

EXPERIMENTÁLNÍ VÝZKUM VLASTNOSTÍ KOTEVNÍCH PROSTŘEDKŮ ZABUDOVANÝCH V UHPFRC

Jan Prchal¹

Katedra betonových a zděných konstrukcí, Fakulta stavební,
České vysoké učení technické v Praze, Thákurova 7/2077, 166 29 Praha 6, Česká republika.
jan.prchal.1@fsv.cvut.cz

ABSTRAKT

V článku je popsán úzce zaměřený výzkum chování předem zabetonovaných kotevních prostředků v materiálu UHPFRC (Ultra High-Performance Fiber-Reinforced Concrete) při statickém zatěžování. Nejprve je stručně zmíněn současný stav řešení problematiky a související experimentální studie, na které je v práci částečně navázáno.

Následně je dokumentován experimentální program, jehož cílem bylo detailněji popsat chování kotevních oblastí cementového kompozitu. Celkem bylo provedeno 45 vytrhávacích zkoušek. V rámci zkoušení byl sledován vliv objemového zastoupení vláken v matici UHPC (v_f), efektivní hloubka zapuštění kotevního přípravku (h_{ef}) a také poloha kotvy vzhledem k postupu betonáže.

Závěrem jsou dokumentovány výsledky, uvedeny jsou tvary deformovaných oblastí, grafy závislosti síly na deformaci a shrnující tabulky. Článek uzavírá diskuse nad dosaženými výsledky spolu s dalšími možnými směry řešení problematiky.

KLÍČOVÁ SLOVA

UHPFRC • kotvení • experiment • vlákna • betonový kužel

ABSTRACT

This paper details a narrowly focused study of the behaviour of cast-in anchors in Ultra High-Performance Fiber-Reinforced Concrete (UHPFRC) under monotonic tension. Firstly, the current state of the art and the related experimental studies are described, which are shortly referred to in the paper.

Subsequently, the experimental program is documented to describe in detail the behavior of the fastenings in the cementitious composite. A total of 45 pull-out tests were performed. The influence of the fiber quantity in volume (v_f), the effective embedment depth of the anchor (h_{ef}) as well as the position of the anchor relative to the casting were investigated.

Finally, the results are documented, the shapes of the deformed specimens, load-displacements curves and summary tables are presented. The paper concludes with a discussion of the results and further directions for solving the problem.

KEYWORDS

UHPFRC • Fastening • Experiment • Fibers • Concrete Cone

1. ÚVOD

Ačkoli bylo tématu kotvení v betonu běžných pevností věnováno hodně pozornosti, problematika kotevních oblastí v moderním cementovém kompozitu Ultra High-Performance Concrete (UHPC) není zdaleka ještě probádaná. Přitom právě materiál UHPC umožňuje návrh štíhlých, tenkých a vůbec úsporných konstrukcí, které jsou (alespoň prozatím) z větší části vyráběny jako prefabrikáty, a tudíž po vybetonování vyžadují manipulaci, transport a uložení na finální místo určení. Návrh manipulace, resp. kotevního přípravku, představuje u mnohých konstrukčních prvků z UHPC zásadní krok, který je z hlediska dimenze dílce zcela zásadní. Na základě těchto faktů považují za důležité se hlouběji věnovat problematice kotvení v materiálu UHPC.

V tomto textu je blíže popsán experimentální program, jehož uskutečnění bylo iniciováno absencí podkladů pro efektivní navrhování kotvení v prvcích z UHPC. Vzhledem k rozsahu tohoto textu mohl být dokumentován jen zlomek výsledků provedených zkoušek, proto bylo snahou přiblížit alespoň zásadní aspekty, které výraznou měrou ovlivňují chování tahem namáhaných kotevních prvků předem zabudovaných ve vzorcích z UHPFRC.

2. STAV BĀDÁNÍ

Problematika kotvení v betonu je velice rozsáhlá a výzkum lokálního namáhání běžného betonu skrze kotevní prostředky probíhá celé dekády. Když se blíže zaměříme na oblast ultravysokohodnotných betonů, existuje na toto téma pár experimentálních studií, které se liší velikostí zkušební vzorku, typem a velikostí kotevního přípravku a samotnou recepturou betonu. Vzájemné porovnání je komplikované. Společným rysem je způsob namáhání betonu (osový tah), resp. kotevního prostředku, proto se v této studii částečně vychází z těchto výzkumů a na výsledky je do určité míry navázáno.

Podrobný přehled experimentů, které byly doposud realizovány s kotevními prvky předem zabudovanými v UHPFRC,

¹ Školitel: doc. Ing. Lukáš Vráblík, Ph.D., FEng.

je spolu s vlastnostmi materiálu uveden v tabulce. Tabulka 1 obsahuje pouze parametry UHPC s ocelovými drátky.

Ve studii (Choi, et al., 2015) je sledován vliv hloubky zapuštění kotvy h_{ef} a vzdálenosti kotvy od okraje tělesa c_{al} na tahovou a smykovou únosnost kotevní oblasti. Srovnání UHPC a HSC (vysokohodnotného betonu) je provedeno ve studii (Lu, et al., 2021), kde jsou provedeny výhradně tahové

Tabulka 1: Porovnání experimentálních programů kotevních prostředků v UHPFRC

Autor, rok	v_f [%]	L_f/d_f [mm]	f_{cc} [MPa]	f_{ct} [MPa]	Rozměry vzorku [mm]	Úhel roznosu zatížení [°]	d_s [mm]	h_{ef} [mm]
(Choi, et al., 2015)	2,0	13/0,2	199 ²	15,3	600x600x100	22,88	20	30; 40; 50; 60; 70
(Lu, et al., 2021)	2,0	13/0,2	126,7 ³	7,2 ⁴	250x250x100	20,1 až 24,0	20; 22	50; 70; 33; 55; 77
(Li, et al., 2022)	1,0	12,9/0,2	109,47	různé ⁵	Válec 270x120	24,4 až 30,0	13; 16	35; 50; 65

2.1. Stanovení únosnosti

Dílkím výsledkem studie (Choi, et al., 2015) je vztah pro predikci únosnosti betonového kuželu, která je založena na tlakové pevnosti materiálu, což je přístup vyskytující se ve většině návrhových norem pro kotvení v běžném betonu.

$$N_u = 16,74 \cdot \Psi_{UHPFRC} \cdot \sqrt{f_{cc}} \cdot h_{ef}^{1,5} \quad (1)$$

$$\Psi_{UHPFRC} = 1,56$$

(Lu, et al., 2021) bere při stanovení maximálního zatížení kromě tahové pevnosti UHPFRC i objemové zastoupení vláken v_f , které je ve vztahu (2) zohledněno součinitelem k . I přes zavedení tohoto součinitele však jsou dostupné výsledky pouze s $v_f = 2,0\%$.

$$N_{bf} = k f_t \pi h_{ef}^{1,5} \quad (2)$$

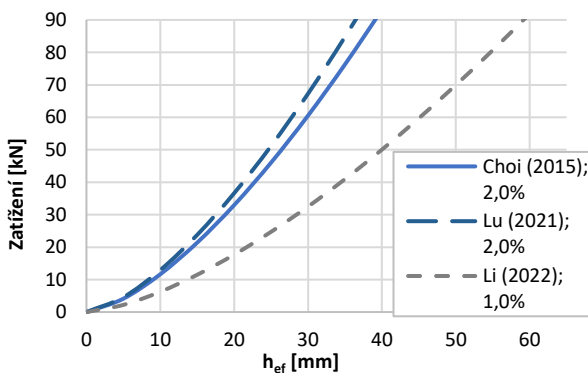
$$k = 2,8 v_f + 12,5$$

(Li, et al., 2022) stanovuje únosnost s využitím tahové pevnosti UHPFRC:

$$N_{u,cm} = k_c \cdot f_t \cdot h_{ef}^{1,5} \quad (3)$$

$$k_c = 15,5$$

Výše uvedené vztahy jsou níže shrnuty do jednoho grafu:



Obrázek 1: Závislost síly na (h_{ef}) podle studií, dle 2.1

zkoušky, přičemž je sledován vliv průměru kotvy d_s a hloubky h_{ef} . Ve studii (Li, et al., 2022) je sledováno chování kotev v UHPC, který je buď zcela bez vláken, s ocelovými drátky, nebo s ocelovými a hybridními (polymerními) vlákny. Spolu s proměnnou hloubkou h_{ef} a průměrem kotev d_s hodnotí mechanické vlastnosti kotevních oblastí.

3. VLASTNÍ EXPERIMENTÁLNÍ VÝZKUM

3.1. Opodstatnění

Potřeba vlastního zkušebního programu plyne z celkově malého vzorku provedených zkoušek na poměrně novém typu materiálu. Zkoušky realizované v rámci výše vedených výzkumů jsou většinou 28denní. Kotevní oblasti, resp. přípravky, jsou ve většině případů namáhány výrazně dříve s odpovídajícími vlastnostmi betonu. Doposud nebyly provedeny srovnávací testy kotvení s parametry jako objemové zastoupení vláken v_f ve směsi, poloha kotvy vzhledem k postupu betonáže, a to spolu s proměnnou hloubkou h_{ef} .

3.2. Cíle a předpoklady zkoušek

V rámci experimentálního výzkumu byly testovány kotevní prostředky předem zabetonované ve vzorcích z UHPFRC s různým objemovým zastoupením ocelových vláken (v_f). Cílem tahových zkoušek bylo zjištění únosnosti kotevní oblasti vč. podrobného stanovení závislosti síly na posunu kotevního prostředku, přičemž:

- kotevní prostředky byly namáhány výhradně osovou tahovou silou,
- požadovaným způsobem porušení kotevní oblasti byl vytržení betonového kuželu,
- proměnnými byly stupeň vyztužení matrice UHPFRC (v_f), účinná hloubka zapuštění šroubu (h_{ef}) a poloha kotevního prostředku vzhledem ke směru betonáže,
- byl používán stále stejný typ kotevního šroubu,
- zkoušky byly provedeny ve stáří betonu 3 dny.

Před samotným plánováním a realizací experimentů byly přijaty předpoklady, které měly být zkouškami potvrzeny, respektive upřesněny:

- únosnost kotevní oblasti narůstá s vyšším stupněm vyztužení UHPC drátky (v_f) a s větší účinnou hloubkou zapuštění šroubu (h_{ef}),

² Ošetřování párou po 72 h při 90°C.

³ Na krychli 150x150x150 mm.

⁴ Na tělese typu dog-bone 100/50 mm

⁵ Pevnost v tahu za ohybu 12,78 MPa. Pevnost v příčném tahu 10,43 MPa.

- podstava vytrženého kužele (resp. úhel roznosu zatížení) se s narůstající pevností materiálu zvětšuje,
- podobně jako u desek dochází u dna formy k segregaci vláken (což má za následek lokální nárůst tahové pevnosti materiálu a zvýšení únosnosti), se předpokládá větší únosnost kotev umístěných u dna formy oproti kotvám zabetonovaným v hlazeném povrchu.

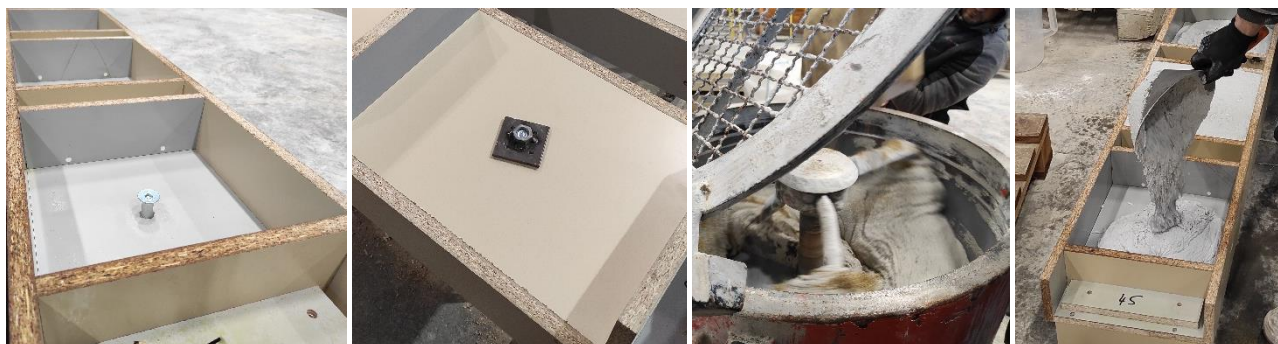
Výroba vzorků a zkoušky byly provedeny v období mezi prosincem 2022 a únorem 2023.

3.3. Zkušební vzorky

Pro zkoušky kotevních oblastí byly vyrobeny vzorky tvaru kvádrů s rozměry 300 x 300 x 100 mm. Velikost zkušebního vzorku byla zvolena s ohledem na hloubku zapuštění kotevního šroubu a předpokládaný roznos zatížení. V každém vzorku byl zabetonován jeden kotevní prostředek – šroub velikosti M16 s metrickým závitem a s kónickou hlavou (DIN7991), galvanicky pozinkované šrouby pevnostní třídy 10.9.⁶ Účinná hloubka zapuštění šroubů h_{ef} byla 25, 35 nebo 45 mm. Pro vyztužení matrice UHPC byla použita ocelová vlákna s objemovým zastoupením (v_f) 1,5 %, 2,0 % a 2,5 %, tj. přibližně 118, 157 a 196 kg/m³.

Tabulka 2: Složení UHPC pro zkoušky kotevních oblastí

Označení série	1,5 %	2,0 %	2,5 %
Datum výroby	05.12.22	13.02.23	09.01.23
Dávkování	[kg/m ³ výsledné směsi]		
Suchá složka (PREMIX) ⁷	2150	2148	2150
Superplastifikátor	37,5	35	37,5
Voda	137,5	143	140
Vlákna (0,2/14 mm)	118	157	196



Obrázek 2: Výroba vzorků pro zkoušky kotevních oblastí v UHPFRC ($v_f = 1,5 \%$)

⁶ Šrouby s kónickou hlavou byly zvoleny z několika důvodů. Na základě předchozích experimentů byla posouzena vhodnost šroubu pro maximalizaci únosnosti (Marek, 2017). Kruhový tvar hlavy šroubu je pro přenos síly do betonu vhodnější a zajišťuje rovnoměrnější přenos zatížení než např. šestihlanná hlava. Konicita hlavy je výhodná pro maximalizaci h_{ef} , zvláště u prvků z UHPC, jež vynikají štíhlostí a úsporou materiálu.

⁷ Suchá směs (i výsledný beton) má pro UHPC nebývalé bílou barvu, čehož je dosaženo použitím bílého cementu. UHPFRC bílé barvy vyniká mírným nárůstem pevnosti oproti šedé variantě. Při stejném typu ocelových drátků dosahuje bílé UHPC přibližně o 7 % vyšší pevnosti

Vzorky byly vyrobeny v běžných podmínkách provozny pro výrobu prefabrikátů.⁸ Pro míchání UHPC byla použita malá ruční míchačka o velikosti 250 l, případně standardní planetová míchačka. Dávkování složek shrnuje Tabulka 2.

Tabulka 3: Přehled zkušebních vzorků vč. těles pro zkoušky mechanických vlastností

Typ ⁹	v_f [%]	h_{ef} [mm]	Povrch	Počet zkoušek daného typu
15-25	1,5	25	dno formy	5
15-35	1,5	35	dno formy	5
15-45	1,5	45	dno formy	5
20-25	2,0	25	dno formy	3
20-25H	2,0	25	horní hlazený	3
20-35	2,0	35	dno formy	3
20-35H	2,0	35	horní hlazený	3
20-45	2,0 %	45	dno formy	3
25-25	2,5 %	25	dno formy	3
25-25H	2,5 %	25	horní hlazený	3
25-35	2,5 %	35	dno formy	3
25-35H	2,5 %	35	horní hlazený	3
25-45	2,5 %	45	dno formy	3

Ve dně formy byl vyvrtán otvor pro vložení šroubu. Pro zajištění svislosti šroubu byly vně spodního povrchu kotveny ocelové plotny s maticí M16 (Obrázek 2). Ve dvou sériích (2,0 % a 2,5 %) byl navíc sledován vliv polohy šroubu vzhledem ke směru betonáže vzorku, přičemž byly rozlišovány dva způsoby umístění šroubů: procházející dnem formy [F] (tzn. vyčnívající z povrchu od formy) a procházející hlazeným povrchem [H].¹⁰

v tlaku, kdežto pevnosti v tahu za ohybu jsou u obou materiálů srovnatelné.

⁸ Vzorky byly zhotoveny ve výrobně prefabrikátů společnosti KŠ PREFA s.r.o. ve Štětí.

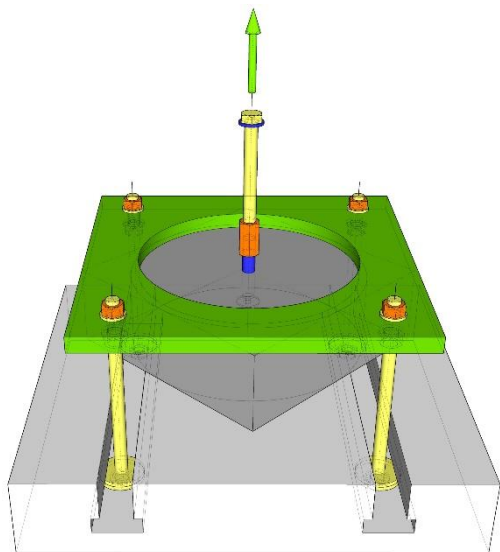
⁹ Typové značení je ve formátu XX-YYZ, kde XX je v_f , YY je h_{ef} a Z je doplňkové značení pro povrch s kotvou.

¹⁰ V případě umístění kotevního prostředku na straně hlazeného povrchu betonu [H] nebyla plocha v kontaktu s roznášecím plechem dokonale rovná jako v případě vzorků [F], nicméně na výsledné hodnoty únosnosti kotevních oblastí toto nemělo prakticky žádný vliv.

Spolu se vzorky byla vyrobena tělesa pro zjištění mechanických vlastností UHPC. Ke každé sérii byly zhotoveny 3 válce průměru 100 mm a výšky 200 mm (pro zjištění pevnosti v tlaku a modul pružnosti) a 3 trávce 100 x 100 x 400 mm (zjištění pevnosti v tahu za ohybu). Vzorky byly vyzkoušeny v laboratoři souběžně s probíhajícími zkouškami kotevnicích oblastí. Průměrná tlaková pevnost na válcích byla kolem 96 MPa, modul pružnosti kolem 44 GPa. Podrobnější dokumentace je nad rámec tohoto textu.

3.4. Uspořádání a průběh zkoušek

Cílem zkoušek kotevnicích oblastí bylo zjistit závislost lokálně působící tahové síly na deformaci. Zkouška byla navržena tak, aby došlo výhradně k porušení betonu – vytržení kuželu. Toho bylo docíleno způsobem uchycení betonového vzorku k podkladnímu roštu (Obrázek 3), výškou betonových vzorků a zároveň i materiálem šroubů s dostatečnou rezervou v únosnosti. Předpokládaná maximální síla byla odhadnuta dle dostupných modelů se zohledněním stáří betonu, viz 2.1. Vzorek byl koteven k podkladu pomocí ocelového plechu s kruhovým otvorem průměru 280 mm, jehož středem procházel vyčnívající závit zabetonovaného šroubu. Vzorek se pomocí ocelového kování spojil se zkušební liseň (Obrázek 4).



Obrázek 3: Schéma uchycení vzorku ke zkušebnímu roštu

V průběhu zkoušení byly měřeny a v čase zaznamenávány síla ve válci, posun válce a deformace kotevního šroubu pomocí dvou potenciometrických snímačů. Každý vzorek byl nejprve dvakrát zatěžován rychlostí 0,15 kN/sec na přibližně 30% predikované únosnosti a následně odtížen na hodnotu 1 kN. Následně probíhala zkouška do porušení vzorku řízená posunem 0,6 mm/min. Z každého vzorku byl zcela vytržen betonový kužel, nebo alespoň jeho část, pro zjištění tvaru deformační zóny. Výsledkem každého testu je přibližně celý pracovní diagram kotevní oblasti (viz část 3.5). V závěru zkoušení (při sledování sestupné zatěžovací větve) byla zkouška urychlena navýšením rychlosti zatěžování na 2,0 mm/min.

¹¹ Vzhledem k omezenému prostoru jsou vykresleny grafy zprůměrovaných výsledků (označené M). Průměrované grafy jsou sestaveny

3.5. Výsledky zkoušek

Celkem bylo zrealizováno 45 experimentálních zkoušek kotevnicích oblastí. Základní přehled všech výsledků je uveden v tabulce (Tabulka 4). Výstupem z každého experimentu jsou závislosti deformace kotevní oblasti na působícím zatížení, které jsou znázorněny v grafech (Obrázek 5).¹¹ Dále potom tvary porušení kotevnicích oblastí. Pro přehlednost jsou níže uvedené výsledky členěny podle zkušebních sérií (dle v_f).

Tabulka 4: Souhrn výsledků kotevnicích oblastí

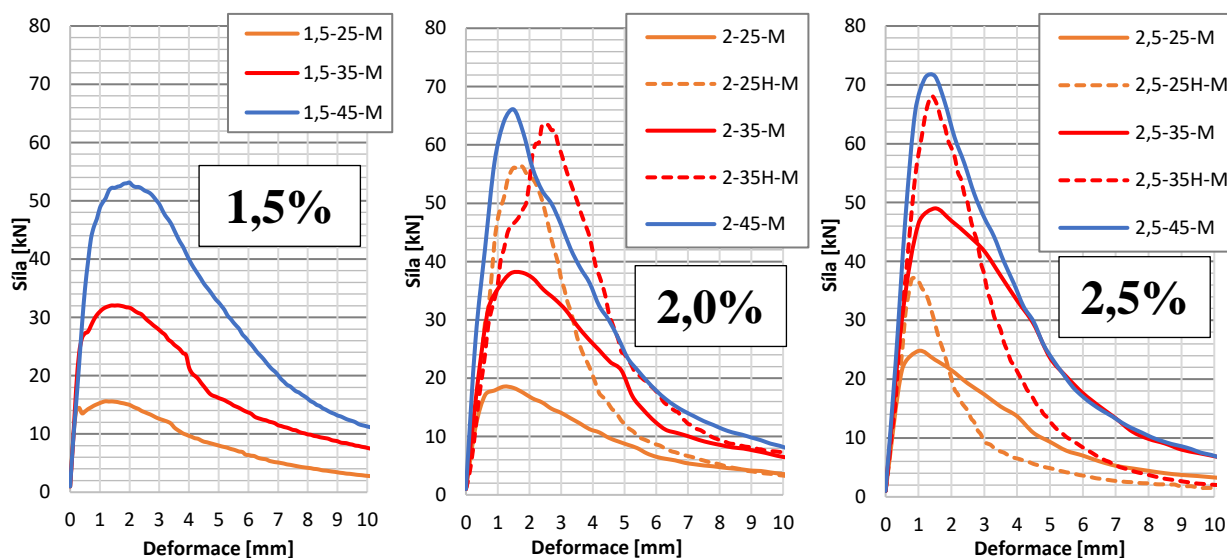
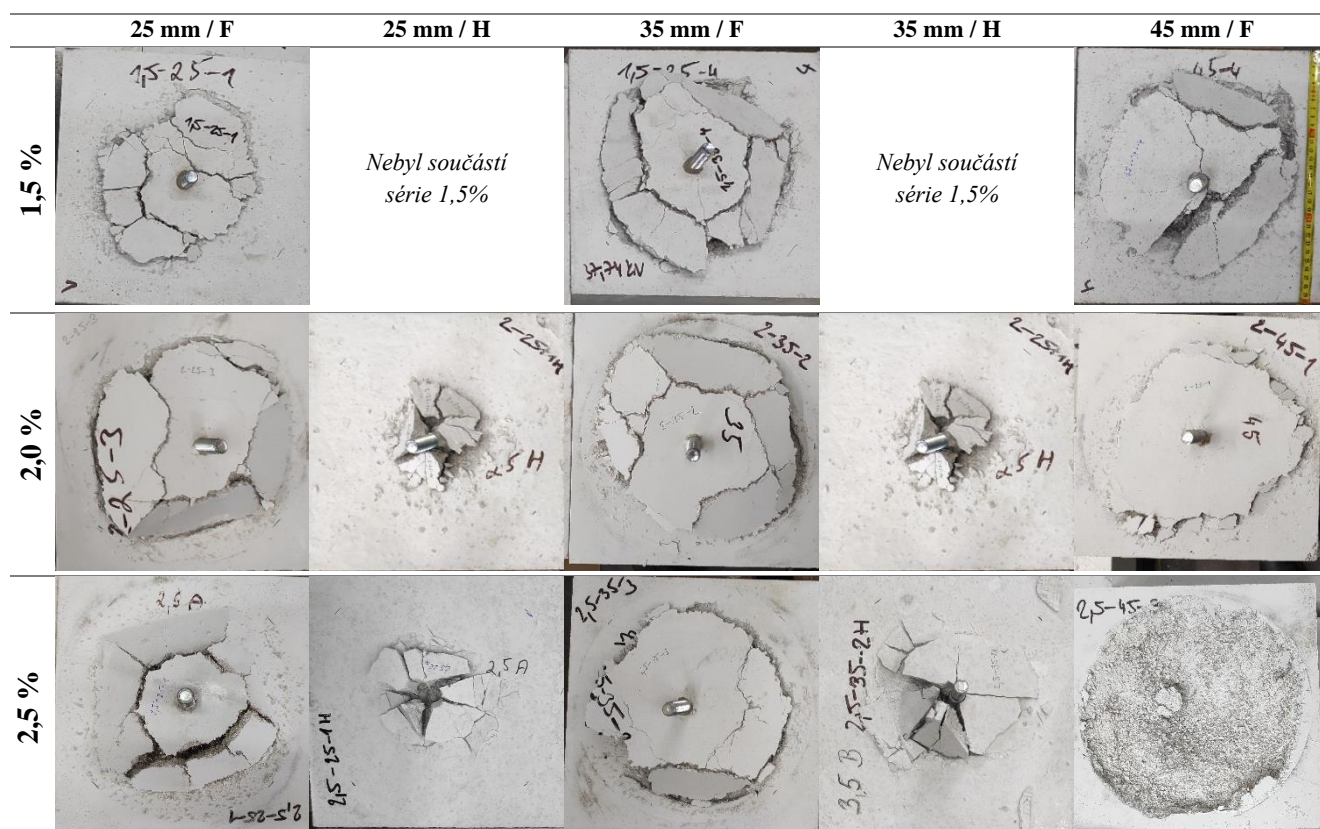
Typ vzorku (v_f -bet)	Počet vzorků	Únosnost [kN]			Směrodatná odchylka [kN]	Variační koefi- cient [%]
		Min	Max	Prů- měr		
15-25	5	15,0	21,5	16,6	2,8	16,9
15-35	5	26,9	37,7	32,2	5,0	15,5
15-45	5	52,9	54,3	53,6	0,6	1,1
20-25	3	17,8	19,8	18,7	1,0	5,5
20-35	3	35,7	41,9	38,3	3,2	8,3
20-45	3	58,4	73,5	66,5	7,6	11,4
20-25H	3	54,6	58,3	57,0	2,0	3,6
20-35H	3	64,2	70,9	66,8	3,6	5,3
25-25	3	22,2	26,7	24,9	2,3	9,4
25-35	3	42,6	57,7	49,2	7,7	15,7
25-45	3	71,8	78,0	74,4	3,2	4,3
25-25H	3	34,7	47,6	41,4	6,4	15,6
25-35H	3	65,3	72,9	69,6	3,9	5,6



Obrázek 4: Finální uspořádání zkoušek

jako aritmetické průměry působících sil F_i dohledaných pro danou deformaci u_i .

Tabulka 5: Tvar porušení vzorků, porovnání sérií (v_f) a efektivních hloubek (h_{ef}), od každého typu jeden zástupce



Obrázek 5: Pracovní diagramy kotevních oblastí dle série, zleva: 1,5 %; 2,0 % a 2,5 %

3.6. Zhodnocení výsledků

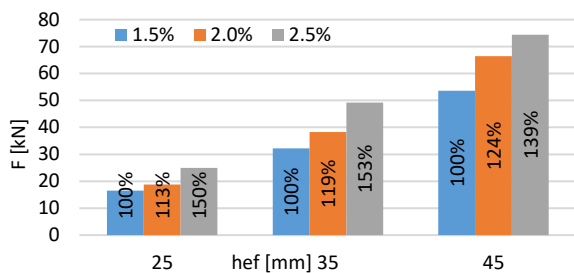
3.6.1. Vliv objemového zastoupení vláken v_f

Dle logického předpokladu dochází s přidáváním drátků k nárůstu únosnosti kotvení oblastí. Zvýšení maximálního dosaženého zatížení mezi jednotlivými sériemi vzorků (1,5%; 2,0% a 2,5%) je patrné při pohledu na graf (Obrázek 5). Drobné číselné srovnání maximálního zkušebního zatížení pro jednotlivé typy zkoušek nabízí tabulka (Tabulka 6). Následně budou získané výsledky ze zkoušek kotveních oblastí konfrontovány s mechanickými vlastnostmi betonu, které byly zjišťovány

spolu se zkouškami kotveních oblastí. Stejně tak budou porovnány dříve popsané vztahy pro stanovení únosnosti, část 2.1.

Tabulka 6: Porovnání únosností jednotlivých sérií (v_f)

h_{ef} [mm]	Maximální zatížení [kN]			Procentuálně k 1,5%		
	1,5%	2,0%	2,5%	1,5%	2,0%	2,5%
25F	16,6	18,7	24,9	100%	113%	150%
35F	32,2	38,3	49,2	100%	119%	153%
45F	53,6	66,5	74,4	100%	124%	139%



Obrázek 6: Porovnání únosnosti ve vztahu k v_f a h_{ef}

Dále je možné předpokládat, že s dalším přidáváním drátků do směsi UHPC (se zvětšováním v_f) nebude růst únosnosti tak prudký a patrně bude dříve docházet k technologickým potížím s rovnoměrným rozmícháním drátků při výrobě.

3.6.2. Vliv efektivní hloubky kotevního prostředku h_{ef}

Se zvětšováním efektivní hloubky se únosnost kotvy zvětšuje, což odpovídá původním předpokladům a také trendům nastíhnutým v části 2.1. Tabulka 7 zobrazuje, že nejvýraznější nárůst únosnosti mezi různými h_{ef} nastává u série se 2% drátků.

Tabulka 7: Porovnání únosností vzorků dle h_{ef}

v_f	Maximální zatížení [kN]			Procentuálně k 25 mm		
	25F	35F	45F	25F	35F	45F
1,5%	16,6	32,2	53,6	100%	194%	324%
2,0%	18,7	38,3	66,5	100%	205%	355%
2,5%	24,9	49,2	74,4	100%	198%	299%

3.6.3. Vliv umístění kotvy

Tvar vytržené betonové části vzorků s povrchem od formy F se na první pohled odlišuje od povrchu H (Tabulka 5), tedy hlazeného povrchu. Zcela odlišná je i velikost maximálního zatížení, kterého bylo dosaženo při zkoušce. Vzorky s kotevním prostředkem umístěným v povrchu H dosahují v průměru od 140 % do 304 % vyšší únosnosti oproti vzorkům F (v souladu s tabulkou - Tabulka 4). Zde se nepotvrdil původní předpoklad (3.2) o nárůstu pevnosti v povrchu F.

Vysvětlení je následující: při plnění forem dochází při kontaktu betonové směsi se dnem formy k usměrňování volně rozptýlených drátků, k tzv. stěnovému efektu. Vlákna se při tom orientují převážně rovnoběžně s formou. Tento jev má za následek logický nárůst tahové pevnosti v rovině dna formy a ekvivalentní pokles tahové pevnosti ve směru kolmém na tuto rovinu, což je směr namáhání kotevního prostředku.¹² Jelikož je větší část výztužných vláken v této oblasti orientována v rovině formy, nabývá vytržená oblast betonu větších rozměrů. Vodorovně usměrněné drátky aktivují při vytrhávání větší část betonu, která však nemá příliš velkou účinnost a tato oblast i přes svůj rozsah neodolává většímu zatížení.

Oproti tomu v horním hlazeném povrchu není patrný vliv usměrňování vláken v důsledku kontaktu s formou.¹³ Dle postupu betonáže a dalších technologických kroků při výrobě jsou vlákna rozptýlená více či méně rovnoměrně. Zatížení z kotevního šroubu se přenáší nejužší částí kotevní oblasti,

¹² Pozitivní vliv usměrnění vláken lze vhodně využít např. u ohýbaných prvků, kde je tažená část průřezu tvořena právě betonem s usměrněnými drátky.

kterou tvoří UHPC s drátky ve směru namáhání šroubu. Svisle orientovaných drátků je v hlazeném povrchu logicky více, proto je nejen únosnost celé oblasti výrazně vyšší, ale i deformovaná oblast nenabývá tak velkých rozměrů jako v případě povrchu od formy (F).

Zajímavé srovnání se nabízí u série 2%. Kotvy 25H (s hloubkou 25 mm a povrchem H) přesahují únosnost kotvy 35F. Kotvy 35H se dále dorovnávají 45F. Vhodnou kombinací hloubky h_{ef} , kotvy a povrchu, ve kterém je kotva zabudována, lze optimalizovat návrh manipulace konstrukčního prvku.

Dále je vhodné zdůraznit, že zmíněných výsledků bylo dosaženo na vzorcích výšky 100 mm, které byly vyráběny ručně v běžných podmínkách prefa provozovny. Při této výšce vzorku se jedná o markantní rozdíl mezi vlastnostmi betonu od hlazeného povrchu (H) a od povrchu od formy (F). Lze předpokládat, že se zmenšující se tloušťkou plošného prvku (v řádu mezi 20 a 50 mm) se budou rozdíly mezi oběma povrchy stírat. Toto je vhodným námětem pro další zpřesňující výzkum.

4. ZÁVĚR

V článku byla popsána příprava, realizace a hodnocení experimentální studie zaměřené na chování kotevních prostředků v kompozitu UHPFRC. Úvodem byly zmíněny dostupné studie, které se vztahují k problematice kotevních oblastí v UHPFRC. Podrobně byl v hlavní části článku dokumentován program zkoušek, který čítal 45 vzorků kotevních oblastí. Zkoušky byly zaměřeny na studium parametrů objemové zastoupení vláken ve směsi (v_f) a poloha kotevního prostředku vzhledem k betonáži, které v souvislosti s UHPC nebyly dosud publikovány.

PODĚKOVÁNÍ

Experimentální výzkum byl proveden za finanční podpory z prostředků studentské grantové soutěže v rámci projektu SGS23/039/OHK1/1T/11. Velký dík patří kolegům z Kloknerova ústavu ČVUT a ze společnosti KŠ PREFA za všestrannou pomoc při přípravě zkoušek a výrobě zkušebních vzorků.

Reference

- Choi, S., Joh, C. & Chun, S.-C., 2015. Behavior and strengths of single cast-in anchors in Ultra-High-Performance Fiber-Reinforced Concrete (UHPFRC) subjected to a monotonic tension or shear. *KSCE Journal of Civil Engineering*, Svazek 19, p. 964–973.
- Li, F. a další, 2022. Pullout behavior of studs in ultra-high performance concrete with steel fibers and novel structural fibers. *Structures*, Svazek 44, p. 405–417.
- Lu, K. a další, 2021. Anchorage performance of bolt connection embedded in thin UHPC members. *Structures*, Svazek 34, p. 1253–1260.
- Marek, J., 2017. Testing of Shear Connectors for UHPC Slabs. *PhD Workshop, Department of Concrete and Masonry Structures*.

¹³ V horním povrchu však může nastat další usměrnění rozptýlené výztuže, např. při ošetřování, či při urovnávání horního povrchu betonového dílce.