

KOTVENÍ PŘEDPJATÉ FRP VÝZTUŽE PRO BETONOVÉ KONSTRUKCE

František Girgle⁵⁰, David Horák⁵¹, Petr Štěpánek⁵²,

Ivana Laníková⁵³, Petr Šimůnek⁵⁴

ABSTRAKT:

Předpětí FRP výztuže v betonových konstrukcích eliminuje její negativní vlastnost, kterou je nízký modul pružnosti. Článek popisuje vyvinutý způsob kotvení, který používá FRP materiály i pro kotevní oblast. Základní princip návrhu je popsán v textu. Výsledky analytického návrhu jsou porovnány s experimenty, které byly provedeny v rámci řešení výzkumného projektu AdMaS.

ABSTRACT:

Non-metallic reinforcement has many advantages, but there are some areas of application that need to be resolved to improve the usage of FRP reinforcement in real conditions. One of the disadvantages of FRP reinforcement is its lower modulus of elasticity, which leads to greater deflections of structures and can also cause early propagation of cracks. The paper deals with the possibility of eliminating this problem by prestressing the reinforcement. It covers several problems related to anchoring and current anchoring methods used worldwide. The paper also mentions some drawbacks of these methods. In an effort to bypass these drawbacks a new anchoring method has been developed. It differs in the way longitudinal forces are transferred from the bar to the surrounding concrete. Basically, it is based on the addition of an additional anchoring member (cylinder) on the surface. This member is made of polymers so the whole system remains completely steel-free and very simple to produce. Before using the system in real structures a series of tests were performed and the results are presented. Also, some prestressed test panels were prepared and compared with standard panels.

KLÍČOVÁ SLOVA

Předpínání, FRP výztuž, kotvení, návrh kotvení

KEYWORDS:

Prestresing, FRP reinforcement, anchoring, design of anchoring

1 Úvod

V letech 2008 a 2009 byl v rámci výzkumu a vývoje na Fakultě stavební Vysokého učení technického v Brně vyvinut systém kotvení předpínané FRP výztuže (mimo jiné publikováno i v tomto časopise [7]). Vývoj systému dále pokračuje jak v rovině praktického používání

⁵⁰ František Girgle, Ing. PhD. – FAST VUT v Brně, Veveří 95, tel.:+420541147859, email: girgle.f@fce.vutbr.cz

⁵¹ David Horák, Ing. – FAST VUT v Brně, Veveří 95, Brno, tel.:+420541147847, e-mail: horak.d@fce.vutbr.cz

⁵² Petr Štěpánek, Prof. RNDr. Ing. CSc. – FAST VUT v Brně, Veveří 95, Brno a BESTEX, spol. s r.o., Bezručova 17a, Brno, tel.:+420541147848, e-mail: stepanek.p@fce.vutbr.cz, petr.stepanek@bestex.cz

⁵³ Ivana Laníková, Ing. Ph.D. – FAST VUT v Brně, Veveří 95, Brno, tel.:+420541147847, e-mail: lanikova.i@fce.vutbr.cz

⁵⁴ Petr Šimůnek, Ing. Ph.D. – FAST VUT v Brně, Veveří 95, Brno, tel.:+420541147859, email: simunek.p@fce.vutbr.cz

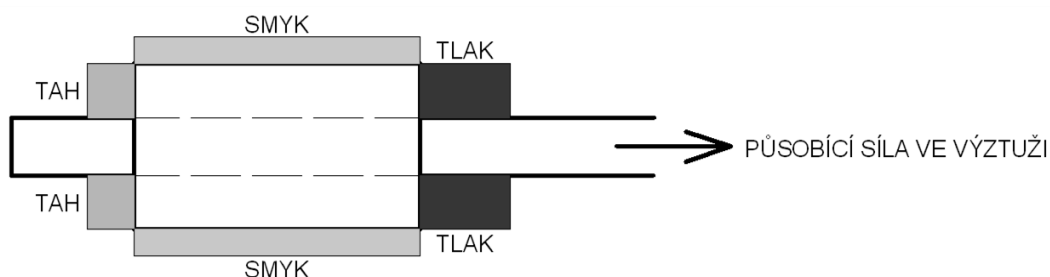
(přípravky pro výrobu kotevních prvků přímo na stavbě, pro použití při dodatečném předpínání) tak v rovině teoretické. Teoretický výzkum se soustředí především na zjištění vlivu rozměrů a počtu kotevních prvků na chování a únosnost kotevní oblasti a dále na odvození snadno použitelných návrhových vztahů, které by usnadnili použití předpínané FRP výztuže v praxi.

Vzhledem k anizotropii materiálu kompozitu a z toho vyplývající nízké pevnosti v tlaku kolmo na vlákna je velice obtížné předepnutou výztuž konvenčními způsoby bezpečně zakotvit. Při použití standardních kotevních kuželíků s vroubkovaným povrchem vzniká v kotvené předpínané výztuži současně výrazné příčné stlačení, podélný smyk a osový tah. Tuto kombinaci vznikajících sil nelze ocelovými kotevními kuželíky do FRP výztuže bezpečně přenést, a proto celá řada výrobců modifikovala (případně zcela vyvinula) vlastní systém kotvení těchto výztuží (podrobněji viz např. [1], [2], [3]).

2 Princip působení kotevního prvku

Vyvinutý kotevní systém [6] funguje na principu vytvoření dodatečné roznášecí plochy v kotevní oblasti výztuže, jenž umožňuje přenos předpínací síly z výztuže do okolního betonu na výrazně kratší vzdálenosti než při kotvení soudržností. Tato plocha je vytvořena nalepením jednoho nebo více válečků (tvořených ze speciální zálivky vyztužené vlákny) většího průměru na výztuž. Průměr válečku i jeho délka jsou variabilní. Celková únosnost vzniklé koncovky výztuže je dána kombinací smykové únosnosti povrchu kotevního prvku a otláčení jeho přední strany.

Kotevní prvky lze také variantně kombinovat (kotvy lze na výztuži řadit do série), ať již pro zvýšení únosnosti či bezpečnosti kotevního systému nebo pro snížení deformací v kotevní zóně (kotevní oblast je tužší).

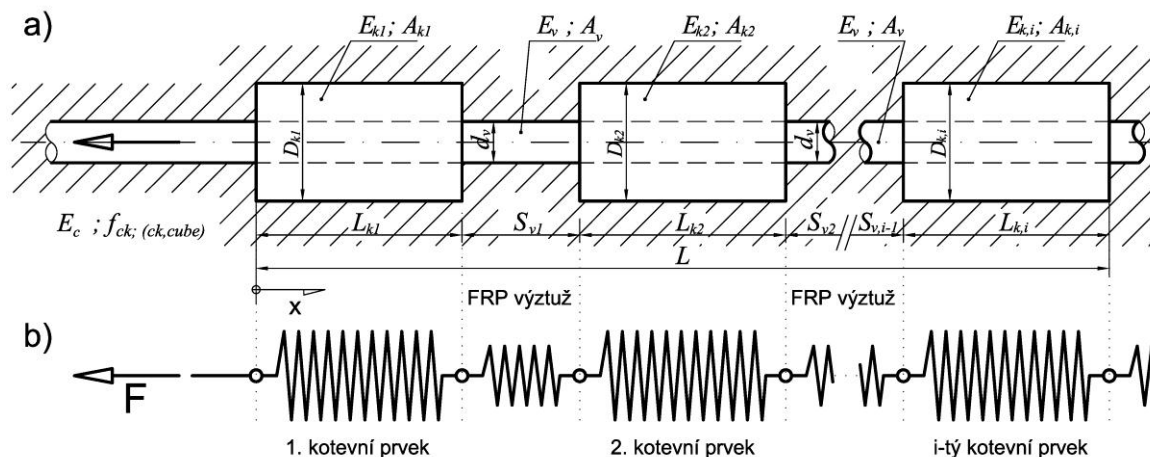


Obrázek č. 1 – Mechanismus kotvení předpínací výztuže s vyznačením působících sil.

Picture No. 1 – Scheme of anchor and acting forces.

3 Návrh kotevní oblasti

Kotevní systém lze idealizovat jako systém pružin řazených do série, které se společně podílí na přenosu kotvené síly do okolního betonu. Při vnášení síly jsou postupně aktivovány jednotlivé pružiny a každá z nich odebírá sílu úměrnou její aktuální tuhosti. Celková únosnost je dána součtem sil, které přenesou čelní plochy (hlavy) lepených kotev v tlaku, a sil, které přenesou tření mezi pláštěm kotvy a okolním betonem a tření mezi výztuží a okolním betonem; tah vznikající na konci (patě) kotvy mezi betonem a kotvou lze zanedbat.



Obrázek č. 2 – Kotevní oblast – idealizace chování (a - skutečný tvar; b - idealizace chování).

Picture No. 2 – Anchoring area – idealized behavior: (a) real shape; b) idealized model).

Celý kotevní systém je složen z:

výztuže před hlavou první kotvy (dáno: plocha A_v a modul pružnosti E_v);

N_k kotevních prvků (dáno: plocha A_k , modul pružnosti E_k a délka kotvy L_{ki});

$N_k - 1$ výztuží mezi kotevními prvky (dáno: A_v , E_v , vzdálenost mezi kotevními prvky S_{vi}).

Každý kotevní prvek i výztuž mezi kotvami lze rozdělit na n částí o délce elementu l .

Jednotlivé dílčí elementy kotevního systému lze idealizovaně reprezentovat jedním referenčním bodem umístěným v těžišti elementu (tj. pro prutový prvek konstantního průřezu v polovině) a jemu příslušející neznámou deformací (posunem). Na základě známých tuhostních parametrů jednotlivých komponent kotevního systému (tj. při znalosti E_v , E_k , A_v a A_k) lze určit deformační stav v každém referenčním bodu kotvy.

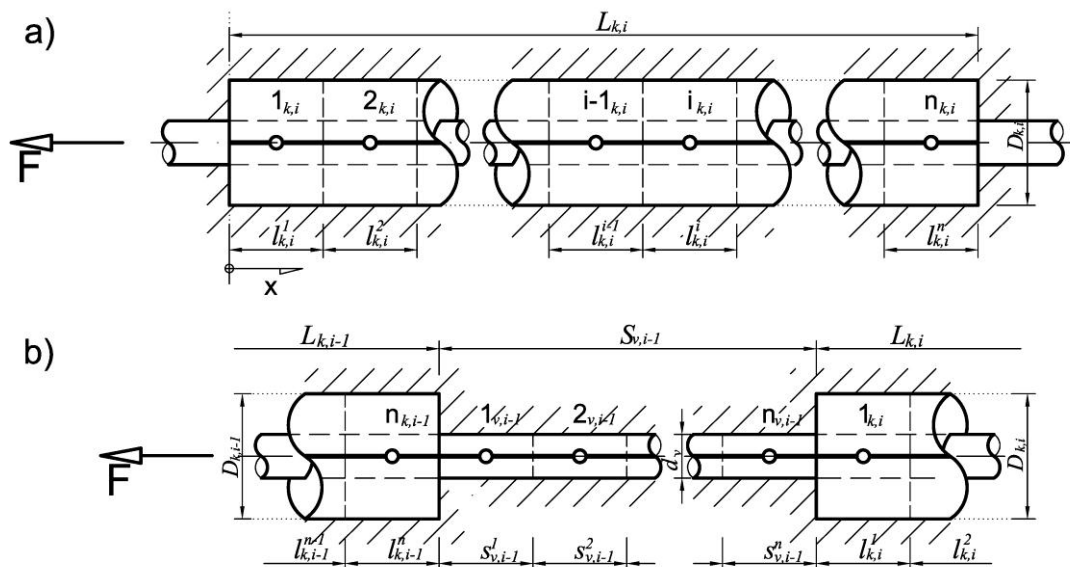
Výslednou únosností kotevního systému je pak součet únosností všech jeho dílčích částí, tj. součet příspěvků kotev a výztuží mezi kotevními prvky:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^n F_{k,i}^j + \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=1}^n F_{v,i}^j = F \quad (1)$$

kde $F_{k,i}^j$ únosnost j -tého elementu i -tého kotevního prvku;
 $F_{v,i}^j$ únosnost j -tého elementu i -té výztuže mezi kotevními prvky;
 N počet kotevních prvků v kotevním systému;
 n počet elementů kotevního prvku (výztuže mezi kotevními prvky).

Pro každou část kotevního systému (N kotevních prvků a $N-1$ částí výztuží mezi prvky) o n dílčích elementech je sestaveno přesně n rovnic spojitosti, jež jsou modifikovány v závislosti na poloze řešených uzlů v kotevním systému. Ty jsou následně zařazeny do celkové (globální) matice podle polohy referenčních bodů v systému.

Výsledná soustava rovnic spojitosti obsahuje pouze $n+1$ neznámých posunů u v jednotlivých referenčních bodech. Další hodnoty, které se v rovnicích vyskytují, jsou známy a chovají se jako konstanty. Dosazením za jeden neznámý parametr posunu konkrétní hodnotu (pro vykreslení pracovního diagramu je vhodné zvolit posun kontaktu výztuže v nultém bodu u_0) bude v takto definované soustavě lineárních algebraických rovnic o n řádcích vystupovat přesně n neznámých. Tento systém lineárních rovnic, jenž má stejný počet rovnic jako neznámých, lze již jednoduše vyřešit.

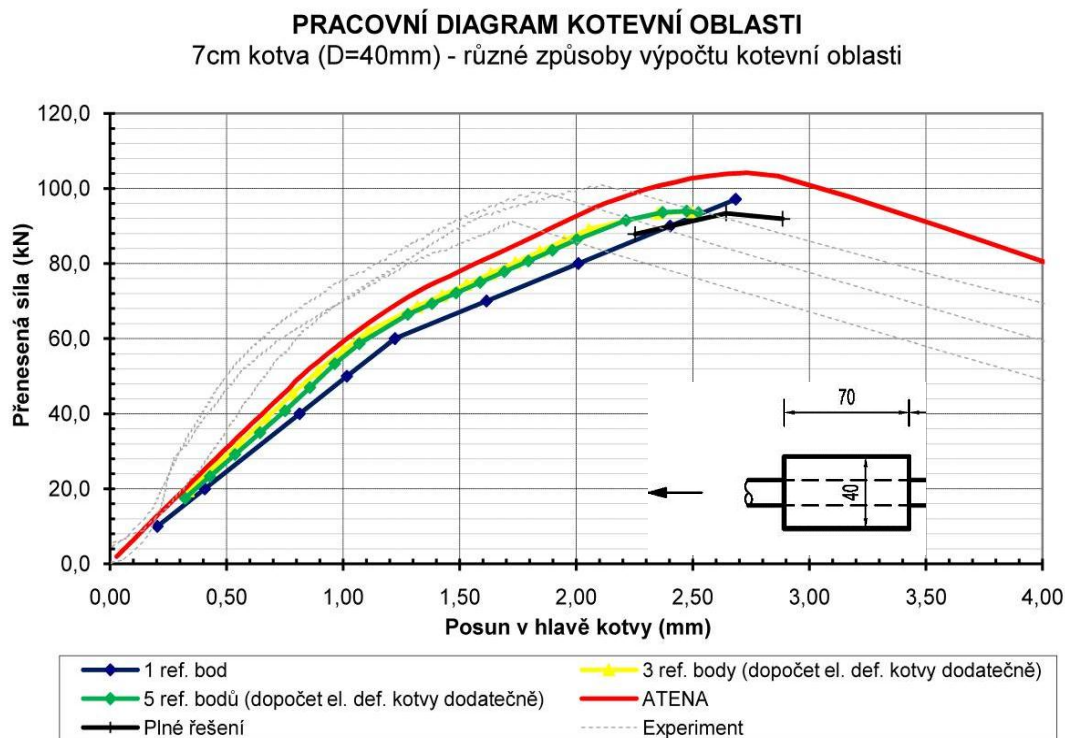


Obrázek č. 3 – Rozdělení kotevního prvku (a) a výztuže mezi prvky (b) na konečný počet elementů.

Picture No. 3 – Division of the anchoring member (a) and reinforcement (b) into elements.

Je uvedeno srovnání několika možných způsobů řešení kotevní oblasti pouze s jedním kotevním prvkem (průměr 40 mm, délka 70 mm, okolní beton C30/37). Zobrazen je nejjednodušší způsob výpočtu s jedním referenčním bodem pro celou kotvu (tj. sestavena pouze jedna deformační podmínka), výpočet pro $n = 3$ a $n = 5$ elementů na jedné kotvě za předpokladu tuhého chování kotevního válečku (jehož reálné elastické přetvoření je dopočteno až po určení posunů v kontaktu při předpokladu lineární změny průběhu síly na kotvě) a v neposlední řadě i plný výpočet bez zjednodušení pro $n = 3$ body. Graf je doplněn srovnáním s numerickým modelem a výsledky experimentálních měření na reálných vzorcích. Nachází-li se kotevní oblast v blízkosti okraje betonového prvku je zřejmé, že výpočet již nelze provést dle předpokladů platných pro kotevní oblast v masě betonu a je nutno jej modifikovat. Ovšem výhodou zvoleného přístupu je, že lze pouze upravit konstitutivní vztah popisující vlastnosti betonu a zohlednit vliv blízkého povrchu betonu prvku. Ten lze zohlednit např. stanovením jiné (nižší) tuhosti ve zhlaví kotvy a dosadit ji do výpočtu, který se jinak od předchozího neliší.

Je patrné srovnání tří základních okrajových podmínek, jenž při návrhu kotevní oblasti mohou nastat. Kotevní oblast je tvořena pouze jedním kotevním prvkem (průměr 40 mm a délka 70 mm, beton C30/37). Uveden je jak případ, kdy únosnost kotvy není ovlivněna okrajovými podmínkami (blok), tak i situace, kdy již dochází k ovlivnění (snížení) únosnosti systému okrajem prvku (líc, roh). Pro všechny tři limitní případy je zobrazeno i srovnání s výsledky dosaženými výpočtem MKP v programu ATENA.



Obrázek č. 4 – Kotevní oblast – jedna kotva - srovnání různých metod výpočtu.

Picture No. 4 – Comparison of computing alternatives for anchoring area with one anchor.

Při návrhu kotevní oblasti je také velmi důležité omezit hodnotu maximálního posunu výztuže na počátku první kotvy z hlediska mezního stavu použitelnosti. Přesná hodnota musí být určena přímo pro navrhovaný prvek, neboť vždy záleží na rozponu prvku a na působícím zatížení. Je nutno respektovat maximální dovolené průhyby dle [5] a zároveň navrhnout kotevní oblast tak, aby nedocházelo vlivem posunu výztuže v kontaktu (který se do výpočtu prvku promítá analogicky jako ztráta pokluzem) k velkým ztrátám předpětí.

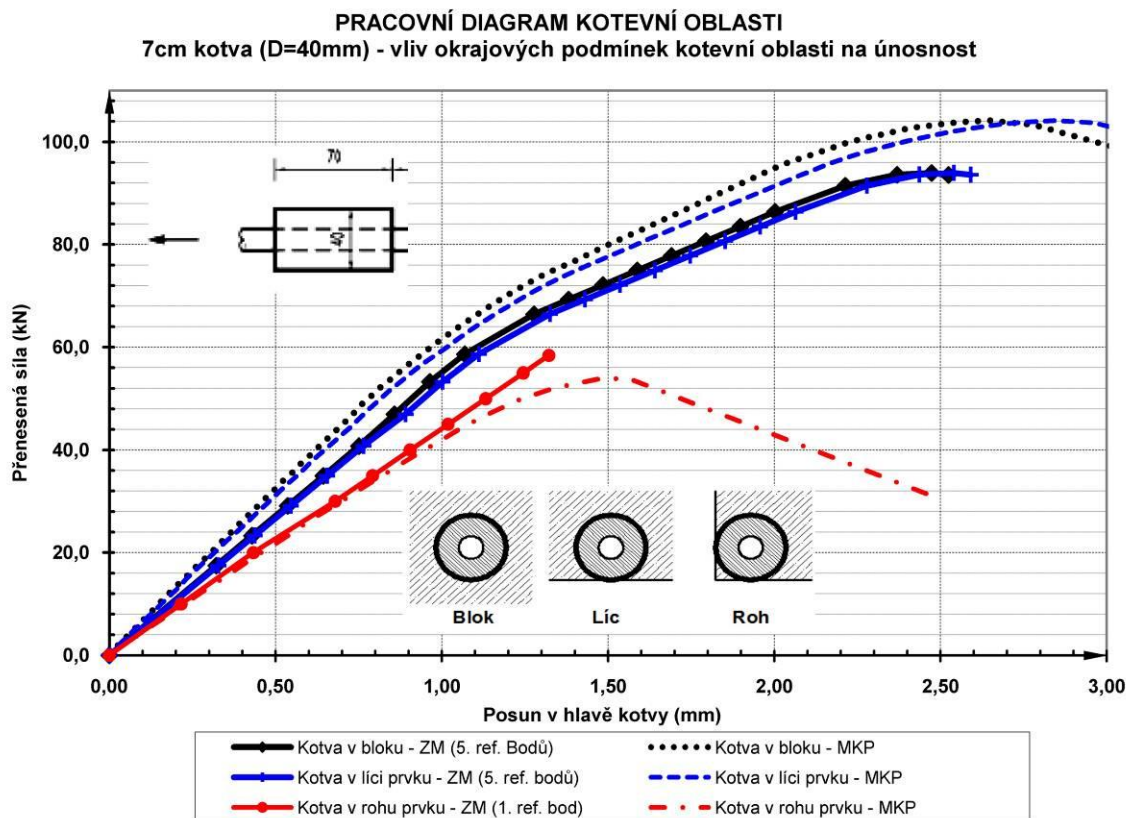
4 Závěr

Vyvinutý systém kotvení zachovává veškeré výhody FRP výztuží – neobsahuje žádné kovové části. Proto je možné ho aplikovat na všechny speciální případy, které vyžadují právě použití nekovových výztuží.

Výše popsané analytické řešení kotevních oblastí vykazuje dobrou shodu s provedenými experimenty a numerickými studiemi. Pro plné ověření správnosti odvozených vztahů a celkového přístupu k řešení problému je však nutno provést další experimenty, které mají za úkol ověřit především chování skupiny kotev a to jak v masě betonu, tak i jejich působení u okraje. Nové výsledky získané z těchto experimentů budou odborné veřejnosti prezentovány v průběhu následujících měsíců.

5 Poděkování

Presentované výsledky byly získány za finančního přispění projektu GA ČR 103/09/H085 a projektu AdMaS “Advanced Materials, Structures and Technologies“ financovaného MŠMT ČR a projektu MPO ČR 1H PK2- 057.



Obrázek č. 5 – Kotevní oblast – jedna kotva - srovnání různých okrajových podmínek.

Picture No. 5 – Anchoring with one anchor – influence of boundary conditions.

6 Literatura

- [4] Vistasp M. Karghari: „Use of composite Materials in civil infrastructure in Japan“, Baltimore, Maryland; 1998; ISBN 1-883712-50-5
- [5] Erki M. A., Rizkalla S.H.: „Anchorage for FRP reinforcement“, Concrete international 1993
- [6] Horvatits J., Benko V., Kollegger J.: „První použití externích předpínacích kabelů z uhlíkových vláken na zesílení mostu v Rakousku“, BETON TKS 4/2006
- [7] Štěpánek P., Horák D., Prokeš J.: „New prestressing system for FRP reinforcement in concrete structures“, příspěvek na konferenci 9th International Symposium on Fiber-Reinforced Polymer Reinforcement for Concrete Structures, Sydney: The University of Adelaide, 2009, ISBN: 978-0-9806755-0-4
- [8] ČSN EN 1992-1-1 (73 1201) Navrhování betonových konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, 2006
- [9] Patentová přihláška číslo 2008-475
- [10] HORÁK, D.; ŠTĚPÁNEK, P. Vývoj nekovových výztuží 2. *Materiály pro stavbu*. 2009(02). p. 28 - 31. ISSN 1213-0311.
- [11] GIRGLE, F., ŠTĚPÁNEK, P., HORÁK, D., ĎURECH, D., LANÍKOVÁ, I.: „Systém kotvení předpjaté FRP výztuže“, *Stavební obzor*, předpokládané datum uveřejnění 2/2011