

**PROCENA STANJA I SANACIONO REŠENJE NOSEĆE AB KONSTRUKCIJE LAMELE C2 URGENTNO-DIJAGNOSTIČKOG CENTRA U NOVOM SADU****ASSESSMENT OF THE CONDITION AND REMEDIATION OF THE BEARING RC STRUCTURE LAMELE C2 OF THE ED CENTER IN NOVI SAD**

Dorđe Pujović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

**Oblast – GRAĐEVINARSTVO**

**Kratak sadržaj** – Rad se sastoji iz teorijskog i praktičnog dela. U teorijskom delu opisano je ojačanje AB elemenata CFRP lamelama. U praktičnom delu urađena je procena stanja lamele C2 Urgentno-dijagnostičkog centra u Novom Sadu. Kako bi se utvrdio stepen oštećenja i dao predlog sanacionih radova, sproveden je detaljan vizuelni pregled svih dostupnih elemenata konstrukcije. Zaključeno je da na AB elementima postoje brojni defekti i oštećenja. Na osnovu analize registrovanih defekata i oštećenja i rezultata ispitivanja uzoraka zeti iz konstrukcije, dat je predlog sanacionih mera AB konstrukcije.

**Ključne reči:** Procena stanja, defekti, oštećenja, sanacija, ojačanje CFRP lamelama

**Abstract** – The paper consists of a theoretical and a practical part. The theoretical part deals with the strengthening of RC elements with CFRP materials. The assessment of the “part C2 of the ED center”, located in Novi Sad, was carried out in the practical part of this thesis. In order to determine the level and cause of damages, as well as the type of repairing measures, the detail visual inspection of structural elements was carried. The large number of defects and damages has been detected. Based on the analysis of those damages and defects and material testing, the repair measures of RC structure are suggested.

**Keywords:** Assessment, defects, damages, repair, strengthening with CFRP material

**1. OJAČANJE CFRP LAMELAMA****1.1 Područje primene FRP materijala za ojačanje**

Područje primene FRP kompozitnih materijala kod ojačanja konstruktivnih elemenata veoma je široko:

- Nosivost na savijanje konstruktivnih elemenata pojačava se lepljenjem FRP traka u zategnoj zoni. Tehnologija je vrlo brza i jednostavna, uz minimalno povećanje težine i dimenzija;
- Smičuća nosivost povećava se lepljenjem FRP lamela ili traka i to: na stranice grede, u obliku slova U ili obmotavanjem oko grede;

**NAPOMENA:**

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Ivan Lukić, vanr. prof.

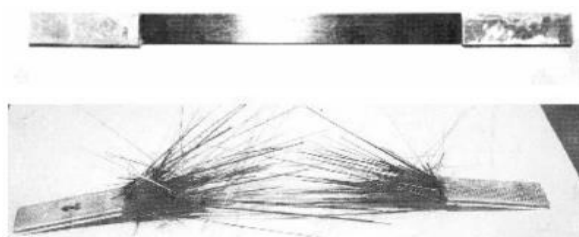
- Otpornost na izvijanje može se poboljšati korišćenjem FRP materijala, iako kod samog kompozita dolazi do izvijanja pri relativno malim opterećenjima;
- Ojačanjem greda povećava se otpornost na savijanje i smicanje, kao i duktilnost, dok dolazi do smanjenja deformacija i ugiba, čime se ograničavaju i prsline;
- Ojačanjem zidova povećava se otpornost na savijanje u ravni i izvan nje, kao i na pritisak i na smicanje;
- Ojačanjem stubova povećava se duktilnost, otpornost na savijanje, izvijanje, smicanje, kao i dinamička čvrstoća.

**1.2 Tipovi FRP sistema za ojačanje**

Ovaj materijal dobija se tkanjem konaca formiranih od vlakana. Mogu biti nosive u jednom ili više pravaca, u zavisnosti od načina tkanja, i to:

- Monoaksijalne trake - tkanine, koje imaju vlakna samo u jednom pravcu;
- Biaksijalne trake imaju vlakna (tkanje) u dva međusobno upravna pravca;
- Trake sa dijagonalnim tkanjem, gde vlakna sa osom trake zaklapaju ugao 45°.

Karbonske trake CFRP proizvode se u praktično neograničenim dužinama. Imaju debljine do oko 2 mm i širine do 200 mm. Kada se primenjuju trake, s obzirom da su nosive samo u jednom pravcu, mogu se postaviti i dodatne trake upravno na raspon kako bi se još više povećala nosivost na savijanje.

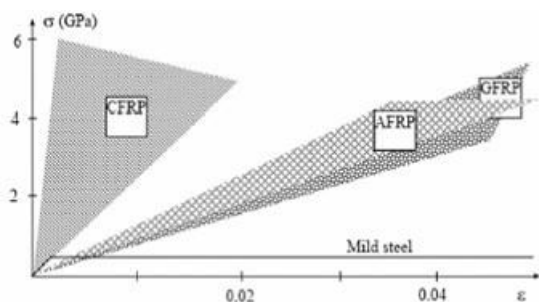


Slika 1. Uzorak trake-lamele pre i nakon ispitivanja na zatezanje

**1.3 Prednosti i nedostaci FRP materijala**

FRP materijali su zbog svojih prednosti (mala težina, jednostavnost ugradnje, niska cena održavanja, otpornost na koroziju, visoki koeficijent konstrukcione povoljnosti i niska cena u odnosu na vek trajanja) sve više zastupljeni u građevinarstvu. U cilju poređenja sa čelikom, na slici 2 prikazani su radni dijagrami za različite vrste FRP traka i lamela za ojačanje pod dejstvom kratkotrajnog opterećenja. Jasno vidljiva dobra karakteristika sa slike 2,

a zbog koje su FRP materijali veoma poželjni za mnoštvo primena u građevinarstvu, je njihova izuzetno visoka čvrstoća na zatezanje - čak 4 do 8 puta veća nego kod običnih čelika.



Slika 2. Radni dijagram FRP materijala za spoljašnje ojačanje

Pored svih dobrih karakteristika postoje razlozi zbog kojih kompozitni materijali mogu biti upotrebljavani samo uz značajnu dozu opreza. Glavni nedostaci FRP kompozita leže u njihovoj relativno krhkoj prirodi u odnosu na tradicionalne građevinske materijale, kao i u nedovoljnom iskustvu projekatanta i izvođača konstrukcije, što je rezultiralo upotrebom visokih sigurnosnih faktora u projektovanju. Visoke cene ovog materijala su još jedan faktor koji donekle ograničava njegovu veću primenu.

## 2. PROCENA STANJA OBJEKTA

### 2.1 Opis konstrukcije

Građenje kompleksa Urgentno-dijagnostičkog centra Vojvodine u Novom Sadu, koji se sastoji iz četiri povezane lamele, započeto je krajem 1988. godine, a prekinuto je 1992. godine. U tom periodu izvedeni su gotovo svi AB radovi na nosećoj konstrukciji lamela A, B i C, kao i šipovi za lamelu D. Tokom 2008. i 2009. godine završena je rekonstrukcija lamele A, dok je noseća AB konstrukcija lamela B i C ostala nezaštićena i direktno izložena "zubu" vremena sve do današnjih dana.

Radi utvrđivanja stvarnog stanja noseće AB konstrukcije lamele C2, nakon višedecenijske izloženosti uticaju atmosferilija i deterioracionim procesima i definisanja eventualno potrebnih specifičnih radova na sanaciji, predviđeno je da se obavi detaljan pregled dostupnih elemenata noseće AB konstrukcije.

U cilju utvrđivanja trenutnog stanja noseće AB konstrukcije lamele C2 Urgentno-dijagnostičkog centra Vojvodine u Novom Sadu, realizovane su sledeće aktivnosti:

- Analiza dostupne projektno-tehničke dokumentacije o nosećoj konstrukciji;
- Detaljan vizuelni pregled dostupnih delova noseće AB konstrukcije, sa registrovanjem uočenih defekata i oštećenja;
- Naknadno utvrđivanje čvrstoće betona pri pritisku u karakterističnim elementima noseće AB konstrukcije;
- Određivanje debljine karbonatizovanog sloja betona u karakterističnim elementima noseće AB konstrukcije.



Slika 3. Sadašnji izgled lamele C2 Urgentno-dijagnostičkog centra Vojvodine

Noseća konstrukcija objekta je izvedena kao polumontažna armiranobetonska konstrukcija. Sa aspekta nosećih vertikalnih elemenata, noseća konstrukcija je skeletna, ukružena sa zidnim platnima. Raster AB stubova u podužnom pravcu je konstantan i iznosi 7.5m, a u poprečnom pravcu je promenljiv (9.75m+6.15m). Spratne visine u objektu su: prizemlje 4.29m, I-III sprat 4.4m.

### 2.2 Procena stanja – vizuelni pregled objekta

Detaljan vizuelni pregled lamele C2 obavljen je za sve elemente noseće konstrukcije, po etažama. Elementi koji su bili podvrgnuti vizuelnom pregledu su temeljne grede, stubovi, zidna platna, kratki elementi na stubovima i zidnim platnima, poprečne/podužne grede, monolitne ploče i međuspratna tavanica od TT koruba.

Vizuelnim pregledom detektovan je veliki broj defekata koji potiču iz perioda građenja objekta (mala debljina zaštitnog sloja betona, linijska segregacija na mestima spojeva oplata, betonska gnezda, geometrijske imperfekcije i nepravilno izvedeni prekidi betoniranja) i oštećenja koja su se razvila usled višegodišnje izloženosti objekta atmosferilijama i usled nabrojanih defekata (korozija armature i, posledično, oštećenja betonskih preseka elemenata). Na narednim slikama (4-8) ilustrovani su ovi defekti i oštećenja.



Slika 4 – Betonsko gnezdo i mala debljina zaštitnog sloja betona sa vidljivom horizontalnom i vertikalnom armaturom sa bočne strane (zidno platno)



Slika 5 – Ljuskanje i otpadanje betona usled bubrenja korodirale horizontalne armature na unutrašnjoj strani platna (zidno platno)



Slika 6 – Korozija horizontalne i vertikalne armature, praćena pucanjem, odvajanjem i otpadanjem zaštitnog sloja betona na čeonj strani kratkog elementa; korozija glavne armature, trošan beton u uglovima donjeg dela stuba



Slika 7 – Opšta korozija uzengija sa bubrenjem, ljuskanjem i otpadanjem zaštitnog sloja betona, lokalno jaka korozija uzengija grede, biološka korozija betona na bočnoj površini grede



Slika 8 – Otpadanje zaštitnog sloja i korozija armature rebara, tragovi slivanja vode i biološka korozija oko otvora na korubi

### 2.3 Ispitivanja kvaliteta ugrađenog betona

Radi određivanja stvarnih čvrstoća pri pritisku betona ugrađenog u noseće elemente AB konstrukcije lamele C2, obavljeno je vađenje betonskih jezgara iz osnovnih AB konstrukcijskih elemenata (stubova, greda i monolitnih ploča i zidnih platana). Osim za ocenu čvrstoće betona pri pritisku na dan ispitivanja, jezgra su poslužila i za detekciju eventualne makroskopske poroznosti betona, kao i unutrašnjeg raslojavanja betona i/ili unutrašnjih prslina, kao i za određivanje debljine karbonatizovanog sloja betona.

Analizom dobijenih vrednosti čvrstoća betona pri pritisku na dan ispitivanja, koje se kreću od 43.5-86.5MPa, može se zaključiti da su srednje i minimalne vrednosti čvrstoća betona pri pritisku u ispitivanim elementima noseće AB konstrukcije značajno više od karakterističnih vrednosti za projektovanu MB35, pa se pri eventualnoj sanaciji ili proračunu za dokaz nosivosti ispitivanih elemenata noseće AB konstrukcije, može usvojiti projektovana MB35.

Za određivanje stanja zaštitnog sloja betona sa aspekta zaštite armature od korozije, odabrana je kolorimetrijska metoda pomoću fenol-ftaleina. Za ispitivanje su upotrebljena betonska jezgra.

Na osnovu prikazanih rezultata merenja dubine karbonatizovanog sloja u AB elementima može se zaključiti:

- Na spoljašnjim i unutrašnjim površinama AB fasadnih zidnih platana otpočeo je proces karbonatizacije. Debljina karbonatizovanog sloja betona približno je jednaka na obe strane ispitivanih platana i varira od 0.5-2.5cm.
- Na ispitivanim AB stubovima proces karbonatizacije takođe je otpočeo. Debljina karbonatizovanog sloja betona kreće se u granicama od 1-2cm.
- Na polovini ispitivanih AB greda karbonatizacija betona nije registrovana, dok je na drugoj polovini registrovana dubina karbonatizacije u granicama od 1-2cm.

### 3. SANACIJA OBJEKTA

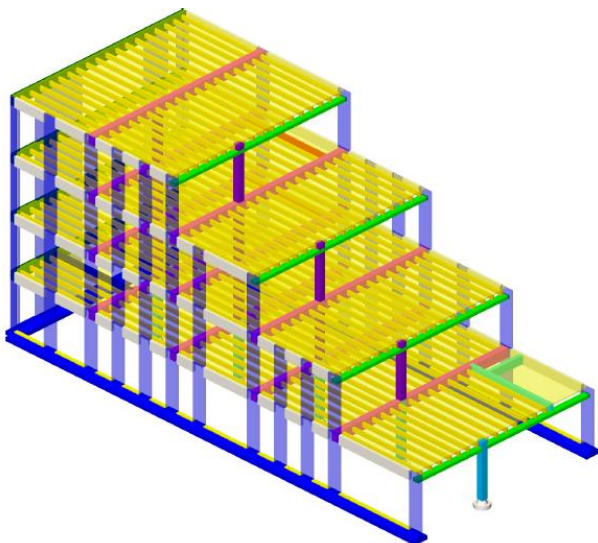
U okviru predloženog sanacionog rešenja, predviđene su sledeće operacije:

- Sanacija korodiranih šipki uzengija i lokalna reprofilacija.
- Čišćenje i zaštita korodiranih šipki i lokalna reprofilacija oštećene površine betona.
- Lokalna sanacija vidljive korodirale armature AB greda čišćenjem i nanošenjem antikorozijskog premaza.
- Izvođenje novog zaštitnog sloja na AB elementima na kojima je registrovana opšta korozija uzengija.
- Injektiranje prslina i pukotina u betonu koje prolaze celom debljinom ploča.
- Lokalno ojačanje ploča koruba sa donje strane u zonama sa kosim pukotinama i izdrobljenim betonom.
- Ojačanje rebara TT koruba CFRP lamelama.

Nastavku je prikazano ojačanje rebara TT koruba CFRP lamelama.

### 3.2 Ojačanje rebara TT koruba CFRP lamelama

U cilju upoređivanja postojeće i potrebne armature u elementima konstrukcije lamele C2, urađena je analiza opterećenja i kontrolni proračun konstrukcije. Analiza je sprovedena u softveru Radimpex Tower.



Slika 11. Model konstrukcije lamele C2 – Izometrija (Tower Radimpex)

Na osnovu dobijenih rezultata, u pojedinim rebrima TT koruba potrebna armature je veća od postojeće gde je kao sanaciono rešenje predviđeno ojačanje rebara CFRP lamelama sa ciljem povećana nosivosti. Proračun potrebne količine CFRP za obezbeđenje nosivosti urađen je sa pretpostavkom da će za ojačanje biti primenjene karbonske trake sa sledećim mehaničkim karakteristikama:

Modul elastičnosti .....  $E_t = 210 \text{ GPa}$   
Granična deformacija pri lomu .....  $\epsilon_{tu} > 1.2 \%$   
Čvrstoća pri zatezanju .....  $\sigma_t = 2400 \text{ MPa}$   
Računska deformacija pri lomu .....  $\epsilon_{t,r} > 1.2 \%$   
Računska čvrstoća pri zatezanju .....  $\sigma_{t,r} = (0.5-0.65) \cdot \epsilon_{t,r} \cdot E_t$   
(usvojeno 1500 MPa)

Proračun ojačanja preseka

Postojeća armatura - 2Ø22 .....  $A_{a,\text{post}} = 7.60 \text{ cm}^2$   
Potrebna armatura .....  $A_{a,\text{pot}} = 9.34 \text{ cm}^2$   
 $\Delta A = 1.74 \text{ cm}^2$

Potrebna površina „CFRP“

$$A_t = (9.34/7.60 - 1) \cdot 7.60 \cdot 400/1500 = 0.46 \text{ cm}^2$$

Proračunom ojačanja preseka usvojena je jedna CFRP traka/lamela ( $140 \text{ mm}^2$  površine poprečnog preseka) koja se lepi sa donje strane rebara TT korube.

Metoda sanacije obuhvata dodavanje „CFRP“ lamela i njihovo pričvršćivanje epoksidnim lepkom sa donje strane rebara TT koruba (princip 4, metoda 4.3). Prilikom lepljenja „CFRP“ lamela, potrebno je da se poštuju sledeći tehnički uslovi:

- Dokaz postignute MB.
- Određivanje čvrstoće prijanjanja/lepljenja za betonsku površinu („Pull of“ metoda,  $F_{\text{ath}} \geq 1.5 \text{ MPa}$ ).
- Kontrola ravnosti/hrapavosti površina (na dužini od 2m neravnina ne sme biti veća od 5mm, na dužini/širini od 30cm dubina neravnina ne sme biti veća od 1mm).

- Kontrola tačke rose (temperatura površine mora biti veća od temperature tačke rose uvećane za  $3^\circ\text{C}$ ).
- Kontrola površinske vlažnosti (vlažnost površine ne sme biti veća od 4%).
- Temperatura spoljašnje sredine ( $10^\circ\text{C} - 35^\circ\text{C}$ ).
- Karbonske trake, lepak i princip postavljanja „CFRP“ (priprema za lepljenje, nanošenje lepka i lepljenje) prema uputstvu proizvođača (koristiti proizvode i uputstva istog proizvođača).
- Kontrola izvedenih radova: važeći sertifikati za sve upotrebene materijale kontrolno ispitivanje.
- prijanjanja trake za podlogu (jedno merno mesto – tri pečata), kontrola ravnosti zalepljene trake.
- Kontrola praznih prostora u lepku. Po izvršenom lepljenju potrebno je zalepljene trake „prekucati“ kako bi se ustanovili eventualni prazni prostori. Praznine u srednjim zonama ojačanja mogu se injektirati epoksidnom smolom pod niskim pritiskom, dok se u slučaju praznina na krajevima, trake moraju ukloniti i ponovo zalepiti.

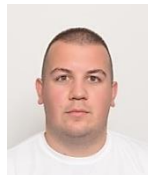
### 4. ZAKLJUČAK

U radu je data procena stanja i predlog sanacionog rešenja za lamelu C2 Urgentno-dijagnostičkog centra Vojvodine u Novom Sadu. Ova lamela je od 1992. godine ostala nezaštićena i direktno izložena "zubu" vremena sve do današnjih dana. Sanacionim rešenjem lamela se može vratiti u stanje funkcionalnosti uz obezbeđenje trajnosti AB elemenata konstrukcije.

### 5. LITERATURA

- [1] Vlastimir Radonjanin, Mirjana Malešev: „Trajnost i procena stanja betonskih konstrukcija“, materijal sa predavanja, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
- [2] Vlastimir Radonjanin, Mirjana Malešev: „Sanacija betonskih konstrukcija“, materijal sa predavanja, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
- [3] <https://www.knaufinsulation.rs/zeleni-krovovi> (pristupljeno u julu 2021.)
- [4] <https://www.knaufinsulation.rs/ravni-krov> (pristupljeno u julu 2021.)
- [5] <https://srb.sika.com> (pristupljeno u julu 2021.)

### Kratka biografija:



**Đorđe Pujović** rođen je u Priboju 1995. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Građevinarstvo – Konstrukcije, trajnost i procena stanja i sanacija betonskih konstrukcija, odbranio je 2021.god.  
kontakt: [djordje.pujovic@gmail.com](mailto:djordje.pujovic@gmail.com)



**Ivan Lukić** rođen je u Rumi 1982. Doktorirao je na Fakultetu tehničkih nauka 2015. god., a od 2020. je u zvanju vanredni profesor. Oblast interesovanja su mu građevinski materijali, procena stanja i sanacija konstrukcija.