

Primljen / Received: 5.8.2016.

Ispravljen / Corrected: 24.1.2017.

Prihvaćen / Accepted: 28.1.2017.

Dostupno online / Available online: 10.11.2017.

# Eksperimentalna i numerička analiza ferocementnog ab kompozita

## Autori:



Izv.prof.dr.sc. **Sridevi Kumarasamy**, dipl.ing.građ.  
Ujedinjeni institut za tehnologiju  
Odjel za građevinarstvo, Indija  
[srisudhahar@gmail.com](mailto:srisudhahar@gmail.com)



Mr.sc. **A. Sudhahar**, dipl.ing.građ.  
MCET - Sveučilište Dr. Mahalingam za  
inženjerstvo i tehnologiju, Indija  
[constructeasy@yahoo.com](mailto:constructeasy@yahoo.com)



Prof.dr.sc. **D.L. Venkatesh Babu**, dipl.ing.građ.  
Ujedinjeni institut za tehnologiju  
Odjel za građevinarstvo, Indija  
[drdlvbabu@gmail.com](mailto:drdlvbabu@gmail.com)



Prof.dr.sc. **R. Venatasubramani**, dipl.ing.građ.  
MCET - Sveučilište Dr. Mahalingam za  
inženjerstvo i tehnologiju, Indija  
[rvs\\_vlb@yahoo.com](mailto:rvs_vlb@yahoo.com)

Prethodno priopćenje

**Sridevi Kumarasamy, A. Sudhahar, D.L. Venkatesh Babu, R. Venatasubramani**

## Eksperimentalna i numerička analiza ferocementnog ab kompozita

U radu je prikazano ispitivanje savojne čvrstoće ferocementnih elemenata koji se u tradicionalnim ab elementima koriste kao trajna oplata. Pojedinačni ferocementni paneli ispitani su nanošenjem opterećenja u dvije točke i u sredini te je nakon toga određena njihova otpornost. Kako bi se ispitalo međudjelovanje ferocementnih i tradicionalnih ab elemenata, ferocementnim panelima dodani su moždanici. Eksperimentalni rezultati uspoređeni su s rezultatima proračuna pomoću programa ANSYS te je dobiveno dobro podudaranje rezultata.

### Ključne riječi:

ferocement, kompozitno djelovanje, vlačna čvrstoća, duktilnost, moždanik

Preliminary note

**Sridevi Kumarasamy, A. Sudhahar, D.L. Venkatesh Babu, R. Venatasubramani**

## Experimental and numerical analysis of ferrocement RC composite

The investigation of flexural behaviour of ferrocement elements that are used as permanent formwork in conventional reinforced concrete members is presented in the paper. Individual ferrocement panels are tested under two-point and midpoint load, and the load-deflection behaviour is then studied. The ferrocement panels are provided with shear connectors to investigate interaction between ferrocement and conventional RC members. The experimental results are compared with those obtained through finite element models using the ANSYS software, and a good correspondence of these results was established.

### Key words:

ferrocement, composite action, tensile strength, ductility, shear connector

Vorherige Mitteilung

**Sridevi Kumarasamy, A. Sudhahar, D.L. Venkatesh Babu, R. Venatasubramani**

## Experimentelle und numerische Analyse von Ferrozement- und Stahlbetonverbundwerkstoffen

In der Arbeit wird die Untersuchung der Biegefestigkeit von Ferrozementelementen dargestellt, die in gewöhnlichen Stahlbetonelementen als dauerhafte Verschalung verwendet werden. Einzelne Ferrozementpaneele wurden durch Belastung in zwei Punkten und in der Mitte untersucht, wonach ihre Beständigkeit bestimmt wurde. Um die Interaktion von Ferrozementelementen und traditionellen Stahlbetonelementen zu prüfen, wurden den Ferrozementpaneelen Dübel hinzugefügt. Die experimentellen Ergebnisse wurden anhand des Programms ANSYS mit den Bemessungsergebnissen verglichen und es wurde eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse festgestellt.

### Schlüsselwörter:

Ferrozement, Verbundwirkung, Zugfestigkeit, Duktilität, Dübel

## 1. Uvod

U današnje vrijeme koje karakterizira brz razvoj graditeljske infrastrukture, naglasak se stavlja na ekonomski isplative sustave, pri čemu je značajna ne samo brzina građenja nego i kvaliteta konstrukcije. Prema noveliranoj karti potresnih područja u Indiji, većina infrastrukturnih građevina treba se odlikovati odgovarajućom razinom duktilnosti i robusnosti. U provedbi tekućih projekata u području infrastrukture, velika se važnost pridaje financijski prihvatljivoj stambenoj izgradnji, a radi se obično o nižim građevinama.

Ferocement je vrsta tankostijenog armiranog betona koji se obično sastoji od hidrauličnog cementnog morta ojačanog gusto tkanom mrežom relativno malog promjera u slojevima [1-2]. U Indiji se ferocement kao građevinski element uglavnom koristi u financijski povoljnim gradnjama ili kao nenosivi element. Korištenje ferocementa kao trajne oplata za uobičajene armiranobetonske elemente omogućuje postizanje tražene duktilnosti i robusnosti konstrukcija, a istovremeno omogućuje i brže građenje [3-5]. Trajna ferocementna oplata [6-8] također se u konstrukcijskom smislu može djelomično ili potpuno povezati s običnim armiranobetonskim elementima te na taj način povećati njihovu djelotvornost u smislu postizanja veće seizmičke otpornosti i prikladnije otpornosti tijekom korištenja.

Ferocement je kompozitni materijal koji se ponaša nelinearno zbog karakteristika materijala i kompleksnosti veze između žičane mreže i betona. Nekoliko pristupa je u proteklih 25 godina korišteno u analizi ferocementnih konstrukcija. Prva primjena metode konačnih elemenata u analizi ferocementnih ploča pomoću pravokutnih heteroznih elemenata [9-10] zabilježena je u okviru proračunskog modela baziranog na Timošenkovoj formulaciji konačnog grednog elementa pomoću kvadratnih izoparametarskih elemenata s tri stupnja slobode. Raniji istraživači prikazali su analizu ferocementnih greda s pojasnicom [11] primjenom programa ANSYS sa "solid" izoparametarskim elementom s osam čvorova u okviru

proučavanja kompozitnog djelovanja ferocementnih ploča i čeličnog lima. Valjanost i usklađenost teoretskih izraza i korištenog programa analizirana je uspoređivanjem analitičkih rezultata s dostupnim eksperimentalnim podacima. Iako su i dalje potrebna eksperimentalna istraživanja kao osnova jednadžbi za projektiranje, razvojem moćnih i pouzdanih analitičkih tehnika kao što je metoda konačnih elemenata smanjeno je vrijeme i trošak skupih eksperimentalnih istraživanja, a omogućeno je i bolje simuliranje uvjeta opterećenja i nosivosti stvarne konstrukcije. Međutim, za točnost rezultata analize konačnih elemenata potrebno je odgovarajuće modeliranje stvarnog ponašanja materijala, što uključuje i analizu nelinearnosti. Ferocement se smatra nelinearnim kompozitom zbog pojave pukotina, neelastičnog ponašanja materijala, krutosti i omekšavanja, složenosti veze između žičane mreže i betona, te zbog drugih faktora.

Razna istraživanja ferocementa pokazala su da se njegovom primjenom u tradicionalnim armiranobetonskim elementima poboljšavaju nosiva svojstva ferocementa. Ovo se istraživanje temelji na pripremi malog modela ferocementne ploče kako bi se provjerila mogućnost korištenja ferocementa kao zamjene za oplatu u tradicionalnim armiranobetonskim pločama na vlačnoj strani pokrovne zone.

## 2. Metodologija

Prikladna kvaliteta morta ili betona postiže se odabirom kvalitetnih cementnih materijala, agregata, omjera u mješavini, prikladnim povezivanjem paste i agregata, odabirom odgovarajućeg aditiva, pravilnim doziranjem, te savjesnim i temeljitim poduzimanjem svih potrebnih mjera tijekom miješanja i ugradnje. Kod svakog konstrukcijskog elementa, mehanička svojstva i trajnost značajan su parametar u postupku projektiranja, a povoljni se rezultati mogu dobiti prikladnim odabirom sastojaka. Kako je ferocement izuzetno tanak, korozija može također biti jedan od glavnih uzroka neodgovarajuće trajnosti tog materijala. Stoga, kako bi se

Tablica 1. Svojstva materijala

Opis materijala	Svojstva	Karakteristične vrijednosti
Cement	Relativna gustoća	3,12
	Tip	Puzolanski portland cement (PPC)
Sitnozrnati agregat	Relativna gustoća	2,56
	Modul finoće	2,51
	Veličina	Prolazi kroz sito veličine 2,36 mm
Krupnozrnati agregat	Relativna gustoća	2,71
	Maksimalna veličina	20 mm
Žičana mreža	Veličina	Promjer 2 mm, kvadratni otvor: 12,5 mm x 12,5 mm
	Granica popuštanja	390 N/mm <sup>2</sup>
Omjeri sastojaka za mort	1:3, v/v omjer = 0,45	
Omjeri sastojaka za beton M20	1:1,49:3,36 s v/v omjerom = 0,5	

dobio ferocement dobre kvalitete, pri odabiru materijala trebaju se u obzir uzeti njihova fizikalna i mehanička svojstva. Prikladnija gustoća tj. povezivanje, te eliminacija šupljina na kontaktu mreže i većih čestica, može se postići tako da se u pripremi morta koristi sitnozrnati agregat koji prolazi kroz sito veličine 2,36 mm.

### 2.1.1. Mort

Ferocementni je mort bio pripremljen u omjeru 1:3, a vodovezivni omjer je iznosio 0,45. Korišten je pucolanski portland cement u skladu s normom IS:1489-1 (1991) i riječni pijesak koji udovoljava odredbama norme IS 2386 - Dijelovi 1 i 3 (1963), u skladu sa zahtjevima za zonu III, kako je prikazano u tablici 1.

### 2.1.2. Beton

Projektiran je beton M20 (C 16/20) u omjeru 1:1,49:3,36 prema recepturi prikazanoj u normi IS:10262 (2009). Vodovezivni omjeriznosio je 0,5. Odabran je dobro graduirani krupnozrnati agregat maksimalne veličine zrna od 20 mm, prema specifikacijama koje su prikazane u tablici 1. Definirano je da normalna veličina krupnozrnatog agregata iznosi 20 mm, tako da se omogućuje prikladna usporedba s tradicionalnim pločama.

### 2.1.3. Armatura

Armaturne su šipke ispitane u uređaju za vlačna ispitivanja prema normi IS 1608:2005. Ispitivanjem vlačne sile šipaka promjera 8 mm za ab ploču dobivena je granica popuštanja od 388 N/mm<sup>2</sup>. Korištena je 2 mm zavarena mreža otvora 12,5 x 12,5 mm, granice popuštanja od 390 N/mm<sup>2</sup>.

## 2.2. Pripremanje uzoraka

Nakon izvedbe ferocementnih ploča dimenzija 330 x 200 mm, debljine 24 mm, (slika 1.), izvedena je ferocementna ab kompozitna ploča dimenzija 330 x 200 x 100 mm, ukupne debljine od 150 mm, uključujući i ferocementnu ploču. Za postotak armature, raspon, vodovezivni omjer i vrijeme njege, usvojene su iste vrijednosti i za tradicionalni i za kompozitni sustav. Ferocementni paneli izvedeni su s dva moždanika vijkastog tipa koji su postavljeni na vrh svake ploče da bi se poboljšala veza između ferocementa i ab ploče. Glavna armatura ab kompozita povezana je moždanicima s ferocementnom pločom pomoću žice za vezanje. Ferocementne su ploče nakon izrade njegovane u vodi tri dana. Nakon toga, složeno je pet ferocementnih ploča te je glavna armatura povezana s moždanicima. Nakon tretiranja površine u smislu povećanja hrapavosti, ugrađen je beton razreda M20 (C 16/20) nakon čega su ferocementne ab kompozitne ploče njegovane 28 dana pomoću vreća i njegovom u bazenu.



Slika 1. Ferocementna ploča



Slika 2. Pripremanje cementnih ploča za izradu kompozita



Slika 3. Kompozitna ploča nakon ugradnje betona na ferocemente ploče

## 2.3. Priprema eksperimenta

Ferocementne su ploče ispitane opterećenjem u dvije točke i u sredini pomoću univerzalnog uređaja za ispitivanje, a progib je mjereno u intervalima po 0,01 mm i s mogućnošću pomaka od 20 mm. Ferocementna ab kompozitna ploča ispitana je u okviru za nanošenje opterećenja od 50 tona s jednostavno poduprtim krajevima, kao što je to prikazano na slici 4. te s efektivnim rasponom od 800 mm. Opterećenje je nanošeno pomoću ručno upravljane hidrauličke dizalice. Mjerni podaci o progibu i opterećenju pohranjeni su u svrhu daljnjih analiza. Pri opterećenju uzorka, sila je nanošena u

intervalima po 5 kN sve do postizanja graničnog opterećenja. U svakom intervalu opterećenja očitani su rezultati na mjernim uricama.

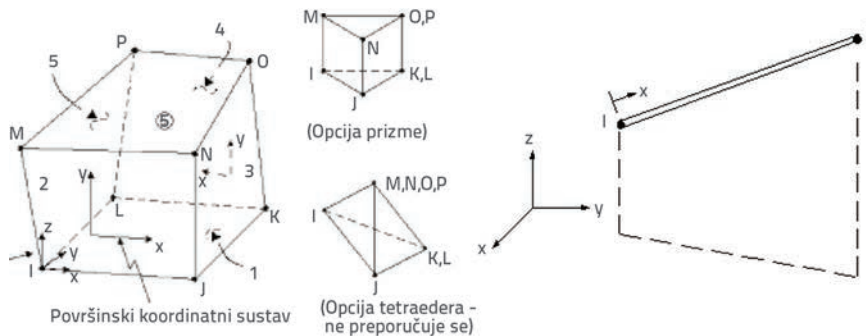


Slika 4. Priprema eksperimenta: ferocementna ab kompozitna ploča

### 2.4. Modeliranje pomoću konačnih elemenata u programu ANSYS

Modeliranje pomoću metode konačnih elemenata provedeno je za beton i armaturni čelik pomoću elemenata SOLID65 i Link8. Element SOLID65 definiran je s osam čvorova i s tri stupnja slobode na svakom čvoru, te s translacijama u čvornim smjerovima x, y i z, što se koristi za 3D modeliranje krutih tijela s armaturom ili bez nje. Nanošenjem vlačne sile kruto tijelo popušta stvarajući pukotine dok u slučaju nanošenja tlačne sile dolazi do loma. Na primjer, u slučaju betona, svojstvo krutosti elementa može poslužiti za modeliranje betona, a rebrasto svojstvo armature za modeliranje ponašanja armature. Shematski je element prikazan na slici 5. [12]. Element Link8 koristi se u

raznim inženjerskim aplikacijama za modeliranje rešetkastog elementa, kablenskog elementa te armature. Trodimenzionalni štapni element je jednoosni vlačno-tlačni element s tri stupnja slobode na svakom čvoru: translacije u čvornim smjerovima x, y i z. Uključena su svojstva poput plastičnosti, puzanja, bujanja, ukrućivanja pod naprezanjem te velike mogućnosti progiba. Trodimenzionalni čvorovi element s 8 čvorova CONTA174 koristi se za predstavljanje kontakta i klizanja između trodimenzionalne površine i deformabilnih površina. TARGE170 je pridruženi element koji predstavlja razne trodimenzionalne "ciljne" površinske elemente poput CONTA173, CONTA174, CONTA175, CONTA176 i CONTA177. Sami kontaktni elementi prekrivaju krute, ljuskaste ili linijske elemente koji opisuju granice deformabilnog tijela te su potencijalno u kontaktu s ciljnom površinom koju definira TARGE170. Ova je ciljna površina diskretizirana pomoću niza ciljnih segmentnih elemenata (TARGE170) te je uparena s pridruženom kontaktnom površinom pomoću zajedničkog stvarnog konstantnog niza. Translacijski rotacijski pomak, sile i momenti, temperatura, napon i magnetski potencijal, mogu se nanijeti na ciljni segmentni element. Opis materijala za MKE i model mrežaste ferocementne ploče prikazani su na slici 6. U tablici 2. navedene su karakteristike materijala koji su upotrebljeni u postupku modeliranja. Maksimalna veličina mrežastog elementa iznosila je 20 mm. U kompozitnom modelu korišteno je ukupno 4030 elemenata i 19315 čvorova. Model konačnih elemenata razvijen je zadavanjem zavarenog mrežastog elementa u ferocementnom mortu te njegovim razvijanjem za potrebe dodanog betona i

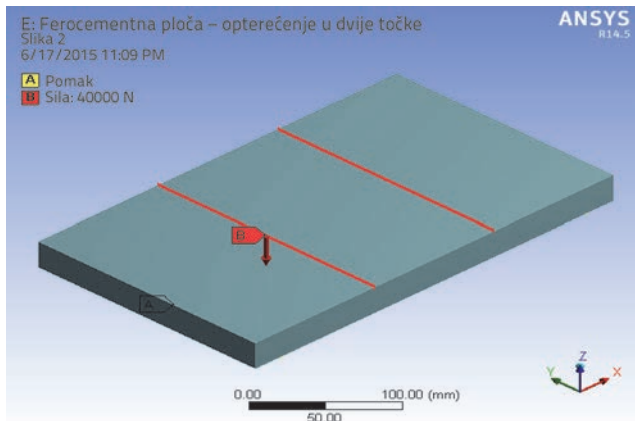


Slika 5. Elementi koji se koriste u modeliranju konačnih elemenata (elementi SOLID65 i Link 8)

Tablica 2. Svojstva materijala (usvojena za numeričko modeliranje)

Svojstvo	Beton	Mort	Zavarena mreža
Tlačna čvrstoća [N/mm <sup>2</sup> ] (eksperimentalni podaci)	24,03	29,01	promjer žice 2 mm, 12,5 mm · 12,5 mm
Youngov modul (E) [N/mm <sup>2</sup> ] (teoretski podaci)	24510	20000	1,3 · 10 <sup>5</sup> N/mm <sup>2</sup>
Poissonov koeficijent μ (teoretski podaci)	0,2	0,11	0,3
Gustoća [kg/m <sup>3</sup> ] (teoretski podaci)	2400	2080	7850
Toplinski koeficijent αm	1 · 10 <sup>-5</sup> /°K	1,2 · 10 <sup>-5</sup> /°K	12 · 10 <sup>-6</sup> °C
Granična vlačna čvrstoća [N/mm <sup>2</sup> ] (eksperimentalni podaci)	-	-	-
Vlačna čvrstoća [N/mm <sup>2</sup> ] (eksperimentalni podaci)	3,13	2	390 (tečenje)
Deformacija (lom)	0,0035	0,003	-

moždanika. Na numeričkom je modelu opterećenje nanošeno postupno. Trodimenzionalni čvorni elementi s osam čvorova TARGE170 i CONTA174 korišteni su kao kontaktni elementi između zavarene mreže, morta i betona.



Slika 6. Ferocementni model s opterećenjem

### 3. Rezultati i rasprava

#### 3.1. Tlačna čvrstoća

Vrijednosti tlačne čvrstoće određene su prema normama IS: 516 – 1964 tj. IS: 2250 – 1981. Tlačna čvrstoća nakon 7 i 28 dana određena je na šest betonskih kocaka dimenzija 150 x 150 x 150 mm, te na šest kocaka morta veličine 70,6 x 70,6 x 70,6 mm. Ispitivanja tlačne čvrstoće obavljena su na uzorcima pomoću uređaja za ispitivanje tlačne čvrstoće. Prosječne vrijednosti tlačne čvrstoće prikazane su u tablici 3.

#### 3.2. Ferocementna ploča

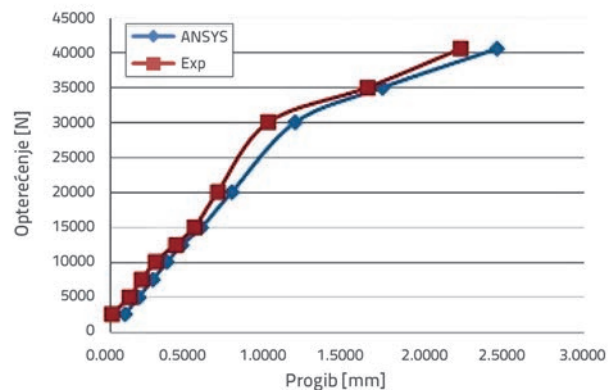
Ispitana je savojna čvrstoća ferocementnih ploča, a rezultati progiba uspoređeni su pomoću programa ANSYS 14.5. Granična savojna čvrstoća ferocementne ploče pod opterećenjem u dvije točke i u sredini iznosila je 9,42 N/mm<sup>2</sup> tj. 6,89 N/mm<sup>2</sup>. U svim slučajevima, stanje popuštanja opisano je samo pojavom pukotina i otpuštanjem opterećenja. Nije zabilježeno ljuštenje tj. odvajanje žičane mreže. Rezultati

Tablica 3. Tlačna čvrstoća morta i betona

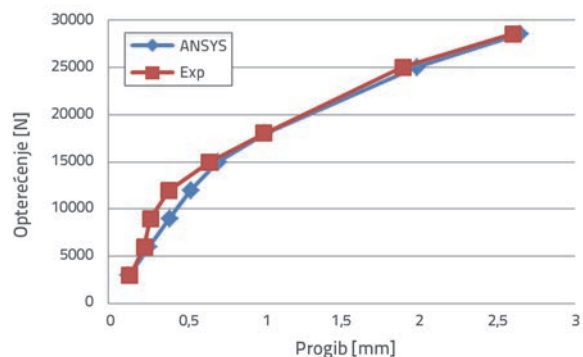
Oznaka uzorka	Tlačna čvrstoća morta [N/mm <sup>2</sup> ]		Oznaka uzorka	Tlačna čvrstoća betona [N/mm <sup>2</sup> ]	
	7 dana	28 dana		7 dana	28 dana
M1 *	19,79	29,42	C1*	15,11	24
M2	19,56	29,50	C2	15,37	24,17
M3	18,50	28,56	C3	16,04	23,55
Srednja vrijednost	19,28	29,16	Srednja vrijednost	15,50	24,08

\*M – mort, \*C – beton

prikazani na slikama 7. i 8. upućuju na nelinearno ponašanje ferocementnih elemenata.



Slika 7. Dijagram opterećenje - progib, opterećenje u dvije točke



Slika 8. Dijagram opterećenje - progib, opterećenje u sredini

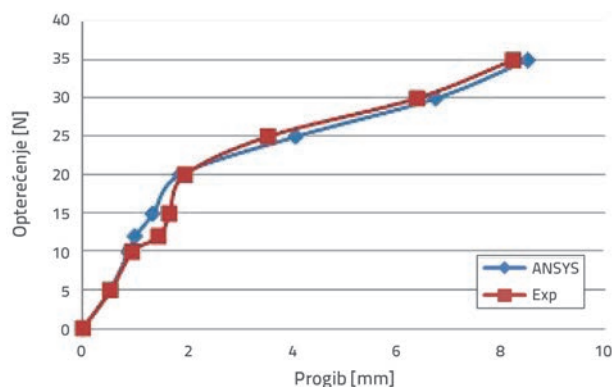
#### 3.3. Ferocementni ab kompozit

Ferocementna ab kompozitna ploča dužine 1000 mm za potrebe ispitivanja je postavljena na dva valjka smještena na 100 mm od rubova, te je na taj način ostvaren slobodni raspon od 800 mm. Ta je ploča postavljena u okvir za nanošenje opterećenja. Za mjerenje progiba korišten je indikator s više senzora (raspon od 0,01 do 20 mm). Na uzorak je zatim postupno nanosena sila pomoću hidrauličke dizalice i to u odgovarajućim intervalima,

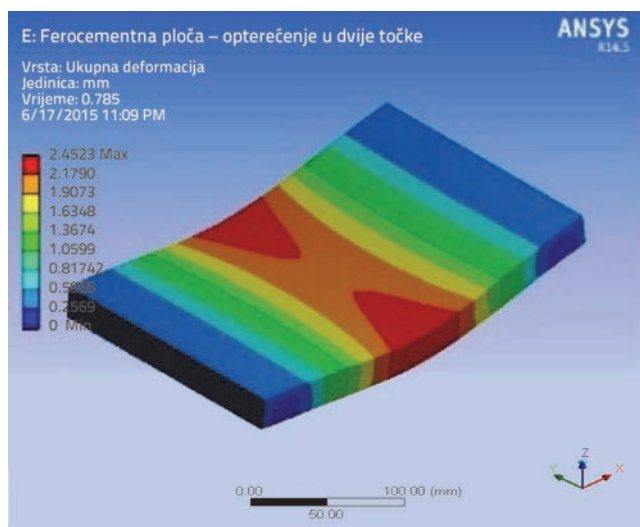
a vrijednost progiba očitana je za različite veličine opterećenja. Brižljivo je registrirana pojava prve pukotine. Deflektometri su skinuti kada je vrijednost progiba porasla do maksimalnog kapaciteta mjerne urice ili kada su uzorci bili na rubu popuštanja. Trend popuštanja kontrolnog armiranog betona i ferocementne ab kompozitne ploče prikazan je na slici 9. Opterećenje je nastavljeno do popuštanja uzoraka. Vrijednosti progiba pri raznim opterećenjima prikazane su na slici 10.



Slika 9. Kompozitna ploča nakon popuštanja



Slika 10. Dijagram opterećenje - progib, opterećenje u sredini



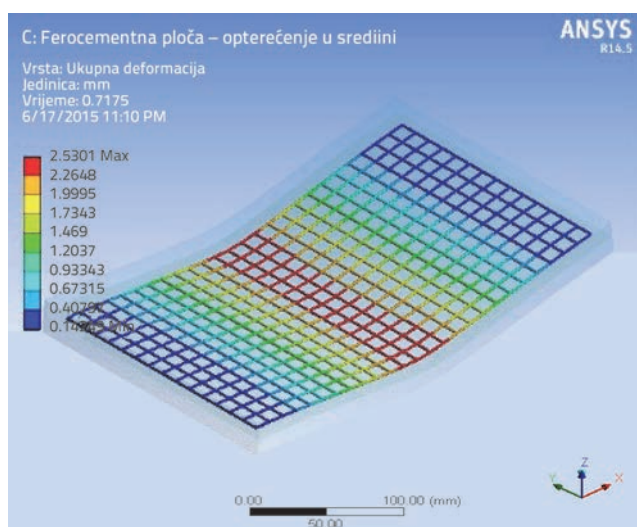
Slika 11. Ukupna deformacija pri opterećenju u dvije točke

### 3.4. Rezultati dobiveni proračunom

Varijacija između rezultata dobivenih proračunom i eksperimentalnih rezultata slijedi isti trend bez većih razlika. Opterećenja blizu graničnih točaka dobivena proračunom pokazuju blagi porast progiba, ali zona duktilnosti i dalje ostaje isti sve do točke opterećenja. Ukupna deformacija ferocementne ploče pri savojnom opterećenju prikazana je na slikama 11. i 12.

### 4. Zaključak

Savojna čvrstoća ferocementnih kompozitnih ab ploča nešto je viša kada se uspoređi s vrijednostima zabilježenima na tradicionalnoj ab gredi. Iako je uočeno poboljšanje savojnih svojstava, prva pukotina registrirana je blizu druge ferocementne ploče koja je bila postavljena na dno. Nakon elastične krivulje i pojave prve pukotine, otvorio se otvor između ferocementnih ploča. Razlog takvoj vrsti popuštanja mogao bi biti nedostatak horizontalnog spoja između ferocementnih ploča. Iako je savojna pukotina napredovala, a širina otvora se povećavala, utvrđena je jasna zona duktilnosti s desetpostotnim povećanjem granične čvrstoće na savijanje. Nakon nekog vremena, tradicionalne ab ploče i ferocementne kompozitne ab ploče počele su se ponašati na isti način. Granična čvrstoća kompozitnih ploča može se poboljšati uvođenjem horizontalnog spoja između pojedinačnih ferocementnih ploča. Dodatna istraživanja su potrebna radi analize korištenja ferocementnog pokrivača za druge primjene, naročito kod debljih pokrovnih ploča koje se obično preporučuju u uvjetima korozije, kada se ne bilježi pojava širokih površinskih pukotina.



Slika 12. Ukupna deformacija pri opterećenju u sredini

## LITERATURA

- [1] ACI Committee 549-1R-93, Guide for the Design, Construction, and Repair of Ferrocement, Manual of Concrete Practice, Farmington Hill, Michigan, USA. 27 pages, 2009.
- [2] Naaman, A.E., Shah, S.P.: Tensile test of ferrocement, Journal of American concrete institute, September, pp. 693-698, 1971.
- [3] Md. Zakaria Hossain, Md. Rokonzaman, Sohji Inoue.: Flexural Behaviour of Cement Composites Panels Reinforced With Different Types Of Meshes, 30<sup>th</sup> Conference On Our World In Concrete & Structures, MIE University, Japan, pp. 23 – 24, 2005.
- [4] Parande, P.S., Gaidhankar, D.G.: Behaviour of ferrocement composite in direct tension by using welded square mesh, International Journal Of Research In Advent Technology, 2 (2014) 7, pp. 2321-9637.
- [5] Phalke, R., Gaidhankar, D.G.: Flexural Behaviour of Ferrocement Slab panels using welded square mesh by incorporating steel fibers, International Journal Of Research In Advent Technology, pp. 756-763, 2014.
- [6] Kadir, M.R.A., Saleh, J.M.Hj.: Ferrocement in Situ Permanent Formwork, Journal of Ferrocement, 23 (1993) 2, pp. 125-133.
- [7] Barnes, R.A., Mays, G.C.: Strengthening of reinforced concrete beams in shear by the use of externally bonded steel plates: Part 1-Experimental programme, Construction and Building Materials, 20 (2006) 6, pp. 396-402, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.01.034>
- [8] Kadir, M.R.A., Samad, A.A.A., Muda, Z.C.H.E., Ali, A.A.A.: Flexural Behaviour of Composite Beam with ferrocement Permanent Formwork, Journal of Ferrocement, 27 (1997), pp. 209 – 214.
- [9] Prakhya, K.V.G., Adidam, S.R.: Finite Element Analysis of Ferrocement Plates, Journal of Ferrocement, 17 (1998), pp. 313-320.
- [10] Bin-Omar, A.R., Abdel-Rahman, H.H., Al-Sulaimani, G.J.: Nonlinear Finite Element Analysis of Flanged Ferrocement Beams, Computers & Structures, 31 (1989) 4, pp. 581-590, [https://doi.org/10.1016/0045-7949\(89\)90335-0](https://doi.org/10.1016/0045-7949(89)90335-0)
- [11] Boshra, A.A., El-Shafey, A., El-Shami, M.: Experimental and Analytical Model of Ferrocement Slabs, International Journal of Recent Trends in Engineering, 1 (2009) 6, , pp. 25-29.
- [12] <http://148.204.81.206/Ansys/readme.html>