

Soudržnost předpínací výztuže s betonem

Bond between Prestensioned Steel and Concrete

Bohumír Voves

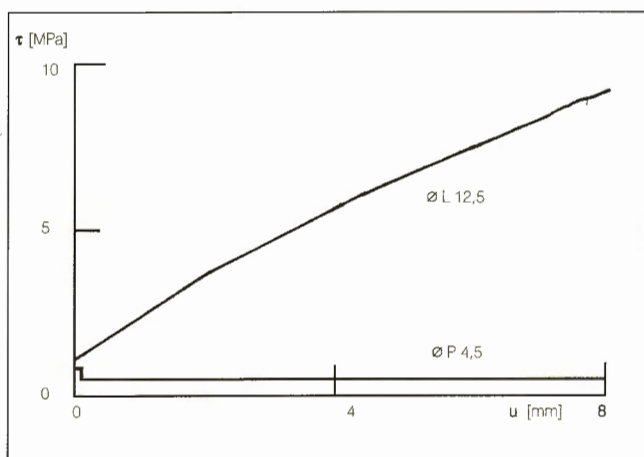
V konstrukcích z předem předpjatého betonu se předpínací síla přenáší z předpínací výztuže do betonu soudržností. Soudržnost mezi předpínací výztuží a betonem je důležitá pro provozní stav i pro mez únosnosti konstrukčního prvku.

In pretensioned prestressed concrete structures, the prestressing force is transmitted from a pretensioned steel element to the surrounding concrete by bond. The bond between pretensioned steel and concrete is important for serviceability and also for the ultimate limit state of the structural element.

Základní podmínkou pro řádnou nosnou funkci konstrukce z předem předpjatého betonu je zajištění soudržnosti předpínací výztuže s betonem (dále pouze soudržnosti). Ta je nutná pro kotvení předpínací výztuže (dále pouze výztuže) v betonu i pro spolupůsobení těchto materiálů při přenosu zatížení působícího na konstrukci. Považují proto za účelné vzhledem k probíhajícímu rozvoji spřažených konstrukcí z předem předpjatého betonu o soudržnosti předpínací výztuže s betonem znovu pojednat.

Podstata soudržnosti

Soudržnost je založena na činitelích, které brání posouvání výztuže v betonu. Na jejich význam je možné usuzovat ze zkoušky vytahování nenapjaté vložky výztuže z betonu (obr. 1).



Obr. 1 – Závislost napětí v soudržnosti τ a posunutí u při vytahování nenapjaté vložky z betonu / Relationship between bond stress τ and draw-in u by pull-out test

Soudržnost hladké vložky je před prvním posunutím dána přílnavostí betonu k oceli a třením, které způsobuje tlak smršťujícího se betonu. Po té působí pouze tření a k dalšímu posouvání je zapotřebí menší napětí. Proto se v předem předpjatém betonu hladká výztuž neuplatnila a užívá se výztuž s upraveným povrchem, např. lana. Za rozhodujícího činitele se u takové výztuže považuje mechanické zavázání s betonem, které je zajištěno tím, že se výztuž opírá nerovnostmi povrchu o beton a že beton vzdoruje usmyknutí v obalové ploše výztu-

že. Po prvním posunutí se odpor této výztuže proti dalšímu zatahování zvětšuje, protože se do nerovností povrchu zaklíňují usmyknuté částice betonu. Odpor roste téměř po přímce s rostoucím zatažením.

Kotvení výztuže soudržností

Kotvení výztuže soudržností zajišťuje přenesení předpínací síly z výztuže, napnuté na napětí σ a charakterizované plochou průřezu A , obvodem o a modulem pružnosti E , do betonu. To se děje plynule v úseku kotevní délky l , kde pro vzdálenost od čela konstrukce $x \leq l$ dochází k napětím v soudržnosti τ_x , výztuž se posouvá o u_x a napětí výztuže je $\sigma_x \leq \sigma$. Posuv výztuže v čele konstrukce se označuje jako pokluz u . Výpočet příslušných veličin je založen na vztazích vyplývajících ze změny napětí a posunutí výztuže

$$\frac{d^2 u_x}{dx^2} = \frac{1}{E} \frac{d\sigma_x}{dx} \quad (1)$$

z přenosu předpínací síly do betonu

$$\frac{d\sigma_x}{dx} = \frac{o}{A} \tau_x \quad (2)$$

a ze závislosti napětí v soudržnosti na posunutí

$$\tau_x = \frac{f}{o} u_x + \tau \quad (3)$$

kde f je součinitel odporu proti posouvání. Po dosazení (2) a (3) do (1) se získá rovnice

$$\frac{d^2 u_x}{dx^2} - \frac{f}{EA} u_x = \frac{o}{EA} \tau \quad (4)$$

jejímž řešením se získá (obr. 2)

$$u_x = \frac{o\tau}{f} \left(\cosh \frac{l-x}{\lambda} - 1 \right) \quad (5)$$

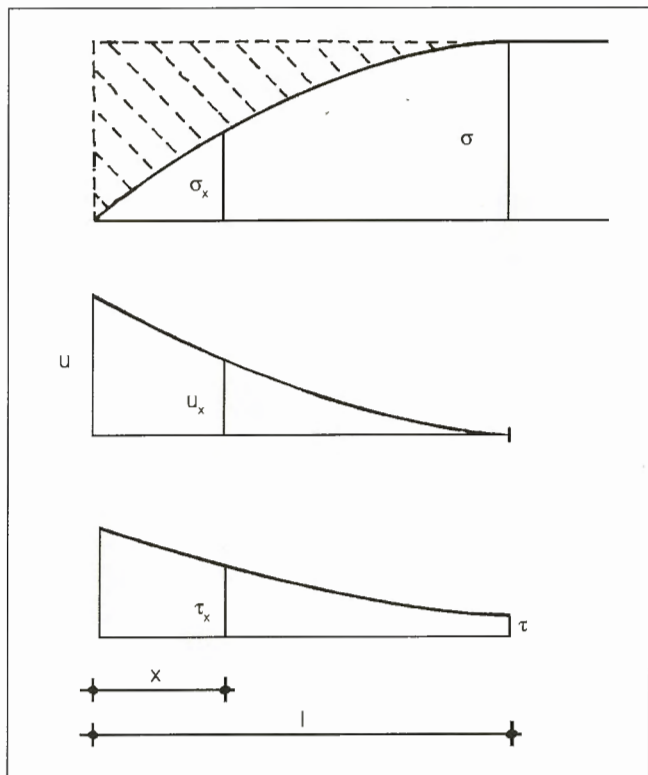
$$\sigma_x = \sigma - \frac{o\tau\lambda}{A} \sinh \frac{l-x}{\lambda} \quad (6)$$

$$\tau_x = \tau \cosh \frac{l-x}{\lambda} \quad (7)$$

$$l = \lambda \operatorname{argsinh} \frac{\sigma A}{o\tau\lambda} \quad (8)$$

$$u = \frac{o\tau}{f} \left(\cosh \frac{l}{\lambda} - 1 \right) \quad (9)$$

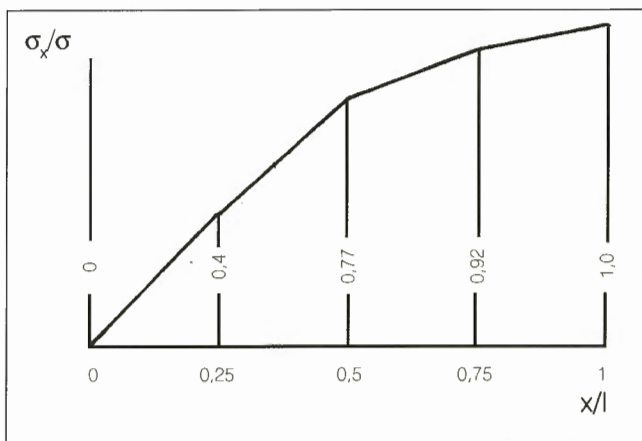
kde je $\lambda = \sqrt{\frac{EA}{f}}$ (10)



Obr. 2 – Průběh σ_x , u_x , τ_x v úseku kotevní délky l / Values of σ_x , u_x , τ_x in transmission length section l

Při známém průběhu σ_x v úseku kotevní délky je možné určit vztah mezi pokluzem u a kotevní délkou l , protože pokluz odpovídá šrafované ploše na obr. 2.

Aby se usnadnilo navrhování konstrukcí, uvádí ČSN 73 6207 kotevní délky používaných výztuží napínaných na dovolené namáhání (např. u lana \varnothing L 12,5 pro beton B 400 je $l = 1,00$ m) a změnu velikosti σ_x (a tedy i předpínací síly N_x) v úseku kotevní délky podle lomené čáry (obr. 3).



Obr. 3 – Průběh σ_x v úseku kotevní délky l podle ČSN 73 6207 / Values of σ_x in transmission length section l according to ČSN 73 6207

Podle obr. 3 platí mezi pokluzem u a kotevní délkou l vztah

$$u = 0,35 \frac{\sigma l}{E} \quad (11)$$

Kotvení výztuže soudržností se posuzuje ve smyslu ČSN 73 1333 podle výsledku zkoušky při zavádění předpětí do trámů. Při zkoušce se zjišťuje kotevní délka, pokluz a změna velikosti předpínací síly v úseku kotevní délky. Pro informativní posuzování vlivu různých činitelů na soudržnost (např. úpravy povrchu výztuže a složení betonu) je určena zkouška vytahování nenapjaté výztuže z betonové krychle. Při ní se zjišťuje závislost posunutí a napětí v soudržnosti.

Při výrobě předem předpjatého betonu je nutné zajistit dostatečnou soudržnost. To se dosáhne tím, že se k zavedení předpětí přistoupí, pokud beton nabyl alespoň pevnosti požadované ČSN 73 6207 nebo ČSN 73 1201 a pokud pokluz nepřesahuje 3 mm. Nutným předpokladem spolehlivé soudržnosti je řádné ztuhnutí betonu (a to i při horním povrchu vyráběného dílce), čistota výztuže a dostatečné krytí výztuže betonem.

Soudržnost při zatížení

Mimo úsek kotevní délky konstrukce, zatížené provozním nebo mezním zatížením, soudržnost zajišťuje spolupůsobení výztuže a betonu. Pokud v betonu nevznikly trhliny, bývají napětí v soudržnosti malá. Vzniknou-li v betonu trhliny, napětí v soudržnosti se v okolí trhliny zvětšuje. Je to dáno tím, že výztuž přebírá tah, který před vznikem trhliny přenášela tažená část betonu, a že se tento přírůstek síly ve výztuži přenáší soudržností do betonu. Napětí výztuže σ_q na úrovni trhliny v betonu se dá určit běžným způsobem za předpokladu vyloučeného tahu v betonu. Přírůstek síly $A(\sigma_q - \sigma)$ ve výztuži procházející trhlinou se přenáší plynule soudržností do betonu v délce p (obr. 4), kde pro $z \leq p$ dochází k napětím v soudržnosti τ_z , výztuž se posouvá o u_z a přírůstek napětí výztuže je σ_z . Výpočet těchto veličin se děje podle vztahů obdobných vztahům (5) až (8). Je tedy

$$u_z = \frac{\sigma \tau}{f} \left(\cosh \frac{p-z}{\lambda} - 1 \right) \quad (12)$$

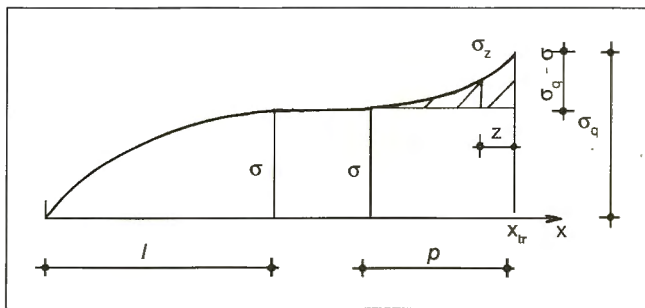
$$\sigma_z = \frac{\sigma \tau \lambda}{A} \sinh \frac{p-z}{\lambda} \quad (13)$$

$$\tau_z = \tau \cosh \frac{p-z}{\lambda} \quad (14)$$

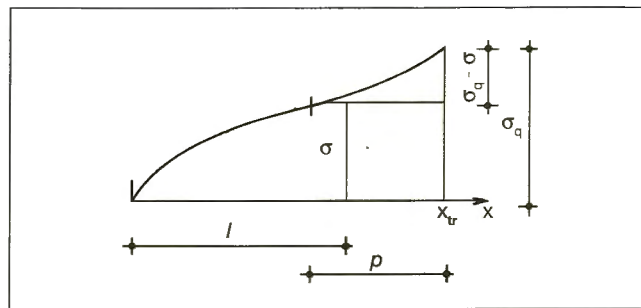
$$p = \lambda \operatorname{argsinh} \frac{(\sigma_q - \sigma) A}{\sigma \tau \lambda} \quad (15)$$

Přírůstek napětí σ_z je největší v trhlíně a zmenšuje se se vzdáleností od trhliny (obr. 4).

Pokud trhlina vznikne ve vzdálenosti od čela konstrukce $x_{tr} > l+p$, není vznikem trhliny ovlivněno kotvení soudržností. Pokud je ale $x_{tr} < l+p$, zvětšuje se napětí výztuže v úseku kotevní délky o σ_z a napětí v soudržnosti o τ_z . Kotvení soudržností není narušeno, jestliže je při vzniku trhliny napětí výztuže pro ztráty předpětí menší a soudržnost pro růst pevnosti betonu dostatečně větší než při zavedení předpětí. Není-li tomu tak, posouvá se výztuž v betonu, trhlina se rozšiřuje a únosnosti konstrukce se dosahuje náhle selháním kotvení soudržností.



Obr. 4 – Průběh σ_z vznikne-li trhлина ve vzdálenosti $x_{tr} > l+p$ / Value of σ_z when fissure arises in distance $x_{tr} > l+p$



Obr. 5 – Průběh σ_z vznikne-li trhлина ve vzdálenosti $x_{tr} < l+p$ / Values of σ_z when fissure arises in distance $x_{tr} < l+p$

Při tom je únosnost menší, než se předpokládá ve výpočtu. K selhání soudržnosti dochází někdy při zatěžovacích zkouškách kratších prvků.

Vliv trhlin na soudržnost se nemusí ve výpočtu obvykle sledovat, vyhoví-li se ustanovení ČSN 73 6207. Ta požadují, aby se v průřezích vzdálených $x < 1,30 l$ prokázal stupeň bezpečnosti proti vzniku trhlin větší než stupeň bezpečnosti proti dosažení meze únosnosti celé konstrukce a aby délka konstrukce byla větší než čtyřnásobek kotevní délky.

Vliv provozního i mezního zatížení na soudržnost se může posuzovat podle výsledků zatěžovacích zkoušek.

Závěr

Soudržnost předpínací výztuže s betonem má rozhodující význam pro kotvení výztuže a pro nosnou funkci konstrukcí z předem přepjatého betonu. Proto se má zajišťovat se zvláštní péčí.

V příspěvku jsou prezentovány výsledky dosažené při řešení grantu GAČR 103/95/1644.

Prof. Ing. Bohumír Voves, DrSc., Pod Fialkou 7, 150 00 Praha 5

Píší o betonu a zdivu

Odstraňování poruch obvodových plášťů panelových budov se můžeme dočíst v časopise MATERIÁLY A TECHNOLOGIE č. 1/98, str. 16, kde jsou doporučovány materiály německého výrobce STO AG pro dodatečné dokotvování vnějších moniérků obvodových sendvičových panelů a atikových dílců. Jedná se o antikorozní ochranu výztuže a o adhezni hmoty pro reprofilované části betonu.

V témže časopise je uveřejněn příspěvek Ztužování konstrukcí předpínáním, v němž autoři Zdeněk Bažant a Ladislav Klusáček popisují dodatečné ztužování ve vodorovných rovinách u starších objektů. Navazují tak na své vystoupení na Betonářských dnech 1997 v Pardubicích. Ústředním tématem časopisu STAVBA 1/98 je nový zavěšený most v Ústí nad Labem. Článek Ing. Milana Komínka se zabývá technickým řešením mostu a postupem výstavby a montáže. Je doplněn efektními fotografiemi tohoto zajímavého inženýrského díla na Labi.

Věra Prokopová

Nelineární chování taženého zdiva

Jestliže někdo hovoří o zdivu namáhaném tahem, může to vzbudit úsměv nebo dokonce pochybnosti o zdravém rozumu mluvčího. Je proto skoro překvapující, jestliže se náhle dočteme o zkouškách, kterými se měly vyšetřit vlastnosti taženého zdiva. Takové experimenty uskutečnil v průběhu uplynulých šesti roků na Fakultě architektury v Eindhovenu pan Rob van der Pluijm. Jejich cílem bylo nalézt parametry pracovního diagramu zdiva nalézajícího se v tažené oblasti nosné konstrukce, a to pro účely modelování zdiva pomocí výpočetní techniky.

Zkoušky, provedené při monotónním vzrůstu přetvoření, ukázaly, že tažené zdivo má chování velice podobné chování taženého betonu. Jistý rozdíl se ukázal mezi chováním zdících prvků a chováním malty ložných a svislých spár. Zkoušelo se zdivo z keramických i vápenopískových cihel, bloků a betonových tvárníc s různými druhy malty. Výsledkem zkoušek jsou informace o pracovním diagramu zdiva a o lomové energii, které jsou důležité pro modelování zděných konstrukcí metodou konečných prvků. (Heron 1997/1).

Dr. Nicholas Bricklayer