

ZÁSADY ZOSILŇOVANIA BETÓNOVÝCH KONŠTRUKCIÍ LEPENOU CFRP VÝSTUŽOU ■ PRINCIPLES OF CONCRETE STRUCTURES STRENGTHENING WITH BONDED CFRP REINFORCEMENT

Juraj Bilčík, Katarína Gajdošová

Účinnosť zosilňovania nosných konštrukcií závisí najmä od výberu vhodnej metódy a materiálu. Osvedčenou metódou zosilňovania betónových konštrukcií je zväčšenie prierezu lepenou výstužou. Na tento účel sa používajú oceľové pásy a v poslednom čase najmä polyméry vystužené uhlíkovými vláknami (CFRP). Pri absencii noriem a domácich predpisov môže byť dobrou pomôckou najnovšia nemecká smernica. V príspevku sa uvádzajú zásady zosilňovania ohybaných a tlačných prvkov a informácie o možnostiach uplatnenia tejto smernice. ■ **Effectiveness of load bearing structures strengthening depends mainly on selection of appropriate methods and materials. Well-established strengthening method for concrete structures is the cross-section enlargement with the use of bonded reinforcement. For this purpose, steel strips, and recently mainly Carbon Fibre Reinforced Polymers (CFRPs) are used. In the absence of standards and national regulations, the latest German guideline can become a good tool. The paper introduces strengthening principles of bended and compressed members and information on possibilities of application of this guideline.**

V súčasnosti sa v stavebníctve prejavuje nárast podielu stavebných prác na udržanie a prispôbenie existujúcej zástavby stále sa meniacim požiadavkám. Tento trend sa bude v budúcnosti ďalej stupňovať. Dôsledkom sú zvýšené objemy prác v oblasti sanácie a zosilňovania betónových konštrukcií. Ak sa odhliadne od súboru noriem EN 1504, ktorý sa zaoberá opravami betónových konštrukcií a v časti 4 aj lepením príložiek (oceľových pásov alebo CFRP lamiel), tak v súčasnosti nie sú k dispozícii všeobecne akceptované normy na zosilňovanie betónových konštrukcií lepenou výstužou. Táto skutočnosť nie je až taká alarmujúca, nakoľko pri navrhovaní betónových prvkov zosilnených lepenou výstužou sa postupuje v zásade rovnako ako pri navrhovaní železobetónových prierezov, napr. podľa EN 1992-1-1 alebo EN 1992-2.

V súvislosti s krehkým charakterom postkritického porušenia a obmedzenou súdržnosťou lepenej výstuže však treba zohľadniť viaceré obmedzenia. Tieto obmedzenia a ďalšie rozdiely oproti navrhovaniu betónových konštrukcií sa uvádzajú vo viacerých medzinárodných alebo zahraničných smerniciach. V tejto súvislosti treba uviesť smernicu *fib* [1], smernicu ACI [2] a v roku 2012 vydanú nemeckú smernicu [3].

Stredoeurópsky región sa často orientuje na kvalitné nemecké smernice v rôznych oblastiach betónových konštrukcií. Vzhľadom na vyššie uvedené a skutočnosť, že aplikácie a výskum FRP výstuže na zosilňovanie betónových konštrukcií sú v Nemecku veľmi rozšírené, je vhodné sa oboznámiť s posledne uvedenou smernicou DAfStb.

ZOSILŇOVANIE CFRP MATERIÁLMI

Na zosilňovanie zväčšením prierezu sa od začiatku 90tych rokov dostáva do popredia použitie lamiel a tkanín z polymérov vystužených uhlíkovými vláknami (Carbon Fiber Reinforced Polymer – CFRP). Podobne, ako polyméry vystužené aramidovými (AFRP) alebo sklenenými vláknami (GFRP), sú rezistentné voči korózii a lineárne pružné až do porušenia. Navyše majú veľkú pevnosť, vysoký modul pružnosti a oproti oceli 3 až 5krát menšiu hmotnosť.

Zásady zosilňovania

Polymérne lamely majú až do porušenia lineárne pružné chovanie, preto nemožno uvažovať s redistribúciou ohybových momentov. Betonárska výstuž by mala mať takú ťažnosť, aby sa zosilnený prvok za medzného stavu únosnosti (napriek drveniu betónu v tlaku, roztrhnutiu FRP lamely alebo zlyhaniu súdržnosti) porušil duktilne.

Významným obmedzením je aj požiadavka, aby zosilnený prvok nebol vystavený ohybovému momentu M_{Ed} , ktorý je väčší ako dvojnásobok ohybovej odolnosti nezosilneného prvku M_{Rd0} :

$$\eta = M_{Ed}/M_{Rd0} \leq 2 \quad (1)$$

Spolupôsobenie pridaných materiálov s pôvodným železobetónovým prierezom je podmienené ich účinnou aktiváciou. Táto sa dosiahne maximálnym odľahčením alebo provizórnym podoprením (vzoprením) konštrukcie alebo prvku pred lepením. V poslednom období sa lamely aktivujú aj predpínaním.

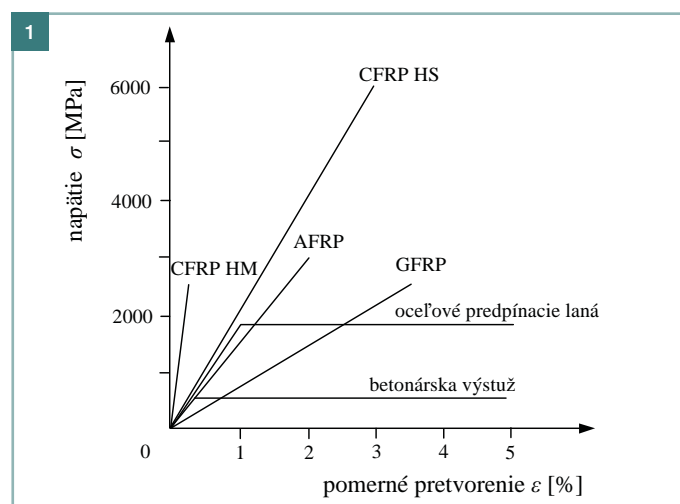
Pracovné diagramy FRP lamiel majú tvar priamky (obr. 1). Väčšie napätie lamiel s vysokou pevnosťou (CFRP HS) sa dosahuje pri veľkých pretvoreniach ($\epsilon_L > 1\%$), čo vedie k nadmernej šírke trhlin. Aby sa pri zosilňovaní dala využiť vysoká pevnosť lamiel, treba použiť materiál s vyšším modulom pružnosti (CFRP HM).

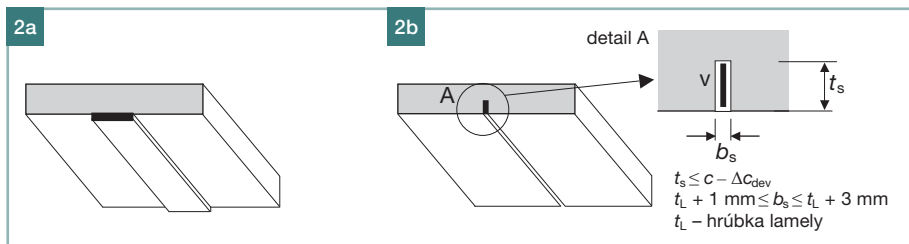
Slabinou lepenej výstuže je citlivosť voči zvýšeným teplotám. Pri lepení výstuže sa používajú za studena vytvrdzujúce epoxidové lepidlá. Tieto duroplastické umelé hmoty sú po určitú tepelnú hranicu amorfné a veľmi stabilné. Pri vyšších teplotách strácajú pevnosť, kritické teploty sú závislé od použitého typu lepidla. Pri v súčasnosti používaných lepidlách sa maximálna teplota pohybuje od +40 do +70 °C.

Zosilňovanie na ohyb a šmyk

Zosilňovaním dosiek a nosníkov sa sleduje zvýšenie ich ohybovej a šmykovej odolnosti. Pri porovnaní s dobetónovaním, lepenie oceľových pásov alebo CFRP lamiel znižuje pracovnosť a skracaie zosilňovacie práce.

Lepenie oceľových pásov patrí medzi osvedčené metódy na zvýšenie ohybovej odolnosti. Manipulácia s pomerne ťaž-





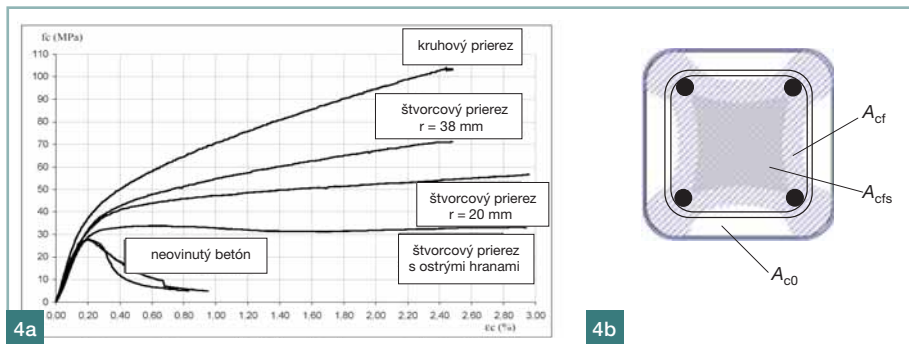
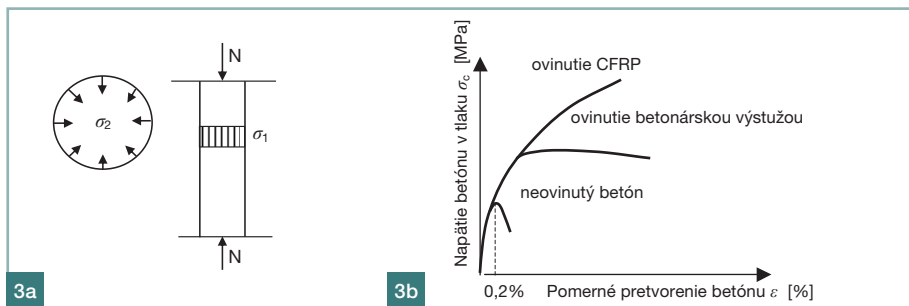
Obr. 1 Porovnanie diagramu $\sigma - \epsilon$ pre ocel a FRP materiály [4] | Fig. 1 Comparison of the $\sigma - \epsilon$ diagram for steel and FRP materials [4]

Obr. 2 Zosilnenie na ohyb: a) lamela nalepená na povrch, b) lamela vlepovaná do drážky | Fig. 2 Strengthening in bending: a) strip externally bonded to the surface, b) strip mounted into the slit

Obr. 3 a) Napätia v ovinutom priereze, b) účinok ovinutia betónu na diagram $\sigma_c - \epsilon_c$ [5] | Fig. 3 a) Stresses in the confined cross-section, b) effectiveness of confinement on the $\sigma_c - \epsilon_c$ diagram [5]

Obr. 4 a) Diagramy $\sigma_c - \epsilon_c$ ovinutých prierezov [6], b) účinné plochy ovinutého štvorcového prierezu | Fig. 4 a) $\sigma_c - \epsilon_c$ diagrams of confined cross-section [6], b) effective areas of the confined square cross-section

Obr. 5 Čiara odolnosti prierezu: a) pôvodného, b) zosilneného výstužou v drážke, c) ovinutého tkaninou, d) zosilneného výstužou v drážke aj ovinutím tkaninou [8] | Fig. 5 Interaction diagram of cross-sections: a) non-strengthened, b) strengthened with a strip in slit, c) strengthened with a sheet confinement, d) strengthened with both strip in slit and sheet confinement [8]



kými, málo ohybnými pásmi a korózia ocele sú hlavné nevýhody oceľových pásov oproti CFRP lamelám, výhodou je všesmerný prenos síl a nižšia cena.

CFRP lamely sa lepia na povrch betónu (obr. 2a) alebo sa vlepujú do drážky v betónovej krycej vrstve (obr. 2b). Vloženie lamely do drážky prináša oproti lepeniu na povrch viaceré výhody:

- zlepšené kotvenie a menšie požiadavky na kvalitu podkladového betónu,
- lepšiu ochranu lamely voči mechanickému poškodeniu a účinku požiaru, zabránenie delaminácii.

Pri zosilňovaní nosníkov na ohybový moment treba často zvýšiť aj šmykovú odolnosť. Na tento účel sa používajú lamelové strmene nalepené z boku a kotvené do dosky, alebo uhlíková tkanina laminovaná živicom na upravený betónový povrch nosníka.

Zosilňovanie stĺpov

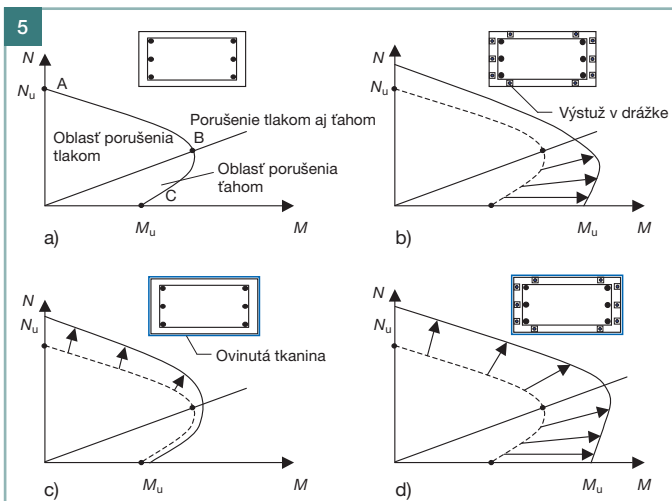
Na zosilňovanie stĺpov sa využíva tkanina ovinutá okolo stĺpa a nalepené alebo do drážky vlepované CFRP lamely. Ovinutie stĺpov tkaninou bráni pretvoreniu betónu v priečnom smere (obr. 3a). Tým dochádza k trojosovému namáhaniu betónu, čo zvyšuje jeho pevnosť v tlaku (obr. 3b). Zvýšenie ohybovej odolnosti stĺpov sa dosiahne lepením lamiel na povrch alebo do drážky v smere osi stĺpa.

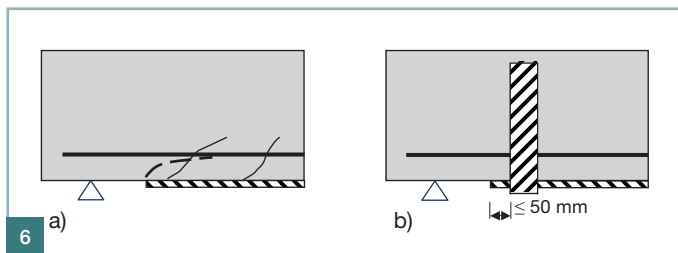
Diagram $\sigma_c - \epsilon_c$ betónu ovinutého uhlíkovou tkaninou, má približne bilineárny priebeh (obr. 3b). V počiatočnej fáze sa ovinutý betón chová podobne ako neovinutý – pri malých pretvoreniach sa neprejavuje účinok obmedzenia priečného pretvorenia. S narastajúcim napätím sa zväčšujú pozdĺžne i priečne pretvorenia. Ak betón dosiahne pretvorenie v tlaku zodpovedajúce maximálnemu napätiu ($\epsilon_c \cong 0,2\%$) dochádza k zmene smeru diagramu. Sklon dotyč-

nice potom zodpovedá modulu pružnosti ovinutej tkaniny. Účinnosť ovinutia na nárast tlakovej pevnosti betónu je významne ovplyvnená tvarom priečného rezu stĺpa. Najvyššia účinnosť sa dosahuje pri kruhových prierezoch, s ostrosťou hrán efektívnosť ovinutia obdĺžnikových prierezov klesá (obr. 4a). Ovinutie výrazne zvyšuje aj pretvoviteľnosť tlačných prvkov. Na obr. 4b sú označené účinné betónové plochy prierezu ovinutého stĺpa:

- A_{c0} plocha neovinutého betónového prierezu,
- A_{cf} plocha ovinutá CFRP,
- A_{cfs} plocha ovinutá strmeňmi aj CFRP.

Na výpočet návrhovej odolnosti ovinutého prierezu N_{Rdf} je v literatúre veľké množstvo modelov. Náznornú predstavu o podiele jednotlivých plôch na celkovej odolnosti prierezu poskytuje Wangov model [7]. Model umožňuje zohľadniť aj ovinutie strmeňkami





$$N_{Rdf} = A_{c0} \frac{\alpha 0,3f_{ck} + A_{cf} \frac{\alpha f_{ck,f}}{\gamma_{cc}} + A_{cfs} \frac{\alpha f_{ck,fs}}{\gamma_{cc}} + A_s \frac{f_{yk}}{\gamma_s}}{\gamma_c} \quad (2)$$

kde A_s je plocha pozdĺžnej výstuže, f_{ck} jednoosová pevnosť betónu, $f_{ck,f}$ trojosová pevnosť betónu ovinutého CFRP tkaninou, $f_{ck,fs}$ trojosová pevnosť betónu ovinutého CFRP tkaninou a strmeňmi, f_{yk} charakteristická medza klzu ocele, α súčiniteľ dlhodobého zaťaženia, γ_c , γ_{cc} , γ_s parciálne súčinitele spoľahlivosti betónu a ocele.

Možnosti zvýšenia čiaru odolnosti stĺpov ovinutím, resp. lamelami v drážke a ich kombináciou sú znázornené na obr. 5. Čiara odolnosti pôvodného obdĺžnikového prierezu stĺpa namáhaného kombináciou normálovej sily a ohybového momentu je znázornená na obr. 5a. V oblasti A-B je porušenie vyvolané drvením betónu, kým v oblasti B-C je porušenie spôsobené prekročením medze klzu ocele. Po vložení CFRP výstuže do drážok sa čiara odolnosti výraznejšie rozširuje v oblasti B-C, úmerne zvýšenému stupňu vystuženia pozdĺžnou výstužou (obr. 5b). Naproti tomu použitie ovinutej tkaniny vyvolá zvýšenie odolnosti v oblasti A-B (obr. 5c). Kombináciou lamiel a ovinutej tkaniny sa dosiahne zvýšenie únosnosti stĺpa v oboch oblastiach (obr. 5d). Ovinutá tkanina navyše prispieva k stabilite vlozenej výstuže.

NAVRHOVANIE LEPENEJ VÝSTUŽE PODĽA SMERNICE DAFSTB

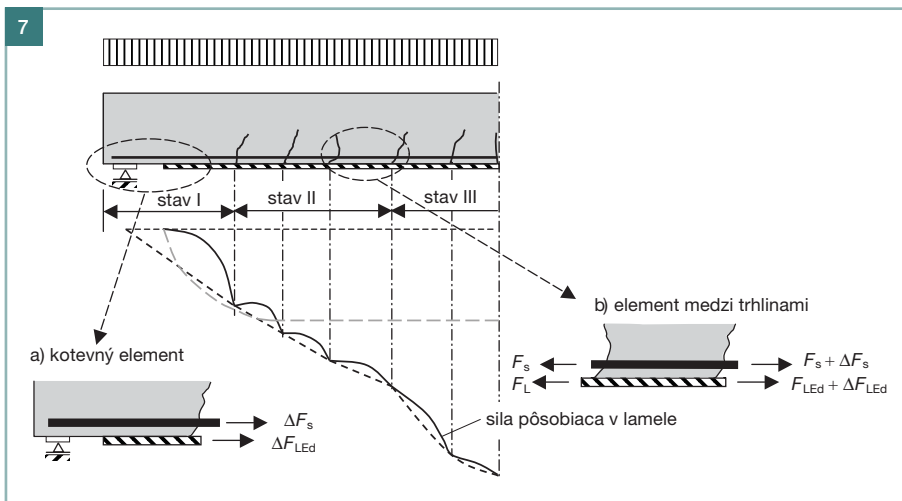
Smernica DAFStb „Zosilňovanie betónových prvkov lepenou výstužou“ (ďalej smernica) upravuje v štyroch dieloch navrhovanie, používanie všeobecných stavebných povolení na systémy zosilňovania, podmienky zhotovovania a plánovanie zosilňovania lepenou výstužou. Smernica môže byť použitá na betónové konštrukcie za účelom zosilňovania:

- na ohyb, nalepenými CFRP lamelami, tkaninami a ocelovými pásmi,
- na ohyb, CFRP lamelami vlepými do drážok,
- na šmyk, nalepenými CFRP tkaninami a ocelovými pásmi,
- stĺpov ovinutou CFRP tkaninou.

Obr. 6 a) Odrhnutie betónovej krycej vrstvy na konci kotvenia lamely, b) konštrukčný strmeň [3] | Fig. 6 a) Concrete cover rip-off at the end of a strip anchorage, b) structural stirrup [3]

Obr. 7 Schematické znázornenie prenosu sily v súdržnosti nalepenej lamely: a) kotevný element, b) element medzi trhlinami [5] | Fig. 7 Schematic illustration of the bond force transfer by using externally bonded reinforcement, a) anchorage element, b) element between the cracks [5]

Obr. 8 Schematické znázornenie metód zosilňovania na šmyk: a) uzavretý strmeň, b) otvorený strmeň c) celoplošné lepenie, d) lepenie pásov | Fig. 8 Schematic illustration of the shear strengthening methods: a) closed stirrup, b) open stirrup, c) surface bonding, d) bonded strips



Podkladom pre smernicu bola v roku 2011 vydaná komplexná správa o súčasnom stave problematiky zosilňovania betónových prvkov lepenou výstužou [9]. Smernica sa skladá zo štyroch dielov. Prvý diel smernice: Navrhovanie a konštruovanie (tvorí približne 60 % rozsahu smernice) obsahom a štruktúrou zodpovedá DIN EN 1992-1-1. Jednotlivé články tejto časti smernice potvrdzujú nezmenenú platnosť príslušného článku DIN EN 1992-1-1, alebo ho upravujú, či dopĺňujú. Predpona RV (Richtline Verstärkung) s číslom označuje v 1. diele smernice kapitoly, odseky, obrázky, či tabuľky príslúchajúce k DIN EN 1992-1-1.

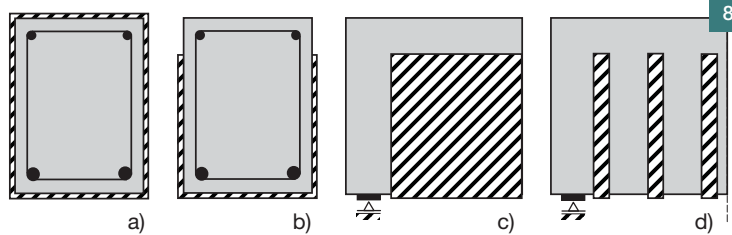
V smernici uvedené návrhové postupy sa zakladajú na mechanických úvahách a skúškach obyčajného betónu pevnostnej triedy C12/15 až C50/60. Tieto postupy by sa bez dodatočného vyšetrovania nemali používať na betóny vyššej pevnosti. Návrhové rovnice neplatia pre prvky s hrúbkou menšou ako 100 mm. CFRP lamely môžu byť najviac v dvoch vrstvách, pričom hrúbka prierezu CFRP lamely (bez lepidla) nemôže byť viac ako 3 mm. Lepenej výstuži sa môžu prisúdiť iba ťahové sily. V ohýbaných prvkoch môžu byť CFRP tkaniny lepené maximálne v piatich a v stĺpoch v desiatich vrstvách. Tu však už treba uvážiť aj ekonomické hľadisko zosilňovania.

Únosnosť lepenej výstuže je obmedzená súdržnosťou lamely k betónovému podkladu, preto si jej kotvenie vyžaduje zvláštnu pozornosť. Na konci lamely môže kolmo na lepenú plochu pôsobiace ťahové napätie odtrhnúť betónovú kryciu vrstvu od betonárskej výstuže (obr. 6a). Ak sa kotevná oblasť neoverí výpočtom proti odtrhnutiu, lamela musí byť na konci ovinutá strmeňom z ocelevej pásoviny alebo CFRP tkaniny, vo vzdialenosti maximálne 50 mm od konca lamely (obr. 6b).

Požiaru odolnosť zosilneného prvku sa preukazuje výpočtom podľa DIN EN 1992-1-2 a jej národnej prílohy, bez započítania zosilňujúceho účinku lepenej výstuže. V prípade, ak má lepená výstuž protipožiaru ochranu, je možné posúdenie odolnosti urobiť podľa stavebného povolenia vydaného na použitý systém protipožiarnej ochrany. Po prekročení, v stavebnom povolení uvedenej teploty T_f , nemožno lepenej výstuži prisúdiť žiadne sily.

Zosilňovanie prevažne ohýbaných prvkov

Na overenie zosilnenia lepenými CFRP lamelami a tkaninami na ohyb uvádza smernica zjednodušený a presnejší postup. Zjednodušený postup sa zakladá na medznom pomernom pretvorení lamely $\epsilon_{Ld,max}$ podľa rovnice (3). Overenie koncového kotvenia lamely nie je potrebné, ak sú splnené všetky nasledovné podmienky:



- koniec lamely je vzdialený maximálne 50 mm od hrany podpory,
- všetka betonárska výstuž v zosilňovanom prvku je dovedená do podpory a má rebierkovaný povrch,
- celková hrúbka lamely nie je väčšia ako 1,4 mm.

$$\epsilon_{Ld,max} = \max \begin{cases} 0,5 \text{ mm/m} + 0,1 \text{ mm/m} \frac{l_0}{h} - 0,04 \text{ mm/m} \varnothing_s + 0,06 \text{ mm/m} f_{cm} \\ \begin{cases} 3 \text{ mm/m} + \frac{l_0}{9700 \text{ mm}} \left(2 - \frac{l_0}{9700 \text{ mm}} \right) & \text{pre } l_0 \leq 9700 \text{ mm} \\ 3 \text{ mm} & \text{pre } l_0 > 9700 \text{ mm} \end{cases} \end{cases} \quad (3)$$

kde f_{cm} je stredná hodnota valcovej pevnosti betónu v tlaku [N/mm²], h celková výška zosilňovaného prvku [mm], \varnothing_s najväčší priemer betonárskej výstuže [mm], l_0 účinné rozpätie zosilňovaného prvku [mm].

Pri tomto spôsobe overenia koncového kotvenia lamely musí hodnota f_{cm} spĺňať podmienku

$$f_{ctm,surf} \geq 0,26 f_{cm}^{2/3} \quad (4)$$

Pri zosilňovaní lepenými lamelami na ohyb sa okrem známych spôsobov porušenia železobetónových prvkov vyskytujú aj ďalšie spôsoby porušenia. Patrí sem predovšetkým porušenie súdržnosti (debonding) v betónovej vrstve v blízkosti styku betón – lepidlo. Z dôvodu malej pevnosti betónovej krycej vrstvy v ťahu dochádza, po lokálnom porušení súdržnosti, pri zvyšovaní zaťaženia k celkovému zlyhaniu súdržnosti lepenej výstuže (zipsový efekt). Pri lepenej výstuži sa zväčšovaním kotevnej dĺžky nedosiahne, aby sa výstuž roztrhla skôr, ako dôjde k strate jej súdržnosti s betónom.

Od určitej kotevnej dĺžky nemožno zvyšovať silu v súdržnosti.

Na základe skúšok sa však preukázalo, že v mieste maximálneho momentu sa v lamele vyskytujú sily, ktoré sú výrazne väčšie ako to vyplýva z koncového kotvenia lamely. Ako je na obr. 7 znázornené, prenos sily v súdržnosti prebieha v miestach kde dochádza k zmene ťahovej sily. Na základe tejto skutočnosti sa na overenie kotvenia lamely v smernici rozlišuje oblasť na konci kotvenia lepenej výstuže a zvyšná časť zosilneného prvku. V kotevnom elemente (obr. 7a) sa musia kotviť sily v lamele vyskytujúce sa v ohybovej trhline, ktorá je najbližšie k miestu s nulovým momentom. Odolnosť lamely v súdržnosti v kotevnom elemente sa stanovuje skúškami, pri ktorých sa lamela ťahá v smere jej osi.

V zvyšnej časti prvku sa môže sila v súdržnosti prenášať na elementoch medzi ohybovými trhlinami (obr. 7b). V elemente medzi trhlinami pôsobí v menej zaťaženej trhline základná sila (F_{LEd}) a vo viac zaťaženej trhline aj prírastok sily ($F_{LEd} + \Delta F_{LEd}$). Tento prírastok sily v lamele (ΔF_{LEd}) sa musí súdržnosťou preniesť do betónového prvku. Keďže zvýšenie ohybovej odolnosti lepenými lamelami je najčastejší spôsob zosilňovania, uskutočnil sa pre tento spôsob zosilňovania rozsiahly výskum. Podľa požiadaviek na presnosť, resp. hospodárnosť je v smernici uvedený zjednodušený, resp. presnejší postup na overenie odolnosti.

Zosilňovanie prevažne tlačných prvkov

V smernici sa pre stĺpy uvádza iba zosilňovanie ovinutím tkaninou, ktorá umožňuje:

- všeobecné doplnenie priečnej výstuže,
- pre kruhové prierezy aj aktiváciu viacosovej pevnosti betónu v tlaku.

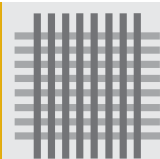
V stĺpoch s nedostatočnou priečnou výstužou môže byť chýbajúca priečna výstuž doplnená ovinutím CFRP tkaninou po celej výške stĺpa (minimálne dve vrstvy). Potrebná plocha tkaniny sa vypočíta zo vzorca

$$A_{L,rqd} = \frac{A_{s,rqd} f_{yd}}{0,9 f_{Lwd,GF}} \quad (5)$$

kde $A_{s,rqd}$ je potrebná plocha betonárskej výstuže, f_{yd} návrho-

BETOSAN®

DRŽITEL CERTIFIKÁTU ČSN EN ISO 9001 A 14001



**alternativa,
kterou oceníte**

Zesilování konstrukcí – systém TYFO

**UHLÍKOVÉ LAMELY
UHLÍKOVÉ TKANINY
SKELNÉ TKANINY
BAZALTOVÉ TKANINY
POJISTNÉ VLÁKNITÉ KOTVY**

www.betosan.cz

OBCHODNĚ-TECHNICKÁ KANCELÁŘ
Na Dolinách 23 | tel./fax: 241 431 212
147 00 Praha 4 | e-mail: praha@betosan.cz

vá medza klzu betonárskej výstuže, $f_{Lwd,GF}$ návrhová pevnosť tkaniny s vláknami kolmo k osi stĺpa,

$$f_{Lwd,GF} = 0,75 k_R f_{Ld} \quad (6)$$

$$k_R = \begin{cases} 0,5 \frac{r_c}{60 \text{ mm}} \left(2 - \frac{r_c}{60 \text{ mm}} \right) & 25 \text{ mm} \leq r_c < 60 \text{ mm} \\ 0,05 & r_c \geq 60 \text{ mm} \end{cases} \quad (7)$$

kde r_c je polomer zaoblenia hrán a f_{Ld} návrhová pevnosť CFRP tkaniny. Presah kotvenia ovinutej tkaniny je minimálne 250 mm.

Na zabezpečenie aktivácie viacosovej pevnosti betónu nesmie byť celková hrúbka ovinutia t_L , ktorá je násobkom hrúbky tkaniny a počtu vrstiev ovinutia, menšia ako

$$t_L \geq \frac{0,2 D f_{cm}}{E_L} \quad (8)$$

So zvýšenou návrhovou odolnosťou N_{Rd} celoplošne ovinutého stĺpa kruhového prierezu s priemerom D a štihlosťou λ možno uvažovať, za predpokladu týchto okrajových podmienok: $D \geq 120 \text{ mm}$; $\lambda \leq 40$; $e_0/D \leq 0,25$; $f_{cm} \leq 58 \text{ N/mm}^2$.

Zosilňovanie na šmyk

Na zvýšenie šmykovej odolnosti sa na betónové nosníky lepia uzavreté alebo otvorené, celoplošné alebo pásové strmene (obr. 8). Otvorené strmene sa môžu použiť iba pre obdĺžnikové prierezy, v doskových nosníkoch musia byť strmene kotvené v tlačenej oblasti.

Šmyková odolnosť priamo pásových prvkov ($V_{ccd} + V_{td} = 0$) sa vypočíta z upravenej rovnice

$$V_{Rd} = V_{Rd,s} + V_{Rd,Lw} \quad (9)$$

kde $V_{Rd,s}$ je návrhová hodnota šmykovej sily prenášaná šmy-

kovou výstužou, $V_{Rd,Lw}$ návrhová hodnota šmykovej sily prenášaná pridanou šmykovou výstužou:

$$V_{Rd,Lw} = \frac{A_{Lw}}{S_{Lw}} z f_{Lwd} \cot \theta \quad (10)$$

Plocha pridanej šmykovej výstuže sa vypočíta podľa použitej metódy zosilňovania

$$\frac{A_{Lw}}{S_{Lw}} = \begin{cases} \frac{2t_{Lw} b_{Lw}}{S_{Lw}} & \text{pre lepenie pásov} \\ 2t_{Lw} & \text{pre celoplošné lepenie} \end{cases} \quad (11)$$

Návrhová pevnosť f_{Lwd} uzavretého strmeňa z FRP sa vypočíta, rovnako ako pre strmeň stĺpa, podľa rovnice (6).

Zhotovovanie zosilnenia

Dôležité údaje a požiadavky, ktoré treba zohľadniť pri zhotovovaní zosilnenia, sú uvedené v treťom diele smernice. Uvádzajú sa tu všeobecné a konkrétne požiadavky na:

- zhotoviteľa, jeho personál, vybavenie zariadeniami a prístrojmi,
- zosilňovací systém a jeho aplikáciu,
- klimatické podmienky,
- prípravu betónového podkladu,
- lepenie lamelami a tkaninami,
- vlastnú kontrolu zhotoviteľa.

Pri zosilňovaní lepenou výstužou je zvlášť dôležitá úprava a kontrola betónového podkladu. V smernici v tab. 5.1 sa uvádzajú metódy, rozsah a početnosť vlastných skúšok zhotoviteľa pre jednotlivé spôsoby zosilňovania.

ZÁVERY

Úspešné a účinné zosilňovanie vyžaduje overenie a zhodnotenie aktuálneho stavu konštrukcie, statický výpočet a výkresovú dokumentáciu. Na základe veľkej pevnosti v ťahu, vysokého modulu pružnosti a jednoduchej aplikácii sú CFRP materiály vhodné na dodatočné zosilňovanie na ohyb, šmyk i tlak.

Návrh a realizácia zosilnenia musia byť v súlade s príslušnými normami pre navrhovanie betónových konštrukcií. Projektant by mal poznať a uvážiť obmedzenia spojené s touto metódou zosilňovania, ktoré sa uvádzajú v medzinárodných alebo zahraničných smerniciach pre navrhovanie zosilňovania lepenou výstužou. Túto úlohu mu môže uľahčiť aj v príspevku predstavená smernica DAfStb.

Na navrhovanie a overovanie odolnosti zosilnených prvkov podľa ČSN(STN) EN 1992-1-1 je možné použiť smernicu DAfStb po zohľadnení rozdielov medzi národnými prílohami k DIN EN 1992-1-1 a ČSN(STN) EN 1992-1-1.

Príspevok vznikol za podpory výskumného projektu VEGA č.1/0784/12 „Holistické navrhovanie a overovanie betónových konštrukcií“.

prof. Ing. Juraj Bilčík, PhD.
e-mail: juraj.bilcik@stuba.sk
tel.: +421 259 274 546



Ing. Katarína Gajdošová, PhD.
e-mail: katarina.gajdosova@stuba.sk
tel.: +421 259 274 382



oba: Katedra betónových konštrukcií a mostov
Stavebná fakulta STU Bratislava
Radlinského 11, 813 68 Bratislava

Literatúra:

- [1] fib bulletin no.14: Externally bonded FRP reinforcement for RC structures, July 2001, 130 p.
- [2] ACI Committee 440: Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures, July 2008, s. 80.
- [3] DAfStb-RiLi: Verstärken von Betonbauteilen mit geklebter Bewehrung, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, 2012, s. 118
- [4] Carolin A.: Carbon Fibre Reinforced Polymers for Strengthening of Structural Elements: Dizertačná práca, Lulea University of Technology, 2003, s. 178.
- [5] Finckh W., Ignatiadis A., Niedermeier R., Wiens U., Zilch K.: Die neue DAfStb-Richtlinie: Verstärken von Betonbauteilen mit geklebter Bewehrung, Beton- und Stahlbetonbau Heft 10 (2012) s. 711–715
- [6] De Paula R.F., Da Silva M. G.: Sharp edge effects on FRP confinements of RC square columns. <http://quakewrap.com/frp%20papers/Sharp-Edge-Effects-On-FRP-Confinement-Of-RC-Square-Columns.pdf>
- [7] Wang Y. CH.: Retrofit of reinforced concrete members using advanced composite materials, PhD thesis, University of Canterbury, New Zeland, 2000, s. 397
- [8] Huang P. C., Hsu Y., Nanni A.: Assessment and Proposed Structural Repair Strategies for Bridge Piers. in Proc., 3rd Inter. Conf. on Advanced Composite Materials in Bridges and Structures, Ottawa, Canada, J. Humar and A. G. Razaqpur, Editors, 2000, s. 593–600
- [9] Zilch K., Niedermeier R., Finckh W.: Sachstandbericht Verstärken von Betonbauteilen mit geklebter Bewehrung. DAfStb Heft 591, 2011, s. 208