

ISPITIVANJE AB GREDNIH NOSAČA OJAČANIH VLAKNASTIM KOMPOZITIMA LEPLJENIM NA POVRŠINI BETONA

Slobodan Ranković¹, Radomir Folić²

Rezime: U radu je analizirana primena savremene tehnike ojačanja armiranobetonskih (AB) greda upotrebom elemenata od FRP materijala (polimera ojačanih vlaknastim kompozitima). Prikazane su osnovne karakteristike FRP materijala i najčešće primenjivana metoda postavljanja FRP armature lepljenjem laminata na površinu betona (EBR tehnika). Prikazani su i diskutovani neki rezultati ispitivanja uzoraka ojačanih AB greda koje su izložene savijanju probnom opterećenjem do loma. Data je uporedna analiza sa rezultatima dobijenim na neojačanoj (kontrolnoj) gredi i određen procenat povećanja nosivosti. Eksperimentalna istraživanja su obavljena na GAF u Nišu 2009. godine.

Ključne reči: Ojačanje, FRP kompoziti, EBR metoda, NSM metoda, ispitivanje.

TESTING OF RC BEAMS STRENGTHENED BY EXTERNAL BONDED REINFORCEMENT OF FIBER REINFORCED POLYMER

Abstract: This paper analyzes the use of modern techniques of strengthening reinforced concrete (RC) beams using the elements of FRP materials (fiber reinforced polymer). The paper presents basic characteristics of FRP materials and methods of placing FRP bars within a protective layer of concrete, i.e. external bonded reinforcement (EBR method). Some research results on beam carriers are presented and discussed as well as on reinforced FRP, depending on the test load, along with a comparison with results obtained on non reinforced (control) beam. Experimental studies have been conducted at the Faculty of Civil Engineering and Architecture of Nis, in 2009

Keywords: Strengthening, FRP composite, EBR method, testing.

¹ Stručni saradnik, mr., dipl.inž. građ, GAF, Niš, slobodan.rankovic@gaf.ni.ac.rs

² Dr, profesor emeritus, Departman za građevinarstvo Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad, folic@uns.ac.rs

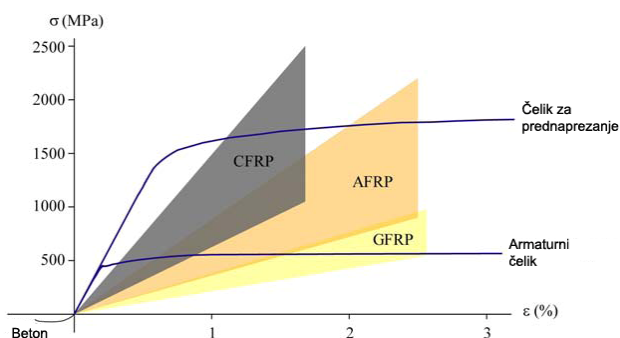
1 UVOD

Kompozitni materijali postaju sve značajnija alternativa konvencionalnom armaturnom čeliku, a njihova primena najzastupljenija je kod sanacija i ojačanja konstrukcija od betona, različitih konstrukcijskih sistema. FRP (fibre reinforced polymer) elementi su polimeri armirani najčešće karbonskim vlaknima (CFRP) koji se proizvode procesom pultrazije i koriste kao dodatna armatura prilikom sanacija i ojačanja konstrukcija. Izrađuju se u različitim oblicima (laminati, platna, šipke), a najzastupljenija tehnika ojačanja armiranobetonskih i prethodno napregnutih konstrukcija izloženih savijanju je lepljenje laminata (*slika 1*) na površinu betona epoksidnim lepkovima (EBR metoda). Glavne prednosti ovih materijala su visoka čvrstoća i mala težina, otpornost na koroziju i jednostavno postavljanje [1,3]. Mada je početna cena primene FRP još uvek veća u odnosu na konvencionalni čelik, zbog brzine i lakoće montaže, otpornosti na agresivnost sredine i nepromenjenog gabarita mogu dobiti prednost u odnosu na ostale načine ojačanja [4,5].



Slika 1: CFRP Laminati

Mehaničke karakteristike FRP elemenata zavise od matrice i vlakana, a zatezna čvrstoća u pravcu vlakana daleko je veća u odnosu na čelik (*slika 2*).



Slika 2: σ-ε dijagram zatezanja za osnovne FRP materijale, čelik i beton

Težište ovog rada predstavlja eksperimentalno istraživanje ponašanja AB greda izloženih savijanju, koje su ojačane EBR tehnikom. Analiza je bazirana na P-Δ dijagramima ojačanih nosača i njihovom upoređenju sa rezultatima ispitivanja neojačane (kontrolne) grede. Za ojačanje AB nosača korišćena je kompozitna dodatna armatura sa karbonskim vlaknima (CFRP) u obliku laminata (33/1.4/2600 mm).

2 OJAČANJE AB PRESEKA LEPLJENJEM FRP LAMINATA NA POVRŠINU BETONA - EBR FRP METODA

Duže od dve decenije vrše se sveobuhvatna istraživanja na polju ojačanja AB konstrukcija korišćenjem spolja lepljenih laminata, a ova tehnologija uspešno je primenjivana i u velikom broju realizovanih projekata širom sveta. Tehnika rada podrazumeva lepljenje FRP laminata sa karbonskim vlaknima, na pripremljenu (ravnu) površinu betonske konstrukcije, pomoću epoksidnih lepkova (Slika 3). U ovom slučaju površina je bila dovoljno ravna, pa nije rađena nikakva dorada na betonu u smislu izravnavajućih slojeva.

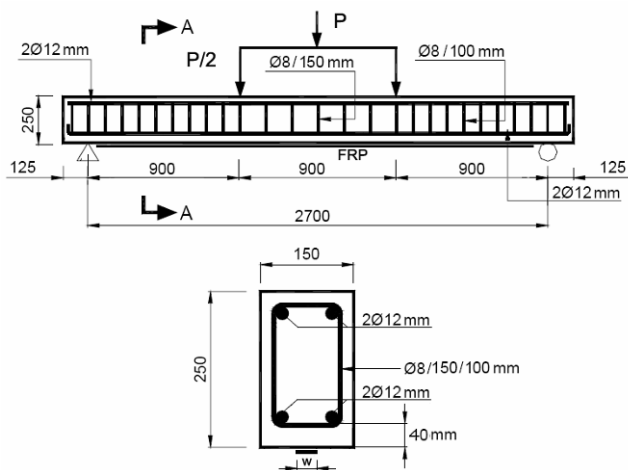


Slika 3: Postupak postavljanja FRP laminata (Niš, 2009.)

Osnovni cilj ispitivanja bilo je utvrđivanje efekata ojačanja EBR metodom, odnosno upoređenje sa neojačanim (kontrolnim) nosačem. Rađena je i uporedna analiza sa NSM tehnikom ojačanja, koja se ne razmatra u ovom radu [8].

3 DISPOZICIJA ISPTIVANIH NOSAČA

Na Građevinsko-arhitektonskom fakultetu u Nišu obavljena su eksperimentalna istraživanja nosivosti grednih nosača ojačanih FRP armaturom pri opterećenju do loma. Na slici 4 prikazani su dimenzije, detalji armiranja i način nanošenja opterećenja.



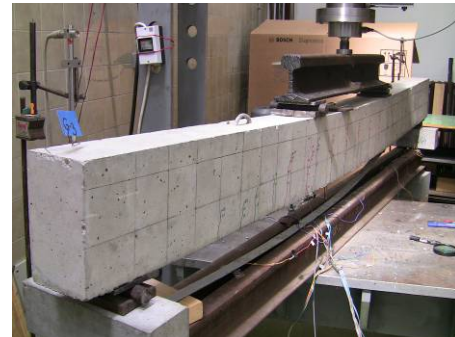
Slika 4: Detalji armiranja i način ojačanja ispitivanih AB nosača

Svi ispitivani uzorci, statičkog sistema prosta greda, imali su identično armiranje i izrađeni su od iste mešavine betona MB30. Opterećenje sa dve koncentrisane sile („four point load“) u trećinama raspona imalo je za cilj izazvanje „čistog savijanja“ u srednjoj trećini raspona.

4 REZULTATI ISPITIVANJA AB GREDNIH NOSAČA OJAČANIH SPOLJA LEPLJENIM FRP LAMINATIMA - EBR ARMATUROM

U ovom istraživanju korišćena je FRP armatura italijanskog proizvođača MAPEI [2], pri čemu je laminatima "Carboplate E 170" fabričkih dimenzija 50/1,4 mm smanjen presek na 33/1,4 mm radi izjednačavanja aksijalne krutosti sa šipkom Ø8 mm i adekvatnog upoređenja rezultata, što zbog obima rada ovde nije prikazano. Veza laminata i betonskog nosača ostvarena je epoksidnim lepkom MapeWrap 11, uz pogodnost da je površina laminata Mape-Carboplate fabrički ohrapavljena, radi bolje prionljivosti. Snimanje mernih podataka obavljeno je uz pomoć akvizicijskog sistema MGCplus, kvazi dinamički, očitavanjem instrumenata svake sekunde. Na slici 5 prikazana je dispozicija grede pri

maksimalnom opterećenju, a na slici 6 karakterističan način otkaza odvajanjem laminata na spoju epoksidnog lepka i betona, zbog prekoračenja napona zatezanja u betonu.

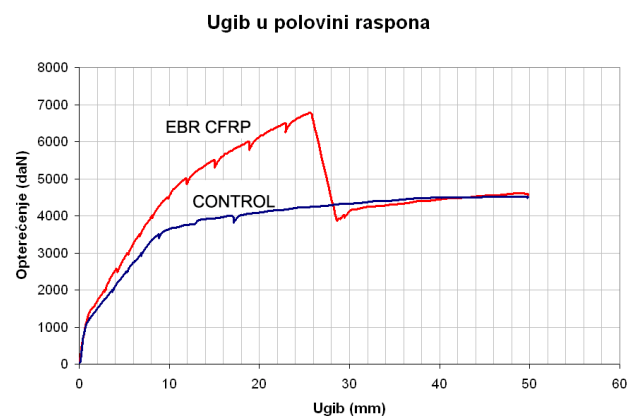


Slika 5: Dispozicija eksperimenta ("experimental setup")



Slika 6: Način otkaza nosača ojačanog EBR metodom

Dijagram ugiba u polovini raspona za nosač ojačan EBR metodom, primenom FRP laminata, prikazan je na slici 7.



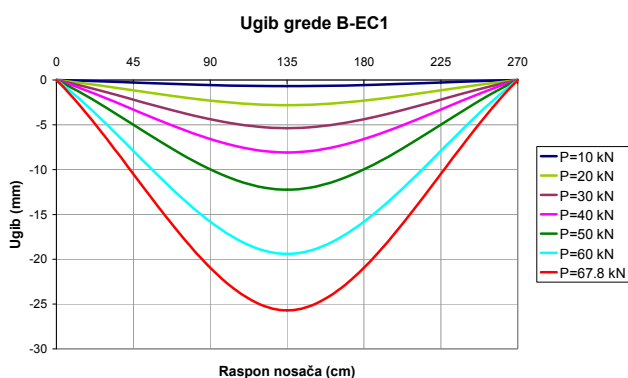
Slika 7: Dijagram ugiba u polovini raspona za ojačanje CFRP laminatom

Uzlazna grana dijagrama ugiba u polovini raspona pokazuje tri karakteristične zone pri opterećenju sve do otkaza (odlepljivanja) FRP laminata, posle čega

sila naglo pada, a ponašanje grede nadalje je identično neojačanom nosaču (etalonu). U prvoj oblasti, do pojave prve prsline u betonu, ponašanje je linearno (elastično). Posle pojave prsline nastaje nelinearni deo dijagrama do pojave tečenja u osnovnoj (čeličnoj) armaturi. Treći karakteristični deo dijagrama (posle tečenja u armaturi) ima još izraženiju nelinearnost do trenutka otkaza, odnosno odlepljivanja laminata od donje površine betona AB grede. Sa odlepljivanjem laminata dolazi do naglog pada nosivosti AB grede i ona ima karakteristike kao neojačani nosač (kontrolna greda).

Sa dijagrama na slici 7 može se uočiti da je maksimalno opterećenje postignuto aplikacijom laminata povećano sa 45 kN na 68 kN, odnosno da je primenom EBR metode ojačanja granična nosivost povećana za 51%. Do pojave prvih prsline nema razlike u krutosti grednih nosača, ona nastaje u delu od pojave prvih prsline do pojave tečenja u armaturi, a naročito posle te tačke. Otkaz je nastao usled odvajanja između epoksidne smole i betona zbog prekoračenja napona zatezanja u betonu (slika 6). Duktilnost ojačane grede, izražena indeksom duktilnosti $ID=2,6$ predstavlja limitirajući faktor, o kome se mora voditi računa prilikom primene ove tehnike ojačanja AB grednih nosača. Ovo se posebno odnosi na ojačanja u seizmičkim područjima.

Na slici 8 dat je grafički prikaz ugiba AB grede ojačane CFRP laminatom, iz koga se vidi nelinearnost deformacija sa priraštajem opterećenja i relativno mala deformabilnost.



Slika 5-32: Grafički prikaz ugiba grede u zavisnosti od nanetog opterećenja

6 DISKUSIJA RAZULTATA I ZAKLJUČAK

Na osnovu podataka iz dostupne literature [3] i [4] i sopstvenih eksperimantalnih istraživanja [5÷8], sprovedenih 2009. g. na GAF u Nišu, uočava se značajno uvećanje nosivosti kod ispitivanih nosača ojačanih EBR metodom. U konkretnom slučaju,

postavljanjem laminata 33/1.4/2600 mm registrovano je povećanje maksimalnog opterećenja za 51%. Pri tome je do otkaza (odvajanja laminata) došlo na spoju epoksidne paste i betona, zbog prekoračenja napona zatezanja u betonu. Ovaj oblik loma je nepovoljan, jer pokazuje krto ponašanje nosača, pa ga treba izbeći pri projektovanju.

Navedene prednosti EBR FRP metode, u mnogo slučajeva, čine je superiornom u odnosu na klasične načine ojačanja AB konstrukcija. Uz potpuniju regulativu, bolju obaveštenost projekatanta i sve lakšu dostupnost FRP materijala na tržištu, može se očekivati njena sve šira primena u praksi.

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

LITERATURA

- [1] ACI committee 440, "Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures," ACI 440.2R-08, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 2008, 80 pp.
- [2] Mapei FRP System, www.mapei.com, June, 2010.
- [3] Fédération Internationale du Béton (FIB): Technical Report Bulletin 14: *Externally Bonded FRP Reinforcement for RC Structures*, Lausanne, 2001.
- [4] Folić, R., Glavardanov, D.: *Analiza metoda pojačavanja armiranobetonskih elemenata lepljenjem vlaknastih kompozita (FRP)*, Izgradnja br. 5-6, 2006, str. 113-126.
- [5] Ranković S., Zlatkov D., Folić R.: *Ispitivanje AB konstrukcije pojačane novim betonom i FRP laminatima sistema Sika CarboDur*, DIMK Srbije, XXIV kongres, Divčibare, oktobar 2008, (str. 253-262.)
- [6] Ranković, S., Zlatkov D., Folić R.: *Ispitivanje AB konstrukcije pod probnim opterećenjem pre i posle sanacije novim betonom i FRP laminatima*, Materijali i konstrukcije 51 (2008.) 4 (63-73), mart 2009.
- [7] Ranković S., Folić R. Mijalković. M.: *Ojačanje AB grede FRP armaturom postavljenom unutar zaštitnog sloja betona*, Zbornik radova GAF Niš, br. 23, decembar 2008., str.39-47.
- [8] Rankovic S., Folić R., Mijalković M.: *Effects of RC beams strengthening using near surface reinforced FRP composites*, FACTA UNIVERSITATIS, Vol8, N°2, 2010., (pp. 177-185).