



Viti i VII-të i Botimit, Nr.1,
Qershorë 2016

VLERËSIM TEORIK I RITJES SË AFTËSISË MBAJTËSE TË TRARËVE B/A DUKE PËRDORUR PËRFORCIMIN ME FRP

Enio Deneko*, Altin Bidaj*, Anjeza GJINI*

*Universiteti Politeknik i Tiranës, Fakulteti i Inxhinierisë së Ndërtimit, Tiranë, Shqipëri

Adresë kontakti: eniodeneko@hotmail.com

Përmbledhje

Gjatë jetës së tyre, aftësia mbajtëse e strukturave të betonit të armuar mund të mos jetë më adekuate për sa u përket funksioneve statike e dinamike të parashikuara në projekt, kjo për arsye të amortizimit të strukturës apo ndryshimit të destinacionit dhe qëllimit të përdorimit të saj. Për këtë arsye lind nevoja e përforcimit të këtyre strukturave me materiale të ndryshëm, siç janë fibrat e përforcuara polimere (FRP), të cilat kanë gjetur një përdorim të madh këto dekadat e fundit. Fibrat e karbonit përdoren në elemente betonarme të zakonshëm dhe të parandëruar që punojnë në përkulje, ku roli i fibrave të karbonit është rritja e aftësisë mbajtëse ndaj momentit përkulës dhe forcave prerëse, si dhe për të mënjeluar ulje më të mëdha se ato të lejuara. Fibrat e karbonit përdoren edhe për përforcimin e kolonave betonarme duke rritur si aftësinë mbajtëse, edhe për të realizuar “shtërngimin” e betonit për të përballuar forca të mëdha prerëse.

Në këtë punim është paraqitur një studim mbi efektin e përdorimit të fibrave të përforcuara polimere (FRP), në rritjen e aftësisë mbajtëse të trarëve prej betoni të armuar me shufra çeliku. Janë bërë krahasime të ndryshimeve në aftësinë mbajtëse të një trau betonarme vetëm me armaturë të poshtme dhe me armaturë dyfishe pa përforcim të jashtëm, pastaj me përforcim me një shtresë CFRP dhe me dy shtresa CFRP. Me rezultatet e dalë janë nxjerrë disa konkluzione.

Fjalë çelës: Përforcim me FRP, tra betoni, aftësi mbajtëse, moment llogaritës, armaturë e çelikut, deformim.

THE THEORETICAL EVALUATION OF INCREASING HOLDING CAPACITY OF CONCRETE BEAMS BY USING FRP REINFORCEMENT

Abstract

Throughout their lives, the ability of reinforced concrete structures cannot be seen as adequate as in terms of static and dynamic functions envisaged in the project, this is because of the depreciation of the structure or change of destination and purpose of its use. So there is need to strengthen these structures with different materials, such as fibre reinforced polymers (FRP), which have found extensive use in recent decades. Carbon fibres are used

in ordinary and prestressing reinforced concrete elements working in flexion, where the role of carbon fibres is to increase the holding capacity of bending moment and cutting forces, and to avoid larger cuts than those allowed. Carbon fibres are used to strengthen reinforced concrete columns increasing their ability and to realize the “tightening” of concrete to withstand large forces trimmer.

This article presented a study on the effect of the use of fibre reinforced polymers (FRP), which increase the holding capacity of reinforced concrete beams with steel rebars. There are made comparisons of the changes in the ability of an only reinforced concrete beam with lower armour and armour double without external reinforcement, then the reinforcement layer and double-layer CFRP. There are taken some important conclusions, using the results above.

Keywords: *FRP reinforcement, concrete beam, ball bearings, moment calculation, reinforcement steel deformation.*

1. Hyrje

Fibrat e karbonit përdoren në përforcimin apo riparimin e strukturave ekzistuese. Përforcimi i strukturave ekzistuese mund të jetë i nevojshëm për këto arsye:

- materialet përbërës të strukturës janë vjetruar [1];
- struktura është dëmtuar nga faktorë veprues aksidentalë, ku mund të përmendim zjarrin, automjetet, korrozionin, etj.;
- është zmadhuar ngarkesa e përkohshme (mund të jenë vendosur pajisje të rënda në reparte industriale, është zmadhuar ngarkesa e trafikut në ura, etj.);
- janë bërë ndryshime arkitektonike të cilat kanë çuar në ndryshime strukturore [2];
- janë bërë gabime në projektim.

Nga pikëpamja strukturore zgjidhen këto probleme:

- Rritja e ngarkesës që mund të përballojnë elementet betonarme, si trarë, soleta, kolona, etj. (llogaritjet sipas SLU).
- Zvogëlimi i deformimeve (llogaritje sipas SLE).
- Zvogëlimi i madhësisë së plasaritjeve (llogaritje sipas SLE).
- Nuk mund të zgjidhen problemet në shtypje për shkak të punës së fibrave vetëm në tërheqje [3].



Fig. 1.1. Fibrat FRP

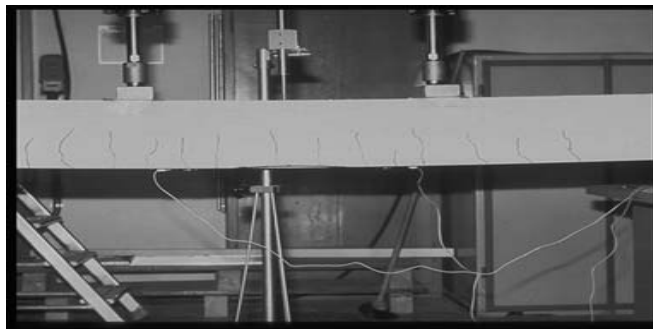


Fig. 1.2. Mosdalja nga puna e traut të përforcuar me FRP



Fig. 1.3. Përforcim me FRP i elementëve prej betoni të armuar

2. Metodologjia

Hipotezat bazë që merren parasysh gjatë llogaritjeve janë:

- Betoni punon vetëm në zonën e shtypur;
- Seksionet plane para deformimit mbeten të tilla edhe pas deformimit;
- Ka vend ligji i Hukut;
- Fibrat e karbonit vendosen në zonat që punojnë në tërheqje;
- Ngjitja e fibrave të karbonit në sipërfaqen e betonit është e përsosur;
- Materiali ngjites i posaçëm (rezina) nuk ndikon fare në punën e elementit;
- Nga pikëpamja parimore, një fibër karboni punon njëllë si një shufër çeliku;
- Armatura ekzistuese mund edhe të mos merret parasysh në llogaritje.

3. Baza teorike e llogaritjes së fibrave të karbonit që punojnë në përkulje

Mënyra e shkatërrimit e dëshiruar është ajo sipas së cilës betoni shkatërrohet (sforcimet arrijnë kufirin e rezistencës në shtypje) dhe armatura arrin kufirin e rrjedhshmërisë. Aftësia mbajtëse në përkulje e seksionit të përforcuar është gjetur duke u nisur nga parimet e betonarmesë. Së pari, lartësia e zonës së shtypur llogaritet sipas deformimeve të seksionit dhe e ekuilibrit të forcave. Më pas, momenti mbajtës merret nga ekuilibri i momenteve. Merret parasysh fakti se në çastin e përforcimit, elementi betonarme ka një deformim fillestar ϵ_0 , në fibrat skajore që tërhiqen. Për këtë bazohemi në gjendjen e sforcuar dhe të deformuar të paraqitur në figure [4].

$$0.8f_{cd} \cdot bx + A_s E_s \epsilon'_s = A_s f_{yd} + A_f E_f \epsilon_f \quad (1)$$

$$\epsilon'_s = \epsilon_{cu} \frac{x-d'}{x} \leq \frac{f_{yd}}{E_s} \quad (2)$$

$$\epsilon_f = \epsilon_{cu} \frac{h-x}{x} - \epsilon_0 \quad (3)$$

Momenti përkulës është:

$$M_{Rd} = A_s f_{yd} (d - 0.4x) + A_f E_f \epsilon_f (h - 0.4x) + A'_s E_s \epsilon'_s (0.4x - d') \quad (4)$$

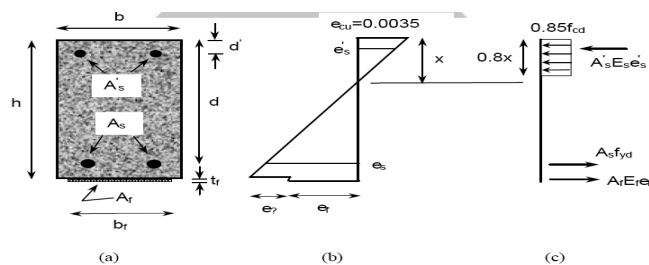


Fig. 3.1. Modeli i llogaritjes për një seksion tërthor katërkëndor

Me qëllim që ekuacionet e dhëna me sipër të jenë të vlefshme, duhet të kontrollohen deformimet relative të çelikut dhe fibrave të karbonit.

$$\varepsilon_s = \varepsilon_{cu} \frac{d-x}{x} \geq \frac{f_{yd}}{E_s} \quad (5)$$

$$\varepsilon_f = \varepsilon_{cu} \frac{h-x}{x} - \varepsilon_0 \leq \varepsilon_{f,lim} \quad (6)$$

$\varepsilon_{f,lim}$ nuk duhet të kalojë 50% të deformimit kufitar të fibrave të karbonit si dhe pesëfishin e deformimit të rrjedhshmërisë për armaturën gjatësore të çelikut.

4. Krahاسimi i rritjes së aftësisë mbajtëse duke përdorur përforcimet FRP

Studiohet një tra me përmasa 30x50 cm, ku shkarkon një soletë monolite me trashësi 15 cm. Merret beton C25 me: $R_{ck} = 25$ MPa, $f_{cd} = 0.85 \cdot 0.83 \cdot 25 / 1.6 = 11.0$ MPa. Çeliku është FeB44K me $f_{yk} = 440$ MPa, $f_{td} = 440 / 1.15 = 382.6$ MPa.

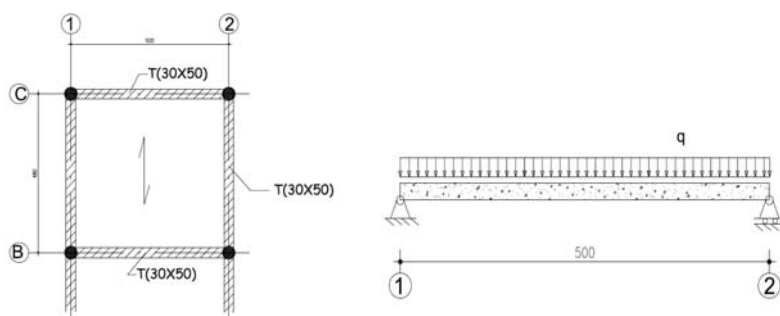


Fig. 4.1 Plani i strukturave dhe trau i marrë në shqyrtim

Ngarkesat e përhershme:

$$g_k = 5.50 \text{ kN/m}$$

Ngarkesat e përkohshme:

$$q_k = 2.80 \text{ kN/m}$$

Ngarkesat që shkarkohen në tra:

$$G_k = 17.40 \text{ kN/m}$$

$$Q_k = 6.72 \text{ kN/m}$$

Kombinimi i ngarkesave për gjendje kufitare të fundme:

$$q_k = \gamma_g \cdot G + \gamma_p \cdot P + \gamma_q \cdot Q + \sum \gamma_q (\psi_{0i} \cdot Q_{ik}) = 1.4 \times 17.40 + 1.5 \times 6.72 = 34.44 \text{ kN/m}$$

4.1. Seksion b.a. vetëm me armaturë në tërheqje dhe një shtresë FRP

$$M_{sd} = q_k \cdot l^2 / 8 = 34.44 \times 5^2 / 8 = 107.62 \text{ kNm}$$

$$\mu_{sd} = M_{sd} / (b d^2 f_{cd}) = 1076200 / (30 \times 46^2 \times 110) = 0.154$$

$$d = h - d' = 50 - 4 = 46 \text{ cm}$$

$$\omega = \mu_{sd} (1 + \mu_{sd}) = 0.154 \times (1 + 0.154) = 0.177$$

$$A_s = \omega b d f_{cd} / f_{yd} = 0.177 \times 30 \times 46 \times 110 / 3826 = 7.02 \text{ cm}^2$$

$$\text{Zgjedhim } 3 \Phi 18 = 7.63 \text{ cm}^2 \text{ ose } 2 \Phi 22 = 7.61 \text{ cm}^2$$

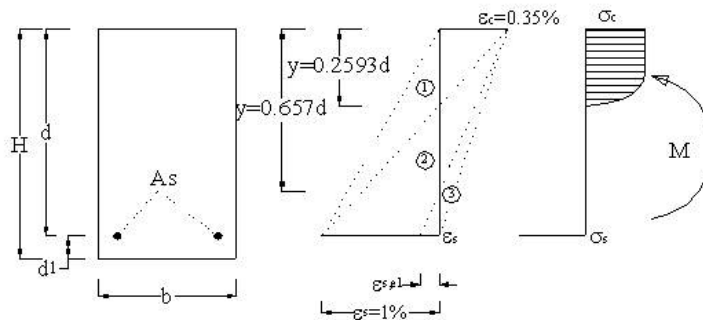


Fig. 4.2. Modeli i llogaritjes për një seksion tërthor katërkëndor

Gjejmë zonën të cilës i takon gjendja e deformuar.

$$0.8b \cdot y_c \cdot f_{cd} - A_s \cdot f_{yd} = 0.8 \cdot 30 \cdot y_c \cdot 110 - 7.63 \cdot 3826 = 0$$

$$y_c = 11 \text{ cm}; \quad \xi = x/d = 11/46 = 0.239$$

Meqenëse $0 \leq x = 11 \text{ cm} \leq 0.259d = 0.259 \times 46 = 11.91 \text{ cm}$, atëherë gjendja e deformuar i takon zonës 2 të elementeve betonarme që ndodhen nën veprimin e momentit përkulës dhe të një force aksiale shtypëse apo tërheqëse. Momenti maksimal:

$$M_u = 0.8b \cdot y_c \cdot f_{cd} (d - 0.4 \cdot y_c) = 0.8 \cdot 30 \cdot 11 \cdot 110 (46 - 0.4 \cdot 11) = 120.8 \text{ kNm}$$

Ndryshojmë ngarkesën e përkohshme në soletë, e cila mund të merret 5.5 kN/m^2 .

$$Q_k = 5.5 \text{ kN/m} \times 2.4 \text{ m} = 13.2 \text{ kN/m}$$

$$q_k = 1.4 \times 17.40 \text{ kN/m} + 1.5 \times 13.2 = 44.16 \text{ kN/m}$$

$$M_{sd} = q_k \cdot l^2 / 8 = 44.16 \times 5^2 / 8 = 138 \text{ kNm}$$

$$M_u = 121 \text{ kNm} < M_{sd} = 138 \text{ kNm} \text{ pra kemi nevojë për përforcim të seksionit.}$$

Gjejmë pozicionin e aksit neutral:

$$S_n = b \cdot y_0 \cdot \frac{y_0}{2} + n \cdot A_{s2} \cdot (y_0 - d_2) - n \cdot A_{s1} \cdot (d - y_0) = 0$$

ku $n=15$ dhe del $y_0=15.2$ cm

$$I_{c0} = b \cdot \frac{y_0^3}{3} + n \cdot A_{s2} \cdot (y_0 - d_2)^2 + n \cdot A_{s1} \cdot (d - y_0)^2 = 141933 \text{ cm}^4$$

Deformimi i zonës së shtypur të betonit: $\varepsilon_{c0} = \frac{M_0 \cdot y_0}{E_c \cdot I_{c0}} = 0.000162$

ku $M_0 = 45$ kNm është momenti real në çastin kur do të fillojë përforcimi.

Deformimi i zonës së tërhequr të armaturës: $\varepsilon_0 = \varepsilon_0 \cdot \frac{(h - y_0)}{y_0} = 0.000328$

4.2 Trau me një shtresë FRP

Shtresa e FRP është $t_f = 1.65 \text{ mm} = 0.165 \text{ cm}$, me gjerësi sa gjerësia e traut pra $b_f = 30 \text{ cm}$, me rezistencë $f_{f,uk} = 4900 \text{ MPa}$, modul elasticiteti $E_f = 240000 \text{ MPa}$ dhe deformim kufitar $\varepsilon_{f,uk} = 0.0204$ [3].

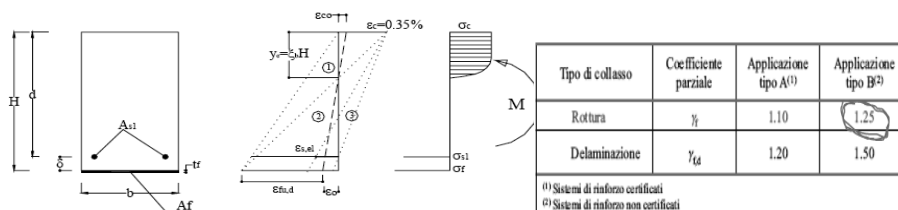


Fig. 4.3. Modeli i llogaritjes për seksionin e përforcuar me FRP

Deformimi i lejuar i projektit për FRP është: $\varepsilon_{fd} = \min \left\{ \eta_a \cdot \frac{\varepsilon_{f,uk}}{\gamma_f}, \varepsilon_{f,max} \right\}$

ku $\gamma_f = 1.25$ (Tipi B për vështirësi në montim dhe kontroll të objektit ekzistues)

dhe $\eta_a = 0.95$ (fibra karboni/resinë epoksidike për ambient të brendshëm). Atëherë:

$\varepsilon_{fd} = \min \left\{ \eta_a \cdot \frac{\varepsilon_{f,uk}}{\gamma_f}, \varepsilon_{f,max} \right\} = \min \left\{ 0.95 \cdot \frac{0.0204}{1.25}, \varepsilon_{f,max} \right\} = \min \{ 0.0155, \varepsilon_{f,max} \}$ Llogaritim deformimin maksimal për efekt të delaminimit (shkëputjes) së FRP

$\varepsilon_{f,max} = k_e \cdot \frac{f_{fdd}}{E_f}$ ku $k_{cr} = 3$ në mungesë të të dhënave nga provat laboratorike.

Gjendet f_{fdd} , aftësia mbajtëse (rezistenca ndaj delaminimit) në shkëputje e fibrave.

$$f_{fdd} = \frac{1}{\gamma_{f,d} \cdot \sqrt{\gamma_c}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot E_f \cdot \Gamma_{Fk}}{t_f}} = \frac{1}{\gamma_{f,d} \cdot \sqrt{\gamma_c}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot E_f \cdot 0.03 \cdot k_b \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot f_{ctm}}}{t_f}} \quad \text{ku: } k_b = \sqrt{\frac{2 - \frac{b_f}{b}}{1 + \frac{b_f}{400}}} = \sqrt{\frac{2 - \frac{300}{300}}{1 + \frac{300}{400}}} = 0.76 < 1$$

por $k_b \geq 1$ kur fibrat vendosen në trajtë shtrese pa ndërprerje pra merret $k_b = 1$

Vlerësim teorik i rritjes së aftësisë mbajtëse të trarëve b/a duke përdorur përforsimin me FRP

$$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 0.83 \cdot 25 = 20.75 \text{ MPa dhe } f_{ctm} = 0.3 \cdot f_{ck}^{2/3} = 2.3 \text{ MPa}$$

$\gamma_{fd} = 1.5$ (koeficient sigurie për rrezikun e delaminimit nga tabela e mësipërme)

$$f_{fdd} = \frac{0.244}{1.5 \cdot \sqrt{1.6}} \cdot \sqrt{\frac{240000 \cdot 1 \cdot \sqrt{20.75 \cdot 2.3}}{0.165}} = 409 \text{ MPa}$$

$$\text{Pra } \varepsilon_{f,max} = k_{cr} \cdot \frac{f_{fdd}}{E_f} = 3 \cdot \frac{409}{240000} = 0.005$$

$$\varepsilon_{fd} = \min\left\{\eta_a \cdot \frac{\varepsilon_{f,uk}}{\gamma_f}, \varepsilon_{f,max}\right\} = \min\{0.0155, 0.005\} = 0.005$$

$$0.8b \cdot y_c \cdot f_d - A_s \cdot f_y - A_f \cdot \varepsilon_f \cdot E_f = 0$$

Pranojmë që aksi bie në zonën 1, pra fleta e FRP arrin deformimin limit $\varepsilon_f = \varepsilon_{fu} = 0.005$.

$$0.8 \cdot 30 \cdot y_c \cdot 110 - 7.63 \cdot 3826 - 0.165 \cdot 30 \cdot 0.005 \cdot 240000 = 0$$

Që këtëj $y_c = 13.2 \text{ cm}$

Deformimet në beton dhe në armaturën e tërhequr janë:

$$\varepsilon_c = (\varepsilon_{fu} + \varepsilon_0) \cdot \frac{y_c}{(h - y_c)} = (0.005 + 0.000328) \cdot \frac{13.2}{(50 - 13.2)} = 0.0018 < 0.0035$$

$$\varepsilon_{s1} = (\varepsilon_{fu} + \varepsilon_0) \cdot \frac{(d - y_c)}{(h - y_c)} = (0.005 + 0.000328) \cdot \frac{(46 - 13.2)}{(50 - 13.2)} = 0.0046 < \varepsilon_{sy} = 0.01$$

$$M_u = \psi \cdot b \cdot y_c \cdot f_{cd} (d - \lambda \cdot y_c) + A_{s2} \cdot \varepsilon_{s2} \cdot E_s \cdot (d - d_2) + A_f \cdot \varepsilon_f \cdot E_f \cdot d_1 = 143.5 \text{ kNm}$$

Llogaritim ankorimin e FRP

$$l_e = \sqrt{\frac{E_f \cdot t_f}{2 \cdot f_{ctm}}} = \sqrt{\frac{240000 \cdot 0.165}{2 \cdot 2.3}} = 92 \text{ mm}$$

4.3 Trau me dy shtresa FRP

Marrim tani dy shtresa FRP me $t_f = 2 \times 1.65 \text{ mm} = 0.33 \text{ cm}$, me gjerësi sa gjerësia e traut pra $b_f = 30 \text{ cm}$. Gjetet f_{fdd} pra aftësia mbajtëse në shkëputje e fibrave.

Përsëritim të njëjtën procedurë si herën e parë dhe gjejmë:

$$f_{fdd} = 289 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{f,max} = 0.0036$$

$$\text{Që këtëj } \varepsilon_{fd} = \min\{0.0155, 0.0036\} = 0.0036$$

Aksi bie në zonën 1 pra $\varepsilon_f = \varepsilon_{fu} = 0.0036$ dhe $y_c = 14.3 \text{ cm}$

Deformimet në beton dhe në armaturën e tërhequr janë:

$$\varepsilon_c = 0.0014 < 0.0035$$

$$\varepsilon_{s1} = 0.0032 < \varepsilon_{sy} = 0.01$$

$$M_u = 154.6 \text{ kNm}$$

$$l_e = 132 \text{ m}$$

4.4 Trau me armaturë dyfishe

Supozojmë tani se trau, përveç armaturës në tërheqje $A_{s1} = 7.63 \text{ cm}^2$, ka dhe armaturë të shtypur $A_{s2} = 4.02 \text{ cm}^2$ (p.sh. 2Φ16).

$$0.8b \cdot y_c \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot \varepsilon_{s2} \cdot E_s - A_{s1} \cdot f_{yd} = 0$$

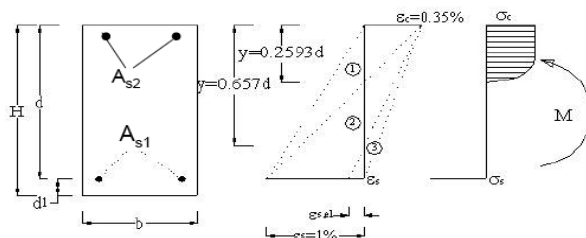


Fig. 4.4. Modeli i llogaritjes për një seksion tërthor katërkëndor me armaturë dyfishe

Duke hipotetizuar zonën 1. kemi: $\varepsilon_{s2} = \varepsilon_{s1} \cdot \frac{(y_c - d_2)}{(d - y_c)} = 0.01 \cdot \frac{(y_c - 4)}{(46 - y_c)}$

$$0.8 \cdot 30 \cdot y_c \cdot 110 + 4.02 \cdot 0.01 \cdot \frac{(y_c - 4)}{(46 - y_c)} \cdot 2100000 - 7.63 \cdot 3826 = 0$$

Nga zgjidhja e ekuacionit gjejmë $y_c = 7.9 \text{ cm}$

$$\varepsilon_{s2} = 0.01 \cdot \frac{(y_c - 4)}{(46 - y_c)} = 0.01 \cdot \frac{(7.9 - 4)}{(46 - 7.9)} = 0.001 < \varepsilon_{yd} = 0.01$$

$$\varepsilon_c = 0.01 \cdot \frac{y_c}{(46 - y_c)} = 0.01 \cdot \frac{7.9}{(46 - 7.9)} = 0.002 < 0.0035$$

$$M_u = 0.8 \cdot b \cdot y_c \cdot f_{cd} (d - 0.4 \cdot y_c) + A_{s2} \cdot \varepsilon_{s2} \cdot E_s \cdot (d - d_2)$$

$$M_u = 0.8 \cdot 30 \cdot 7.9 \cdot 110 (46 - 0.4 \cdot 7.9) + 4.02 \cdot 0.001 \cdot 2100000 \cdot (46 - 4) = 126 \text{ kNm}$$

Shkatërrimi ndodh tek çeliku.

4.5 Trau me armaturë dyfishe dhe një shtresë FRP

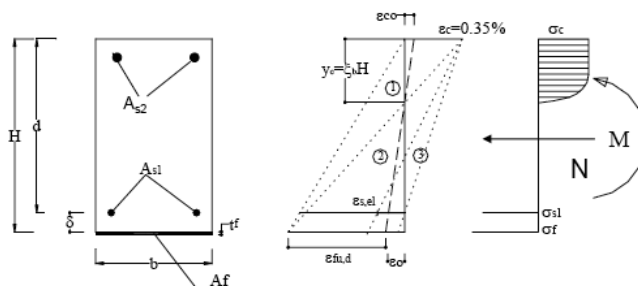


Fig. 4.5 Modeli i llogaritjes për seksionin me armaturë dyfishe dhe një shtresë FRP

$$\varepsilon_{f1} = \min \left\{ \eta_a \cdot \frac{\varepsilon_{f,h}}{\gamma_f}, \varepsilon_{f,max} \right\} = \min \{ 0.0155, 0.005 \} = 0.005$$

$$0.8 \cdot b \cdot y_c \cdot f_d + A_{s2} \cdot \varepsilon_{s2} \cdot E_s - A_s \cdot f_d - A_f \cdot \varepsilon_f \cdot E_f = 0$$

Vlerësim teorik i rritjes së aftësisë mbajtëse të trarëve b/a duke përdorur përforsimin me FRP

Duke hipotetizuar se ndodhemi ne zonën 1 dhe $\varepsilon_f = \varepsilon_{fu} = 0.005$ kemi:

$$\varepsilon_c = \varepsilon_f \cdot \frac{y_c}{(h - y_c)} = 0.005 \cdot \frac{y_c}{(50 - y_c)}$$

$$\varepsilon_{s1} = \varepsilon_f \cdot \frac{(d - y_c)}{(h - y_c)} = 0.005 \cdot \frac{(46 - y_c)}{(50 - y_c)}$$

$$\varepsilon_{s2} = \varepsilon_f \cdot \frac{(y_c - d_2)}{(h - y_c)} = 0.005 \cdot \frac{(y_c - 4)}{(50 - y_c)} \quad 0.8 \cdot 30 \cdot y_c \cdot 110 + 4.02 \cdot 0.005 \cdot \frac{(y_c - 4)}{(50 - y_c)} \cdot 2100000 - 7.63 \cdot 3826 - 0.165 \cdot 30 \cdot 0.005 \cdot 2400000 = 0$$

Nga zgjidhja e ekuacionit gjejmë $y_c = 10.3 \text{ cm}$

$$\varepsilon_{s1} = 0.0045 \text{ dhe } \varepsilon_{s2} = 0.0008$$

$$M_u = \psi \cdot b \cdot y_c \cdot f_d (d - \lambda \cdot y_c) + A_{s2} \cdot \varepsilon_{s2} \cdot E_s \cdot (d - d_2) + A_f \cdot \varepsilon_f \cdot E_f \cdot d_1 = 165.5 \text{ kNm}$$

4.6 Trau në shtypje me përkulje me armaturë dyfishe dhe një shtresë FRP

Supozojmë tani se traut me armaturë dyfishe, përveç momentit ekzistues, i shtohet dhe një ngarkesë aksiale $N=200 \text{ KN}$.

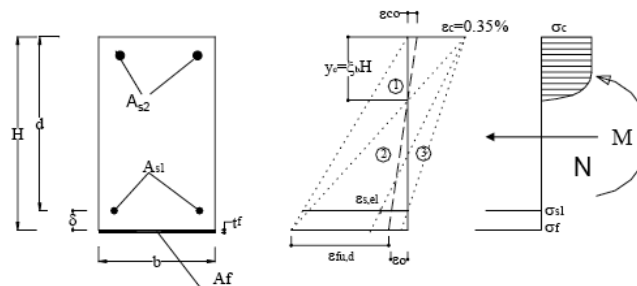


Fig. 4.6. Modeli i llogaritjes për seksionin me armaturë dyfishe dhe një shtresë FRP që punon në shtypje me përkulje

$$\varepsilon_{fd} = 0.005$$

$$0.8 \cdot b \cdot y_c \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot \varepsilon_{s2} \cdot E_s - A_s \cdot f_{yd} - A_f \cdot \varepsilon_f \cdot E_f = N$$

Nga zgjidhja e ekuacionit gjejmë $y_c = 15.5 \text{ cm}$

$$\varepsilon_c = 0.0022$$

$$\varepsilon_{s1} = 0.0045$$

$$\varepsilon_{s2} = 0.0017$$

$$M_u = \psi \cdot b \cdot y_c \cdot f_d (d - \lambda \cdot y_c) + A_{s2} \cdot \varepsilon_{s2} \cdot E_s \cdot (d - d_2) + A_f \cdot \varepsilon_f \cdot E_f \cdot d_1 - N \cdot (0.5 \cdot h - d_1) = 203.8 \text{ kNm}$$

5. Konkluzione përfundimtare

Shohim se me përdorimin e fibrave të karbonit si përforsim i jashtëm, rritet ndjeshëm aftësia mbajtëse e trarëve betonarme [5]. Vetë armimi i sipërm nuk ka ndikim në rritjen e saj, por ekzistenca e përforsimeve ka peshën kryesore këtu. Përdorimi i një shtrese e rrit aftësinë mbajtëse në përkulje

me 18.6 % dhe me dy shtresa 27.8%, gjë që të çon në sugjerimin që nuk ka vlerë të përdorim më shumë se 2-3 shtresa FRP, pasi efekti i tyre bie si rrjedhojë e problemeve në ngjitjen dhe rrëshqitjen e tyre, pra delaminimit [6].

Meqenëse nuk lejohet që të kemi një rritje të aftësisë mbajtëse mbi 60%, rasti 6, është në kufijtë e zbatimit të tij, pra duhet që $N \leq 200$ kN ose, nëse kjo nuk është e mundur, do të detyrohemi të marrim një FRP më të hollë apo të mos e vendosim në të gjithë gjerësinë e traut (p.sh., $b_f = 25$ cm), që mos të kemi një rritje kaq të madhe. Vihet re se ndikimi më i madh i përforcimeve është kur elementi punon në shtypje me përkulje [7].

Të gjitha llogaritjet teorike i përmbledhim në një tabelë:

Tab. 1. Ndryshimi i aftësisë mbajtëse të trarëve të armuar me FRP

PËRMBLEDHJE			
Nr.	Rasti	Mu (kNm)	Rritja e aft. mbajtëse ne (%)
1	Seksion b.a. me armaturë të poshtme	121	
2	Seksion b.a. me armaturë të poshtme me një shtresë FRP	143.5	18.60%
3	Seksion b.a. me armaturë të poshtme me dy shtresa FRP	154.6	27.77%
4	Seksion b.a. me armaturë të dyfishtë	126	4.13%
5	Seksion b.a. me armaturë të dyfishtë me një shtresë FRP	165.5	36.78%
6	Seksion b.a. në shtypje me përkulje me armaturë të dyfishtë me një shtresë FRP	203.8	61.75%

Referencat

1. Hota V.S. GangaRao, Narendra Taly, P.V. Vijay. "Reinforced Concrete Design With FRP Composites" CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, FLORIDA, (2007).
2. American Concrete Institute (ACI), "Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced With FRP Bars", ACI Committee 440, ACI 440.1R-01, Farmington Hills, MI: American Concrete Institute, 2001.
3. American Concrete Institute (ACI), "Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced With FRP Bars", ACI Committee 440, ACI 440.1R-03, Farmington Hills, MI: American Concrete Institute, 2003.
4. Lawrence C. Bank, "COMPOSITES FOR CONSTRUCTION: Structural Design with FRP Materials", John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2006.
5. CEB-FIB Bulletin, "FRP reinforcement for RC structures", 2006.
6. A. Nanni and S. Faza, "DESIGN AND CONSTRUCTION OF CONCRETE REINFORCED WITH FRP BARS: AN EMERGING TECHNOLOGY", 2001.
7. CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE, "Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Strutture di Calcestruzzo armato con Barre di Materiale Composito Fibrorinforzato", CNR-DT 203/2006.