



## SOUDRŽNOST UHPC A PŘEDPÍNAČÍ VÝZTUŽE

Zpracovali: prof. Ing. Jan L. Vitek, CSc., FEng., Ing. David Čítek (Metrostav a.s. a Fakulta stavební ČVUT v Praze)

### Souhrn

Vývoj UHPC (ultra high performance concrete = beton velmi vysokých pevností) v týmu Metrostav a.s. a TBG Metrostav, s.r.o. byl zahájen před několika lety. Problém je však velmi široký a řadu vlastností je třeba ověřit a mnoho zkušebních postupů je třeba vyvinout. Proto byla problematika betonů s vysokou pevností a trvanlivostí zahrnuta i do programu výzkumného centra CESTI. Jedním z důležitých faktorů ovlivňujících působení a navrhování betonových konstrukcí je soudržnost vysokopevnostního betonu a předpínací výztuže. Jedním z výzkumných programů bylo i provedení experimentů pro ověření soudržnosti předpínacích lan s betony s velmi vysokou pevností a porovnání se soudržností s betony běžné pevnosti.

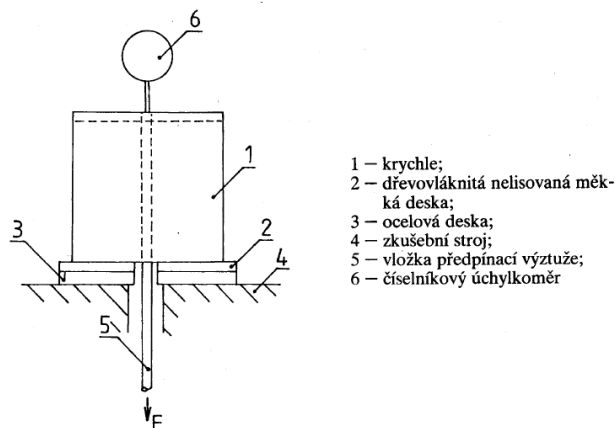
### Oblast použití

Soudržnost předpínací výztuže je parametr, který významně ovlivňuje funkci konstrukce. Jde zejména o tyto faktory: 1. Kotevní délka. Kotevní délky jsou rozhodující pro konstrukční úpravy a tedy pro návrh konstrukce. S vyšší pevností betonu se zkracuje kotevní délka, a tedy se redukuje prostorové nároky na řadu konstrukčních detailů. Kotevní délka musí být stanovena bezpečně a zároveň ekonomicky. 2. Soudržnost ovlivňuje rozdělení napětí v oblastech trhlin. Vlivem soudržnosti se mění šířka a vzdálenost trhlin v betonových průřezech. Trhliny je třeba udržovat v stanovených limitech a bez znalosti soudržnosti betonu a výztuže nelze šířku trhlin stanovit. Z toho plyne, že soudržnost je významná a je nutné ji kvantifikovat. Provedený experimentální výzkum poskytuje první podklady v této oblasti u nás.

### Metodika a postup řešení

Cílem experimentálního výzkumu je stanovení soudržnosti předpínací výztuže a betonu velmi vysoké pevnosti. Konkrétně na takový výzkum neexistují normalizované metody. Vycházelo se proto z postupů, které jsou obvyklé pro betony běžných pevností. Metod je několik, výzkumný tým zvolil postup dle ČSN 73 1333 [1]. Jde o zkoušku tzv. pull-out testem. Ocelové předpínací lano se zabetonuje do betonové krychle. Po zatvrdnutí betonu se lano vytahuje

z krychle a přitom se měří a zaznamenává tažná síla a posun opačného konce lana proti betonové krychli.



- 1 – krychle;
- 2 – dřevolátknitá nelisovaná měkká deska;
- 3 – ocelová deska;
- 4 – zkušební stroj;
- 5 – vložka předpínací výztuže;
- 6 – číselníkový úchylkoměr

Obr. 1 Schéma zkoušky při pull-out testu

Celkem bylo vyrobeno 6 vzorků, kde se předpínací lano zabetonovalo do krychle z UHPC a dále 6 krychlí, kde lano bylo zabetonováno do krychlí z betonu běžné pevnosti třídy C45/55. Soudržnost byla zjišťována ve stáří betonu 28 dní. Byla použita lana profilu 15.7 mm s průřezovou plochou 150 mm<sup>2</sup> a pevností 1860 MPa. Součástí experimentu bylo též ověření pevností a modulů pružnosti u všech použitých materiálů (UHPC, C45/55 a předpínací lana).

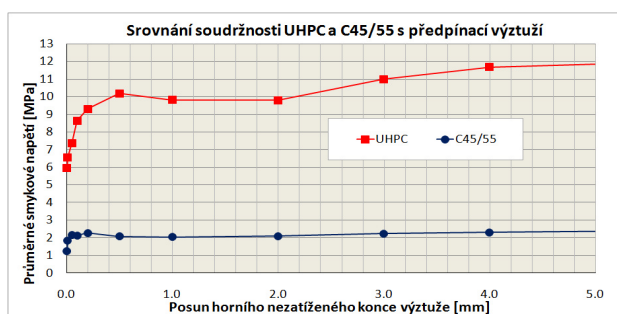


Obr. 2 Vybetonované vzorky z UHPC

Postup zkoušky spočívá v postupném zatěžování ocelového lana tahovou silou až do vytažení z betonové krychle. Zkouška se řídí posunem, rychlost zatěžování je nejprve 0.02 mm/s a po dosažení pokluzu 5 mm je zvýšena na 0.05 mm/s.

## Výsledky

Výsledky zkoušek byly zaznamenány do grafů ukazující jednak závislost tahové síly a posunu a pak tzv. průměrného napětí v soudržnosti a posunu. Průměrné napětí v soudržnosti je standardizovaný parametr určený jako podíl tahové síly a kontaktní plochy předpínací výztuže a betonu. U předpínacích lan se obvod předpokládá jako obvod kruhu bez zahrnutí skutečnosti, že lano je svinuté z jednotlivých drátů. Zjištěné průměrné napětí se považuje za napětí v soudržnosti.



Obr. 3 Výsledný diagram závislosti průměrného napětí v soudržnosti a posunu lana

Charakter porušení soudržnosti je zřejmý z diagramu. Nejprve se přenáší síla bez posunu lana. Pak dojde k posunu, který narůstá a přitom se tahová síla zvyšuje již minimálně. Při zkoušce se projevuje též vliv stočení lana, ten však byl pro lepší ilustraci výsledků eliminován. Křivky znamenají průměr z provedených zkoušek (vždy 6 vzorků). Z diagramu je dále jednoznačně vidět vysoký vliv pevnosti betonu na soudržnost. Pro kotvení výztuže je rozhodující okamžik, kdy k posunu začne docházet (posun 0.002 mm). V případě betonu C45/55 je průměrné napětí v tomto okamžiku na hodnotě 1.26 MPa. V případě vzorku z UHPC je v okamžiku porušení soudržnosti průměrné napětí 5.95 MPa. Soudržnost lana v UHPC je tedy 4.72 x větší než v betonu C45/55. To je velmi významné zjištění, protože lze tak výrazně snížit kotevní délky u předpínacích lan v konstrukcích vyrobených z UHPC. Takový výsledek je platný pro UHPC daných parametrů. Pro jiné betony UHPC může být výsledek jiný, avšak podobný. Na základě dalších zkoušek bude možné odvodit vztahy pro návrhové kotevní délky předpínací výztuže.



Obr. 4 Vzorek z betonu C45/55 po zkoušce



Obr. 5 Vzorek z UHPC po zkoušce

Na obr. 4 a 5 jsou uvedeny fotografie vzorků po zkoušce. Je vidět rozdílný způsob porušení betonu. Zatímco u UHPC dochází k relativně čistému porušení soudržnosti a vytahování lana, u betonu C45/55 dochází k porušení betonu trhlinami vlivem příčných tahových napětí.

## Literatura

- [1] ČSN 73 1333 Zkoušení soudržnosti předpínací výztuže s betonem, ČNI Praha 1989
- [2] Čítek, D., Vítek, J.L.: Soudržnost výztuže a UHPC. Sborník konference Betonářské dny 2013, ČBS 2013