

Chování železobetonových sloupů zesílených ocelovou bandáží

(Pokračování z č. 1/98)

Behaviour of Reinforced Concrete Columns Strengthened with Steel Lining

Ladislav Čírtek

Teoretický rozbor činitelů majících vliv na chování železobetonových sloupů dodatečně zesílených ocelovou bandáží. Porovnání výsledků teoretického řešení matematického modelu s výsledky experimentálních zkoušek. Návrh vztahů pro výpočet reálné únosnosti zesílených sloupů.

Theoretical analysis of factors influencing behaviour of reinforced concrete columns strengthened with steel lining. Comparison of results of theoretical solution of mathematical models with results of experimental tests. Proposal of relations for calculation of objective load-bearing capacity of the strengthened columns.

Ocelovou bandáží se rozumí konstrukce sestavená z podélných úhelníků a příčných pásků, obepínající a zesilující železobetonový sloup čtvercového nebo obdélníkového průřezu. Řada sloupů takto zesílených byla za dostředného tlaku testována [1], byl uveden a ověřen model bandážovaného sloupu [2]. *Bandáž částečnou* byla označena bandáž s neprůběžnými ocelovými úhelníky a *bandáž plnou* bandáž s úhelníky průběžnými - viz obr. 1 v [2].

V tomto článku je uveden vliv různých činitelů - parametrů bandáže na únosnost betonu sloupů. Únosnost je vyjádřena pomocí součinitele únosnosti betonu Φ_p ; popř. pomocí relativního součinitele Ψ_p , který je vztažen k únosnosti betonu sloupu s referenčním typem bandáže. Referenčním typem se rozumí bandáž s průměrnými hodnotami parametrů a to buď z intervalů hodnot, jejichž vliv na chování bandážovaných sloupů byl vyšetřován, nebo z intervalů, které pro praktické návrhy bandážovaných sloupů jsou dále vymezeny.

Vztahy (1) až (9), uváděné v následujících odstavcích tohoto článku, byly získány aproximací dat vypočtených převážně programem ANSYS [3] na třech základních typech modelů:

- **C** *Model (predikce) částečně bandážovaného sloupu*. S prokluzem úhelníků nebylo uvažováno. V dalším textu jsou takto označené vztahy použity pro stanovení reálné únosnosti sloupů.
- **P** *Model (predikce) plně bandážovaného sloupu uvažující částečný prokluz úhelníků* a difference osových přetvoření čtyř úhelníků bandáže. Vztahy jsou opět použity pro stanovení reálné únosnosti sloupů.
- **PM** *Model (predikce) plně bandážovaného sloupu s plným prokluzem úhelníků*. Uvedené vztahy lze doporučit pro navrhování těchto sloupů ve stavební praxi.

Charakteristiky materiálů pro modelování chování experimentálně vyšetřovaných sloupů byly uvažovány průměrnými hodnotami z hodnot naměřených. Průměrné kvality betonu experimentálně vyšetřovaných bandážovaných sloupů odpovídají hodnoty $R_b = 14,907$ MPa; $R_{bt} = 2,021$ MPa; $E_b = 20,778$ GPa. V dalším textu bude tento beton značen B^* . Pokud nebude uvedeno jinak, je vždy ocelová bandáž aktivována ohřevem pásků ($T = 150$ °C) na železobetonových sloupech, které tvarem, vyztužením a kvalitou betonu odpovídají sloupům experimentálně vyšetřovaným (tvar: $300 \times 300 \times 1500$ mm; výztuž: 4 \varnothing V14, třmínky \varnothing E5,5 s osovou vzdáleností 0,2 m; beton: B^*).

Vzdálenost ocelových pásků

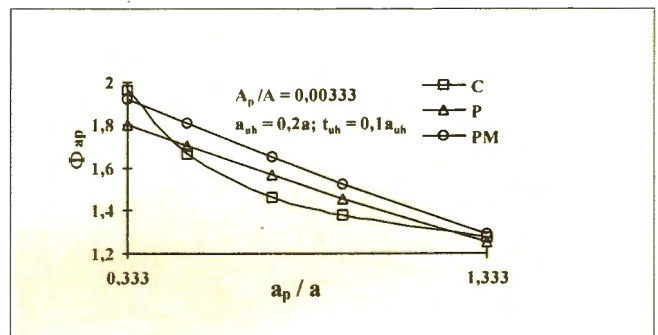
Vliv poměru osové vzdálenosti pásků a_p k délce strany a čtvercového průřezu sloupu na únosnost betonu bandážovaných sloupů je vyjádřen součinitelem vzdálenosti pásků Φ_{ap} :

$$\Phi_{ap} = 1,048 + 0,306 \left(\frac{a_p}{a} \right)^{-1}, \quad (\text{pro model C}) \quad (1)$$

$$\Phi_{ap} = 1 + \left(1 - 0,5 \frac{a_p}{a} \right)^{1,25}, \quad (\text{pro model P}) \quad (2)$$

$$\Phi_{ap} = 1 + \left(1,12 - 0,56 \frac{a_p}{a} \right)^{1,25}. \quad (\text{pro model PM}) \quad (3)$$

Vztahy platí v intervalu: $0,333 \leq (a_p / a) \leq 1,333$.



Obr. 1 – Vliv poměru osové vzdálenosti a_p ocelových pásků k délce a strany čtvercového průřezu sloupu na únosnost betonu bandážovaných sloupů vyjádřený součinitelem vzdálenosti pásků Φ_{ap} . - *Influence of the ratio of steel strips spacing a_p to side length a of column square section on loading capacity of columns with steel lining expressed by of steel factor Φ_{ap} .*

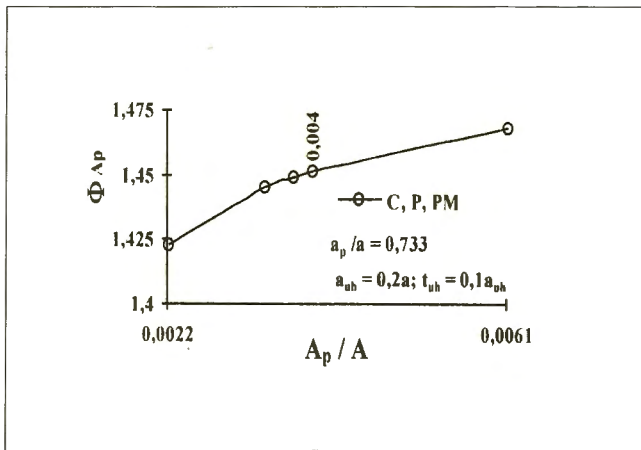
Z obr. 1 je patrné, že závislost $a_p / a \rightarrow \Phi_{ap}$ je velmi silná.

Plocha průřezu ocelových pásků

Vliv poměru plochy A_p ocelových pásků k ploše A příčného řezu sloupu na únosnost betonu bandážovaných sloupů vyjadřuje relativní součinitel plochy pásků Ψ_{Ap} :

$$\Psi_{Ap} = 1 + \frac{(A_p / A) - 0,00333}{10 (A_p / A)^{0,8}}. \quad (\text{C, P, PM}) \quad (4)$$

Vztah platí v intervalu: $0,0022 \leq (A_p / A) \leq 0,0061$.



Obr. 2 – Vliv poměru plochy A_p ocelových pásků k ploše A průřezu sloupu na únosnost betonu bandážovaných sloupů vyjádřený součinitelem plochy ocelových pásků $\Phi_{Ap} = 1,445 \Psi_{Ap}$ / Influence of the ratio of sectional area of steel strips A_p to cross-sectional area of a column A on loading capacity of columns with steel lining expressed by factor of sectional area factor $\Phi_{Ap} = 1,445 \Psi_{Ap}$

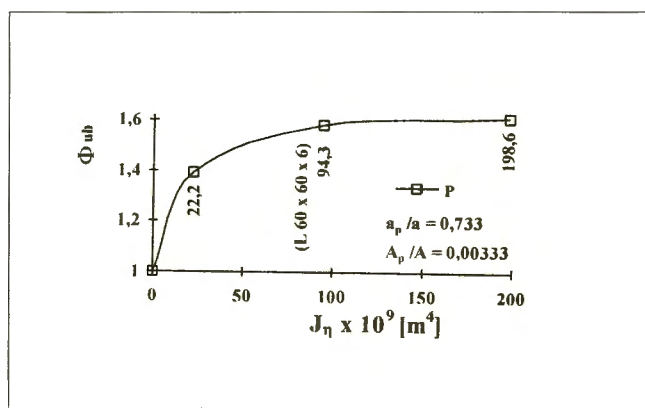
Z obr. 2 je patrná relativně slabá závislost $A_p/A \rightarrow \Phi_{Ap}$. Zvýšení účinnosti bandáží pro poměry $(A_p/A) > 0,004$ je velmi malý.

Ocelové úhelníky

Tato predikce se týká pouze vlivu omezení příčných přetvoření betonu účinkem tuhosti ocelových úhelníků na únosnost betonu sloupů plně bandážovaných. Tuhost je vyjádřena momentem setrvačnosti J_η k centrální ose setrvačnosti kolmé k ose symetrie průřezu úhelníku. Uvedený vliv úhelníků na sloupu průřezu 300×300 mm vyjadřuje relativní součinitel ocelových úhelníků Ψ_{uh} :

$$\Psi_{uh} = 0,632 + \frac{0,392 J_\eta}{J_\eta + 4,5 \cdot 10^{-9}}, \quad (P) \quad (5)$$

Obr. 3 – Vliv momentu setrvačnosti úhelníků J_η na únosnost betonu



plně bandážovaného sloupu vyjádřený součinitelem úhelníku $\Phi_{uh} = 1,583 \Psi_{uh}$ / Influence of moment of inertia J_η of angle iron on loading capacity of concrete of column with continuous steel lining expressed by angle iron factor $\Phi_{uh} = 1,583 \Psi_{uh}$

Účinnost plně bandáže je pro případ použití rohových úhelníků rozměrů $60 \times 60 \times 6$ mm značná a aplikace úhelníků větších rozměrů pro sloup s příčným průřezem 300×300 mm nemá odpovídající odezvu v růstu únosnosti betonu (obr. 3). Délka strany a_{uh} a tloušťka t_{uh} úhelníků uvedených rozměrů odpovídají vztahům: $a_{uh} = 0,2a$; $t_{uh} = 0,1a_{uh}$.

Kvalita betonu

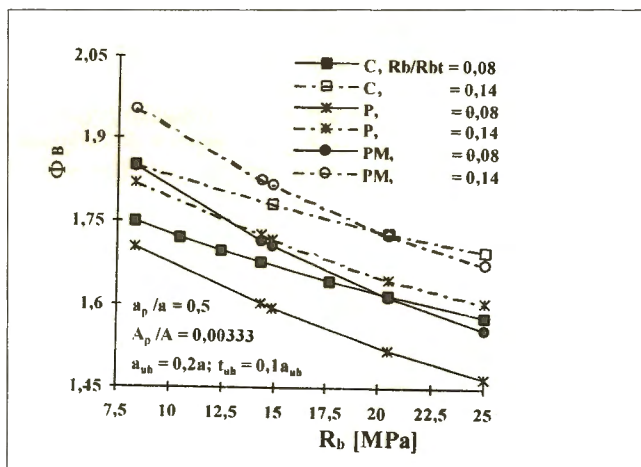
S klesající kvalitou betonu se zvětšují jeho přetvárné schopnosti (viz obr. 3 v [2]). U bandážovaných sloupů je tato vlastnost betonu doprovázena vzrůstající účinností bandáže. Tento vliv vyjadřuje relativní součinitel kvality betonu Ψ_B :

$$\Psi_B = 0,891 - \frac{0,563 R_b - 4,7}{R_b + 77} + 1,121 \frac{R_{bt}}{R_b}, \quad (C) \quad (6)$$

$$\Psi_B = 0,886 - \frac{0,585 R_b - 4,883}{R_b + 48,65} + 1,316 \frac{R_{bt}}{R_b}, \quad (P) \quad (7)$$

$$\Psi_B = 0,932 - \frac{0,554 R_b - 4,626}{R_b + 32,65} + 1,108 \frac{R_{bt}}{R_b}. \quad (PM) \quad (8)$$

Uvedené vztahy jsou odvozeny pro betony s pevností v tlaku $R_b = 8 + 25$ MPa a s pevností v tahu R_{bt} odpovídající poměrům $R_{bt}/R_b = 0,08 + 0,14$.



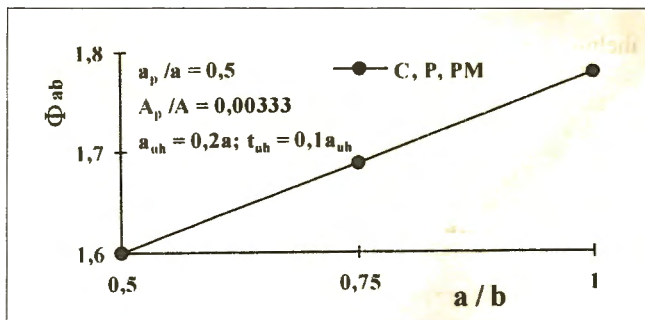
Obr. 4 – Vliv kvality betonu na únosnost betonu bandážovaných sloupů vyjádřený součinitelem kvality betonu $\Phi_B = \varphi \Psi_B$. $\varphi = 1,777; 1,710; 1,805$ pro predikce C, P, PM / Influence of quality of concrete on loading capacity of concrete of columns with steel lining expressed by quality factor $\Phi_B = \varphi \Psi_B$. $\varphi = 1,777; 1,710; 1,805$ for prediction C, P, PM

Obdélníkový průřez sloupu

Průřez bandážovaného sloupu může mít též tvar obdélníku se stranami a, b ($a < b$). Vliv poměru délek stran na únosnost betonu bandážovaných sloupů zohledňuje relativní součinitel tvaru průřezu sloupu Ψ_{ab} :

$$\Psi_{ab} = 0,2 \frac{a}{b} + 0,8, \quad 0,5 \leq (a/b) \leq 1. \quad (C, P, PM) \quad (9)$$

Viz též obr. 5.



Obr. 5 – Vliv poměru stran ($a \leq b$) průřezu sloupů k únosnosti betonu bandážovaných sloupů vyjádřený součinitelem $\Phi_{ab} = 1,778 \Psi_{ag}$ / Influence of side ratio ($a \leq b$) of column cross section to concrete loading capacity of columns with steel lining expressed by factor $\Phi_{ab} = 1,778 \Psi_{ag}$

Velikost čtvercového průřezu sloupů, maximální rozměr kameniva betonové směsi

Vlivy velikosti čtvercového průřezu sloupů (o délce strany a) a maximálního rozměru kameniva d_g betonové směsi na únosnost betonu bandážovaných sloupů mají společného „jmenovatele“ – pevnostní efekt hustoty sítě modelu (viz vztah (4) v [2]).

Vliv uvedených činitelů na únosnost betonu bandážovaných sloupů je vyjádřen relativním součinitelem velikosti průřezu a maximálního rozměru kameniva Ψ_{ag} :

$$\Psi_{ag} = \left(1 + \frac{a_g - 0,3}{8,6a_g}\right)^{\text{exp}}, \quad (\text{C}) \quad (10)$$

$$\text{kde } a_g = a - \frac{0,016}{d_g}; \quad a, d_g \text{ [m]},$$

$$\text{exp} = \frac{1,327 - \phi}{0,467\phi - 0,3} - 0,22,$$

$$\phi = \Phi_{ap} \Psi_{Ap}^2 \Psi_B \left(1,366 - 2,7 \frac{R_{bt}}{R_b}\right);$$

$$\Psi_{ag} = \left(1 + \frac{a_g - 0,3}{14,5a_g}\right)^{\text{exp}}, \quad (\text{P}) \quad (11)$$

$$\text{kde } \text{exp} = -2,537\phi + 2,932,$$

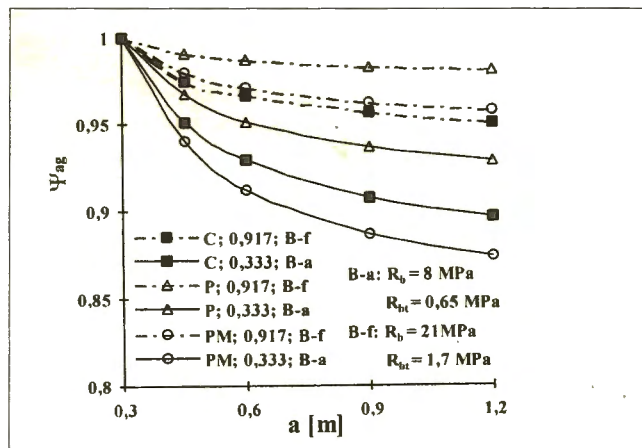
$$\phi = \Phi_{ap} \Psi_{Ap}^2 \Psi_B \left(1,153 - 1,9 \frac{R_{bt}}{R_b}\right);$$

$$\Psi_{ag} = \left(1 + \frac{a_g - 0,3}{7,1a_g}\right)^{\text{exp}}, \quad (\text{PM}) \quad (12)$$

$$\text{kde } \text{exp} = -1,78\phi + 2,017,$$

$$\phi = \Phi_{ap} \Psi_B \left(1,153 - 1,9 \frac{R_{bt}}{R_b}\right);$$

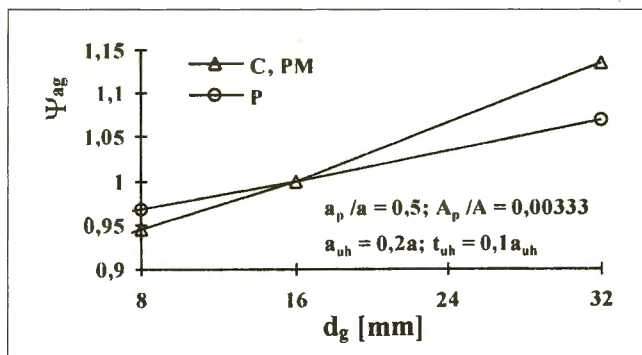
Vztahy (10 až 12) jsou odvozeny pro bandážované sloupky s délkou strany $a = 0,3 + 1,2$ m a s maximálním rozměrem kameniva $d_g = 8 + 32$ mm. Se vzrůstem únosnosti betonu bandážovaných sloupů (Φ) základního průřezu ($a = 300$ mm) se zmenšují hodnoty součinitele Ψ_{ag} (při konstantní hodnotě d_g) a tedy klesá i únosnost betonu v případech, kdy $a > 300$ mm. Extrémní maximálního a minimálního vlivu velikosti průřezu na pokles únosnosti betonu sloupů částečně a plně bandážovaných uvádí obr. 6.



Obr. 6 – Vliv velikosti čtvercového průřezu na únosnost betonu bandážovaných sloupů vyjádřený relativním součinitelem Ψ_{ag} . $A_p/A = 0,0033$; $d_g = 16$ mm. Extrémní maximálních a minimálních vlivů. Následující údaje legendy značí: Typ predikce, a_p/a , kvalitu betonu. / Influence of square section size on concrete loading capacity of columns with continuous steel lining expressed by factor Ψ_{ag} . $A_p/A = 0,0033$; $d_g = 16$ mm. Extreme of maximum and minimum impacts. Addition to the legend: Following 3 data indicate: Type of prediction, a_p/a , quality of concrete.

Vliv maximálního rozměru kameniva na únosnost betonu bandážovaných sloupů je patrný z obr. 7. Protože vztahy (10 až 12) byly zkouškami potvrzeny pouze pro $d_g = 16$ mm, je vhodné pro návrhy plně bandážovaných sloupů ve smyslu předpisu [4], uvažovat pouze negativní efekt uvedeného vlivu v intervalu $0,008 \leq d_g \leq 0,016$ [m] relativním součinitelem maximálního rozměru kameniva Ψ_{d_g} stanoveným ze vztahu:

$$\Psi_{d_g} = 0,892 + 6,8 d_g; \quad d_g \text{ [m]}. \quad (\text{PM}) \quad (13)$$



Obr. 7 – Vliv maximálního rozměru kameniva d_g betonové směsi k únosnosti betonu bandážovaných sloupů vyjádřený relativním součinitelem Ψ_{ag} (10 – 12) / Influence of aggregate maximum size d_g of concrete mixture to concrete loading capacity of columns with steel lining expressed by factor Ψ_{ag} (10 – 12)

Bandážování zatížených sloupů

Jestliže bude sloup před bandážováním zatížen, může tato okolnost ovlivnit únosnost bandážovaného sloupu zejména v případech, kdy sloup byl do okamžiku aktivace bandáže namáhán tlakem na napětí $|\sigma_b| \geq 0,6 R_b$. Beton při uvedeném napětí je narušen mikroskopickými trhlinami. Z tohoto důvodu bylo u výpočtového modelu uvažováno s ochabnutím pevnosti betonu v tahu. Pomocí výpočtových modelů byly též stanoveny negativní vlivy smršťování a pozitivní vlivy dotvarování

betonu (v oboru platnosti lineární teorie dotvarování) na únosnost bandážovaných sloupů. Bylo zjištěno, že vliv uvedených účinků na únosnost sloupů je velmi malý.

Pro případy predikce porušení bandážovaných sloupů bez vlivů smršťování a dotvarování betonu byly zvoleny sloupy tvarem a vyztužením odpovídající sloupům experimentálně odzkoušeným, bandážované pásky 50×6 mm s osovou vzdáleností 150 mm a úhelníky neprůběžnými (bandáž částečná) a průběžnými (bandáž plná) rozměru 60×60×6 mm. Sloupy před aktivací bandáže byly zatíženy normálovou silou N_1 odpovídající poměrům $|\sigma_b/R_b| = 0; 0,5; 0,75; 1$. Relativní napjatost betonu σ_b/R_b sloupu před bandážováním lze přibližně vyjádřit poměrem normálových sil: $\sigma_b/R_b \approx N_1/N_{fo}$. Pro normálovou sílu N_{fo} na mezi porušení sloupu bezprostředně před bandážováním platí přibližný vztah:

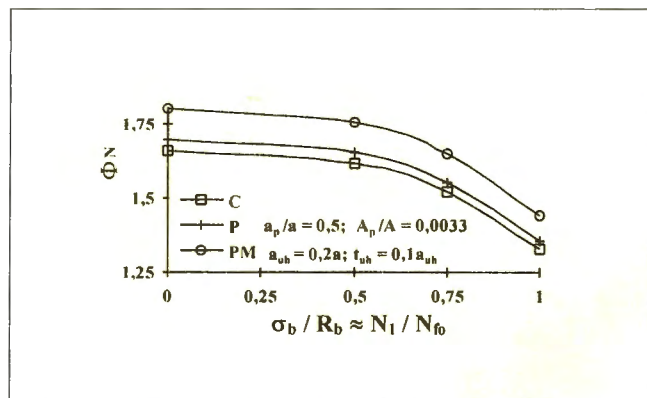
$$N_{fo} = 0,8 A_b R_b + A_{sc} R_{scy}$$

kde A_{sc} , R_{scy} je plocha, mez kluzu podélné výztuže.

Relativní součinitel vlivu zatížení působícího na sloup v době provádění bandáže (na únosnost betonu) Ψ_N byl určen vztahem (obr 8):

$$\Psi_N = 1 - 0,2 \left(\frac{N_1}{N_{fo}} \right)^3 \quad (\text{C, P, PM}) \quad (14)$$

Vztah (8) však nezohledňuje vliv ochabnutí pevnosti betonu R_b při trojosé napjatosti, který se začne projevovat při trvale působící normálové síle $N_{tr} \approx 0,8 N_{uf}$, kde N_{uf} je normálová síla na mezi porušení bandážovaných sloupů bez uvedeného vlivu.



Obr. 8 – Vliv hladiny napjatosti betonu σ_b/R_b bezprostředně před bandážováním, vyvolaný normálovou silou N_1 , na únosnost betonu částečně a plně bandážovaných sloupů vyjádřený součinitelem vlivu zatížení působícího na sloup v době provádění bandáže $\Phi_N = \Phi_{ap} \Psi_{Ap} \Psi_{uh} \Psi_B \Psi_{ab} \Psi_{ag} \Psi_N$. / Influence of state of stress level of concrete σ_b/R_b immediately prior to steel lining, produced by normal force N_1 , on loading capacity of concrete of columns with partial and continuous steel lining expressed by loading factor effecting column at steel lining $\Phi_N = \Phi_{ap} \Psi_{Ap} \Psi_{uh} \Psi_B \Psi_{ab} \Psi_{ag} \Psi_N$.

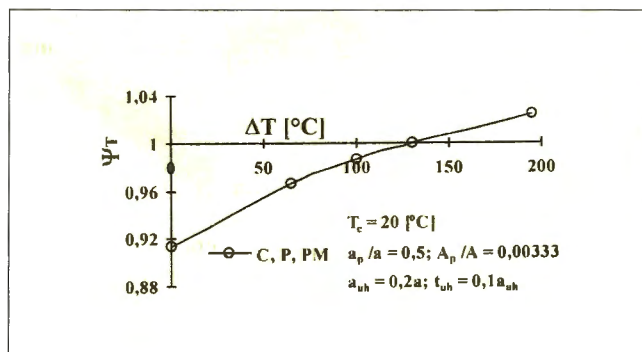
Předehtání pásků

Pro ohřátí pásků na teploty $0 \leq T \leq 215$ [°C] byla zjištěna závislost na únosnosti betonu bandážovaných sloupů vyjádřená součinitelem teploty ohřevu pásků Ψ_T :

$$\Psi_T = 0,913 + \frac{\Delta T}{4\Delta T + 970}, \quad (\text{C, P, MP}) \quad (15)$$

kde $\Delta T = T - T_c$

T [°C] je teplota pásků a T_c teplota prostředí.



Obr. 9 – Vztah teploty ohřevu ocelových pásků ΔT [°C] k únosnosti betonu částečně a plně bandážovaných sloupů vyjádřený součinitelem teploty ohřevu pásků Ψ_T . / Relation of temperature of steel strips heating ΔT [°C] to loading capacity of concrete of columns with partial and continuous steel lining expressed by temperature factor of steel strip heating Ψ_T .

Z obr. 9 je patrné, že růst teploty ohřevu pásků zvětšuje únosnost betonu sloupů. Napětí pásků v okamžiku porušení bandážovaných sloupů se zvyšuje s kvalitou betonu, s poměrem R_{bt}/R_b , s větším průřezem úhelníků a s teplotou ohřevu pásků. Pro případy experimentálně zkušenných a modelovaných sloupů byly zjištěny hodnoty napětí pásků v rozmezí $\sigma = 109 + 274$ MPa, tedy hodnoty vždy menší než mez kluzu (288 MPa). Dosažení meze kluzu pásků je vhodné v praxi vyloučit.

Při aktivaci bandáží dochází k výrazným změnám ve stavu napjatosti betonu. V této fázi je vznik jakýchkoliv mikroskopických poruch betonu způsobených nepřiměřeně vysokou teplotou ohřevu pásků nežádoucí. Aby k tomuto jevu nedocházelo, je nutno předehtávat pásy na teplotu $T \approx 150$ °C (120 °C) v případech, kdy průměrná pevnost v tlaku betonu sloupů splňuje (nesplňuje) podmínku: $R_b < 19$ MPa.

Podélná výztuž

Byl zjišťován možný vliv uspořádání, stupně vyztužení a meze kluzu podélné výztuže na účinnost bandáží za předpokladu, že průřezová plocha a vzdálenosti tímníků jsou neměnné a stejně jako u experimentálně odzkoušených sloupů. Bylo zjištěno, že vliv uvedených činitelů je velmi malý.

Reálná únosnost bandážovaných sloupů

Dále bude stanovena normálová síla na mezi porušení bandážovaných sloupů N_{ur} . Experimentální zkoušky bandážovaných sloupů nebo simulace zkoušek modelováním vycházely z následujících předpokladů:

- maximální rozměr kameniva betonu d_g splňuje podmínku: $8 \leq d_g \leq 32$ [mm],
- sloup je zatěžován dostředným tlakem,
- betonový průřez má tvar obdélníku nebo čtverce se stranami a , b , kde delší strana b průřezu má délku nejvýše 1,2 m a pro poměr stran platí: $a/b \geq 0,5$,
- osová vzdálenost pásků bandáže a_p vyhovuje podmínce: $0,333 \leq (a_p/a) \leq 1,333$; kde $a = 0,5(a+b)$,
- průřezová plocha pásků bandáže A_p odpovídá intervalu: $0,0022 \leq (A_p/ab) \leq 0,0061$,
- pevnosti betonu v tlaku R_b a tahu R_{bt} splňují podmínky: $8 \leq R_b \leq 25$ [MPa] a $0,08 \leq (R_{bt}/R_b) \leq 0,14$,
- pro bandáž částečnou délka strany rovnostranného úhelníka bandáže a_{uh} , jeho tloušťka t_{uh} a délka l_{uh} splňují podmínky: $a_{uh} = 0,2 a$, $t_{uh} = 0,1 a_{uh}$, $l_{uh} \approx 0,3 a$ [m],

- pro plnou bandáž délka strany rovnostranného úhelníka bandáže a_{uh} , jeho tloušťka t_{uh} , délka l_{uh} vyhovují podmínkám:
 $0,133\alpha \leq a_{uh} \leq 0,233\alpha$ a $0,100 a_{uh} \leq t_{uh} \leq 0,125 a_{uh}$,
- pásy jsou před přivařením k úhelníkům nahřáty na teplotu $T \approx 150$ (120) °C jestliže průměrná pevnost v tlaku betonu sloupů splňuje (nesplňuje) podmínku:
 $R_b < 19$ MPa.
- mez kluzu oceli bandáže je rovna nejméně 288 MPa,
- pevnosti všech materiálů se uvažují průměrnými hodnotami stanovenými zkouškami.

Součinitel únosnosti betonu bandážovaných sloupů Φ_b je vyjádřen vztahem: $\Phi_b = \Phi_{ap} \Psi_{Ap} \Psi_{uh} \Psi_B \Psi_{ab} \Psi_{ag} \Psi_N$, kde pro následující výčet součinitelů platí vztahy uvedené v závorkách: Φ_{ap} (1, 2), Ψ_{Ap} (4), Ψ_{uh} (5) pro plnou bandáž a $\Psi_{uh} = 1$ pro částečnou bandáž, Ψ_B (6,7), Ψ_{ab} (9), Ψ_{ag} (10, 11), Ψ_N (14). V uvedených vztazích je nutno délku strany a průřezu sloupu, pokud vztahy tento parametr zahrnují, nahradit průměrnou délkou α . Pro bandáž částečnou je nutno použít vztahy uváděné jako první a pro vznik poruch v oblasti zhlaví, paty a též ve střední oblasti sloupů plně bandážovaných vztahy uváděné jako druhé. Aktivaci průběžných úhelníků plně bandáže vznikající vlivem osových poměrných přetvoření betonu $\Delta\epsilon_{bz}$ při působení normálové síly N_f , lze vyjádřit únosností úhelníků plně bandáže N_{uh} :

$$N_{uh} = -4\sigma_{uh}A_{uh},$$

kde osové napětí úhelníků σ_{uh} {-} se odečte z pracovního diagramu úhelníků. Poměrné přetvoření ϵ_{uh} úhelníků:

$$\epsilon_{uh} = p \Delta\epsilon_{bz} \quad (16)$$

kde p je součinitel prokluzu úhelníků uvažovaný hodnotou pro vznik poruch betonu:

- ve zhlaví, v patě sloupů ... $p = 0,15 + 0,40$,
- ve střední oblasti sloupů ... $p = 0,5$,

$\Delta\epsilon_{bz}$ relativní zaručené svislé poměrné přetvoření betonu uvažované hodnotou pro sloupy, které v čase bandážování:

- nejsou zatíženy ... $\Delta\epsilon_{bz} = 0,00628\Phi_b - 0,00582$ v intervalu: $1 < \Phi_b \leq 1,790$,
- jsou zatíženy ... $\Delta\epsilon_{bz} = 0$ v intervalu: $1 < \Phi_b \leq 1,428$,
- $\Delta\epsilon_{bz} = 0,0138\Phi_b - 0,0197$ v intervalu: $1,428 < \Phi_b \leq 1,665$.

Pro částečnou bandáž se uvažuje, $N_{uh} = 0$.

Pro predikci reálné normálové síly N_{uf} {+} na mezi vzniku poruch bandážovaných sloupů platí vztah:

$$N_{uf} = N_b + N_{uh} + N_{sc}, \text{ kde } N_b = \Phi_b 0,8 A_b R_b, N_b \text{ je únosnost betonu,}$$

$$N_{sc} \text{ únosnost podélné betonářské výztuže ... } N_{sc} = A_{sc} R_{sc}.$$

Ověření vztahů pro reálnou únosnost bandážovaných sloupů

Způsobem uvedeným v předchozím odstavci byly pro bandáže uváděné v tab. 1 uvedené v [2] provedeny výpočty normálové síly N_{uf} na mezi vzniku poruch betonu bandážovaných sloupů. Součinitel prokluzu úhelníků p ve vztahu (16) byl pro případy poruch betonu ve zhlaví, popř. v patě sloupů zaveden průměrnou hodnotou $p = 0,275$. Hodnoty N_{uf} jsou uvedeny v tab. 2.

Tab. 2 – Výsledky zkoušek (N_f) a predikce (N_{uf}) normálové síly na mezi porušení betonu bandážovaných sloupů. Zkoušky částečně (C1 + C6) a plně (P1 + P4) bandážovaných sloupů provedené ve zkušebně VUT FAST. Zkoušky bandážovaných sloupů provedené v r. 1986-8 Doc. Vladimírem Melounem (PV1 + PV4). C1 + P4 viz tab. 1 [2] / Results of tests (N_f) and prediction (N_{uf}) of normal force forming visible concrete failure of columns with steel lining. Tests on partial (C1 + C6) and continuous (P1 + P4) steel lining were carried out at The Research and Test Center FAST VUT Brno. Tests on columns with steel lining were carried out by Doc. Vladimír Meloun (PV1 + PV4). C1 + P4 see chart 1 in [2]

bandáž	N_f [kN] ¹⁾	N_{uf} [kN] ¹⁾
C1	2050	1926
C2	2400	2393
C3	1850	1766
C4	1750	1705
C5	2100	1984
C6	2050	2049
P1	(2100) {2500}	(2333) {2491}
P2	(2300) {2550}	(2267) {2400}
P3	(2550) {2750}	(2401) {2566}
P4	(2650) {3050}	(2874) {3104}
PV1	(2870)	(2767)
PV2	(2575)	(2643)
PV3	(2533)	(2452)
PV4	2917	2909

¹⁾ Při vzniku poruch betonu v oblasti po výšce sloupů:
– kdekoliv, hodnoty N_f , N_{uf} , – zhlaví, paty ... { N_f , N_{uf} }, – střední ... { N_f , N_{uf} }.

V letech 1986–88 Doc. Vladimír Meloun provedl zkoušky železobetonových sloupů rozměrů 300×300×1000 mm bandážovaných úhelníky 60×60×6 mm s pásy 60×6 mm osově vzdálenými 195 mm, a to v následujících variantách:

- bez aktivace pásků ohřevem, úhelníky průběžné (PV1 tab. 2),
- aktivace pásků ohřevem na teplotu 200 °C, úhelníky bandáže průběžné (PV2),
- aktivace pásků ohřevem na teplotu 200 °C, úhelníky bandáže neprůběžné s mezerami 5 mm vždy v oblasti uprostřed mezi pásky (PV3),
- aktivace pásků ohřevem na teplotu 200 °C, úhelníky průběžné a přivařené ve zhlaví a patě sloupů k ocelovým botkám. (PV4).

Každá z uvedených variant bandáží byla provedena na třech sloupech. Pevnosti betonu v tlaku 15 sloupů nabývaly hodnot 12,7 + 17,0 MPa. Uvedenými vztahy (pro plnou bandáž) byla opět stanovena normálová síla N_{uf} . Součinitel prokluzu úhelníků p byl pro případy bandáží PV1, PV2 zaveden průměrnou hodnotou $p = 0,275$, pro případ PV3 hodnotou $p = 0,150$ a pro sloupy PV4 hodnotou $p = 1$. Hodnoty průměrných normálových sil N_f z trojic odzkoušených bandážovaných sloupů opět uvádí tab. 2.

Doporučení pro navrhování bandážovaných sloupů budou uvedena v příštím vydání tohoto časopisu.

Literatura:

- [1] Čírtek L.: Zkoušky železobetonových sloupů s ocelovou bandáží. *Beton a zdivo*, 1994/4, s. 25 + 29.
- [2] Čírtek L.: Výpočetní model železobetonových sloupů zesílených ocelovou bandáží. *Beton a zdivo*, 1998/1, s. 19–22
- [3] ANSYS User's Manual for Revision 5.0, Vol. 1 + 5, Swanson Analysis Systems, Inc., Houston.
- [4] ČSN 73 1201 Navrhování betonových konstrukcí

Ing. Ladislav Čírtek CSc., Ústav betonových a zděných konstrukcí, Údolní 53, 662 42 Brno