [9]. Merenja su sprovedena za uticaje usled statičkog opterećenja (po fazama).

Metodom slobodnog uzorka odabrana su dva tipska elementa za ispitivanje na uticaj probnog (zamenjujućeg) opterećenja [4]. Radi simuliranja realnih uslova u eksploataciji po kraćoj strani je ferocementna ploča povezana sa AB trapeznom gredom na koju se u sistemu lukova i greda oslanjaju elementi od ferocementa. Oslanjanje elemenata ostvareno je po kraćoj strani, korišćenjem postolja od čeličnih profila (*slika 2*).



Slika 2 – Dispozicija tipskog elenenta pri ispitivanju i šema nanošenja probnog opterećenja.

### 3.1. Program ispitivanja

#### 3.1.1. Ispitivanje na uticaj statičkog opterećenja

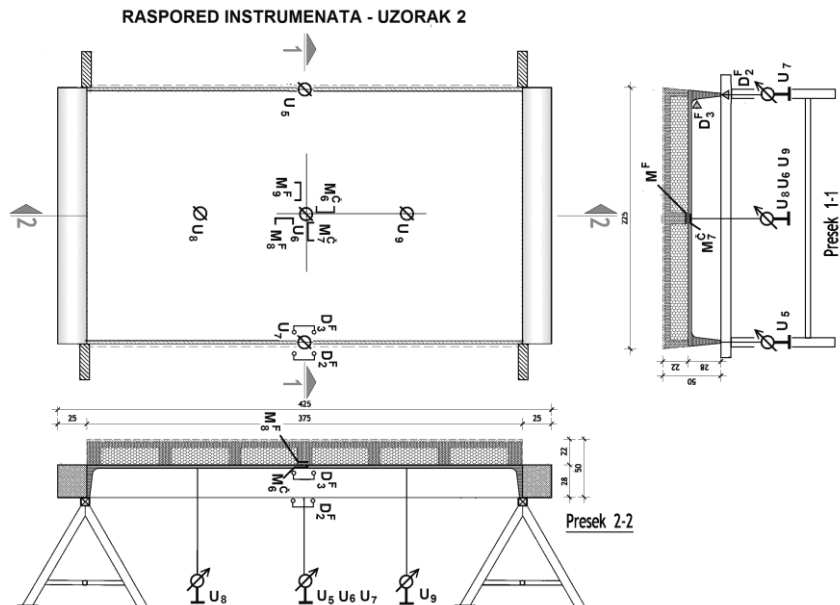
Probno opterećenje (vreće sa peskom pojedinačne težine 25 kg) je nanošeno u više faza ravnomerno u obliku šah polja 4×5. U prvoj fazi, koja je nanešena u 4 koraka, simulirano je dejstvo dodatne sopstvene težine (izolacioni i zaštitni sloj) i pokretnog tereta od 100 daN/m<sup>2</sup>, što daje ukupno 240 daN/m<sup>2</sup> (slika 3). U drugoj fazi naneto je opterećenje koje simulira potreban koeficijent sigurnosti od  $q_u = 1,6g + 1,8p$  (odnosno nedostajućih  $q_u = 0,6g + 1,8p$ ), što predstavlja 540 daN/m<sup>2</sup>. U trećoj fazi išlo se do maksimalnih  $q_{max} = 720$  daN/m<sup>2</sup> (foto 2). Ovo opterećenje izazvalo je maksimalnu prslinu od 0,1 mm, odnosno graničnu širinu prsline kod ferocementnih elemenata. Time je ujedno daleko premašen potreban koeficijent sigurnosti za pokretno opterećenje od 100 daN/m<sup>2</sup>.

Opterećenje prve faze (eksploataciono opterećenje) zadržano je na konstrukciji 16 sati nakon čega je izvršeno rasterećenje uz očitavanje zaostalih vrednosti na instrumentima u narednih 16 sati tokom rasterećenja.

#### 3.1.2. Korišćena oprema i raspored mernih instrumenata

Raspored mernih instrumenata izvršen je u skladu sa principom opasaivanja preseka instrumentima (slika 3). Korišćena je oprema za praćenje deformacija i naprezanja u karakterističnim presecima u kojima se očekuju maksimalni uticaji.

Za statičko opterećenje, deformacije (ugibi), praćene su mehaničkim instrumentima (ugibomer satovima) sa podatkom 1/100 mm i hodom od 25 mm, kao i elektronskim induktivnim pretvaračima pomeranja (LVDT) W50 sa hodom od ±50 mm (foto 3). Dilatacije u ferocementu prećene su elektrootpornim tenzometrima (mernim trakama) firme Hottinger sa podatkom  $1 \times 10^{-6}$  i bazom od 10 mm odnosno sa bazom od 3 mm kod merenja na armaturi u ploči, uz automatsku eliminaciju uticaja temperature (foto 3). Davači su vezani za mernu stanicu primenom višekanalnih merno-akvizicijskih sistema SPIDER8 i KWS 506C proizvodnje HBM (Hottinger Baldwin Mestehnik) i povezani sa personalnim računarom (foto 1). Dilatacije u ferocementu merene su i mehaničkim dilatometerima sa bazom od 200 mm i 100 mm čiji je podatak  $5 \times 10^{-6}$  odnosno  $10 \times 10^{-6}$  (foto 4). Direktna merenja dilatacija na pletenoj žičanoj mreži "rabicu" nisu vršena iz tehničkih razloga.

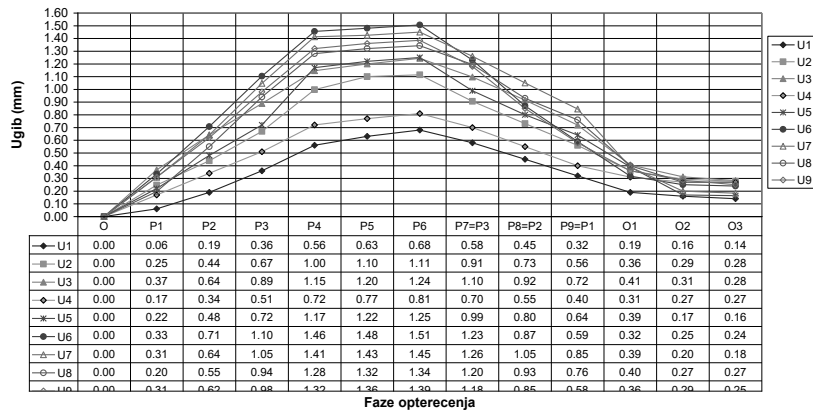


Slika 3 – Raspored instrumenata (uzorak 2) pri statičkom opterećenju

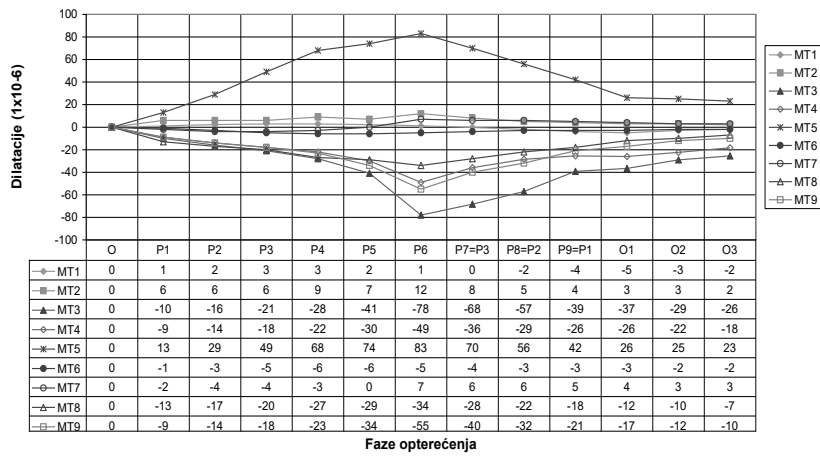
### 3.2. Rezultati ispitivanja

Rezultati ispitivanja prikazani su dijagramima za eksploatacionu fazu (faza I) i faze graničnog opterećenja (Faza II), kao i opterećenja do loma (Faza III). Prikazana su merenja globalnih deformacija (ugiba) i lokalnih deformacija (dilatacija) za različite nivoe opterećenja.

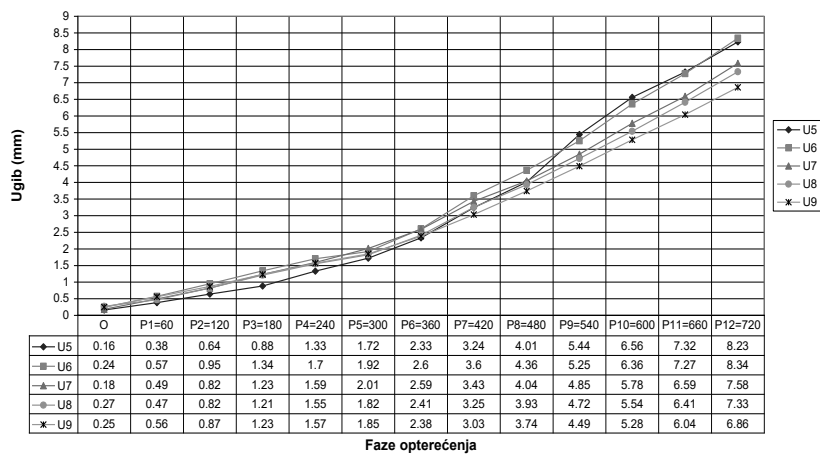
DIJAGRAM MERENIH UGIBA - I FAZA  
(Davači - ugibomeri i induktivni davači W50)



DIJAGRAM MERENIH DILATACIJA U FAZI EKSPLOATACIJE (I FAZA)  
Davači - merne trake na ferocementu i armaturi

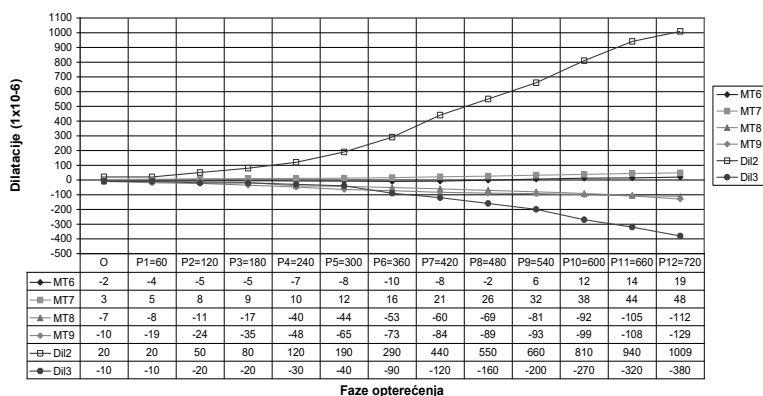


MERENI UGIBI II i III FAZE  
(UZORAK 2)

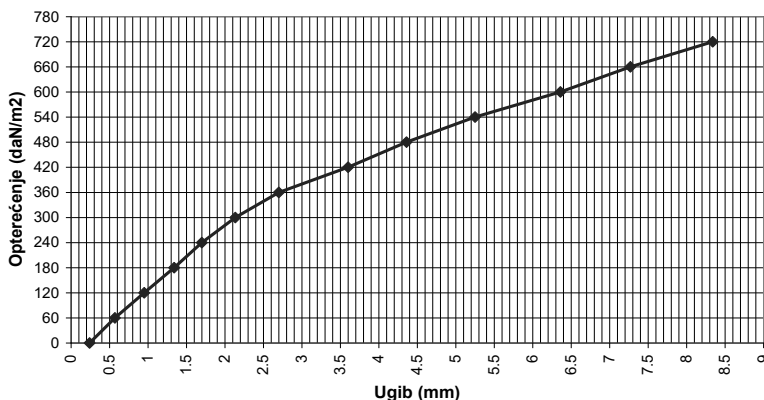




DIJAGRAM MERENIH DILATACIJA  
Davači - merne trake i dilatometri na ferocementu i čeliku  
II i III Faza - Uzorak 2



DIJAGRAM UGIBA U SREDINI ELEMENTA - U6



#### 4. ZAKLJUČCI

Vizuelnim pregledom predmetne konstrukcije i ispitivanjem na uticaj statičkog probnog opterećenja, na osnovu standarda za ovu vrstu radova, ustanovljeno je sledeće:

1) U fazi eksploatacionog opterećenja od  $p=240 \text{ daN/m}^2$  (I fazi) ispitivani elementi od ferocementa ponašali su se elastično, pri čemu su maksimalne merene vrednosti ugiba ( $U_{\text{mer}}=1,51 \text{ mm}$ ) i dilatacija ( $\epsilon_{\text{mer}}=130 \times 10^{-6}$ ) bile daleko manje od dozvoljenih i računskih. Povratne deformacije, odnosno zaostali ugibi bili su manji od dozvoljenih 25%, sem kod ugiba  $U_4$ , ali se zbog malih pomeranja u apsolutnom iznosu (0,27 mm) i ove vrednosti mogu prihvatiti. Maksimalni ugibi izmereni su u sredini ploče elementa, dok su maksimalne dilatacije izmerene na rebru u polovini raspona ferocementnog elementa. U ovoj fazi vidljivih prslina nije bilo.

2) U fazi kontrole graničnog stanja nosivosti, odnosno ostvarenja potrebnog koeficijenta sigurnosti (II fazi), gde je aplicirano opterećenje od  $q = 0,6 \text{ g} + 1,8 \text{ p} = 540 \text{ daN/m}^2$ , maksimalne merene veličine bile su takođe u dozvoljenim granicama, ugib ( $U_{\text{mer}}=5,44 \text{ mm}$ ) i dilatacija ( $\epsilon_{\text{mer}}=660 \times 10^{-6}$ ). Ni u ovoj fazi nisu uočene prsline otvora većeg od 0,05 mm.

3) U poslednjoj fazi (III fazi) opterećenja, konstrukcija je opterećena do  $q_{\text{max}} = 720 \text{ daN/m}^2$ . Ovo opterećenje, koje je trostruko veće od eksploatacionog ( $p=240 \text{ daN/m}^2$ ), izazvalo je pojavu prslina otvora  $\delta=0,10 \text{ mm}$ , a to su maksimalne dozvoljene prsline kod ferocementnih elemenata (SRPS TP 22 tačka 4.4.1). Pri istom opterećenju izmerene su maksimalne vrednosti ugiba ( $U_{\text{mer}}=7,34 \text{ mm}$ ) i dilatacija ( $\epsilon_{\text{mer}}=1009 \times 10^{-6}$ ), што је знак појаве прслине, чији је отвор мерен путем дилатомера од LVDT-а са базом од 100 mm. Prve uočene prsline otvora  $\delta=0,05 \text{ mm}$  izmerene su na rebru ferocementnog elementa, pri opterećenju od  $q = 420 \text{ daN/m}^2$ .

4) Maksimalne vrednosti merenih dilatacija odnosno napona zatezanja u ferocementnom elementu uočavaju se na rebu (dilatimeri D1 i D2). Maksimalne dilatacije pritiska izmerene su na gornjoj površini u sredini ploče na MT9 i iznose za eksploataciono opterećenje ( $\epsilon_{mer} = -55 \times 10^{-6}$ ). Merene dilatacije (naponi) zatezanja u mrežnoj armaturi pojavljuju se u polovini ploče (MT1, MT2, MT6, MT7) na podužnim i poprečnim šipkama i one su zanemarljive ( $\epsilon_{mer} = 12 \times 10^{-6}$ ), što pokazuje da se nalaze blizu neutralne ose.

5) Direktna merenja na pletenoj žičanoj mreži nisu vršena iz tehničkih razloga.

6) Globalni koeficijenti sigurnosti po ugibima dobijeni poređenjem računskih i merenih veličina ugiba u ploči i rebu ferocementnog elementa pokazuju rezervu od 26% do 120%.

7) Iz dijagrama opterećenje - ugib prikazanog za merenja na ugibomeru u sredini raspona može se zaključiti da postoji linearni odnos do nivoa opterećenja od  $q = 300 \text{ daN/m}^2$ , a da posle toga dolazi do nelinearnog priraštaja deformacije.

8) Dobijeni rezultati, pokazali su znatno veću moć nošenja od potrebne za krovne elemente, što navodi na zaključak da treba vršiti dalja istraživanja sa ciljem moguće primene tipskog ferocementnog elementa i kao elemnta međuspratne konstrukcije. Ukupno ponašanje konstrukcije bilo je duktilno, sa malim otvorom prslina zbog velikog procenta armiranja, odnosno velike specifične površine armiranja i blisko postavljene armature.

### Prilog: Foto dokumentacija



Foto 1 – Dispozicija ispitivanih elemenata i merna stanica (MGCplus i SPIDER 8 povezani na PC Notebook).



Foto 3 – Instrumentacija ferocementnog elementa (Induktivni davači pomeranja U5, U6 i ugibomer U7, merne trake na čeliku MT6 i MT7 – (Uzorak 2).



Foto 2 – III faza opterećenja ( $q_{max} = 720 \text{ daN/m}^2$ ).

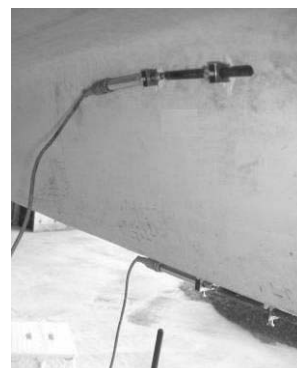


Foto 4 – Dilatometri od LVDT sa bazom merenja od 100 mm, postavljeni na rebu ferocementnog elementa (D2 i D3).

## LITERATURA

- [1] Entoine E. Naaman: Ferrocement and laminated cementitious components, Tehno press 3000, Ann Arbor, Michigan, USA, str. 183-193. J. Clerk Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68-73.
- [2] Izveštaj o ispitivanju br. IK 04/08: *Ferocementni tipski elementi*, GAF Niš.
- [3] Izveštaj o ispitivanju br. IK 01/09: *Tipaska hala sa ferocementnim elementima*, GAF Niš
- [4] Izveštaj o ispitivanju br. IK 41/14: *Tipski ferocementni elementi za ugradnju u tipske hale – FCP: E 23-26*, GAF Niš.
- [5] Milinković M.: *Experience with Prefabricated Ferrocement Panel for the Construction of Ferrocement Halls*, 9<sup>th</sup> International Symposium on Ferrocement and Thin Reinforced Cement Composites, p 11-19, Bali, Indonesia, 2009.
- [6] Ranković S., Folić R. Mijalković. M.: *Ojačanje AB greda FRP atmaturom postavljenom unutar zaštitnog sloja betona*, Zbornik radova GAF Niš, br. 23, decembar 2008., (st.39-47).
- [7] Ranković, S., Milinković M., Petković D., Živković D.: *Ispitivanje tipske hale sa ferocementnom ispunom na uticaj probnog opterećenja*; (st. 107÷114), Zbornik radova GAF Niš, ISSN 1452-2845, br. 27, 2012.
- [8] S. Ranković, D. Živković, M. Milinković, M. Gligorijević: *Ferrocement standardized element - Experimental research*, XXVII Kongres DIMK, Vršac, Serbia, October 18-20., 2017. (pp. 177-184),
- [9] SRPS U. M1. 047 iz 1987. godine, Ispitivanje objekata visokogradnje i ispitivanje do loma.