



**DRUŠTVO ZA ISPITIVANJE I ISTRAŽIVANJE  
MATERIJALA I KONSTRUKCIJA SRBIJE**

**SOCIETY FOR MATERIALS AND  
STRUCTURES TESTING OF SERBIA**

**MEĐUNARODNI SIMPOZIJUM**

**O ISTRAŽIVANJIMA I PRIMENI SAVREMENIH DOSTIGNUĆA  
U GRAĐEVINARSTVU U OBLASTI MATERIJALA I  
KONSTRUKCIJA**

**INTERNATIONAL SYMPOSIUM**

**ON RESEARCHING AND APPLICATION OF CONTEMPORARY  
ACHIEVEMENTS IN CIVIL ENGINEERING IN THE FIELD OF  
MATERIALS AND STRUCTURES**

**ZBORNIK RADOVA  
PROCEEDINGS**

**XXVII Kongres - Vršac, 18-20. oktobar 2017.  
XXVII Congress - Vrsac, October 18-20, 2017.**



**DRUŠTVO ZA ISPITIVANJE I ISTRAŽIVANJE  
MATERIJALA I KONSTRUKCIJA SRBIJE**

**SOCIETY FOR MATERIALS AND  
STRUCTURES TESTING OF SERBIA**

## **MEĐUNARODNI SIMPOZIJUM**

**O ISTRAŽIVANJIMA I PRIMENI SAVREMENIH DOSTIGNUĆA  
U GRAĐEVINARSTVU U OBLASTI MATERIJALA I  
KONSTRUKCIJA**

## **INTERNATIONAL SYMPOSIUM**

**ON RESEARCHING AND APPLICATION OF CONTEMPORARY  
ACHIEVEMENTS IN CIVIL ENGINEERING IN THE FIELD OF  
MATERIALS AND STRUCTURES**

**ZBORNİK RADOVA  
PROCEEDINGS**

**XXVII Kongres - Vrsac, 18-20. oktobar 2017.  
XXVII Congress - Vrsac, October 18-20, 2017.**





Mihailo Muravljov<sup>1</sup>  
Aleksandar Radević<sup>2</sup>

### PRAKTIČAN PRISTUP SANACIJAMA BETONSKIH KONSTRUKCIJA KARBONSKIM TRAKAMA

**Rezime:** U radu su prikazane osnovne karakteristike karbonskih traka, kao i osnove proračuna različitih elemenata armiranobetonskih (AB) konstrukcija saniranih/ojačanih karbonskim trakama. Razmatrani su slučajevi kada u AB elementima nema dovoljno podužne i/ili poprečne armature i kada nije ostvarena projektovana marka betona. Objasnjen je i princip obezbeđenja veće nosivosti spiralno armiranih stubova. Proračuni su vršeni prema graničnom stanju nosivosti, uzimajući u obzir da je u elementima koji se saniraju prisutna i određena količina čelične armature. Na kraju su dati i osnovni uslovi pri kojima se mogu primenjivati karbonske trake.

**Ključne reči:** karbonske trake, sanacije, ojačanja, granično stanje.

### STRENGTHENING OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES BY CARBON STRIPS - PRACTICAL APPROACH

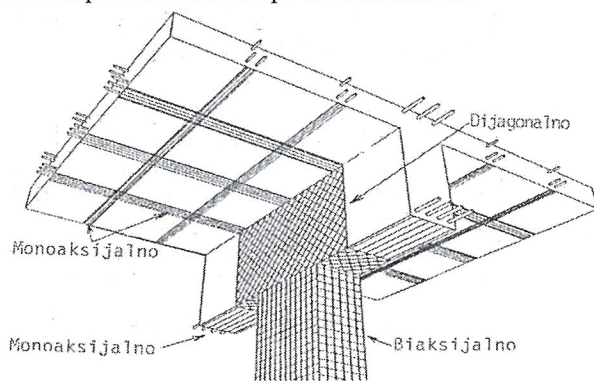
**Summary:** In this paper are presented the basic properties of carbon fiber reinforced polymer strips, as well as the practical calculations of different reinforced concrete (RC) elements strengthening/reinforcements by carbon strips. It was considering cases when RC elements do not have enough longitudinal and transverse reinforcement and cases when concrete has not reached the required compressive strength class. Also is explained the principle of providing larger capacity spirally reinforced columns. The calculations are performed according to ultimate limit state, taking into account that the elements that are repaired present a certain amount of steel reinforcement. At the end, the basic conditions of applying the carbon strips are given.

**Key words:** carbon strips, repairing, strengthening, ultimate limit state.

<sup>1</sup> Dr dipl.građ.inž, profesor, Građevinski fakultet, Beograd, [mmuravljov@gmail.com](mailto:mmuravljov@gmail.com)  
<sup>2</sup> Dr, asistent, Građevinski fakultet, Beograd, [aradevic@grf.bg.ac.rs](mailto:aradevic@grf.bg.ac.rs)

## 1. UVOD

Predmet izlaganja ovog rada su trake na bazi karbonskih (ugljeničnih) vlakana koje danas dominiraju na području sanacija i ojačanja konstrukcija od armiranog betona. U praksi se koriste dve osnovne vrste takvih traka: trake-laminati (tzv. CFRP - carbon fiber reinforced polymer trake - trake u okviru kojih su karbonska vlakna splejana odgovarajućim epoksidnim vezivom) i trake-tkanine (kod nas poznate i kao Wrap-trake - trake dobijene tkanjem "konaca" formiranih od karbonskih vlakana). Kod traka-laminata se podrazumeva da one mogu da prihvate samo opterećenja (sile) u pravcu svog pružanja, dok trake-tkanine načelno mogu da budu nosive u više pravaca - u zavisnosti od načina tkanja "konaca", pa se stoga može govoriti o monoaksijalnim, biaksijalnim i dijagonalnim trakama. Na slici 1 prikazan je primer ojačanja jedne armiranobetonske (AB) konstrukcije primenom napred navedenih tipova traka-tkanina.



Slika 1. Primer ojačanja jedne konstrukcije postupkom lepljenja karbonskih traka

S obzirom na napred rečeno, proizilazi da primena karbonskih traka u praksi podrazumeva njihovo lepljenje za konstrukcijske elemente od betona primenom odgovarajućih lepkova. To su u najvećem broju slučajeva epoksidni lepkovi koje, po pravilu, zajedno sa trakama, isporučuje proizvođač traka.

## 2. NEKA OSNOVNA SVOJSTVA KARBONSKIH TRAKA

Danas u svetu ima više proizvođača karbonskih traka (MAPEI, HENKEL, SINTI dr.), pri čemu SIKA (Švajcarska) nesumnjivo zauzima jedno od vodećih mesta. S obzirom da na našim prostorima SIKA proizvodi imaju izuzetno široku primenu, u daljem će se prevashodno razmatrati aspekti primene SIKA karbonskih traka i tkanina kao elemenata za ojačanje AB konstrukcija. U vezi sa tim, u tabeli 1 prikazane su neke osnovne karakteristike karbonskih traka proizvođača Sika.

Karakteristik
Širina (mm)
Debljina (mm)
Čvrstoća pri zatezanju (MPa)
Granična deformacija (%)
Modul elastičnosti (MPa)

## 3. OSNOVNE KARAKTERISTIKE

### 3.1. Opšte

Praktično iskustvo nam govori da su danas s

• trake  
neophodnih za  
čistom zatezanju  
ekscentriciteta,  
ili obezbeđenja

• svi  
pretpostavka  
preseccima kon  
čelične armatur  
• dilata  
dilatacije čelika

U praks  
agovode na ba  
te vrednosti u č  
na našim prost

Ako se p  
u celokupnim n  
predmet razma  
izvoljnom tačn



Karakteristika	Traka – laminat			Traka – tkanina	
	Sika CarboDur S	Sika CarboDur M	Sika CarboDur H	Sika Wrap-230 C/45	Sika Wrap Hex-230C
Širina (mm)	15 - 150	60 -120	50	300 i 600	300
Debljina (mm)	1.2 – 2.6	1.4	1.4	0.131	0.122
Čvrstoća pri zatezanju (MPa)	2800	2400	1300	4300	4100
Granična deformacija (%)	1.70	1.20	0.45	1.80	1.70
Modul elastičnosti (MPa)	165000	210000	300000	234000	230000

Tabela 1. Osnovne karakteristike karbonskih traka proizvođača Sika

### 3. OSNOVE PRORAČUNA OJAČANJA KARBONSKIM TRAKAMA

#### 3.1. Opšte

Praktični proračuni AB konstrukcija koje se ojačavaju zalepljenim karbonskim trakama danas se sprovode na bazi sledećih osnovnih pretpostavki:

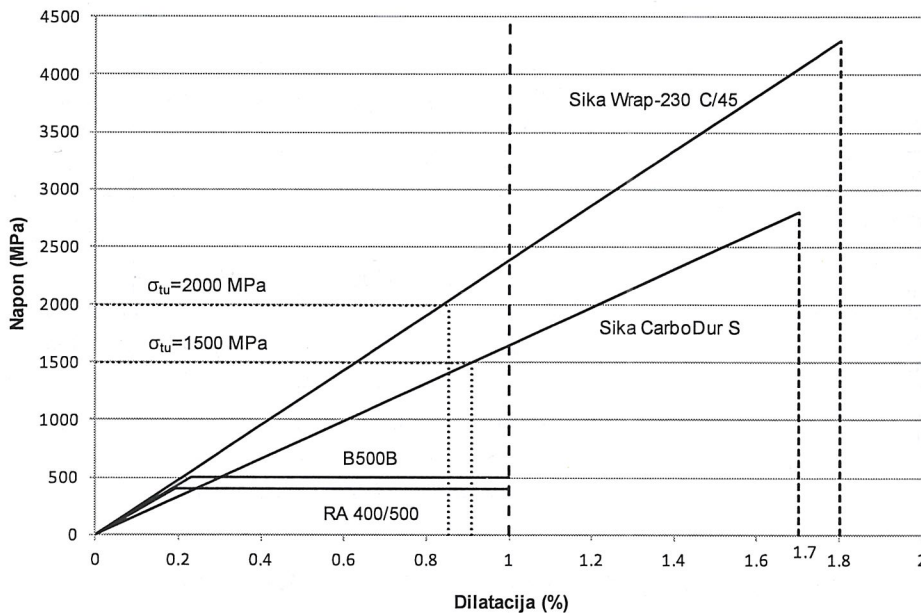
- trake se primenjuju isključivo u slučajevima kada su one u funkciji ojačanja neophodnih za prhvatanje zatezanja u konstrukcijama (u slučajevima elemenata izloženih čistom zatezanju, čistom savijanju, savijanju sa normalnom silom u fazi velikog ekscentriciteta, kao i u slučajevima potrebe "pokrivanja" kosih glavnih napona zatezanja ili obezbeđenja veće nosivosti tzv. spiralno armiranih stubova);

- svi proračuni ojačanja (sanacije) karbonskim trakama zasnivaju se na pretpostavkama metode graničnog stanja nosivosti AB preseka, uz vođenje računa da je u presecima konstrukcija koje se ojačavaju (saniraju) uvek prisutna i određena količina čelične armature;

- dilatacije u karbonskim trakama ne smeju da budu veće od propisane granične dilatacije čelika definisane veličinom 10‰ (=1%);

U praksi se proračuni ojačanja karbonskim trakama u najvećem broju slučajeva sprovode na bazi poznate granične vrednosti napona u traci  $\sigma_t$ , pri čemu će definisanje te vrednosti u daljem biti prikazano za trake Sika CarboDur S i Sika Wrap-230 C/45 koje na našim prostorima imaju najveću praktičnu primenu.

Ako se pođe od nepobitne činjenice da su  $\sigma$ - $\epsilon$  dijagrami karbonskih traka linearni u celokupnim naponskim područjima, na bazi vrednosti datih u tabeli 1, a za trake koje su predmet razmatranja, dobija se grafički prikaz dat na slici 2, na osnovu koga se sa dovoljnom tačnošću mogu usvojiti naponi tečenja  $\sigma_t$  prikazani u okviru iste slike.



Slika 2. Grafički prikaz postupka definisanja veličina  $\sigma_{tu}$

### 3.2. Proračun AB konstrukcija izloženih savijanju i savijanju sa normalnom silom u fazi velikog ekscentriciteta

Procedura proračuna u ovakvim slučajevima može se svesti na primenu uobičajenog postupka proračuna AB konstrukcija metodom graničnog stanja nosivosti prema BAB-u 87 [1]. Saglasno tome, a pod pretpostavkom da presek o kome je reč nije ojačan zalepljenom karbonskom trakom, silu zatezanja  $Z_a$  prihvata zategnuti čelični element površine  $A_{a1}$  čija je granična nosivost  $Z_{au} = \sigma_{au} \cdot A_{a1}$ , gde  $\sigma_{au}$  predstavlja napon tečenja upotrebljene armature. Ako je, reč o preseku ojačanom karbonskom trakom, u okviru takvog preseka, analogno prethodnom, takođe će figurisati izvestan zategnuti element, ali se sada može smatrati da je taj element formiran kako od prisutnog armaturnog čelika tako i od karbonske trake, pa će saglasno rečenom, a u slučaju dostizanja graničnih nosivosti i čelika i karbonske trake, taj element biti izložen ukupnoj sili koja se može prikazati u obliku:

$$Z_{uk,u} = \sigma_{au} \cdot A_{a1} + \sigma_{tu} \cdot A_t = \sigma_{au} \cdot A_{uk} \quad (1)$$

gde  $A_{uk}$  predstavlja zamenjujuću površinu zategnute armature neophodne za "pokrivanje" uticaja u konstrukciji. Ako se uzme u obzir usvojeni napon tečenja u karbonskoj traci  $\sigma_{tu}$ , površina  $A_{uk}$  se može predstaviti i kao:

$$A_{uk} = A_{a1} \cdot \left(1 + \frac{\sigma_{tu}}{\sigma_{au}} \cdot \frac{A_t}{A_{a1}}\right) \quad (2)$$

### 3.3. Kart mark

U slu  
izvesnog AL  
armature u  
dimenzionis  
marke betoni  
količina arm  
osnovu poz  
sada se ope  
 $\Delta A = A_{a,pot}$

Num  
Za p  
h=85 cm, a  
izložen del  
klasa čvrsto  
pod uslovo

Neojačan p

$$\bar{\mu}_{1M} = 100$$

$$\bar{\mu}_{1M} = 13$$

Iz tablica d

$$\varepsilon_{a1} = 10\%$$

$$s = 0.185$$

$$M_{u(no)} =$$

$$M_{u(no)} \approx$$



### 3.3. Karbonske trake za AB elemente u kojima nije ostvarena projektovana marka betona

U slučajevima podbačaja kvaliteta betona problem osiguranja zahtevane nosivosti izvesnog AB preseka opterećenog na savijanje svodi se na primenu određene dodatne armature u odnosu na armaturu koja je usvojena na bazi proračuna sprovedenog u fazi dimenzionisanja preseka. U vezi sa tim rešenje problema je da se za slučaj ostvarene niže marke betona i za poznatu vrednost graničnog momenta  $M_u$ , odredi nova - povećana količina armature ( $A_{a,pot}$ ). Pod pretpostavkom da se radi o istom kvalitetu armature, na osnovu poznatih vrednosti prethodno ugrađene ( $A_{a,ug}$ ) i dodatno potrebne ( $\Delta A$ ) armature sada se opet može primeniti izraz (2), pa se konačno, uz zamene  $A_{uk}=A_{a,pot}$ ,  $A_{al}=A_{a,ug}$  i  $\Delta A = A_{a,pot}-A_{a,ug}$  dobija da je površina karbonske trake:

$$A_t = \Delta A \cdot \frac{\sigma_{au}}{\sigma_{tu}} \quad (3)$$

#### Numerički primer:

Za presek čije su geometrijske karakteristike  $b=40$  cm,  $d=90$  cm i statička visina  $h=85$  cm, armiran rebrastom armaturom RA 400/500 površine  $A_{al}=22,81$  cm<sup>2</sup> (6RØ22), izložen delovanju momenta savijanja, izračunati nosivost neojačanog preseka (MB 30, tj. klasa čvrstoće C 25/30), a zatim odrediti potreban presek trake-laminata Sika CarboDur S pod uslovom da je isti presek izložen 30% većem graničnom momentu savijanja.

Neojačan presek (prema BAB-u 87)	Proračun ojačanja preseka
$\bar{\mu}_{1M} = 100 \cdot 22.81 / (40 \cdot 85) \cdot (400 / 20.5)$	$M_{u(no)} = 1.3 \cdot 721 \approx 937 \text{ kNm}$
$\bar{\mu}_{1M} = 13.090\%$	$h \approx 90 \cdot 2.5 = 87.5 \text{ cm}$
Iz tablica datih u BAB-u 87:	$k = 87.5 / \sqrt{93700 / 2.05 \cdot 40} = 2.588$
$\varepsilon_{a1} = 10\%$ , $\varepsilon_b = 2.275\%$ ,	Iz tablica datih u BAB-u 87:
$s = 0.185$ , $k = 2.866$	$\varepsilon_{a1} = 10\%$ , $\varepsilon_b = 2.275\%$ ,
$M_{u(no)} = (85 / 2.866)^2 \cdot 2.05 \cdot 40 / 100$	$s = 0.185$ , $\bar{\mu}_{1M} = 16.340\%$
$M_{u(no)} \approx 721 \text{ kNm}$	$A_{uk} = 16.340 \cdot (2.05 / 40) \cdot 40 \cdot 87.5 / 100$
	$A_{uk} = 29.3 \text{ cm}^2$
	$29.3 = 22.81 \cdot (1 + (1500 / 400) \cdot A_t / 22.81)$
	$A_t = 1.727 \text{ cm}^2 \Rightarrow$
	Presek treba ojačati jednom trakom Sika CarboDur S debljine 1,2 mm, širine 150 mm ( $A_t=1.8 \text{ cm}^2$ )

### 3.4. Karbonske trake za AB elemente sa nedovoljnom količinom uzengija

Za "pokrivanje" kosih glavnih napona zatezanja, tj. u slučaju kad nije ugrađena potrebna količina poprečne armature- uzengija, u praksi se najčešće koriste trake-tkanine, pri čemu se u slučaju traka-tkanina Sika Wrap-230 C/45, njihova granična nosivost  $Z_{tu}$  usvaja na bazi usvojenog napona tečenja  $\sigma_{tu}$ . Sam proračun, u ovakvim slučajevima isti je kao proračun uzengija od čelika: na bazi granične vrednosti horizontalne sile veze  $H_{vu}$  na delu nosača u kome su kosi glavni naponi zatezanja izvan limita predviđenih BAB-om '87 [1]. Dakle, treba uzračunati ukupno potrebnu količinu čeličnih uzengija, a nakon toga, koristeći izraze (1) i (2), odrediti potrebnu površinu "karbonskih" uzengija koja će „raditi” zajedno sa postojećim čeličnim uzengijama primenjenim u konstrukciji.

## 4. KARBONSKE TRAKE ZA SPIRALNO ARMIRANE STUBOVE

U slučaju spiralno armiranih "nevitkih" stubova, povećanje nosivosti upotrebom "spirala" od karbonskih traka-tkanina takođe se može dobiti na principima i pretpostavkama definisanim u BAB-u '87 [1]. Naime, kako je granična nosivost jednog spiralno armiranog stuba, armiranog čeličnom armaturom, definisana izrazom:

$$N_u = A_{bs} \cdot f_B \cdot (1 + k \cdot \mu + 2 \cdot k_s \mu_s) = A_{bs} \cdot f_B \cdot (1 + k \cdot \mu) + 2 \cdot A_{bs} \cdot f_B \cdot k_s \mu_s \quad (4)$$

u slučaju primene dodatnih spiralnih uzengija od karbonskih traka-tkanina u opštem slučaju važiće sledeće:

$A_{bs} \cdot f_B \cdot (1 + k \cdot \mu)$  nosivost betonskog jezgra stuba i podužne armature,

$2 \cdot A_{bs} \cdot f_B \cdot k_s \mu_s$  nosivost čelične spiralne armature prečnika  $\emptyset_s$  sa hodom  $e_s$ ,

gde je:  $A_{bs} = 3.14 \cdot d_s^2 / 4$  površina betonskog jezgra, prečnika  $d_s$

$\mu = A_{ap} / A_{bs}$  ( $A_{ap}$  površina podužne armature)

$k = \sigma_a / f_B$  ( $\sigma_a$  - napon pritiska u podužnim šipkama,

$f_B$  - računski čvrstoća betona pri pritisku)

$k_s = \sigma_{vs} / f_B$  ( $\sigma_{vs}$  - granični napon u spiralnoj armaturi pod pretpostavkom da je reč o čeliku)

$\mu_s = A_s / A_{bs}$  ( $A_s$  - površina spirale)

S obzirom na razliku u naponima tečenja čelične armature i karbonskih traka, vrednost  $A_s$  se može izraziti na sledeći način:

$$A_s = A_{s\check{c}} \cdot \left(1 + \frac{\sigma_{tu}}{\sigma_{vs}} \cdot \frac{A_{st}}{A_{s\check{c}}}\right) \quad (5)$$

gde je:  $A_{s\check{c}} = a_{s\check{c}}^{(1)} \cdot d_s \cdot \pi / e_{a\check{c}}$  površina čelične spirale (sa hodom  $e_{a\check{c}}$  i površinom jedne šipke  $a_{s\check{c}}^{(1)}$ ) i  $A_{st} = a_{st}^{(1)} \cdot (a_{st}^{(1)} / a_{s\check{c}}^{(1)}) \cdot (\sigma_{tu} / \sigma_{vs}) \cdot d_s \cdot \pi / e_{at}$  površina karbonske spirale (sa hodom  $e_t$  i površinom poprečnog preseka karbonske trake  $a_{st}^{(1)}$ ), pa se konačno dolazi do izraza:

u kome j

5. P

5.1. M

N

kojoj su

usled ne

ploče lej

3000 me



Slika 3.

C

"pokriva

i momer

N

zalepljer

poljima,

karbonsl

pruža sk

delu duž

desno) (

napona :

B

nim mo

dok se u



$$\alpha_s^{(1)} = \alpha_{s\check{c}}^{(1)} \cdot \left(1 + \frac{\sigma_{tu}}{\sigma_{vs}} \cdot \frac{\alpha_{st}^{(1)}}{\alpha_{s\check{c}}^{(1)}}\right) \quad (6)$$

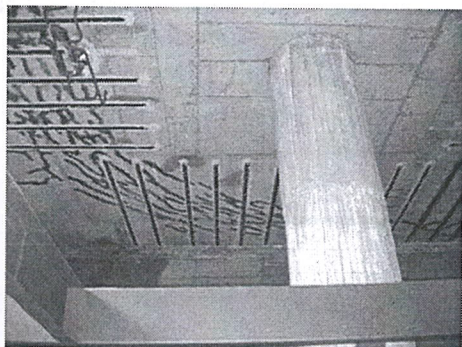
$$A_s = \pi \cdot d_s \cdot \left(\alpha_s^{(1)} / e_s\right) \quad (7)$$

u kome je sa  $e_s$  sada označena srednja vrednost hoda upotrebljenih "spirala".

## 5. PRIMERI SANIRANIH KONSTRUKCIJA

### 5.1. Međuspratne konstrukcije - ploče i gredni nosači

Na slici 3a prikazan je primer jedne međuspratne pune AB ploče bez kapitela na kojoj su se već u početnoj fazi eksploatacije objekta ispoljile vrlo značajne deformacije usled nedovoljne količine armature. Stoga je odlučeno da se pristupi ojačanju predmetne ploče lepljenjem karbonskih traka, pri čemu je pri ovoj intervenciji upotrebljeno preko 3000 metara traka-laminata. Lepljenje karbonskih traka je ilustrovano na slici 3b.



a)



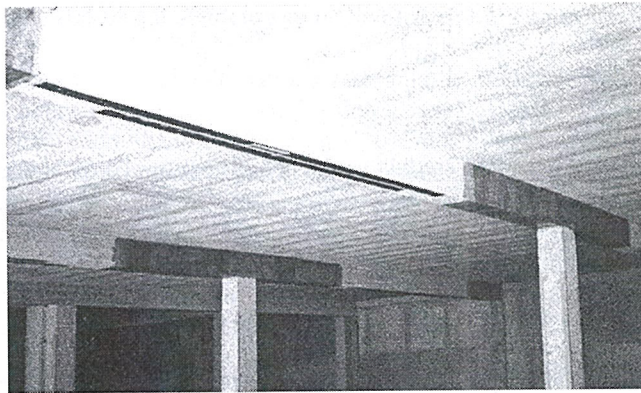
b)

Slika 3. (a) - ojačanje pune AB ploče trakama-laminatima radi pokrivanja "manjka" armature i  
(b) - postupak lepljenja karbonski traka

Ojačanja kontinualnih nosača karbonskim trakama u opštem slučaju svode se na "pokrivanje" kako momenata, tako i transverzalnih sila, pri čemu se u načelu "pokrivaju" i momenti u poljima (pozitivni momenti) i momenti iznad oslonaca (negativni momenti).

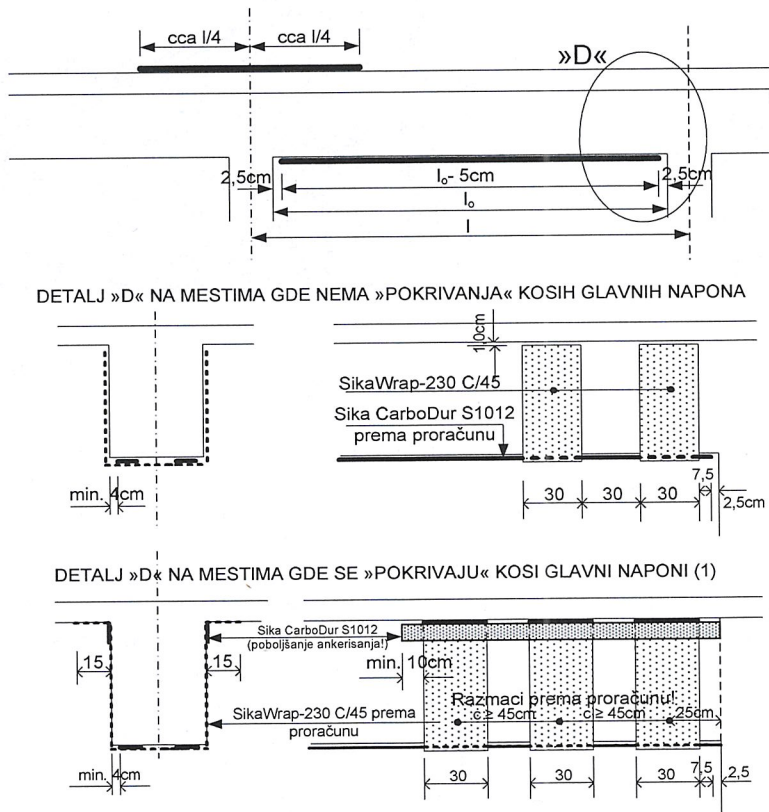
Na slici 4 prikazan je primer ojačanja kontinualnog nosača u konstrukciji, gde su zalepljenim karbonskim trakama-laminatima "pokriveni" veći momenti savijanja u poljima, a trakama-tkaninama povećane transverzalne sile. Kao što se vidi, od dve karbonske trake-laminata zalepljene sa donje strane datog kontinualnog nosača jedna se pruža skoro celokupnom dužinom posmatranog polja, dok je druga postavljena samo na delu dužine tog polja - u zoni koja je definisana proračunom. U zoni oslonca (levo i desno) definisanoj proračunom, gredni nosač je iz razloga "pokrivanja" kosih glavnih napona zatezanja u potpunosti "obmotan" karbonskim trakama-tkaninama.

Bez obzira na potpuno korektno rešenje prikazano na slici 4, kada je reč o pozitivnim momentima trake se najčešće postavljaju po celokupnim raspoloživim dužinama, dok se u slučaju negativnih momenata dužine traka definišu na bazi momentnih dijagrama-



Slika 4. Kontinualni nosač sa ojačanjima koja "pokrivaju" i momente i transversalne sile

vodeći računa o potrebnim dužinama njihovog ankerisanja. Tako na primer, ukoliko se primenjuju trake-laminati, kod kontinualnih nosača opterećenih jednakopodeljenim opterećenjima, preporučeno je da se trake za "pokrivanje" negativnih momenata vode na dužinama jednakim raspon/4 - levo i desno od oslonačkih preseka (videti sliku 5a) [2].



Slika 5. Principijelna rešenja ojačanja kontinualnih nosača koja se primenjuju u praksi

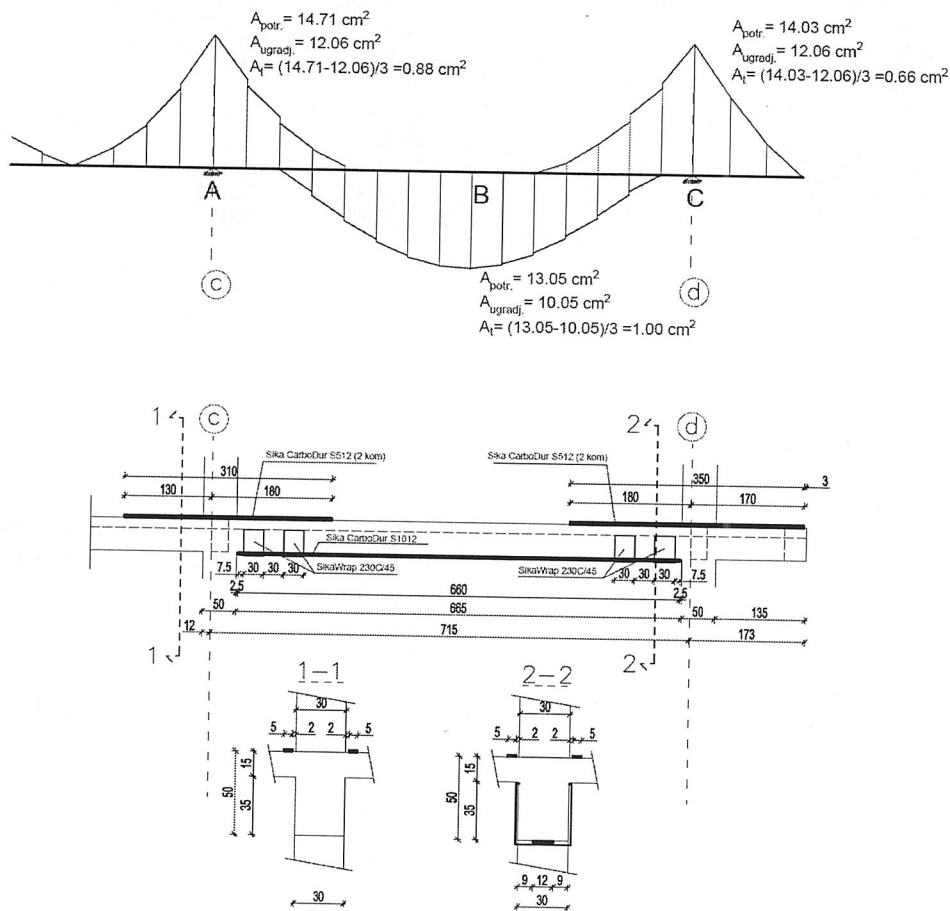
Ka  
momenat  
glavnih n  
("otvoren  
potreba i  
koje će b  
budu defi  
U  
nedostaju  
armaturo  
betona M  
metnom  
betona M  
nom sigu  
N  
saniran k



Kada je reč o karbonskim trakama-laminatima za "pokrivanje" pozitivnih momenata, na krajevima tih traka, čak i ako nema potrebe za "pokrivanjem" kosih glavnih napona; a radi poboljšanja njihovog ankerisanja, lepe se jedan do dva U-elementa ("otvorene" uzengije) od traka-tkanina saglasno slici 5b. Međutim, ukoliko postoji potreba i za "pokrivanjem" kosih glavnih napona zatezanja, trake-tkanine (U-elementi) koje će biti zalepljene na krajevima traka-laminata u oslonačkim zonama nosača, treba da budu definisane na bazi odgovarajućeg proračuna saglasno slici 5c.

U daljem će se prikazati rezultati proračuna karbonskih traka za "pokrivanje" nedostajuće armature u jednom grednom elementu skeletne AB konstrukcije armirane armaturom B500B koja je u osnovnom projektu proračunata pod pretpostavkom marke betona MB 30. Međutim, kako se u toku izvođenja radova pokazalo da ta marka u predmetnom konstrukcijskom elementu nije zadovoljena, već da je u njemu ostvarena marka betona MB 25, pristupilo se ojačanju tog elementa karbonskim trakama, kako bi on sa punom sigurnošću bio u stanju da prihvati polazne računске granične momente savijanja  $M_u$ .

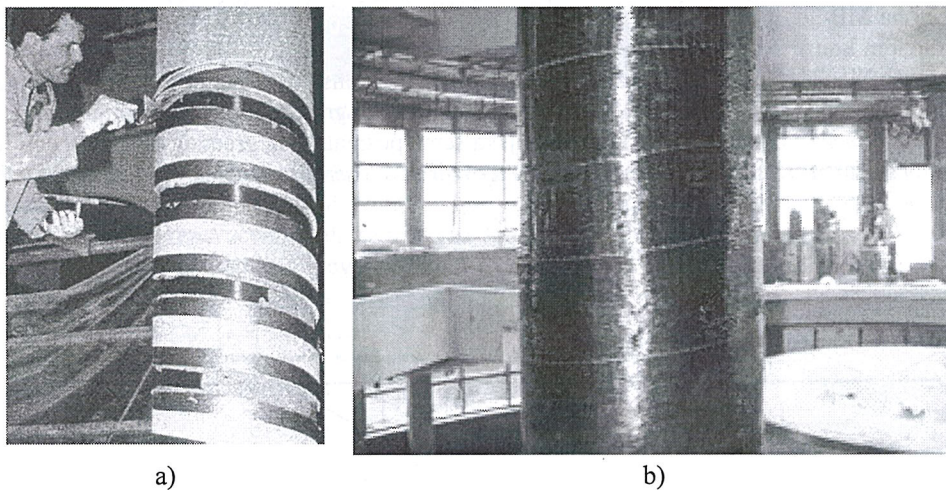
Na slici 6 prikazana je konstrukcijska šema posmatranog grednog elementa koji je saniran karbonskim trakama, pri čemu su u okviru date šeme prikazane i linije ekstremnih



Slika 6. Konstrukcija grednog elementa sa ojačanjem karbonskim trakama

vrednosti graničnih momenata savijanja  $M_u$  u datoj konstrukciji, kao i ugrađene količine armature  $A_{a,ug}$  i potrebne količine armature, odnosno potrebne količine karbonskih traka  $A_{a,pot}$  i  $A_t$ . U sklopu iste slike data je dispozicija grednog elementa ojačanog karbonskim trakama, pri čemu se vidi da u okviru primenjenih ojačanja figurišu kako karbonske trake-laminati, tako i karbonske trake-tkanine. Trake-laminati predstavljaju ojačanja dobijena na bazi sprovedenog proračuna, dok su trake-tkanine (Sika Wrap 230C/45) primenjene isključivo iz konstruktivnih razloga - radi poboljšanja ankerisanja traka-laminata.

Na slici 7 prikazana su dva slučaja ojačavanja okruglih stubova karbonskim trakama-tkaninama.



Slika 7. Ojačavanje okruglih stubova karbonskim trakama-tkaninama

## 6. OSNOVNI USLOVI IZVOĐENJA OJAČANJA KARBONSKIM TRAKAMA

Ojačanje AB konstrukcija putem lepljenja karbonskih traka treba da se izvodi na bazi posebne tehničke dokumentacije koja će sadržati sve neophodne tekstualne (tehnički izveštaj, tehnički uslovi izvođenja radova), numeričke (tehničke specifikacije, predmer i predračun radova, statički/dinamički proračun) i grafičke podloge (dispozicioni crtež i crtež detalja).

Osnovni uslovi koji moraju biti ispunjeni pri sanaciji AB konstrukcija karbonskim trakama su:

- U slučajevima ojačanja armiranobetonskih konstrukcija mora da bude zadovoljen i uslov

$$\frac{M_{u(aj)}}{M_{u(no)}} \leq 2 \quad (8)$$



gde je  $M_{u(oj)}$  je granični moment za ojačani presek, a  $M_{u(no)}$  granični moment za neojačani presek;

- Karbonske trake se mogu lepiti samo za betonske površine koje će garantovati ostvarivanje dovoljno visokog stepena athezije  $f_{at}$  između betona i upotrebljenog lepka, a što se dokazuje pull-off testom, odnosno obezbeđenjem sledećih veličina athezije:

$f_{at} > 1.5$  MPa      ako se radi o lepljenju traka-laminata,

$f_{at} > 1.0$  MPa      ako se radi o lepljenju traka-tkanina;

- Trake mogu da se lepe samo za betonske podloge koje, osim uslova čvrstoće betona pri pritisku i athezije beton/lepak, ispunjavaju i propisane uslove hrapavosti i ravnosti (zatalasanosti) površine, kao i uslove tzv. tačke rose i površinske vlažnosti. Za definisanje tačke rose potrebno je izmeriti relativnu vlažnost i temperaturu vazduha. Na osnovu toga je moguće analitičkim putem odrediti odgovarajuću temperaturu orošavanja, odnosno oceniti mogućnost kondenzovanja vodene pare. Procena opasnosti od stvaranja kondenzne vlage na površini za koju se lepe trake može se dati i na osnovu temperature površine građevinskog elementa koji se ojačava, pri čemu ona mora da bude najmanje 3°C veća od temperature orošavanja. Merenje površinske vlažnosti betona može se sprovesti primenom različitih vlagomera, pri čemu se lepljenju karbonskih traka može pristupiti samo ako površinska vlažnost podloge iznosi najviše 4%.

- Lepljenje traka za površine betona može se izvoditi samo u temperaturnom intervalu ambijenta od 10 do 35°C, u zavisnosti od lepka koji se primenjuje. Isto tako, pri primeni uobičajenih epoksidnih lepkova, temperatura betonske površine ne sme da bude veća od 60°C.

Priprema površine za lepljenje podrazumeva da se sa betonske površine obavezno eliminiše sloj očvršle cementne paste. Metode za postizanje tog efekta su peskarenje, udarci kuglicama, brušenje i dr, pri čemu se sa površine betona moraju odstraniti i sve strane primese kao prljavština, ulja, masti i slično.

Ravnost površine na kojoj se vrši aplikacija ojačanja mora se prekontrolisati metalnom letvom. Udubljenja na dužini od 2 m ne smeju da pređu 5 mm. Veće neravnine se moraju eliminisati primenjenim sistemom lepljenja kompatibilnim izravnavajućim (reparaturnim) malterom.

Eventualna korodirana armatura koja se "otkrije" pri pripremi površine treba da se pre nanošenja maltera za izravnanje zaštiti odgovarajućim antikorozionim sredstvom, dok se sve prsline/pukotine prisutne u zoni lepljenja karbonskih traka moraju uz pomoć odgovarajuće niskoviskozne epoksidne smole prethodno zaptiti ili injektirati.

Na površinu za koju se lepi karbonska traka prvo se četkom nanosi sloj lepka, a potom se traka ručno fiksira za tako pripremljenu podlogu pomoću valjka. U slučaju lepljenja traka-tkanina, nakon obrade površine trake valjkom, potrebno je preko zalepljene trake naneti još jedan sloj lepka, tzv. impregnaciju. Za potrebe boljeg prijanjanja maltera i drugih materijala koji eventualno treba da budu naknadno naneti preko trake, treba preko svežeg impregnacionog sloja, koji se u takvim slučajevima nanosi i preko traka-laminata, posuti kvarcni pesak.

## 7. LITERATURA

- [1] Pravilnik za beton i armirani beton, 1987
- [2] Muravljev, M.: Praktična primena SIKa karbonskih traka u ojačanju betonskih konstrukcija, Beograd 2015



Dimitri  
Aleksa  
Marina  
Marina  
Dragic

ZA U

*Rezime*  
*izrada*  
*materij*  
*vrsta l*  
*predme*  
*kako u*  
*pojedini*  
*Projek*

*Ključn*

P  
C

*Summ*  
*of Sain*  
*basic p*  
*installa*  
*most in*  
*substra*  
*Church*  
*selecte*

*Key wo*

- <sup>1</sup> V. pr  
Beog
- <sup>2</sup> Doc.  
Beog
- <sup>3</sup> Asist  
kralje
- <sup>4</sup> msr i
- <sup>5</sup> Red.  
Beog