

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Drátkobetony – porovnání vlivu délky drátků na pevnostní charakteristiky

Filip Kosinka

Bakalářská práce

2018

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Filip Kosinka
Osobní číslo: D13261
Studijní program: B3607 Stavební inženýrství
Studijní obor: Dopravní stavitelství
Název tématu: Drátkobeton - porovnání vlivu délky drátků na pevnostní charakteristiky
Zadávající katedra: Katedra dopravního stavitelství

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Bakalářská práce se bude zabývat porovnáním vlivu délky drátků na pevnostní charakteristiky drátkobetonů. Pro potřeby vlastních experimentálních zkoušek lze využít typový beton s následnou úpravou přimícháním drátků.

Požadované výstupy:

Úvod

1) Teoretická část

Analýza současného stavu poznání

2) Experimentální část

Výroba drátkobetonu, zhotovení vlastních experimentálních těles

Provedení zkoušek čerstvého drátkobetonu (stanovení konzistence, obsah vzduchu, objemová hmotnost)

Provedení zkoušek ztvrdlého drátkobetonu (krychelná pevnost, pevnost v tahu ohybem, objemová hmotnost)

Vyhodnocení dosažených výsledků

Verifikace a závěr

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury: **viz příloha**

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Vladimír Suchánek


Katedra dopravního stavitelství

Datum zadání bakalářské práce: **20. prosince 2016**

Termín odevzdání bakalářské práce: **26. května 2017**


doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.
děkan

L.S.


doc. Ing. Vladimír Doležel, CSc.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 3. ledna 2017

Příloha zadání bakalářské práce

Seznam odborné literatury:

ACI Manual of Concrete Practice 2005, Part 6, Measurements of Fibre Reinforced Concrete-ACI 544.2R-89, 2005.

BAREŠ, Richard A. Kompozitní materiály. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury. Redakce stavební literatury. Typové číslo L17-B3-IV-31/72231, 1988.

ČSN EN 206. Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.

ČSN P 73 2404. Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda - Doplnující informace. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.

ČSN P 73 2450. Vláknobeton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.

ČSN P 73 2451. Vláknobeton - Zkoušení čerstvého vláknobetonu. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.

ČSN P 73 2452. Vláknobeton - Zkoušení ztvrdlého vláknobetonu. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.

KRÁTKÝ, Jiří, Karel TRTÍK a Jan VODIČKA. Drátkobetonové konstrukce. Praha: ČKAIT, 1999. ISBN 80-86364-00-3.

MEHTA, P. Kumar a Paulo J. M. MONTEIRO. Concrete: microstructure, properties, and materials. 4th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2014. ISBN 978-0-07-179787-0; MHID 0-07-179787-4.

PYTLÍK, Petr. Technologie betonu. 2. vyd. Brno: VUTIUM, 2000. ISBN 80-214-1647-5.

Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací: Kapitola 18: Betonové konstrukce a mosty. Praha: Ministerstvo dopravy: Odbor pozemních komunikací, 2016.

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny i informace, které jsem v práci využil, jsou řádně citovány.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

Tato bakalářská práce byla realizována s využitím technologií Výukového a výzkumného centra v dopravě.

V Pardubicích dne 25. 5. 2018

Filip Kosinka

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat především vedoucímu své bakalářské práce panu Ing. Vladimíru Suchánkovi, za odborné vedení, za věcné připomínky a rady při zpracování této bakalářské práce. Mé poděkování patří též panu Ing. Pavlu Reitermanovi z ČVUT fakulty stavební za kompletní zhotovení zkoušky pevnosti v tahu za ohybu. Závěrem bych chtěl poděkovat studentům Matějovi Lyerovi a Janu Fadrhonsovi za pomoc v experimentální části.

ANOTACE

Bakalářská práce je věnována teorii a zkoušení drátkobetonu destruktivními metodami. Ke stanovení pevnostních charakteristik drátkobetonu byly zvoleny zkoušky: pevnost v tlaku a pevnost v tahu za ohybu, kterou se stanoví hodnoty reziduální pevnosti v tahu za ohybu. Zkoušení bylo prováděno na betonech s různými délkami drátků stejného typu. Získané výsledky jednotlivých záměsí jsou mezi sebou porovnány.

KLÍČOVÁ SLOVA

Zbytková pevnost, pevnost v tahu za ohybu, vláknobeton, drátkobeton, ocelové vlákno, záměs

TITLE

Steel fibre reinforced concrete - comparison of influence of the steel fibers length on the strength characteristics.

ANNOTATION

Bachelor thesis is devoted to the theory and testing of steel fibre reinforced concrete using destructive methods. In order to determine the strength characteristics of steel fibre reinforced concrete, tests were chosen: compressive strength and flexural tensile strength to determine the residual flexural tensile strength values. Testing was carried out on concrete with different lengths of steel fibers of the same type. The results obtained from each of the batches are compared each other.

KEYWORDS

Residual, flexural tensile strength, fibre reinforced concrete, steel fibre reinforced concrete, steel fibre, batch

Obsah

ÚVOD	13
CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	14
TEORETICKÁ ČÁST.....	15
1. Teorie vláknobetonu.....	15
1.1. Historie	15
1.2. Současnost.....	16
1.2.1. Základní vlastnosti vláknobetonu.....	16
1.2.2. Drátkobeton.....	17
1.2.2.1. Všeobecné vlastnosti drátkobetonu.....	17
1.2.2.2. Složky čerstvého drátkobetonu	19
1.2.2.3. Výroba a technologie provádění drátkobetonu	21
1.2.2.4. Pevnostní zkoušky drátkobetonu.....	22
1.3. Uplatnění drátkobetonu v budoucnu	25
2. Ocelová vlákna.....	26
2.1. Základní rozdělení ocelových vláken.....	26
2.2. Požadavky na ocelová vlákna.....	27
2.3. Koncentrace a rovnoměrnost rozptýlení ocelových vláken	28
2.4. Ocelová vlákna předních výrobců.....	28
2.4.1. ArcelorMittal a.s.....	29
2.4.2. Bekaert a.s.	30
2.5. Vliv délky drátků na pevnostní charakteristiky.....	33
2.5.1. Délka a tuhost ocelových vláken.....	33
2.5.2. Měření pevnosti v tahu za ohybu	33
2.5.3. Měření pevnosti v tahu za ohybu – zbytková pevnost	37
2.5.3.1. Tříbodové zkoušky ke stanovení zbytkové pevnosti v tahu za ohybu	37
2.5.3.2. Čtyřbodové zkoušky ke stanovení zbytkové pevnosti v tahu za ohybu.....	43
2.5.3.3. Porovnání zkoušek ke stanovení zbytkové pevnosti v tahu za ohybu.....	44
EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	46
3. Definice záměsí betonu	46
3.1. Přehled a zpracování vyrobených záměsí	47
3.2. Výroba vlastních experimentálních těles	49
4. Zkoušení čerstvého betonu.....	50
4.1. Zkouška sednutím	50
4.1.1. Vyhodnocení zkoušky sednutím	50

4.2.	Zkouška rozlíváním	51
4.2.1.	Vyhodnocení zkoušky rozlíváním	52
4.3.	Objemová hmotnost čerstvého betonu	52
4.3.1.	Vyhodnocení objemové hmotnosti čerstvého betonu	53
4.4.	Obsah vzduchu	54
4.4.1.	Vyhodnocení obsahu vzduchu	55
5.	Zkoušky ztvrdlého betonu	56
5.1.	Objemová hmotnost ztvrdlého betonu	56
5.1.1.	Vyhodnocení objemové hmotnosti ztvrdlého betonu.....	57
5.2.	Pevnost v tlaku	58
5.2.1.	Vyhodnocení zkoušky pevnost v tlaku.....	58
5.3.	Pevnost v tahu za ohybu – zbytková pevnost.....	60
5.3.1.	Zkouška pevnosti v tahu za ohybu pro zkušební tělesa Z35	62
5.3.2.	Zkouška pevnosti v tahu za ohybu pro zkušební tělesa Z50	65
5.3.3.	Zkouška pevnosti v tahu za ohybu pro zkušební tělesa Z60	67
5.3.4.	Zkouška pevnost v tahu za ohybu -porovnání (Z35, Z50 a Z60).....	70
ZÁVĚR.....		72
CITACE		74
DOKLADOVÁ ČÁST		78
Obsah dokladové části:		78

Seznam obrázků

Obrázek 1 Ocelová vlákna používané do betonu	26
Obrázek 2 Drátky do betonu [43]	27
Obrázek 3 Zvlněná vlákna TABIX [17]	29
Obrázek 4 Ocelová vlákna HE [17]	29
Obrázek 5 Rovná vlákna s plochými konci [17]	30
Obrázek 6 HFE, vlákna s koncovými plochými ohyby [17]	30
Obrázek 7 Ocelové vlákno Dramix 5D [30]	31
Obrázek 8 Ocelové vlákno Dramix 4D od firmy Bekaert a.s.[30]	31
Obrázek 9 Vlákno s koncovými ohyby, Dramix 3D [30]	32
Obrázek 10 Uspořádání zkoušky pevnosti v tahu za ohybu [6]	34
Obrázek 11 Uspořádání zatěžování zkušebního tělesa tříbodovým ohybem [34]	36
Obrázek 12 Tříbodové zatěžování trámů se zářezem [8]	38
Obrázek 13 Typické uspořádání trámce při měření rozevření trhliny (CMOD) [10]	39
Obrázek 14 Typické uspořádání trámce při měření průhybu [10]	40
Obrázek 15 Čtyřbodové zatěžování trámce [45]	43
Obrázek 16 Referenční beton C 25/30 odebraný z betonárny Cemex	46
Obrázek 17 Požadovaná hmotnost ocelových vláken Dramix 3D 55/60 BL	48
Obrázek 18 Zkušební tělesa uložena ve vodní lázni po dobu 28 dní	49
Obrázek 19 Vyrobená zkušební tělesa 150 mm x 150 mm x 550 mm	49
Obrázek 20 Zkouška rozlitím - záměs Z60	52
Obrázek 21 Objemová hmotnost – Záměs Z0	53
Obrázek 22 Obsah vzduchu záměsi Z0	55
Obrázek 23 Stanovení hmotnosti vzorku 5/60	56
Obrázek 24 Měření skutečných rozměrů tělesa 1/60 pomocí posuvného měřítka	56
Obrázek 25 Monitor zkušební lisu při maximálním zatížení tělesa 4/35	58
Obrázek 26 Zkouška pevnost v tlaku u tělesa 2/50	60
Obrázek 27 Způsob zatížení zkušebního tělesa, modifikovaná zkouška podle [10]	61
Obrázek 28 Zkouška tříbodovým ohybem pomocí zkušebního stroje ZUZ 200	61
Obrázek 29 Zaznamenávání dat pomocí měřicí ústředny Dewetron + DEWE soft	62
Obrázek 30 Měření reziduálních pevností	65

Seznam tabulek

Tabulka 1 Charakteristika drátkobetonu podle jeho zaručené krychelné pevnosti v tlaku R_{fg} [11].....	23
Tabulka 2 Charakteristika drátkobetonu podle jeho zaručené pevnosti v příčném tahu R_{ftg} a ekvivalentní pevnosti v tahu po vzniku trhliny R_{fteg} [11]	24
Tabulka 3 Porovnání vlastností ocelových vláken se zahnutými konci	27
Tabulka 4 Vztah mezi CMOD a δ [10].....	41
Tabulka 5 Porovnání odlišnosti čtyřbodových zkoušek [45]	45
Tabulka 6 Porovnání vlastností použitých ocelových vláken stejného typu	48
Tabulka 7 Destruktivní zkoušky a počty těles	49
Tabulka 8 Zkouška sednutím.....	50
Tabulka 9 Zkouška rozlitím.....	51
Tabulka 10 Objemová hmotnost jednotlivých záměsí.....	53
Tabulka 11 Obsah vzduchu v jednotlivých záměsí	54
Tabulka 12 Vlastnosti jednotlivých zkušebních těles.....	57
Tabulka 13 Naměřené hodnoty jednotlivých těles	59
Tabulka 14 Rozměry měřených vzorků Z35	62
Tabulka 15 Naměřené hodnoty zatížení vzorků Z35.....	63
Tabulka 16 Pevnost v tahu za ohybu (Z35)	64
Tabulka 17 Rozměry měřených vzorků Z50	65
Tabulka 18 Naměřené hodnoty Z50	66
Tabulka 19 Pevnost v tahu za ohybu (Z50)	67
Tabulka 20 Rozměry měřených vzorků Z60	68
Tabulka 21 Naměřené hodnoty Z60	69
Tabulka 22 Pevnost v tahu za ohybu (Z60)	69
Tabulka 23 Přehled pevnosti v tlaku (Z35, Z50 a Z60).....	71

Seznam grafů

Graf 1 Pracovní diagram drátkobetonu (F) a prostého betonu (B) v tlaku [11]	18
Graf 2 Pracovní diagram drátkobetonu (F) a prostého betonu (B) v tahu [11]	18
Graf 3 Porovnání ocelových vláken Dramix [30].....	32
Graf 4 Grafy závislosti CMOD na zatížení F_L [10]	42
Graf 5 Závislost CMOD na zatížení a F_j ($j = 1, 2, 3, 4$) [10].....	43
Graf 6 Závislost průhybu na zatížení [18]	44
Graf 7 Zkouška sednutím jednotlivých záměsí	51
Graf 8 Zkouška rozlitím čerstvého vláknobetonu	52
Graf 9 Objemová hmotnost čerstvého betonu v jednotlivých záměsí	54
Graf 10 Zkouška obsah vzduchu v čerstvém betonu.....	55
Graf 11 Objemová hmotnost jednotlivých záměsí	57
Graf 12 Krychelná pevnost v tlaku	59
Graf 13 Pevnost v tlaku jednotlivých zkušebních těles	60
Graf 14 Průměrný diagram trámů Z35.....	63
Graf 15 Průměrný a charakteristický diagram odolnosti Z35	64
Graf 16 Průměrný diagram trámů Z50.....	66
Graf 17 Průměrný a charakteristický diagram Z50	66
Graf 18 Průměrný diagram trámů Z60.....	68
Graf 19 Průměrný a charakteristický diagram Z60	69
Graf 20 Porovnání průměrných hodnot záměsí Z35, Z50 a Z60	70
Graf 21 Pevnost v tahu za ohybu (Z35, Z50 a Z60)	71

ÚVOD

Tématem této bakalářské práce je problematika drátkobetonu se zaměřením na pevnostní charakteristiky.

Drátkobeton lze charakterizovat jako vyztužený kompozit ocelovými vlákny. Vlastnost kompozitu závisí na rozložení ocelových vláken a na jejich vzájemné interakci s cementovou matricí. Rozptýlená vlákna v matrici a tudíž nepravidelná struktura matrice je specifická pro výpočtové teoretické modely. Skutečné vlastnosti kompozitu je nutné stanovit z výsledků experimentálních zkoušek. Zkoušky, které více poodhalí vlastnosti kompozitu, mohou být destruktivní nebo nedestruktivní.

Práce byla rozdělena do dvou základních částí. Část první, teoretická, se zabývá seznámením se s teorií drátkobetonu a snaží se zachytit historický, současný a budoucí stav poznání v této oblasti.

Druhá část, experimentální, se zabývá destruktivním zkoušením jednotlivých zkušebních těles s odlišnou délkou ocelových vláken stejného typu a jejich následným porovnáním. Pro destruktivní zkoušení bylo zvoleno měření pevnosti v tlaku a pevnosti v tahu za ohybu. Pomocí zkušební metody pevnosti v tahu za ohybu byly stanoveny reziduální hodnoty pevnosti v tahu za ohybu, které jsou v experimentální části stěžejní. Provedené experimenty si kladou za cíl porovnat vliv délky drátků na pevnostní charakteristiky jednotlivých záměsí.

Drátkobeton se neustále rozšiřují a zdokonalují, a proto z tohoto důvodu je nutné zajistit v experimentální části dostatečnou vypovídající schopnost o reálném stavu drátkobetonu v konstrukci.

CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cíle bakalářské práce jsou následující:

- Zachytit historický, současný a budoucí stav poznání v oblasti drátkobetonu.
- Shrnout a popsat všeobecné vlastnosti drátkobetonu.
- Popsat technologii provádění drátkobetonových konstrukcí.
- Shrnout zkoušky potřebné ke stanovení pevnosti drátkobetonu podle norem.
- Vyjádřit současné poznání vlivu délky drátků na pevnostní charakteristiky drátkobetonu.
- Zkouškami, pevnost v tlaku a pevnost v tahu za ohybu, kterou se stanoví především zbytková pevnost v tahu za ohybu, porovnat vliv délky drátků na pevnostní charakteristiky na zhotovených zkušebních tělesech.
- Popsat závěrečné vyhodnocení zkoušek a jejich ohlas do praxe.

TEORETICKÁ ČÁST

1. Teorie vláknobetonu

1.1. Historie

Přimíšení vláken za účelem snížení přirozené a nežádoucí křehkosti běžné stavební hmoty je dávný vynález. Myšlenka vyztužit beton vlákny není nová, už ve starověké civilizaci se používala slámová vlákna, aby se vytvořil kompozit se zvýšenou houževnatostí a pevností. Konkrétně staří Babyloňané přišli na to, že je lepší stavět ze sušených cihel, v kterých byla do měkkého jílu přimíšena přírodní vlákna, např. sláma. Vláknité kompozity tohoto druhu jsou v použití po tisíciletí a v některých částech světa jsou dodnes. V období velkého rozvoje portlandského cementu se beton začal velmi uplatňovat a využívat. Inženýři museli překonat hlavní nedostatky betonu, což byla malá pevnost v tahu a křehkost. Počátkem 20. století lze najít ve stavební praxi první zdařilé uplatnění vláken v betonu pro snížení jeho křehkosti.

Začátkem šedesátých let 20. století nastalo období velkého zájmu o vyztužování obyčejného betonu vlákny. Objevily se jako první ocelová a skelná vlákna, které smíšením s kompozitem vykazovaly lepší vlastnosti než samotný kompozit bez vláken. Na přelomu devadesátých let 20. století se začala výrobou a rozvojem technologií vláken zabírat spousta firem, především ze zahraničí. Do betonu byla pokusně přidávána nejrůznější vlákna, ve stavební praxi se však našly tři nejčastěji používané typy: ocelová, skelná a polypropylenová vlákna. Vývoj nových vláken vykazovaly optimistické předpovědi. Mechanické vlastnosti kompozitů na základě betonu s vlákny dosahovaly vyšších hodnot než u běžných stavebních materiálů. V dnešní době je trh s vlákny velmi rozmanitý a k dispozici je celé spektrum různých vláken.

Brzdou v dalším rozvoji použití drátkobetonu je jeho cena a její správné posouzení. Pro budoucnost drátkobetonu jsou zásadní jeho užité vlastnosti a použitelnost tohoto materiálu. V jiném případě bude nárůst výroby drátkobetonu malý [15].

1.2. Současnost

Oblast kompozitů, kombinující matici na základě betonu a nejrůznějších typů vláken, se za posledních několik desetiletí rozšířila. Ovšem k očekávanému a opravdu širokému uplatnění a nahrazení stávajících stavebních hmot však do dnes nedošlo. Uplatnění a využití, které se očekávalo od vláknobetonu, je prozatím spíše podprůměrné. Příčinou je celá řada faktorů, které se vzájemně ovlivňují v rozvoji a větším uplatnění vláknobetonu. V zahraničí má vláknobeton letitou tradici.

1.2.1. Základní vlastnosti vláknobetonu

Vláknobeton, obecně znám jako FRC (Fibre Reinforced Concrete), je označení pro beton s rozptýlenou výztuží ve tvaru vláken, které v maltě zachycují lokální tahové účinky, způsobené prostorovou napjatostí v místech mezi zrny hrubého kameniva. Výztuž tohoto charakteru nazýváme tahovou rozptýlenou výztuží. V praxi se však můžeme setkat i s tlakovou rozptýlenou výztuží, která nemá ovšem charakter vláken. Používají se krátké tuhé výztužné prvky, které si kladou za cíl zmenšit objemové změny v betonu tím, že zajistí vzájemnou polohu hrubých zrn kameniva [11]. Hlavními důvody použití rozptýlené výztuže ve tvaru vláken v betonu jsou některé výhodné vlastnosti vzniklého kompozitního materiálu. Vyšší pevnost i houževnatost ve srovnání s prostou maticí je jedním z kladných vlastností kompozitu. Očekávalo se, že vláknobeton bude v pevnosti srovnatelný s klasickým železobetonem a zároveň bude mnohem houževnatější. Výzkum však ukázal, že především v pevnosti v tahu železobeton nelze nahradit vláknobetonem. Vláknobeton na rozdíl od prosté matrice nabývá vyšších hodnot v houževnatosti a tím i odolnosti při namáhání rázy, explozí a jinými formami dynamického zatížení. Dalším z pozitivních vlastností vláknobetonového kompozitu je výroba stavebních prvků v tvarech, které by nebylo možné vyrobit z klasického železobetonu např. (tenkostěnné stavební prvky vedoucí ke snížení celkové hmotnosti konstrukce a k následným úsporám na dopravě a montáži.). Výhodou vláknobetonu je jeho vyšší trvanlivost. Při překročení pevnosti nebo limitu přetvoření matrice nedochází k tvorbě velkých trhlin, ale místo toho se tvoří množství velmi úzkých trhlinek, omezujících průnik korozivních látek do betonu. Tím lze konstatovat, že vláknobeton má vysokou odolnost proti rozvoji mikrotrhlin. Vláknobeton tím zvyšuje celkovou životnost dané konstrukce [15, 2].

Fyzikálně mechanické vlastnosti vláknobetonu jsou dány především materiálem, koncentrací a tvarem vláken. Vhodné složení čerstvého betonu, do níž se vlákna přidávají, je také důležitou složkou kompozitu [15].

Pro rozptýlenou výztuž se v České republice používají vlákna různých materiálů, mezi nejčastější patří ocelová, skleněná, syntetická a minerální vlákna. Vlákna jsou v ČR běžně dosažitelná na trhu stavebních materiálů a některá z nich jsou v ČR dokonce i vyráběna, a to zejména vlákna ocelová a polymerová. Výrobou ocelových vláken se v tuzemsku zabývají například firmy KrampeHarex CZ s.r.o., TRITREG – Třinec s.r.o. a DOPS s.r.o. V zahraničí mezi význačné výrobce ocelových vláken patří například firmy ArcelorMittal a.s. a Bekaert a.s. Zřejmé je, že poptávka po vláknech do betonu roste.

1.2.2. Drátkobeton

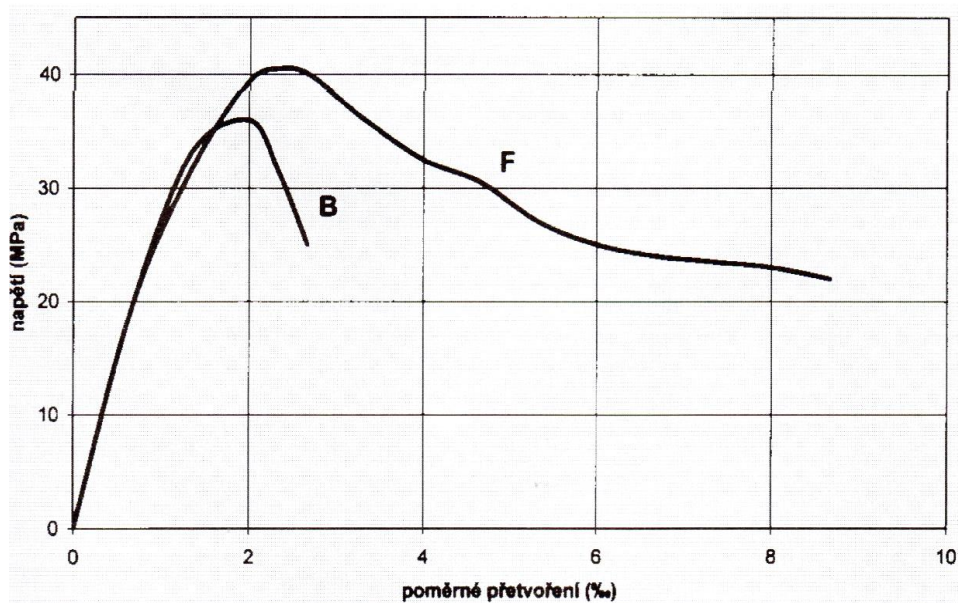
Beton, doplněný o rozptýlenou výztuž ve formě ocelových vláken (drátků), nazýváme drátkobeton. Vlákna ocelová jsou nejvíce rozšířena ve stavební praxi vláknobetonu. Především díky zahraničním technologiím, v současné době, v České republice dosáhla výroba ocelových vláken velkého rozmachu. Dnes není na trhu typ ocelového vlákna, který by neměl potřebné vlastnosti ke správnému použití v betonovém kompozitu [15].

1.2.2.1. Všeobecné vlastnosti drátkobetonu

Všeobecné vlastnosti drátkobetonu nejlépe vystihne porovnání s prostým betonem a to je popisováno v této kapitole.

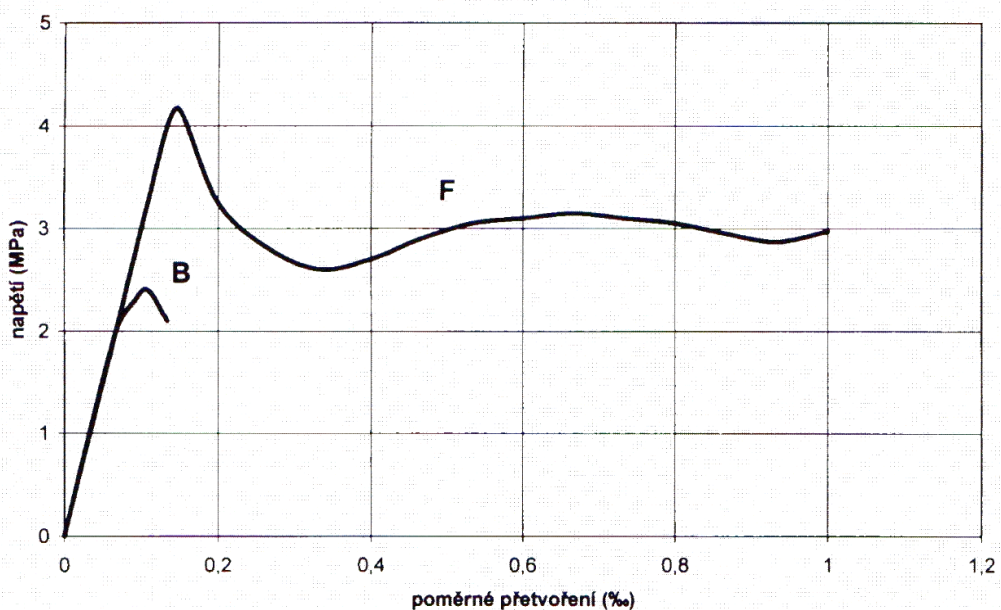
Pracovní diagram drátkobetonu je ovlivněn rozptýlenou výztuží především v diagramu tahovém, ale také i tlakovém. S ohledem na to, lze pohlížet na drátkobeton jako na velmi kvalitativně houževnatý materiál oproti prostému betonem. S tím souvisí velmi dobrá odolnost drátkobetonu proti rázům a tím je jeho využitelnost používána například u dynamicky namáhaných konstrukcí.

V grafu 1 je pracovní diagram, kde je znázorněn rozdíl mezi prostým betonem (B) a drátkobetonem (F) v tlaku. Obecně vláknobeton se vyznačují velkou schopností plastického přetváření po dosažení maximálního napětí (pevnosti v tlaku). Prostý beton je bez jakýchkoliv výztuží a používá se především na prvky namáhané pouze tlakem. Prostý beton je tedy velmi náchylný na trhliny vzniklé účinkem tahových napětí a v porovnání s drátkobetonem dosahuje zhruba trojnásobných hodnot mezního stlačení [11].



Graf 1 Pracovní diagram drátkobetonu (F) a prostého betonu (B) v tlaku [11]

Rozdíl mezi prostým betonem a drátkobetonem je ještě výraznější v pracovním diagramu tahovém (viz graf 2). Pracovní diagram v tahu nám ukazuje dvě skutečnosti. První skutečnost je, že drátkobeton dosahuje vyšší pevnosti v tahu než beton prostý a to mnohem viditelněji než v tlaku. Druhou skutečností je, že drátkobeton je i po vzniku viditelných trhlin houževnatý materiál, který je schopen přenášet reziduální tahová napětí. Velikost přenášení tahových napětí u drátkobetonu, je především dána množstvím a tvarem drátků, přičemž mezní protažení drátkobetonu jsou až desetinásobně větší než u betonu prostého [11].



Graf 2 Pracovní diagram drátkobetonu (F) a prostého betonu (B) v tahu [11]

Prostý beton (B) má velmi malou pevnost v tahu. Konstrukce z obyčejného betonu tedy nelze využívat v místech, kde by byla vystavována tahovému napětí. Norma ČSN 73 1201 [40], stejně jako většina zahraničních norem, nedovoluje používat prosté betonové prvky jako tažené. Křehký charakter prostého betonu může být do určité míry eliminován přiměřeným množstvím rozptýlených ocelových vláken [11].

1.2.2.2. Složky čerstvého drátkobetonu

Složení drátkobetonu lze stanovit obdobnými postupy jako návrh složení prostého betonu a to včetně přísad a příměsí. Charakteristické vlastnosti drátkobetonu především tahové pevnosti lze ovlivnit druhem použitého materiálu nebo koncentrací rozptýlené výztuže. Při návrhu je nutno zohlednit skutečnost, že složení drátkobetonu se liší od prostého betonu přidáním vláken a že druh, tvar, délka ocelových vláken a objemová koncentrace mohou v některých případech ovlivnit dávky složek na jednotku objemu betonu, stanovené normou pro výrobu betonu ČSN EN 206 +A1 [2]. Potom je potřeba při návrhu složení drátkobetonu upravit objemy složek (kamenivo, cement, příměsí) aby byl vyloučen vliv nakypření směsi kameniva náhodně rozptýlenými vlákny. Ocelové vlákna ovlivňují stejně jako složení i celou technologii výroby drátkobetonu [4]. Čerstvý beton s rozptýlenou výztuží musí být navržen, aby se z ní dal výrobní technologií vyrobit drátkobeton, který bude splňovat požadovanou třídu. Důležité je sledování složek čerstvého drátkobetonu, především co do spotřeby materiálu (cementu, drátků, příměsí a přísad).

Hmotnostní koncentrace čerstvého drátkobetonu se udává zejména v kg.m^{-3} . Dále se doporučuje, aby vodní součinitel nepřevýšil hodnotu 0,5. Hmotnostní koncentrace cementu nesmí nabývat nižších hodnot než 240 kg.m^{-3} z důvodu zajištění trvanlivosti drátkobetonu. Hmotnostní koncentrace ocelových vláken se navrhuje v rozmezí od 20 kg.m^{-3} do 100 kg.m^{-3} [11].

- Cement

K výrobě vláknobetonu lze použít shodný cement, které by byl použit při výrobě konstrukce z klasicky vyztuženého nebo obyčejného betonu ve shodných výrobních podmínkách a prostředí, ve kterém bude konstrukce sloužit. Rozhodujícími okolnostmi určujícími typ použitého cementu jsou tudíž požadavky na výši požadované tlakové pevnosti, rychlost hydratace, agresivitu prostředí a samozřejmě také cenu cementu [41].

- Voda

Požadavky na kvalitu záměsové vody jsou při výrobě drátkobetonu shodné s požadavky na vodu používanou při výrobě prostého betonu. Při výrobě betonu se používají následující zdroje vody: pitná, podzemní, povrchová, odpadní průmyslová či mořská voda. Pro výrobu betonu není vhodná voda splašková. Při výrobě drátkobetonu vodní součinitel vyhovuje nejlépe poměru kolem 0,4 – 0,5, čímž se zajišťuje, že se drátky nebudou oddělovat ani shlukovat.

- Kamenivo

Pokud se týká požadavků na kamenivo, lze rovněž konstatovat, že pro výrobu drátkobetonu vyhovují kameniva, kterých se používá pro výrobu betonů obyčejných.

V návaznosti na výše uvedené okolnosti, je však třeba uvést, že zejména v případech betonu s ocelovými vlákny s dostatečnou ohybovou tuhostí, je zásadní otázkou zajištění požadavku hutnosti výsledného betonu s vlákny. Jak již bylo poznamenáno, že tuto skutečnost výrazně ovlivňuje dávka vláken a podíl hrubé frakce kameniva (včetně parametru velikosti největšího zrna) na straně jedné a podíl jemných složek včetně podílu pojiva na straně druhé. Lákavá cesta zcela eliminující podíl hrubého kameniva a tudíž výroba jemnozrnných drátkobetonu není cestou, která by měla být v případě konstrukčních drátkobetonu použita. Absence hrubé frakce kameniva obvykle zvyšuje cenu betonu, ale snižuje jeho pevnost [42].

- Příměsi

V oblasti navrhování a výroby drátkobetonu se setkáváme s použitím příměsí častěji, nežli je tomu u betonů obyčejných. Pokud se týká chemicky aktivních příměsí, není v podmínkách jejich použití v porovnání s betony bez vláken žádný podstatný rozdíl. Při návrhu složení drátkobetonu se tudíž lze setkat s příměsí, které jsou k dispozici. Rozeznáváme dva typy příměsí inertní a latentně hydraulické. Inertní (filler, pigmenty) se nezúčastňují procesu hydratace, kdežto latentně hydraulické (popílek, křemičité úlety) mají skrytou schopnost se hydratace zúčastnit. Účelem je zlepšení některých vlastností čerstvého nebo ztvrdlého betonu [43].

- Přísady

Za téměř standardní součást drátkobetonu s požadavky vyšších pevnostních charakteristik lze považovat přísady ovlivňující zpracovatelnost drátkobetonové směsi. Jejich přítomnost je vyvolávána potřebou vyššího obsahu vláken. Ostatní typy přísad se používají jako u betonů

obyčejných a to je v závislosti na konkrétních podmínkách, ve kterých jsou zhotovovány (například přísady ovlivňující průběh hydratace), eventuálních dalších požadavků na vlastnosti betonu (například provzdušňující přísady) a konečně i v důsledku specifických technologických postupů zhotovení (např. urychlující přísady při použití technologie stříkaného betonu) [11].

- Rozptýlená výztuž

Rozptýlená výztuž je dosažena vlákny, která se vkládají do betonové směsi. Pro drátkobeton se používají ocelová vlákna, která mají různou povrchovou a tvarovou úpravu, pro lepší soudržnost s betonem. Důležitou součástí je přimíchávání drátků do betonu. Drátky by měly mít takovou ohybovou tuhost, aby měly stále co nejpřímější tvar a tím zamezily shluky drátků v betonové směsi [11].

1.2.2.3. Výroba a technologie provádění drátkobetonu

Výroba drátkobetonu

Při výrobě drátkobetonů se předpokládá vhodné technické vybavení výroben. Do tohoto vybavení spadá veškeré strojní zařízení, kterým se drátkobeton vyrábí, dopravuje, ukládá a hutní. Pro výrobu drátkobetonu jsou důležité následující úpravy:

- Vyřešení skladu a odběru drátků
- Dávkování a doprava drátků k míchacímu zařízení
- V případě, kde drátky vykazují možnost shluků z důvodu jejich tvaru, tak vyřešit jejich jednotlivé oddělování a následné rovnoměrné vkládání do míchacího zařízení
- Účinné hutnění a míchání drátkobetonové směsi

Technologie provádění drátkobetonových konstrukcí

- Klasická technologie

Klasická technologie není nic jiného než postupné ukládání drátkobetonové směsi do bednění. Velmi důležitou součástí je hutnění betonové směsi. Hutnění se provádí několika způsoby, například pomocí ručního ponorného vibrátoru.

- Technologie stříkaného drátkobetonu

Technologie stříkaného drátkobetonu rozlišuje dvě technologie nástřiku, tj. suchou a mokrou.

V případě suchého betonu se beton dopravuje hadicí od stříkacího stroje k trysce stlačeným vzduchem, kde se mísí s vodou a nanáší se na podkladní plochu. Velmi důležitou složkou je, aby stroj zajistil rovnoměrný materiálový proud k trysce a tím bylo zajištěno rovnoměrné nanášení na podkladní plochu. Údržba stroje a jeho příslušenství je nezbytná pro správný chod nástřiku. Vše je prováděno pod tlakem a tím je velmi důležité dokonalé těsnění.

Mokrý způsob nástřiku betonu. Základem této technologie je mokrá betonová směs, která je pomocí čerpadla a vzduchu dopravována na podkladní plochu. Stříkací tryska je pro mokrý způsob upravena a zároveň se k ní přidává urychlující přísada a stlačený vzduch. Nástřik za mokra vede obvykle k stejnoměrnějším fyzikálně mechanickým vlastnostem drátkobetonu [16].

1.2.2.4. Pevnostní zkoušky drátkobetonu

Třídění drátkobetonu a jeho pevnostní charakteristiky

Konstrukce z drátkobetonu musí být navržena, aby byla schopná k bezpečnému a požadovanému užívání. Důležitou součástí je, aby konstrukce byla vyhovující po celou dobu životnosti a tím odolávala všem zatížením a vlivům, které budou na konstrukci působit.

Drátkobeton patří mezi materiály, které při návrhu konstrukce musí prokazovat a kontrolovat pevnost v tlaku a tahu, popřípadě doplněné o ekvivalentní pevnost v tahu po vzniku trhliny, dle směrnice [11]. Rozeznáváme tři krychelné pevnosti v tlaku a tři pevnosti v příčném tahu. Dále se uvádí základní modul pružnosti betonu E_{fo} .

- Zaručená pevnost v tlaku R_{fg} , Zaručená pevnost v tahu R_{ftg}
- Normová pevnost v tlaku R_{fn} , Normová pevnost v tahu R_{ftn} ($R_{ften}=R_{fteg}$)
- Výpočtová pevnost v tlaku R_{fd} , Výpočtová pevnost v tahu R_{ftd} (R_{fted})

Charakteristika a zařídění drátkobetonu lze určit z jeho zaručené krychelné pevnosti v tlaku R_{fg} a zaručené pevnosti v příčném tahu R_{ftg} , dle směrnice [11]. U drátkobetonů lze pevnostní zařídění rozšířit ještě o zaručenou ekvivalentní pevnost v tahu po vzniku trhlin R_{ftn} ($R_{ften}=R_{fteg}$), odvozenou z ekvivalentní únosnosti F_e trámů namáhaných na ohyb i po vzniku trhliny. Třidu drátkobetonu lze označit dvěma způsoby:

1. $F R_{fg} / R_{ftg}$
2. $F R_{fg} / R_{ftg} / R_{fteg}$

Drátkobeton charakterizujeme a třídíme podle zaručené krychelné pevnosti v tlaku, zaručené pevnosti v příčném tahu a podle ekvivalentní pevnosti v tahu po vzniku trhlin. Nelze

však zařadit drátkobeton jen podle krychelné pevnosti, neboť by to znamenalo nevyužití vyšší pevnosti v tahu vlivem ocelových vláken. Tabulky 1, 2 charakterizují drátkobeton podle jeho krychelné pevnosti v tlaku R_{fg} , podle jeho pevnosti v příčném tahu R_{ftg} a případné ekvivalentní pevnosti v tahu po vzniku trhliny R_{fteg} . Pro pevnostní třídu drátkobetonu se tedy doporučuje vycházet z krychelné pevnosti R_{fg} v tlaku a pevnosti v příčném tahu R_{ftg} např. (F 30/3,30) znamená, že zkoušený drátkobeton má krychelnou pevnost v tlaku 30 MPa a zaručená pevnost v příčném tahu 3,30 MPa což odpovídá zhruba prostému betonu třídy B 70. Pokud je drátkobeton rozšířen o ekvivalentní pevnost v tahu po vzniku trhlin, tak je označován např. (F 30/3,30/2,05). Ekvivalentní pevnost v tahu po vzniku trhlin je vyjádřena hodnotou 2,05 MPa [11].

Tato zařídění jsou důležité pro následné normové a výpočtové pevnosti v tahu a tlaku, které se určí pomocí směrnice [11].

Tabulka 1 Charakteristika drátkobetonu podle jeho zaručené krychelné pevnosti v tlaku R_{fg} [11]

Řádek	Pevnost v tlaku			Základní Modul Pružnosti E_{fp}
	Zaručená R_{fg}	Normová R_{fn}	Výpočtová R_{fd}	
	(MPa)			
1	5,0	3,5	2,8	13,0
2	7,5	5,5	4,5	16,0
3	10,0	7,5	6,0	18,0
4	12,5	9,5	7,5	21,0
5	15,0	11,0	8,5	23,0
6	20,0	15,0	11,5	27,0
7	25,0	18,5	14,5	30,0
8	30,0	22,0	17,0	32,5
9	35,0	25,5	19,5	34,5
10	40,0	29,0	22,0	36,0
11	45,0	32,0	25,0	37,5
12	50,0	36,0	27,5	39,0
13	55,0	39,5	30,0	39,5
14	60,0	43,0	33,0	40,0

Tabulka 2 Charakteristika drátkobetonu podle jeho zaručené pevnosti v příčném tahu R_{ftg} a ekvivalentní pevnosti v tahu po vzniku trhliny R_{fteg} [11]

Řádek	Pevnost v tlaku (ekvivalentní pevnost v tahu)		
	Zaručená R_{ftg}	Normová R_{ftn} ($R_{ften} = R_{fteg}$)	Výpočtová R_{ftd} (R_{fted})
	(MPa)		
1	0,85	0,70	0,48
2	1,00	0,85	0,57
3	1,15	1,00	0,66
4	1,35	1,15	0,75
5	1,65	1,40	0,90
6	1,90	1,60	1,05
7	2,10	1,80	1,20
8	2,30	1,95	1,30
9	2,50	2,10	1,40
10	2,60	2,20	1,45
11	2,70	2,30	1,55
12	2,80	2,40	1,60
13	2,90	2,50	1,65
14	3,10	2,60	1,75
15	3,20	2,70	1,80
16	3,30	2,80	1,85
17	3,40	2,90	1,95
18	3,50	3,00	2,00
19	3,60	3,10	2,05
20	3,80	3,20	2,15
21	3,90	3,30	2,20
22	4,00	3,40	2,25
23	4,10	3,50	2,35
24	4,20	3,60	2,40
25	4,40	3,70	2,45
26	4,50	3,80	2,55

Zkoušky drátkobetonu

- Průkazní a kontrolní zkoušky

Při průkazních zkouškách drátkobetonové směsi se postupuje stejně, jako je popsáno u betonu prostého v ČSN EN 206 + A1 [2] s rozdílem, že u drátkobetonových směsí se kontroluje rovnoměrnost rozptýlení drátků ve směsi, což je nejdůležitější vlastností. Požadavkem je zamezení pevně spojených shluků vláken ve směsi. Při průkazních zkouškách drátkobetonu se obvykle ověřuje krychelná pevnost, pevnost v tahu, zbytková pevnost v tahu za ohybu

a objemová hmotnost. Při kontrolních zkouškách se zpravidla kontroluje krychelná pevnost drátkobetonu, pevnost v příčném tahu a objemové hmotnosti drátkobetonu.

Pevnost v tlaku se doporučuje zkoušet na krychlích o délce hrany, která je dvojnásobkem délky ocelového vlákna. Rozměry zkušební vzorku jsou upravena, aby daný vzorek co nejvíce vystihoval drátkobeton v konkrétní konstrukci. Dnes se prakticky využívají krychle o délce hrany 150 mm.

Zkoušky v tahu se doporučují provádět dvěma způsoby:

- 1) Zkoušky v příčném tahu se doporučují provádět podle „ČSN EN 12390-6 Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 6“ [33] a to v případě, kde stačí určovat pevnost drátkobetonu při vzniku trhlin R_{ftg} . Výhodou této zkoušky je technologická jednoduchost, shoda geometrických tvarů s tělesem ze zkoušky tlakové, použitelnost pro všechna měření dnes vyráběných ocelových vláken a v neposlední řadě je výhodou, že lze provést orientační zkoušku, kde lze zjistit informativní hodnotu pevnosti v příčném tahu v rovině kolmé na rovinu zkušební tělesa [11].
- 2) Zkouška v případě, kdy je potřeba určit i ekvivalentní pevnost drátkobetonu po vzniku trhlin R_{ftg} . Zkouška pevnost v tahu za ohybu, při řízeném průhybu zkušebního trámku [11].

1.3. Uplatnění drátkobetonu v budoucnu

Drátkobeton je materiál, který má dnes už k dispozici velké spektrum drátků různých velikostí. Dnes není tedy překážkou nedostupnost vláken, ale překážkou je cena a legislativní podklady, jež potřebují ke své činnosti projektanti a odborníci, kteří mají hodnotit jeho jakost. Náklady na výrobu drátkobetonu jsou vyšší oproti běžnému betonu o cenu drátku a vkládání drátku do směsi. Otázkou zůstává, zda je využitelnost natolik výhodná, že nemalý nárůst ceny a přínos drátků ve směsi neodradí zákazníky v použitelnosti tohoto materiálu. Skutečnost, že se zvyšuje počet odborníků, kteří si uvědomují tuto nebezpečí v oblasti drátkobetonu, lze pohlížet na budoucnost tohoto materiálu s optimismem.

2. Ocelová vlákna

2.1. Základní rozdělení ocelových vláken

Ocelová vlákna se dělí do několika základních skupin a to podle tvaru, průřezu a podle druhu materiálu, z kterého jsou vlákna vyrobena. Základní skupina je tvořena vlákny s typickými kotvícími konci, nebo kotvením po celé délce vlákna. Tato vlákna jsou vyrobena z materiálu přesně definovaných vlastností.

Ocelová vlákna se dělí dle použitého základního materiálu (například: ocel, wolfram, měď) pro jejich výrobu do skupin: [44]

- Skupina I – za studena tažený drát
- Skupina II – vlákna stříhaná z plechu
- Skupina III – vlákna oddělovaná z taveniny
- Skupina IV – vlákna protahovaná z drátu taženého za studena
- Skupina V – vlákna frézovaná z ocelových bloků



Obrázek 1 Ocelová vlákna používaná do betonu

Dále se ocelová vlákna dělí dle tvaru na přímá a tvarovaná.

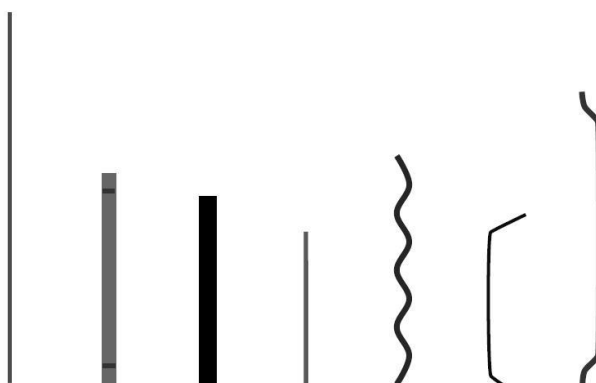
- Přímá (rovná) vlákna:
 - Charakteristická délka vláken je 6 – 60 mm, využitelnost je ovšem minimální.
- Tvarovaná vlákna:

- Vlákna se zahnutými konci (viz Tabulka 3)

Tabulka 3 Porovnání vlastností ocelových vláken se zahnutými konci

Druh vlákna	délka [mm]	poměr l/d [mm]	pevnost v tahu [Mpa]
Jeden koncový ohyb	35-60	47-67	1100 - 2000
Dva koncové ohyby	35 - 60	65-80	1450 - 1850
Tři koncové ohyby	60	65	2300

- Vlákna zvlněná – charakteristická délka je v rozmezí 30 – 60 mm
- Mikrovlákná – používají se pro trezorovou techniku, velká rázová odolnost
- Zploštěná vlákna – tloušťka od 0,15 – 0,41 mm a šířka 0,25 – 1,14 mm
- Ocelová vlákna kruhového průřezu se vyrábějí stříháním nebo sekáním drátu. Průměr drátku je v rozmezí 0,25 mm – 1,0 mm. [44]



Obrázek 2 Drátky do betonu [43]

2.2. Požadavky na ocelová vlákna

Ocelová vlákna musí vyhovit požadavkům stanovené podle „ČSN EN 14889-1: Vlákna do betonu – Část 1: Ocelová vlákna – Definice, specifikace a shoda“[9].

Použití technologie ocelových vláken v betonovém kompozitu přináší nejenom vyšší užitné hodnoty, ale i zcela odlišné mechanické vlastnosti betonu oproti betonu prostému či jinak vyztuženému a to jak v prvních hodinách tuhnutí směsi, tak i po vytvrdnutí, kde jsou již vlákna pevně zakotvena a je zaručena jejich maximální účinnost. Ocelové vlákna mají schopnost přenášet vyšší ohybové momenty než betony prosté a jejich statická účinnost se projevuje v celém profilu oproti klasickému vyztužení.

2.3. Koncentrace a rovnoměrnost rozptýlení ocelových vláken

Správné rozptýlení vláken nezáleží jen na soudržnosti. Všechny druhy vláken se při výrobě drátkobetonů potýkají se správným množstvím, koncentrací a jejich rovnoměrném rozptýlení a orientací. Ocelové drátky v běžných drátkobetonech obsahují 2 % z celkového objemu. Kratších a tím pádem lehčích drátků bude při stejné koncentraci několika násobně více. V současnosti je koncentrace drátků závislá na druhu použití. Například do strojně hlazených podlah se využívá koncentrace drátků od 20 kg.m^{-3} do 35 kg.m^{-3} , kdežto u prefabrikovaných prvků je koncentrace drátků od 40 kg.m^{-3} do 100 kg.m^{-3} .

Rozptýlená vlákna navíc závisí na orientaci vzhledem k směru hlavního napětí. U rozptýlené výztuže je jen malý počet vláken rovnoběžný s napětím nebo v mezích mále úhlové odchylky, docílit často předpokládané rovnoměrné trojrozměrné rozptýlení vláken je však možno jen teoreticky. V praktickém procesu výroby drátkobetonu se setkáváme s několika faktory, které ovlivňují rozptyl vláken. Tvar stavebního prvku, ukládání čerstvého drátkobetonu a zhutnění. Vlákna navíc mají tendenci se shlukovat a orientovat se do určité převládající orientace, což znamená, že v některém ze směrů jsou drátky četnější. V praxi vyrobený drátkobeton vykazuje ve většině případů velmi značnou anizotropii. Vlastnosti jsou závislé na orientaci vláken, které převládají a zároveň na směru zatížení. Největší přínos pevnosti kompozitu dávají vlákna, která jsou orientovaná jen s malou odchylkou od směru napětí. Naopak vlákna s vyšším úhlem nejvíce přispívají k houževnatosti kompozitu. Vlákna orientovaná kolmo na směr napětí působí negativně na pevnost kompozitu a to za předpokladu, že nemají přirozenou soudržnost s betonem. Pokud je orientace rozptýlené výztuže spolehlivá a kontrolovatelná, tak lze anizotropii považovat za vhodnou a využitelnou.

Ověření skutečného rozptýlení vláken v drátkobetonu je velmi obtížné, nákladné a v některých případech prakticky neproveditelné, což má za následek velmi problematické ověřování kvality výrobků z drátkobetonu [15].

2.4. Ocelová vlákna předních výrobců

Existuje mnoho druhu ocelových vláken, které se dnes vyrábějí. Výrobci produkují vlákna různých typů, jakosti a dalších parametrů.

Výrobou ocelových vláken se zabývá spousta společností. V této kapitole jsou ovšem podrobněji vypsány ocelové vlákna předních výrobců a to tedy Bekaert a.s. a ArcelorMittal a.s. ArcelorMittal je největším koncernem na světě zabývajícím se výrobou oceli. Tento gigant se zabývá výrobou čtyř druhů ocelových vláken, které jsou vyráběny tažením za studena. Drátky

se vyrábí s povrchovou či koncovou úpravou. V experimentální části byly právě použity tři typy ocelových vláken a to dva od ArcelorMittal konkrétně HE 75/35 a HE 1/50 a jeden od společnosti Bekaert, konkrétně Dramix 3D 55/60 BL.

2.4.1. ArcelorMittal a.s.

- TABIX, zvlněná vlákna



Obrázek 3 Zvlněná vlákna TABIX [17]

Zvlněná vlákna jsou navržena z hlediska amplitudy a délky vln, aby měla dostatečně vyhovující vlastnosti v betonu. Výhodou zvlněných vláken je velká odolnost proti vytažení z betonu nebo kontrola při smršťování. Díky těmto vlastnostem je TABIX vhodný pro průmyslové podlahy bez spár. Délka těchto drátků se vyrábí v rozmezí od 35 mm do 60 mm a jejich průměr je od 0,90 až 1,30 mm. Pevnost v tahu se pohybuje od 900 do 1450 Mpa [17].

- HE, vlákno s koncovými ohyby

Nejpopulárnější tvar ocelových vláken je s koncovými kotvicími ohyby. Tento druh vlákna je dnes už více jak 25 let na trhu. HE je velmi často používán především v aplikaci stříkaného betonu. Délka je v rozmezí od 35 mm do 60 mm, jejich průměr je 0,55 mm až 1,00 mm a pevnost drátků v tahu se pohybuje od 1100 MPa do 1900 MPa [17].



Obrázek 4 Ocelová vlákna HE [17]

- FE, rovná vlákna s plochými konci

Prostřednictvím procesu zploštění se konce zvětšují a tím se zvyšuje ukotvení vlákna v betonu. Dnes je stejně jako vlákno s koncovými ohyby nejvíce využíván v aplikaci stříkaného betonu. Toto vlákno by ovšem nemělo být používáno v aplikacích, kde je problémem použití konkrétního smršťování [17].



Obrázek 5 Rovná vlákna s plochými konci [17]

Tento sortiment je málo rozšířen. Vyrábí se pouze jeden druh v délce 35 mm a dosahuje pevnosti v tahu přibližně 1150 MPa [17].

- HFE, vlákna s koncovými plochými ohyby



Obrázek 6 HFE, vlákna s koncovými plochými ohyby [17]

Tato vlákna nejsou ovšem také prozatím rozšířena. Momentálně se vyrábí v jediné velikosti a to 60 mm dlouhé s průměrem drátku 0,90 mm a pevnosti v tahu 1100 MPa [17].

2.4.2. Bekaert a.s.

Společnost Bekaert a.s. dlouhou dobu vyráběla pouze jeden sortiment zaměřen na ocelová vlákna Dramix 3D, ale v poslední době rozšířili svůj sortiment o dvě série Dramix 4D a Dramix 5D. Pokud jde o výkonnost, náklady a efektivitu, tak Dramix 3D zůstává jako nejefektivnější řešení [30].

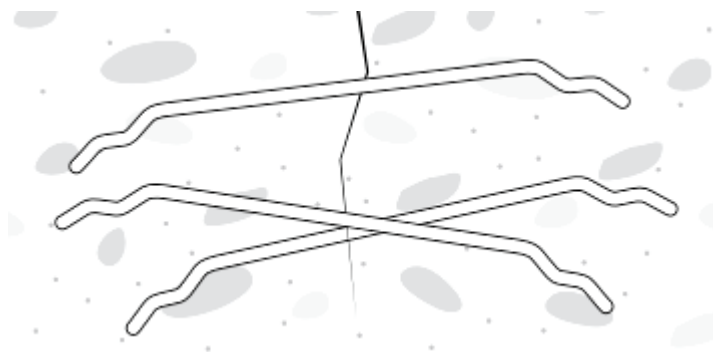
- Dramix 5D, vlákno s koncovými ohyby



Obrázek 7 Ocelové vlákno Dramix 5D [30]

Ocelové vlákno Dramix 5D má prakticky nedeformovatelné koncové ohyby. Vylepšené zahnuté háky poskytují výborné ukotvení v matrici a udržují vlákno pevně na svém místě v betonu. Výhodou je také tažnost vlákna, kde hák na obou stranách zůstává pevně v matrici, ale jeho středová část má schopnost se prodloužit a tím se zlepšuje především houževnatost betonu. Dramix 5D, tak vykazuje vysokou tažnost drátku, perfektní ukotvení v matrici a extrémní pevnost v tahu. Společnost Bekaert vyrábí prozatím jeden typ této série vláken a to Dramix 5D 6560BG a poté v lepené formě 6560GG. Ocelové vlákno mimo jiné dosahuje pevnosti v tahu 2300 MPa [30].

- Dramix 4D, vlákno s koncovými ohyby



Obrázek 8 Ocelové vlákno Dramix 4D od firmy Bekaert a.s.[30]

Dramix 4D je další novinkou v oblasti ocelových vláken. Ocelová vlákna Dramix 4D byly navrženy, aby především zamezily rozvoji trhlin od 0,1 mm do 0,3 mm. Výrobce této série vyrábí prozatím pět různých typů v délce od 35 mm do 60 mm. Pevnost v tahu vláken Dramix 4D se pohybuje v rozmezí od 1450 MPa do 1850 MPa [30].

- Dramix 3D, vlákno s koncovými ohyby

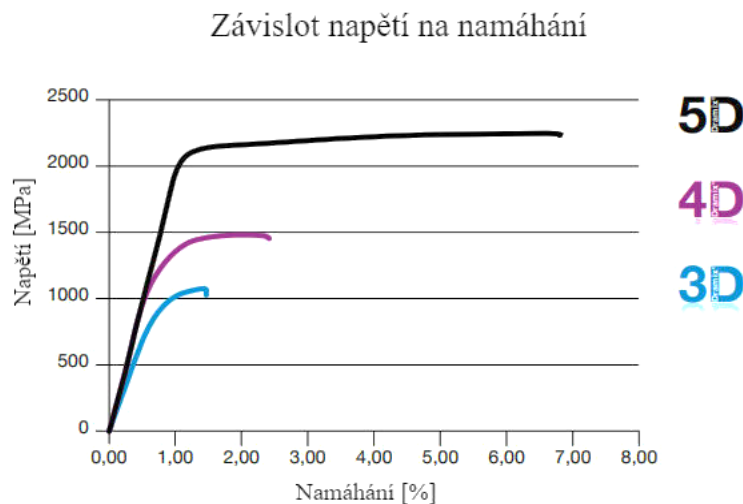


Obrázek 9 Vlákno s koncovými ohyby, Dramix 3D [30]

Nejrozšířenější a nejefektivnější ocelové vlákno je Dramix 3D. Série Dramix 3D je ekonomické a nejběžnější řešení v oblasti drátkobetonu. Bekaert nabízí také v této sérii nejvíce typů, které se liší v délce, průměru, poměru l/d a tím pádem i v pevnosti v tahu, která je v rozmezí od 1115 MPa do 2000 MPa [30].

- Porovnání ocelových vláken Dramix 3D, 4D a 5D

Grafické porovnání ocelových vláken Dramix 3D, 4D a 5D v závislosti napětí na procentuálním namáháním.



Graf 3 Porovnání ocelových vláken Dramix [30]

Základní požadavky na kvalitu vláken jsou dány technickými doporučením, vydanými sdružením výrobců vláken VDS. Tyto požadavky definují přesně kvalitativní materiál a vlastnosti vlákna. Pokud je použit jiný materiál nebo jiné pevnosti, nemusí ve vláknobetonu nastat dokonalé spojení i vytvoření požadovaných pevnostních charakteristik a beton zůstává na úrovni pevnosti prostého betonu [17].

2.5. Vliv délky drátků na pevnostní charakteristiky

Vliv ocelových vláken na pevnost drátkobetonu ovlivňuje mnoho faktorů. Jedním z faktorů je koncentrace drátků, která se nedoporučuje nižší než 20 kg.m^{-3} . Tato hodnota však závisí na tvaru a jakosti použitých drátků. Dalším faktorem, který zásadně ovlivňuje pevnost drátkobetonu z pohledu drátků, je jakost, tvar a průřez materiálu. Má však vliv na pevnost drátkobetonu délka ocelových vláken?

2.5.1. Délka a tuhost ocelových vláken

Délka ocelových vláken je vzdálenost mezi vnějšími konci vlákna. Rozvinutá délka je délka u tvarovaných vláken s nepravidelným průřezem a je to vzdálenost tvarovaných vláken po napřímení vlákna bez deformování průřezu. Délku je nutno stanovit posuvným měřítkem na přesnost desetiny mm. Pokud má vlákno nepravidelný průřez, je nutno stanovit také rozvinutou délku vlákna, aby bylo možno vypočítat ekvivalentní průřez.

Předpokládá se, že drátky budou dostatečně dlouhé, budou protínat celý prostor mezi sousedními zrny v hrubé frakci kameniva a budou ještě dostatečně přesahovat za tato zrna, aby se o ně mohly opřít. Délka drátků se tedy musí vztahovat k velikosti a množství hrubé frakce kameniva, užitě pro výrobu drátkobetonu. Podle výsledků zkoušek vyhovovala délka drátku 60 mm při cca 50 % podílu frakce 8/16 z celkového množství v drátkobetonu.

Ocelová vlákna by měla dosahovat takové ohybové tuhosti, aby při použití v drátkobetonu měla stále přímkový tvar. Dosažení optimální tuhosti drátku se stanoví štíhlostním poměrem L/d a jednak kvalitou materiálu, užitého k jejich výrobě. Zdali mají drátky štíhlostní poměr $L/d \leq 100$ a jsou nastříhány z polotvrdých drátů tažených za studena, tak velké deformace drátků nenastávají. Ocelová vlákna musí vyhovovat podmínkám pevnosti v tahu, a to v rozmezí od 900 do 2400 N/mm^2 a to s průměrem drátků od 0,15 mm do 1,3 mm. Délka ocelových vláken se pohybuje od 12 mm do 70 mm podle použití vlákna [11].

2.5.2. Měření pevnosti v tahu za ohybu

Zkouška pevnost v tahu za ohybu je důležitá pro charakteristiku betonu. Metodu pro stanovení pevnosti v tahu za ohybu pro vláknobeton stanovuje předběžná česká norma „ČSN P 73 2452 Vláknobeton – Zkoušení ztvrdlého vláknobetonu“ [6]. Zkoušení ztvrdlého betonu pevností v tahu ohybem uvádí evropská norma „ČSN EN 12390-5 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 5: Pevnost v tahu ohybem zkušebních těles“ [34].

- ČSN P 73 2452 [6]

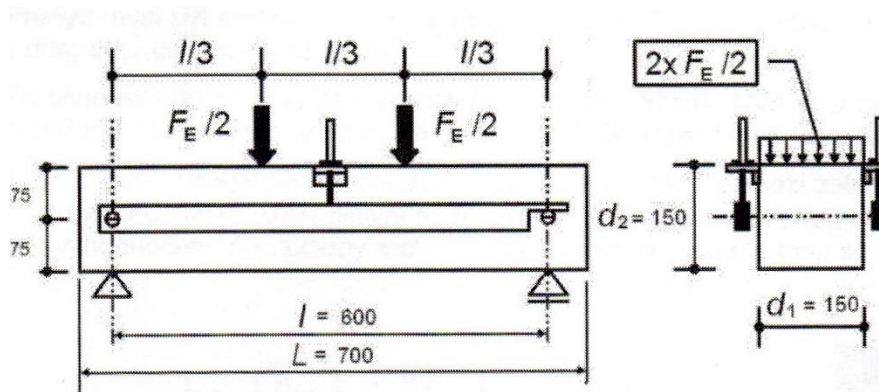
Předběžná česká norma popisuje zkoušení ztvrdlého vláknobetonu. Zkouška ohybem prostého vláknobetonu se provádí na normalizovaných trámcích, které mají jmenovité rozměry průřezu 150 mm x 150 mm a délku 700 mm. Rozpětí normalizovaných trámů musí být $l = 600$ mm, což je vzdálenost mezi podpěrnými válečky. Horní zatěžovací břemena jsou umístěné souměrně ke středu rozpětí v osové vzdálenosti 200 mm. Zkouška se musí provádět ve zkušebním zařízení, která odpovídá třídě 1 podle ustanovení „ČSN EN 12390-5“ [34]. Zkouška musí být provedena zkušebním postupem řízenou deformací. Zatěžování normalizovaného trámce musí probíhat konstantní rychlostí tak, aby průhyb uprostřed trámce rostl při zatěžování rovnoměrně s časem. Rychlost zatěžování se určí podle vztahu:

$$v_{ft} \frac{\Delta\delta}{\Delta t} \text{ [mm/min]} \quad (1)$$

kde je

$\Delta\delta$ přírůstek průhybu normalizovaného trámce uprostřed rozpětí při zatěžování

Δt doba intervalu zatěžování



Obrázek 10 Uspořádání zkoušky pevnosti v tahu za ohybu [6]

Nastaví se rovnoměrná rychlost zatěžování alespoň do průhybu $\delta = 4,0$ mm, kde průhyb musí být měřen a zaznamenáván s přesností na 0,01 mm a v těchto krocích rovněž graficky znázorněn v diagramu odolnosti. Pro každý získaný diagram odolnosti se vyhodnotí mez vzniku makrotrhliny (porušení), případně se stanoví síla na mezi vzniku makrotrhliny a odpovídající deformace (průhyb). Statistickým vyhodnocením souboru diagramů se získají průměrný a charakteristický diagram odolnosti. Charakteristický diagram odolnosti se vyhodnotí ze získaných diagramů statistickým vyhodnocením podle „ČSN EN 1990 ed. 2, příloha D“ [46]. Stanovení charakteristické hodnoty odolnosti vychází ze zajištění 5% kvantilu spolehlivosti.

Pevnost vláknobetonu v tahu za ohybu se určuje především při vzniku makrotrhliny. Reziduální pevnosti v dostředném tahu se určují při dohodnutém průhybu $\delta_{0,5} = 0,5$ mm a při dohodnutém mezním průhybu $\delta_{3,5} = 3,5$ mm.

Stavy napjatosti vláknobetonu při zkoušce

1) Do vzniku makrotrhliny

Pevnost v tahu za ohybu v rozhodujícím průřezu se pak vyjadřuje z pružnostního vztahu.

$$f_{fc,tk,fk} = \frac{F_{RK,CR} \cdot l}{b \cdot h^2} \quad (2)$$

kde je

$f_{fc,tk,fk}$ charakteristická pevnost trámce v tahu za ohybu [MPa]

$F_{RK,CR}$ charakteristická odolnost trámce při vzniku makrotrhliny [kN]

l, b, h rozměry zkušební trámce [mm]

2) Po vzniku makrotrhliny při dohodnutém průhybu $F_{RK,0,5}$

Pevnost v dostředném tahu při průhybu 0,5 mm v rozhodujícím průřezu se vyjadřuje ze vztahu:

$$f_{fc,tk,0,5} = 0,45 \frac{F_{RK,0,5} \cdot l}{b \cdot h^2} \quad (3)$$

$f_{fc,tk,0,5}$ charakteristická pevnost trámce v dostředném tahu [MPa]

$F_{RK,0,5}$ charakteristická odolnost trámce při průhybu $\delta_{0,5} = 0,5$ mm [kN]

l, b, h rozměry zkušební trámce [mm]

Pro prostý vláknobeton vhodný do nosných konstrukcí se požaduje, aby reziduální odolnost $F_{RK,3,5}$, v každém bodě charakteristického diagramu odolnosti, včetně mezního průhybu $\delta_{3,5} = 3,5$ mm splnila podmínku $F_{RK,3,5} \geq 1/3 F_{RK,CR}$ za předpokladu čtyřbodového ohybu. Pokud tato podmínka není splněna, nelze počítat s kvaziplastickým chováním v tažené oblasti rozhodujícího průřezu prostého vláknobetonu. Potom je teda nutné dále předpokládat chování obyčejného betonu, tedy zanedbat vliv vláken.

3) Při dohodnutém mezním průhybu $\delta_{3,5} = 3,5$ mm

Reziduální pevnost vláknobetonu v dostředném tahu při průhybu 3,5 mm se stanoví ze vztahu:

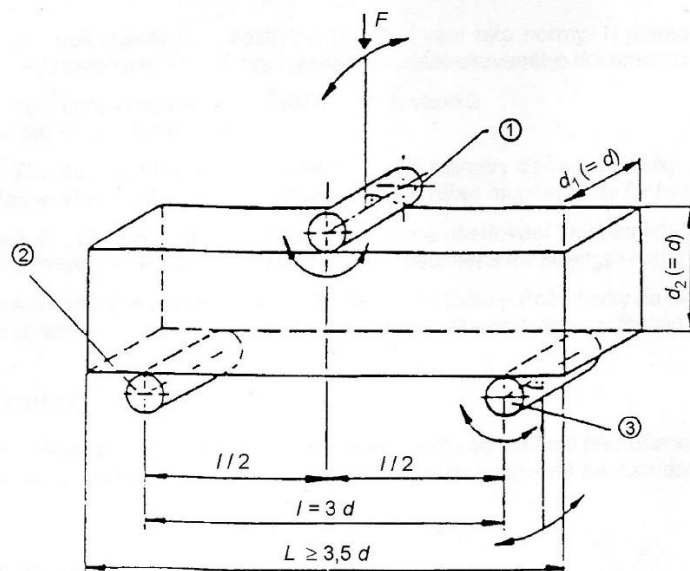
$$f_{fc,tk,3,5} = 0,36 \frac{F_{RK,3,5} \cdot l}{b \cdot h^2} \quad (4)$$

$f_{fc,tk,3,5}$ charakteristická pevnost trámce v dostředném tahu [MPa]

$F_{Rk,3,5}$ charakteristická odolnost trámce při průhybu $\delta_{3,5} = 3,5$ mm [kN]
 l, b, h rozměry zkušební trámce [mm]

- ČSN EN 12390-5 [34]

Tato evropská norma uvádí metodu pro stanovení pevností v tahu ohybem zkušebních těles ze ztvrdlého betonu. Norma uvádí jak čtyřbodovou zkoušku ohybem, tak v příloze A této normy i třibodovou zkoušku ohybem. Po splnění požadované přípravy před zkouškou, je možnost zkoušku provést.



Obrázek 11 Uspořádání zatěžování zkušební tělesa třibodovým ohybem [34]

Nastaví se konstantní rychlost zatěžování v rozsahu 0,04 MPa/s až 0,06 MPa/s do momentu porušení. Po začátečním působení zatížení, nepřesahující asi 20 % předpokládaného zatížení při porušení zatěžuje se plynule, a zatížení se nepřetržitě zvyšuje stanovenou konstantní rychlostí $\pm 1\%$ až do porušení. Rychlost zatěžování se stanoví pro třibodový ohyb podle následujícího vzorce:

$$R = \frac{2 d_1 d_2^2 s}{3l} \quad (5)$$

kde R je požadovaná rychlost zatěžování [MPa]
 s přírůstek napětí [MPa]
 l vzdálenost mezi podpěrnými válečky [mm]
 d_1 a d_2 rozměry příčného řezu tělesa [mm]

Pevnost v tahu ohybem je dána vztahem:

$$f_{cf} = \frac{3Fl}{2d_1d_2^2} \quad (6)$$

kde f_{cf} je pevnost v tahu ohybem [MPa]
 F maximální zatížení [N]
 l vzdálenost mezi podpěrnými válečky [mm]
 d_1 a d_2 rozměry příčného řezu tělesa [mm]

Pevnost v tahu ohybem se zaokrouhlí na nejbližší 0,1 MPa.

2.5.3. Měření pevnosti v tahu za ohybu – zbytková pevnost

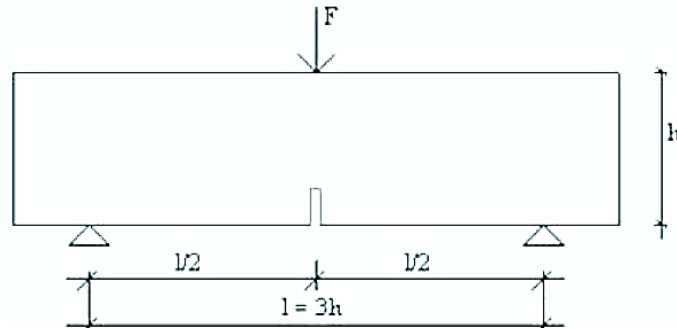
Typ zkoušky ovlivňuje reziduální pevnosti v tahu za ohybu a nedosahuje vždy stejných výsledků. Po vytvoření makrotrhliny dochází k přenesení tahové pevnosti na ocelová vlákna. Na rozdíl od obvyčejných betonů může mít typ zkoušky podstatně výraznější vliv na výsledek zkoušky. U vláknobetonu na rozdíl od obvyčejného betonu je rychlost zatěžování proměnná a je řízena rychlostí průhybu zkušební tělesa.

Při tříbodovém zatěžování je nutno zkušební tělesa opatřit vrubem uprostřed rozpětí viz (obr. 12), kdežto u čtyřbodového zatěžování není předem určen kritický průřez, ve kterém vznikne ohybová trhlina, což je výhodou tohoto postupu.

2.5.3.1. Tříbodové zkoušky ke stanovení zbytkové pevnosti v tahu za ohybu

- ČSN EN 14845-2 [8]

Pro zkoušku tříbodovým ohybem je vydána evropská norma „ČSN EN 14845-2 Vláknobeton - Zkušební metody pro vlákna do betonu: Část 2: Vliv na beton“ [8]. Předmětem této normy je metoda pro stanovení vlivu ocelových vláken na zbytkovou pevnost v tahu ohybem referenčního betonu.



Obrázek 12 Třibodové zatěžování trámců se zářezem [8]

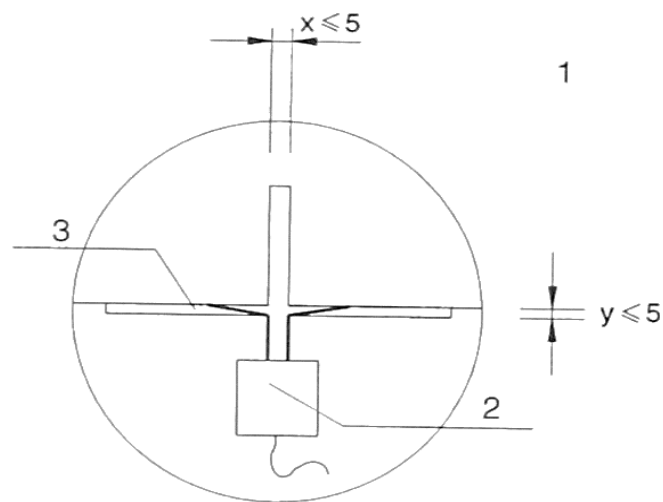
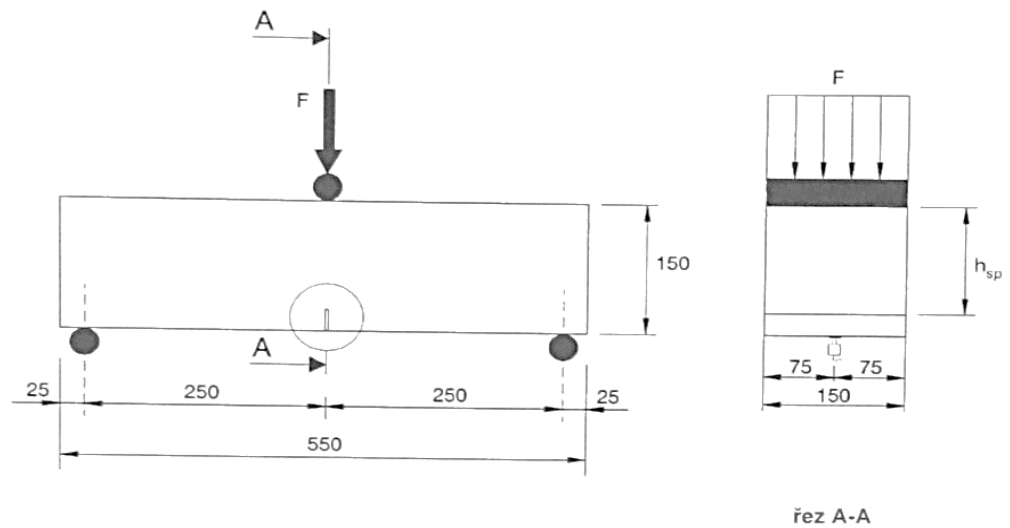
Podstata zkoušky spočívá v zkoušce vláken v jednom nebo více referenčních betonů (specifikovaných podle „ČSN EN 14845-1 Vláknobeton - Zkušební metody pro vlákna v betonu: Část 1 - Referenční betony“[7]), aby se stanovil obsah vláken, který je potřebný k dosažení hodnot zbytkové pevnosti v tahu ohybem při stanovených deformacích. Zkušební metoda se provádí ve stáří 28 dnů na trámcích o jmenovité velikosti (šířce a výšce) 150 mm a délce $L = 550$ mm, opatřených vrubem (viz obrázek 12). Daný tvar a velikost zkušebních těles jsou vhodná pro beton nepřesahující maximální velikost zrn 32 mm nebo ocelová vlákna do délky 60 mm. Vzdálenost podpěr je 500 mm, síla působí ve středu rozpětí nad zářezem zabezpečujícím výšku průřezu 125 mm. Výrobce zkušebních těles musí deklarovat hmotnost ocelových vláken připadajících na jednotku objemu v $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$, která je potřebná k dosažení zbytkové pevnosti v tahu ohybem o hodnotě minimálně 1,5 MPa při šířce rozevření trhliny (*CMOD*) 0,5 mm (což odpovídá středovému průhybu 0,47 mm) a průměrné zbytkové pevnosti v tahu ohybem minimálně 1 MPa při šířce rozevření trhliny (*CMOD*) 3,5 mm (což odpovídá středovému průhybu 3,02 mm). Z toho vyplývá, že norma je určena pro zkoušení vláken a jejich minimálního množství ve směsi, aby bylo dosaženo požadovaných hodnot zbytkové pevnosti v tahu ohybem. Zkouška specifikující metodu pro stanovení vlivu ocelových vláken na zbytkovou pevnost v tahu ohybem referenčního betonu nemůže sloužit pro zjišťování charakteristik drátkobetonu různého složení (cement, kamenivo, přísady, příměsi apod.), potřebných pro návrh konkrétního vláknobetonu jak pro konkrétní konstrukci, tak i pro jeho vyhodnocení.

- ČSN EN 14651+A1 [10]

Dále je třibodová zkouška pevnost v tahu za ohybu popsána v evropské normě „ČSN EN 14651+A1 Vláknobeton – Zkušební metoda betonu s kovovými vlákny – Měření pevnosti

v tahu za ohybu (mez úměrnosti, zbytková pevnost)“[10]. Metoda může být použita pro kombinaci ocelových a jiných vláken do délky vláken 60 mm.

CMOD (crack mouth opening displacement) česky rozevření trhliny je délkový posun měřený snímačem umístěným podle znázornění na obrázku 13, který se zjišťuje na hranolu zatíženém uprostřed své délky zatížením F .



Legenda

- 1 Detail (zářez)
- 2 Snímač (měřidlo se sponou)
- 3 Hrana nože

Obrázek 13 Typické uspořádání trámce při měření rozevření trhliny (CMOD) [10]

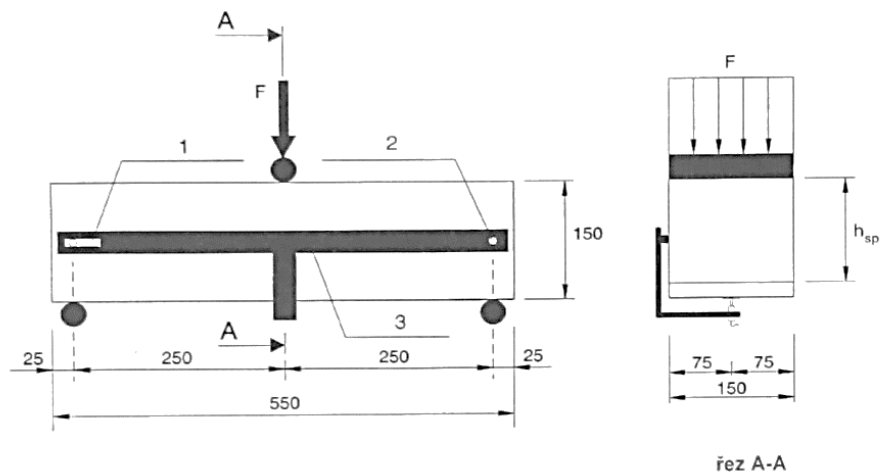
Zbytková pevnost v tahu ohybem (residual flexural tensile strength) je fiktivní napětí v konci zářezu za předpokladu lineárního rozdělení napětí v průřezu uprostřed rozpětí bez trhlin

na hranolu zatíženém uprostřed své délky zatížením F_L odpovídající hodnotě $CMOD_j$, kde $CMOD_j > CMOD_{FL}$ nebo $\delta_j > \delta_{FL}$ (j = 1, 2, 3, 4) [10].

- $CMOD_{FL}$ rozevření trhliny na mezi úměrnosti
- δ_{FL} průhyb na mezi úměrnosti

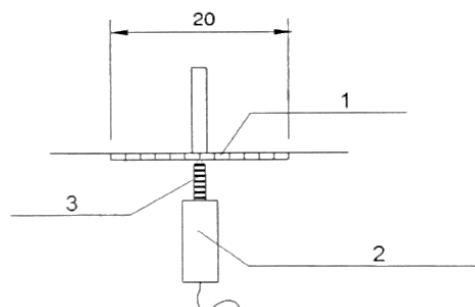
Průhyb (deflection) neboli délkový posun měřený snímačem umístěným podle znázornění na obrázku 10, který se zjišťuje na hranolu zatíženém uprostřed své délky zatížením F.

Přesného měření dosáhneme pomocí snímače posuvu, který se umístí na tuhý rám, jenž je pevně připevněn ke zkušebnímu tělesu v polovině výšky nad podpěrami. Oba konce rámu se připevní k tělesu tak, aby jeden konec umožnil posun a druhý pootočení. Pro lepší měření průhybu lze umístit tenkou destičku v místě kolmým na zářez. Před ohybovou zkouškou se provedou s přesností na mm závěrečné měření délky rozpětí zkušebního tělesa.



Legenda

- 1 Posuvné upevnění
- 2 Otočné upevnění
- 3 Tuhý rám



Legenda

- 1 Hliníková destička o tloušťce 1 mm
- 2 Snímač (lineárně proměnný diferenční průhyboměr)
- 3 Pružinový hřídel

Obrázek 14 Typické uspořádání trámce při měření průhybu [10]

Pokud jsou zatěžovací a podpěrné válečky řádně usazeny na zkušebním tělese, lze zkoušku zahájit. Zkušební stroj se nastaví tak, aby se konstantní rychlostí 0,05 mm/min rozevírala trhлина (*CMOD*). V okamžiku, kdy trhлина dosáhne velikosti 0,1 mm, se pomocí zkušebního stroje rozevírání trhliny zvýší rychlost na 0,2 mm/min. Zkouška je ukončena, když *CMOD* ≥ 4 mm. Za předpokladu použití zkušebního stroje, který řídí rychlost zvětšování průhybu, se může použít postup k převodu *CMOD* na parametry vztahující se k průhybu.

Vyjádření výsledků:

Převod mezi rozevřením trhliny (*CMOD*) a průhybem (δ) lze přibližně vyjádřit vztahem (7) [10].

$$\delta = 0,85 \times CMOD + 0,04 \quad (7)$$

Tabulka 4 Vztah mezi *CMOD* a δ [10]

<i>CMOD</i> (mm)	δ (mm)
0,05	0,08
0,1	0,13
0,2	0,21
0,5	0,47
1,5	1,32
2,5	2,17
3,5	3,02
4,0	3,44

Mez úměrnosti:

Mez úměrnosti je dána vztahem (8):

$$f_{ct,L}^f = \frac{3F_L l}{2bh_{sp}^2} \quad (8)$$

kde

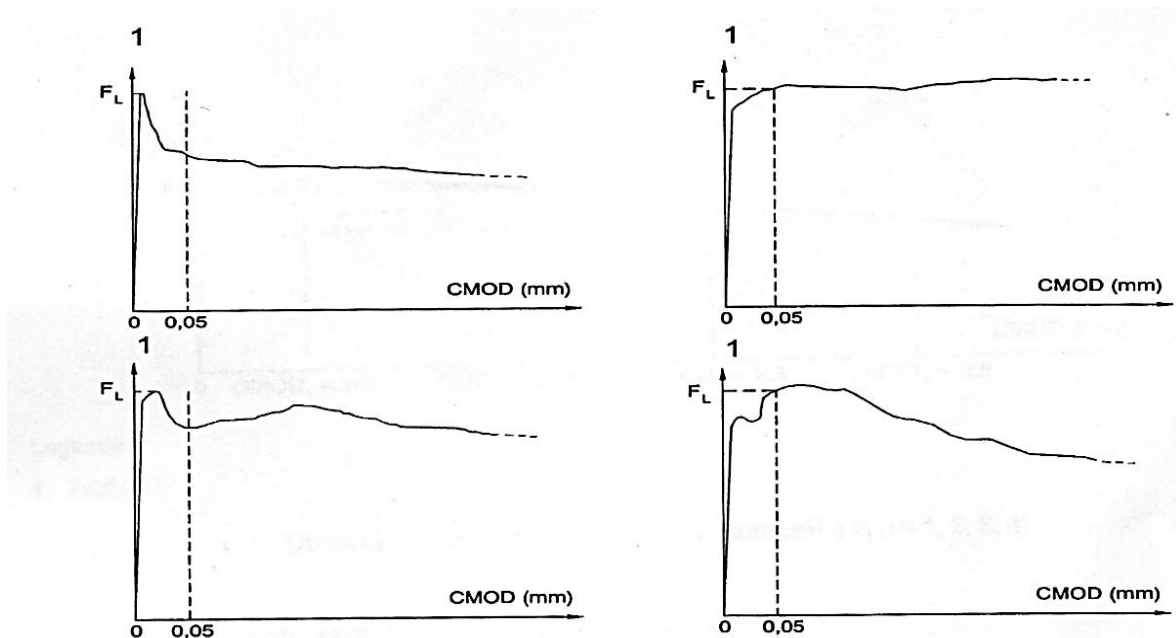
$f_{ct,L}^f$ je mez úměrnosti, [N/mm²]

F_L zatížení odpovídající mezi úměrnosti, [N]

l délka rozpětí, [mm]

b šířka zkušebního tělesa, [mm]

h_{sp} vzdálenost mezi koncem zářezu a horní hranou zkušebního tělesa, [mm]



Legenda

1 Zatížení F

Graf 4 Grafy závislosti CMOD na zatížení F_L [10]

Hodnota zatížení F_L se určí ve vzdálenosti 0,05 mm pomocí přímky nakreslené rovnoběžně s osou zatížení (viz graf 4). Jako F_L se vezme největší hodnota zatížení v intervalu 0,05 mm. Mez úměrnosti se vyčíslí s přesností 0,1 N/mm².

Zbytková pevnost v tahu za ohybu:

Zbytková pevnost v tahu za ohybu $f_{R,j}$ je dána vztahem (9) a je vyčíslena s přesností 0,1 N/mm².

$$f_{R,j} = \frac{3F_j l}{2bh_{sp}^2} \quad (9)$$

kde

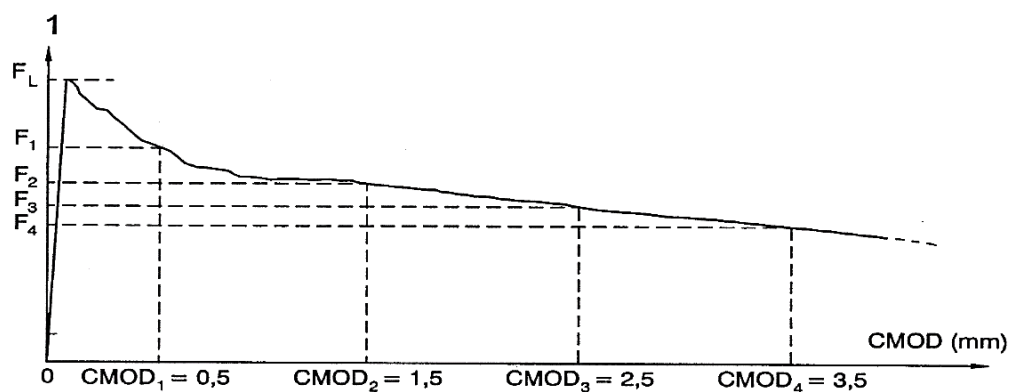
$f_{R,j}$ je zbytková pevnost v tahu za ohybu odpovídající $CMOD = CMOD_j$ nebo $\delta = \delta_j$ ($j = 1, 2, 3, 4$), [N/mm²]

F_j zatížení odpovídající $CMOD = CMOD_j$ nebo $\delta = \delta_j$ ($j = 1, 2, 3, 4$), [N]

l délka rozpětí, [mm]

b šířka zkušebního tělesa, [mm]

h_{sp} vzdálenost mezi koncem zářezu a horní hranou zkušebního tělesa, [mm]



Legenda

1 Zatížení F

Graf 5 Závislost CMOD na zatížení a F_j ($j = 1, 2, 3, 4$) [10]

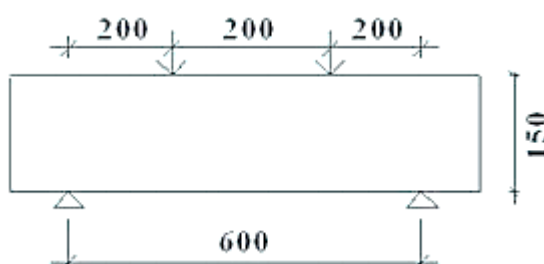
2.5.3.2. Čtyřbodové zkoušky ke stanovení zbytkové pevnosti v tahu za ohybu

Pro zkoušení vláknobetonu čtyřbodovým ohybem jsou dostupné čtyři postupy.

V ČR jsou dostupné pouze dva postupy tykající se čtyřbodového ohybu. Prvním je postup podle TP FC 1-1 [35]. Dále je to norma „ČSN EN 14488-3 Zkoušení stříkaného betonu – Část 3: Ohybová únosnost (při vzniku trhliny, mezní a zbytková) vláknobetonových trámčových zkušebních těles“ [37].

V zahraničí jsou dostupné dva postupy, konkrétně v Německu a Rakousku.

1. V Německu postup dle DBV Merkblatt [38], (směrnice [18])
2. V Rakousku postup dle Rychtlinie Faserbeton [21]



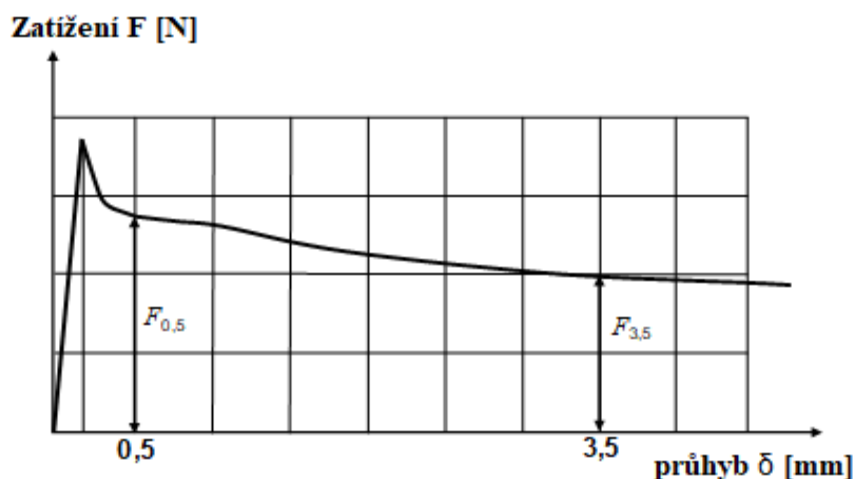
Obrázek 15 Čtyřbodové zatěžování trámce [45]

- **DBV Merkblatt** [38],[18]

Zkušební metoda podle německé směrnice se provádí na zkušebních tělesech o rozměrech 150 mm x 150 mm x 700 mm podle DIN EN 12390-1 [39]. Rozměry zkušebního tělesa by měla být platná maximálně do velikosti zrn 16 mm. Délka ocelových vláken by neměla být menší než 1,5 násobek největšího zrna. Po přidání ocelových vláken do čerstvého betonu by měla být

doba míchání nejméně 90 s. Hutnění čerstvého betonu se může především provádět pomocí vibračních stolů. Pokud není stanoveno jinak, vzorky se uchovávají k vytvrnutí po dobu 28 dní.

Zkouška musí být provedena na zkušebním stroji, který splňuje požadavky podle DIN 51220 [36]. Vzdálenost podpěr je 600 mm se zatěžováním v třetinách rozpětí. Při provádění zkoušky nesmí rychlost zatěžování překročit 0,10 mm/min do průhybu 0,75 mm. Pokud průhyb překročí hodnotu 0,75 mm, může být rychlost zvýšena na 0,30 mm/min. Měření se zaznamenává graficky do průhybu 3,5 mm v přírůstcích 0,01 mm. Zbytková pevnost v tahu za ohybu se určuje z grafu závislosti průhybu na zatížení (viz graf 6).



Graf 6 Závislost průhybu na zatížení [18]

- **Rychtlinie Faserbeton [21]**

Zkušební metoda podle rakouské směrnice ÖVBB-Richtlinie „Faserbeton“ se provádí na zkušebních tělesech o rozměrech 150 mm x 150 mm x 600 - 700 mm. Zkouška musí být provedena na zkušebním stroji, který splňuje potřebné normové požadavky. Vzdálenost podpěr je 450 mm se zatěžováním v třetinách rozpětí. Horní zatěžovací břemena jsou umístěná souměrně ke středu rozpětí v osové vzdálenosti 150 mm. Pokud jsou zatěžovací a podpěrné válečky řádně usazeny na zkušebním tělese, lze zkoušku zahájit. Zkušební stroj se nastaví tak, aby konstantní rychlostí 0,2 mm/min probíhalo zatěžování zkušebního tělesa. Zbytková pevnost v tahu za ohybu se určuje z grafu závislosti průhybu na zatížení [21].

2.5.3.3. Porovnání zkoušek ke stanovení zbytkové pevnosti v tahu za ohybu

Čtyřbodové zkoušky potřebné ke stanovení pevnosti v tahu za ohybu se liší ve velikosti zkušebních těles, vzdálenosti podpor, vzdálenosti břemen a v rychlosti zatěžování.

Tabulka 5 Porovnání odlišnosti čtyřbodových zkoušek [45]

Typ zkoušky	Rozměry těles $b \times h \times l$ [mm]	Vzdálenost podpor l [mm]	Vzdálenost břemen h [mm]	Rychlost zatěžování δ [mm/min]
TP FC 1-1 [35] (ČR)	150 x 150 x 700	600	200	<ol style="list-style-type: none"> 1. 0,01 do $\delta = 0,2$ mm 2. 0,2 do přírůstku $\delta = 6$ mm 3. 0,5 do přírůstku $\delta = 10$ mm 4. nebo alternativně $\varnothing 0,2 \pm 0,05$
Richtlinie Faserbeton [21] (Rakousko)	150 x 150 x 600 -700	450	150	$0,2 \pm 0,03$
DBV Merkblatt [18], [38] (Německo)	150 x 150 x 700	600	200	<ol style="list-style-type: none"> 1. 0,1 do $\delta = 0,2$ mm 2. 0,3 do $\delta = 3,5$ mm
ČSN EN 14488-3 [37] (Evropa)	75 x 125 x 500 a více	375	125	<ol style="list-style-type: none"> 1. $0,25 \pm 0,05$ do $\delta 0,5$ mm 2. dále 1 do $\delta 4$ mm

Drátkobeton vykazuje především dobrou zbytkovou pevnost v tahu oproti prostému betonu a proto i v zahraničí je nutnost definovat zkušební postupy, které by umožnily tahové pevnosti drátkobetonu co nejpřesněji vyčíslit. Odbornou veřejností je problematika zkoušení pevnosti v tahu za ohybu dlouhodobým problémem. Zkoušení podle vydaných doporučení je provedeno trámcí různých velikostí, se zářezem nebo bez, při třibodovém nebo čtyřbodovém uspořádání. Podle shody komise je nejvhodnější zkouška ohybem při čtyřbodovém zatížení, při velikosti trámce 150 x 150 x 700 mm. Zkouška ohybem by měla odhalit nejslabší průřez na zkušebním trámcí vůči ohybovém namáhání, to však nelze dosáhnout, pokud v místě maximálního ohybového momentu je proveden zářez. Tento závěr je podpořen i v zahraničí (Velké Británii, Německu či Rakousku), kde má drátkobeton dlouhou tradici. V zahraničí se z tohoto důvodu vychází vždy ze čtyřbodového ohybu s modifikací tvaru trámce, vzdálenosti podpor a rychlosti zatěžování [20].

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Tato část popisuje provedené zkoušky čerstvého a ztvrdlého betonu. K provedení zkoušek čerstvého betonu byly použity čtyři různé druhy zkoušek, které jsou popisovány v kapitole „4. Zkoušení čerstvého betonu“. Zkoušky ztvrdlého betonu jsou popisovány v kapitole „5. Zkoušení ztvrdlého betonu“, které jsou rozděleny do dvou podkapitol. K výsledkům zkoušek je vypracováno stručné shrnutí a vyhodnocení.

3. Definice záměsí betonu

V této experimentální části byli pro zkoušky čerstvého a ztvrdlého betonu použity tři záměsi.

Záměsi jsou tvořeny prostým betonem C 25/30 odebraným z betonárny Cemex v Pardubicích Semtín v množství 0,300 m³. Záměs byla uvažována jako referenční.



Obrázek 16 Referenční beton C 25/30 odebraný z betonárny Cemex

Specifikace betonu jsou ve shodě s požadavky podle [2]:

Beton C 25/30, XC1

Konzistence: S3 – Velmi měkká

Největší frakce kameniva: $D_{\max} = 16 \text{ mm}$

Obsah chloridů: Cl 0,2

Složení betonu:

- Cement CEM I 42,5R

Portlandský cement CEM I 42,5 je vyrobený výrobcem CEMEX Cement, k.s. Cement musí splňovat všechny předepsané vlastnosti a požadavky, které se řídí normou ČSN EN 197 – 1 ed. 2 [41]. Složení cementu se převážně skládá ze slínku, který splňuje všechny příslušné chemické a fyzikální požadavky. Po úplném vytvrnutí, které trvá 28 dní je garantovaná pevnost v tlaku 42,5 MPa a minimální počáteční je 20 MPa po 2 dnech.

- Kamenivo

Kamenivo ve frakcích do $D_{\max} = 16$ mm je dodáváno ze štěrkovny v Čeperce a splňuje požadované vlastnosti podle ČSN EN 12620 +A1 [42].

- Přísada

Plastifikátor ISOLA BV je standartní plastifikační přísada.

- Voda čistá

Technické listy a další dokumenty k jednotlivým složkám čerstvého betonu jsou uvedené v dokladové části.

3.1. Přehled a zpracování vyrobených záměsí

1) Záměs Z35

Záměs Z35 byla zhotovena z referenčního betonu přidáním ocelových vláken od společnosti ArcelorMittal HE 75/35 s dávkováním 30 kg/m^3 .

2) Záměs Z50

Záměs Z50 byla stejně jako u záměsí Z35 zhotovena z referenčního betonu přidáním ocelových vláken od společnosti ArcelorMittal. Ovšem s ocelovými vlákny HE 1/50 s dávkováním 30 kg/m^3 .

3) Záměs Z60

Poslední záměs Z60 byla zhotovena stejně jako předchozí záměsí z referenčního betonu a ocelových vláken. Tentokrát ocelová vlákna Dramix 3D 55/60 BL s dávkováním 30 kg/m^3 od společnosti Bekaert.

Porovnání použitých ocelových vláken stejného typu:

Tabulka 6 Porovnání vlastností použitých ocelových vláken stejného typu

Druh vlákna	délka [mm]	průměr d [mm]	poměr l/d [mm]	pevnost v tahu [MPa]
HE 75/35	35	0,75	47	1200
HE 1/50	50	1	50	1150
3D 55/60 BL	60	1,05	55	1115

Zpracování záměsí z referenčního betonu Z35, Z50 a Z60 proběhlo 4. dubna 2018. Beton byl po přivezení dávkován po 23 litrech z kapacitních důvodů míchacího zařízení s nuceným oběhem. K 23 litrům betonu se přimíchala ocelová vlákna o hmotnosti 0,6897 kg, která byla dopředu přesně navážena. Čerstvý beton byl nejprve míchán bez vláken po dobu 30 s, následně se začala do záměsí přidávat vlákna a míchání pokračovalo dalších 70 s. Doba míchání se pohybovala celkem 100 s. Z35 a Z50 byly namíchány shodně ve třech záměsích a Z60 byla namíchána v šesti záměsích.



Obrázek 17 Požadovaná hmotnost ocelových vláken Dramix 3D 55/60 BL

Zkušební tělesa pro jednotlivé zkoušky byla vyrobena v souladu s „ČSN EN 12390-1 Zkoušení ztvrdlého betonu“ [22]. Jedná se o krychle s délkou hrany 150 mm, dále o válce s výškou 300 mm a průměrem 150 mm. Hranoly o jmenovité velikosti 150 mm x 150 mm a délce 550 mm byly vyrobeny podle „ČSN EN 14651+A1 Zkušební metoda betonu s kovovými vlákny: Měření pevnosti v tahu za ohybu (mez úměrnosti, zbytková pevnost)“ [10]. Formy byly před betonáží očištěny a vymazány formovacím olejem. Během plnění forem se čerstvý beton hutnil po vrstvách na vibračním stole s pracovní frekvencí 40 Hz. Při hutnění byla tělesa pevně přitlačována k vibračnímu stolu. Betonáž trvala necelých 90 minut, čímž se splnila požadovaná zpracovatelnost betonu. Po dokončení betonáže se tělesa přikryla polyetylenovými sáčky a uložila do laboratoře za teploty 20 °C. Druhý den, tedy cca po 20 hodinách byla tělesa odbedněna, popsána a následně uložena ve vodě o teplotě cca 21 °C po dobu 28 dní.

Pro zjištění pevnostních charakteristik betonu byla zhotovena zkušební tělesa ve formě krychlí a trámců. Pro doplnění přetvárných charakteristik betonu byla zhotovena i válcová tělesa, které ovšem nejsou součástí zadání této Bakalářské práce. Navazující částí experimentálních prací bude stanoven statický modul pružnosti betonu v tlaku [45]. Počet těles určených ke stanovení pevnostních a přetvárných charakteristik jsou určeny v tabulce 7.

Tabulka 7 Destruktivní zkoušky a počty těles

Záměs	Krychle	Válce	Hranoly
	Tlak	Modul pružnosti	Tah ohybem
Z35	3	3	3
Z50	3	3	3
Z60	6	6	6



Obrázek 18 Zkušební tělesa uložena ve vodní lázni po dobu 28 dní

3.2. Výroba vlastních experimentálních těles

Pro zkoušku pevnost v tahu za ohybu byla vyrobena zkušební tělesa z vodovzdorné překližky. Zkušební tělesa o rozměrech 150 mm x 150 mm x 550 mm jsou vyrobena v souladu s „ČSN EN 14651+A1“ [10] a „ČSN EN 14845-2“ [8] (viz obr. 19).



Obrázek 19 Vyrobená zkušební tělesa 150 mm x 150 mm x 550 mm

4. Zkoušení čerstvého betonu

4.1. Zkouška sednutím

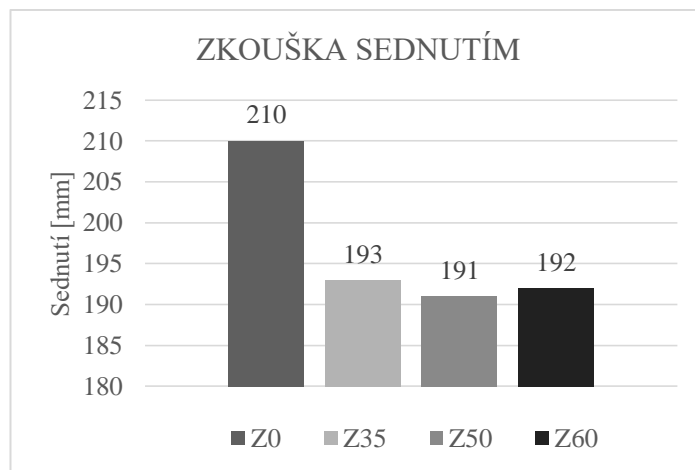
Zkouška sednutím nelze použít podle ustanovení „ČSN P 73 2451 Vláknobeton – Zkoušení čerstvého vláknobetonu“ [5]. Důvodem je hutnění čerstvého vláknobetonu pomocí propichovací ocelové tyče ve třech vrstvách dvaceti pěti vpichy, kde dochází k usměrnění a možno i deformaci ocelových vláken. I přes toto vědomí zkouška proběhla. Pro zkoušku sednutím byly použity následující zkušební zařízení: propichovací tyč, násypka, podkladní deska, lopatka a komolý kužel o výšce 300 mm, průměru spodní základny 200 mm a horní základny 100 mm. Forma i s podkladní deskou byla nejprve navlhčena. Plnění nádoby vláknobetonem bylo rozděleno do třech vrstev, kde každá vrstva o 1/3 výšce kužele byla hutněna vždy 25 vpichy propichovací tyčí tak, že vpichy téměř nezasahovaly do předešlé vrstvy. Po naplnění nádoby a dokončeném hutnění byl kužel sejmут během 2 až 5 sekund rovnoměrným svislým pohybem vzhůru. Po sednutí byla zaměřena vzdálenost mezi horním okrajem komolého kužele a horní hranou sednutého vláknobetonu. Naměřené hodnoty jednotlivých záměsí jsou popisovány v tabulce 8. Zkouška sednutím byla provedena v souladu s „ČSN EN 12350-2 Zkoušení čerstvého betonu – Část 2: Zkouška sednutím“ [26].

Tabulka 8 Zkouška sednutím

ZKOUŠKA SEDNUTÍM		
Záměs	sednutí h [mm]	konzistence
Z0	210	S4
Z35	193	S4
Z50	191	S4
Z60	192	S4

4.1.1. Vyhodnocení zkoušky sednutím

Zkouška sednutím ukázala, že ocelová vlákna mají malý vliv na sednutí kužele. U záměsí s drátky (Z35, Z50, Z60) byly naměřeny hodnoty o necelých 20 mm nižší než u záměsí bez drátku (Z0). Referenční beton přidán o ocelová vlákna má tedy tendenci při zkoušce sednutím klesnout o nižší hodnotu než v případě referenčního betonu bez ocelových vláken. Klasifikace naměřených hodnot jednotlivých záměsí podle sednutí kužele spadá do tekuté směsi (S4), což se neshoduje s referenčním betonem, který byl klasifikován směsí velmi měkkou (S3). Výsledky zkoušky jsou graficky znázorněny v grafu 7.



Graf 7 Zkouška sednutí jednotlivých záměsí

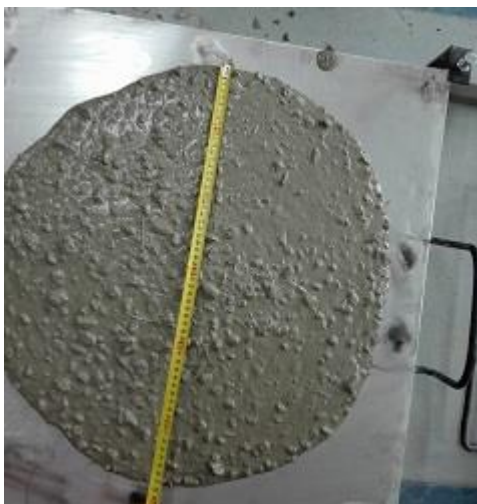
4.2. Zkouška rozlitím

Pro zkoušku rozlitím platí ustanovení „ČSN EN 12350-5 Zkoušení čerstvého betonu – Část 5: Zkouška rozlitím“ [27]. Před samotnou zkouškou byl navlhčen střešací stolek a komolý kužel o výšce 200 mm, průměru dolní základny 200 mm a průměru horní základny 130 mm. Zkušební kužel byl uložen na středu horní desky, kde byl zabezpečen v této poloze přišlápnutím. Plnění vláknobetonu probíhalo ve dvou vrstvách pomocí lopatky, kde každá vrstva se zhutní deseti rázy. Po zarovnání horní vrstvy byl zkušební válec rovnoměrně zvednut v průběhu 3 s až 6 s. Po přišlápnutí střešacího stolku byla zvednuta horní deska k horní zarážce bez nárazu a poté volně dopadla na dolní desku. Po 15 opakování byly změřeny nejdelší rozměry ve dvou směrech d_1 a d_2 . Výsledky zkoušky jsou popisovány v tabulce 9, kde se celkové rozlití stanoví a zaokrouhlí na nejbližších 10 mm podle vztahu (9).

$$D = \frac{(d_1 + d_2)}{2} \text{ [mm]} \quad (9)$$

Tabulka 9 Zkouška rozlitím

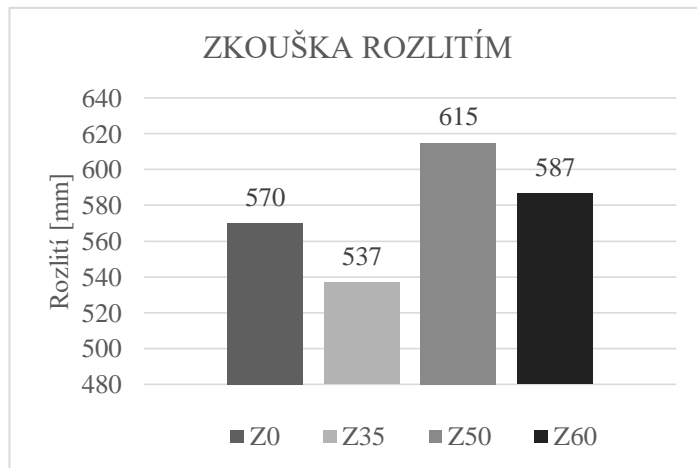
ZKOUŠKA ROZLITÍM				
Záměs	d_1 [mm]	d_2 [mm]	rozlití [mm]	konzistence
Z0	565	575	570	F5
Z35	531	543	537	F4
Z50	611	619	615	F5
Z60	582	591	587	F5



Obrázek 20 Zkouška rozlitím - záměs Z60

4.2.1. Vyhodnocení zkoušky rozlitím

Zkouška rozlitím byla provedená pro jednotlivé záměsi Z0, Z35, Z50 a Z60. Výsledky zkoušky rozlitím jsou graficky znázorněny v grafu 8, kde je patrné, že záměsi s delšími ocelovými vlákny (Z50, Z60) mají za následek zpravidla většího rozlití, než u záměsi bez vláken (Z0) nebo záměsi s kratšími vlákny (Z35).



Graf 8 Zkouška rozlitím čerstvého vláknobetonu

4.3. Objemová hmotnost čerstvého betonu

Zkoušení objemové hmotnosti upravuje norma „ČSN EN 12350-6 Zkoušení čerstvého betonu – Část 6: Objemová hmotnost“ [28]. Pro stanovení objemové hmotnosti čerstvého betonu byl využit tlakový hrnec určený pro měření obsahu vzduchu v čerstvém betonu. Použitý tlakový hrnec z modelu 54-C0170/D má objem prázdné nádoby V 8 dm³ a hmotnost $m_{prázdná}$ 4,34 kg. Pro zjištění objemové hmotnosti dané záměsi byla tato nádoba naplněna ve třech

vrstvách, kde každá vrstva byla hutněna 25 vpichy propichovací tyčí. Před měřením hmotnosti plné nádoby $m_{plná}$ byl povrch urovnán a očištěn, aby objemová hmotnost co nejvíce odpovídala skutečnosti. Následně byla plná nádoba zvážena a objemová hmotnost čerstvého betonu určena pomocí vztahu (11). Výsledky všech zkoušek jednotlivých záměsí uvádí tabulka 10.

$$\rho = \frac{(m_{plná} - m_{prázdná})}{V} \text{ [kg.m}^{-3}\text{]} \quad (11)$$

Tabulka 10 Objemová hmotnost jednotlivých záměsí

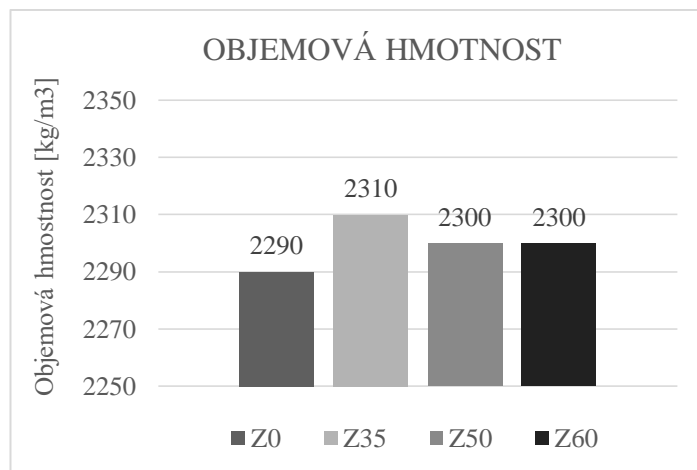
OBJEMOVÁ HMOTNOST			
Záměs	$m_{plná}$ [kg]	m [kg]	ρ [kg.m ⁻³]
Z0	22,32	17,98	2290
Z35	22,48	18,14	2310
Z50	22,44	18,1	2300
Z60	22,4	18,06	2300



Obrázek 21 Objemová hmotnost – Záměs Z0

4.3.1. Vyhodnocení objemové hmotnosti čerstvého betonu

Grafické znázornění objemové hmotnosti jednotlivých záměsí je vyobrazeno v grafu 9. Výsledky objemové hmotnosti, podle předpokladu dosahovaly vyšších hodnot u záměsí s ocelovými vlákny (Z35, Z50 a Z60), než u záměsí samotného referenčního betonu (Z0).



Graf 9 Objemová hmotnost čerstvého betonu v jednotlivých záměsích

4.4. Obsah vzduchu

V běžných betonech se obsah vzduchu pohybuje do 3 %. Dobře provzdušněný beton musí mít dostatečný obsah vzdušných pórů k zajištění zvýšení mrazuvzdornosti. Obsah vzduchu se kontroluje podle „ČSN EN 12350-7 Zkoušení čerstvého betonu – Část 7: Obsah vzduchu“ [29]. Dva principy jsou k zjištění obsahu vzduchu k dispozici. Pro toto zkoušení byla vybrána tlakoměrná metoda. Tlakový hrnc byl naplněn a hutněn 25 vpichy pomocí propichovací tyče ve třech vrstvách s následným poklepáním na stěny nádoby k vypuzení vzduchových bublin. Před přiklopením tlakoměrového víka, které bylo vzduchotěsně připevněno k hrnci, byl povrch betonu zarovnan hladítkem. Mezi víkem a povrchem betonu byla vzniklá mezera vyplněna vodou pomocí pryžové stříčky, aby celý prostor hrnce byl zcela vyplněn. Po následném uzavření ventilů byla nádoba natlakovaná vzduchovou hustilkou na nulovou hodnotu. Obsah vzduchu v čerstvém betonu byl po otevření hlavního ventilu vzduchu odečten na stupnici. Hodnoty obsahu vzduchu jednotlivých záměsích udává tabulka 11 a to v procentech.

Tabulka 11 Obsah vzduchu v jednotlivých záměsích

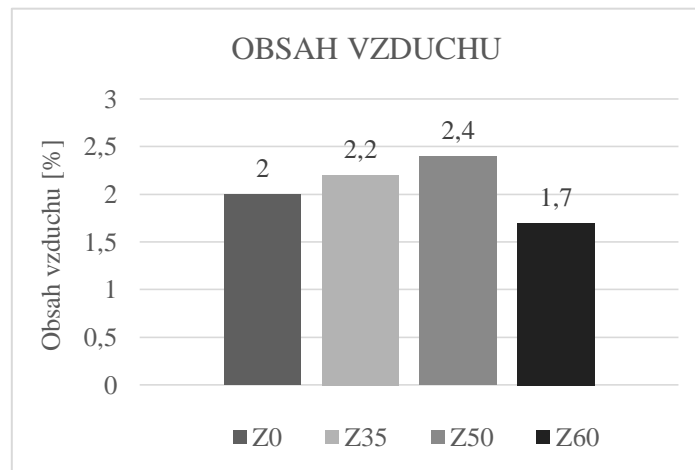
OBSAH VZDUCHU	
Záměs	%
Z0	2
Z35	2,2
Z50	2,4
Z60	1,7



Obrázek 22 Obsah vzduchu záměsi Z0

4.4.1. Vyhodnocení obsahu vzduchu

Obsah vzduchu u záměsí Z0, Z35, Z50 a Z60 se pohybuje podobně a to okolo 2 %. Ocelová vlákna tudíž nemají velký vliv na provzdušnění referenčního betonu. Podrobné grafické znázornění jednotlivých záměsí je vyobrazeno v grafu 10.



Graf 10 Zkouška obsah vzduchu v čerstvém betonu

5. Zkoušky ztvrdlého betonu

5.1. Objemová hmotnost ztvrdlého betonu

Stanovení objemové hmotnosti ztvrdlého vláknobetonu je stanoveno podle „ČSN EN 12390-7 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 7: Objemová hmotnost ztvrdlého betonu“ [25]. Stanovení hmotnosti m bylo provedeno metodou, kde po 28 dnech bylo těleso vytaženo z vodní lázně, otřeno vlhkým hadrem a následně zváženo. Skutečné rozměry zkušebního tělesa byly naměřeny pomocí posuvného měřítka a tím byl následně objem V skutečného tělesa vypočten ze vztahu (12a nebo 12b) a výsledek zaokrouhlen na čtyři významné číslice.

$$\text{Krychle:} \quad V_k = a \times b \times c \text{ [m}^3\text{]} \quad (12a)$$

$$\text{Válec:} \quad V_v = (\pi \times r^2) \times v \text{ [m}^3\text{]} \quad (12b)$$



Obrázek 23 Stanovení hmotnosti vzorku 5/60



Obrázek 24 Měření skutečných rozměrů tělesa 1/60 pomocí posuvného měřítka

Objemová hmotnost jednotlivých záměsí byla vypočtena ze vztahu (13).

$$\rho = \frac{m}{V} [\text{kg.m}^{-3}] \quad (13)$$

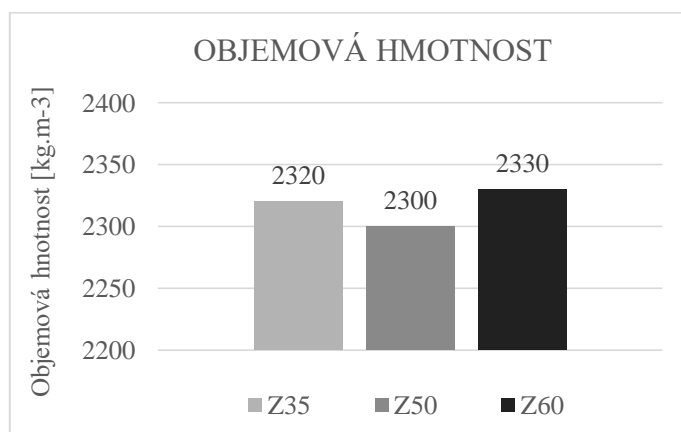
5.1.1. Vyhodnocení objemové hmotnosti ztvrdlého betonu

Tabulka 12 popisuje objem, hmotnost a objemovou hmotnost jednotlivých zkušebních těles.

Tabulka 12 Vlastnosti jednotlivých zkušebních těles

Vzorky	Objem [m ³]		Hmotnost [kg]		Objemová hmotnost [kg.m ⁻³]	
	válec	krychle	válec	krychle	válec	krychle
1/35	0,005075	0,00333	11,88	7,64	2341	2294
2/35	0,005161	0,00333	12,04	7,66	2333	2300
3/35	0,005195	0,00331	11,90	7,68	2290	2322
4/35		0,00335		7,80		2327
Z35					ρ₃₅ = 2320 kg.m⁻³	
1/50	0,005179	0,00326	11,96	7,60	2309	2330
2/50	0,005337	0,00333	12,04	7,66	2256	2300
3/50	0,005179	0,00331	11,90	7,68	2298	2322
Z/50					ρ₅₀ = 2300 kg.m⁻³	
1/60	0,005248	0,00333	12,26	7,72	2336	2318
2/60	0,005389	0,00331	12,26	7,76	2275	2346
3/60	0,005213	0,00335	12,22	7,78	2344	2321
4/60	0,005284	0,00331	12,40	7,80	2347	2358
5/60	0,005354	0,00333	12,36	7,76	2308	2330
6/60	0,005319	0,00333	12,34	7,78	2320	2336
Z/60					ρ₆₀ = 2330 kg.m⁻³	

Objemové hmotnosti jednotlivých záměsí vykazují vzájemně obdobné hodnoty. Délka ocelových vláken, tak nemá zásadní vliv na objemovou hmotnost jednotlivých záměsí. Objemová hmotnost jednotlivých těles a záměsí nabývá hodnot od cca 2300 kg.m⁻³ do 2350 kg.m⁻³, což je podrobněji znázorněno v tabulce 12 a grafu 11.



Graf 11 Objemová hmotnost jednotlivých záměsí

5.2. Pevnost v tlaku

Pro stanovení pevnosti v tlaku platí ustanovení „ČSN EN 12390-3 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles“ [24]. Zkouška byla provedena po 30 dnech ode dne, kdy forma ve tvaru krychle o délce hrany 150 mm byla naplněna čerstvým betonem. Zkušební tělesa byla vyzkoušena podle postupu v příloze B této normy. Zkušební tělesa byla změřena pomocí posuvného měřítka s přesností 0,5 % a následně z naměřených hodnot byla vypočtena plocha A_c , která byla vystavena zatěžování. Před samotným zkoušením byla zkušební tělesa očištěna od všech nečistot. Zkouška byla provedena pomocí zkušebního lisu od firmy Matest s kapacitou 3000 kN, jehož parametry vyhovují normě [24]. Po správném vložení a vycentrování zkušebních těles, byla nastavena konstantní rychlost zatěžování 0,6 MPa a zkoušení bylo následně zahájeno. Způsob porušení všech zkušebních těles byl vyhovující podle normy [24]. Vyjádření výsledků pevnosti v tlaku je dáno vztahem (14).

$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad (14)$$

kde: f_c je pevnost v tlaku [MPa]

F je maximální zatížení při porušení [N]

A_c je průřezová plocha určena podle přílohy B [mm²]

Maximální zatížení při porušení F byla přečtena z monitoru zkušebního lisu (obr. 25) a pomocí vypočtené skutečné průřezové plochy A_c byla dopočtena pevnost v tlaku f_c vztahem (14).



Obrázek 25 Monitor zkušebního lisu při maximálním zatížení tělesa 4/35

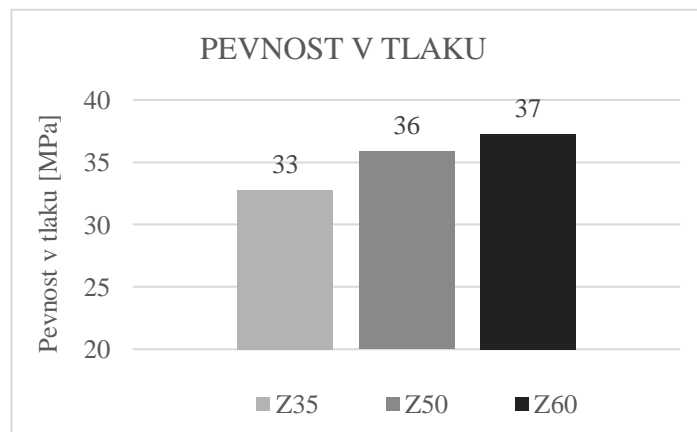
5.2.1. Vyhodnocení zkoušky pevnost v tlaku

Pevnost v tlaku jednotlivých těles ve tvaru krychle obsahuje tabulka 13. Všechna zkušební tělesa byla při zkoušce pevnosti v tlaku porušena vyhovujícím způsobem.

Tabulka 13 Naměřené hodnoty jednotlivých těles

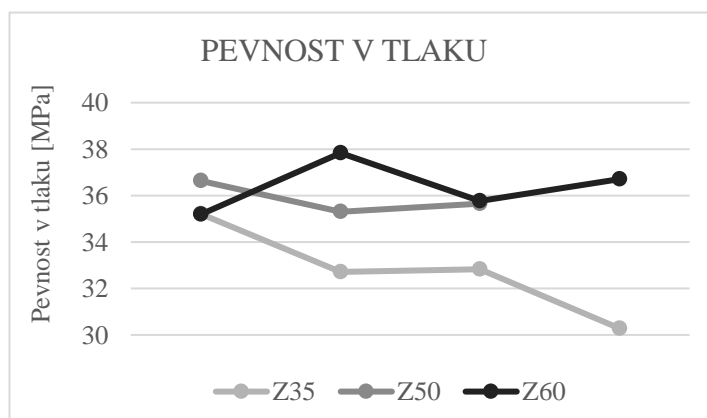
Vzorky krychle	Max. zatížení při porušení	Pevnost v tlaku
	F [kN]	f_c [MPa]
1/35	781,699	35,211667
2/35	726,063	32,705541
3/35	723,763	32,823719
4/35	676,722	30,278389
Z35		33 MPa
1/50	796,758	36,632552
2/50	783,721	35,302748
3/50	786,300	35,659864
Z/50		36 MPa
1/60	781,141	35,186532
2/60	834,197	37,832063
3/60	799,198	35,758300
4/60	809,377	36,706440
5/60	830,014	37,388018
6/60	902,731	40,663559
Z/60		37 MPa

Vliv délky ocelových vláken na pevnost v tlaku je zavádějící. Delších ocelových vláken bude v jednotlivých záměsích méně než ocelových vláken kratších při stejném dávkování 30 kg.m^{-3} . Z tohoto důvodu lze konstatovat, že pevnost v tlaku ovlivňuje jak množství, poměr L/d , tak i samotná délka vláken. Při zkoušce pevnosti v tlaku dosahovala nejvyšších hodnot záměs Z60, která obsahuje vlákna o délce 60 mm. Záměsi s kratšími vlákny obsahují více drátků než záměsi s delšími vlákny a to má za následek oslabení záměsi v tlaku. V grafu 12 je znázorněno, že záměsi s delšími ocelovými vlákny mají pevnost v tlaku vyšší než záměsi s kratšími vlákny. Výsledky jednotlivých záměsích jsou uvedeny v grafu 12 a 13.



Graf 12 Krychelná pevnost v tlaku

Aby výsledky pevnosti v tlaku odpovídaly nejpřesnějším hodnotám, bylo použito 3 a více zkušebních těles. Graf 13 prokazuje, že pevnost v tlaku u jednotlivých zkušebních těles s delšími drátky nabývají vyšších hodnot než u záměsí s kratšími ocelovými vlákny.



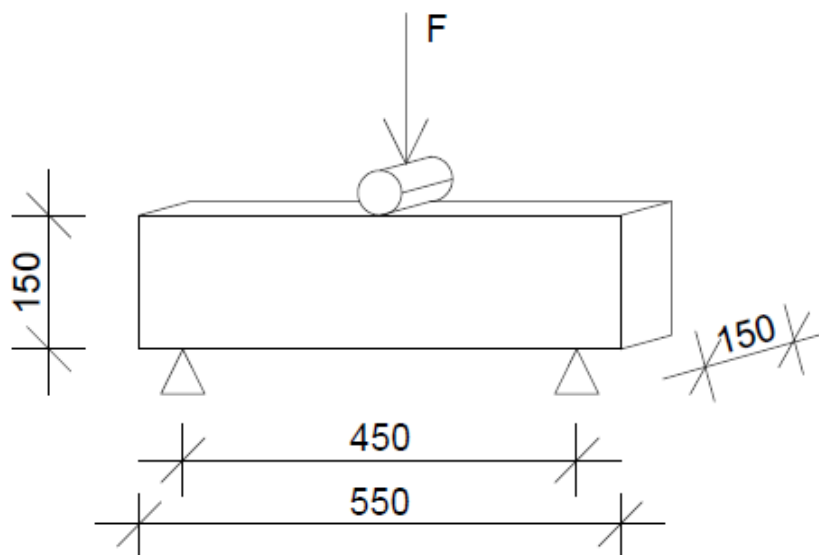
Graf 13 Pevnost v tlaku jednotlivých zkušebních těles



Obrázek 26 Zkouška pevnost v tlaku u tělesa 2/50

5.3. Pevnost v tahu za ohybu – zbytková pevnost

V experimentální části práce byla hlavní pozornost zaměřena na měření zbytkové pevnosti v tahu za ohybu. Zkouška byla prováděna tříbodovým ohybem. Ke zkoušce pevnosti v tahu za ohybu byla použita zkušební tělesa bez zářezu o rozměrech 150 x 150 x 550 mm. Modifikace rozměrů podle ČSN EN 14651+A1 [10] (viz obr. 27). Tato zkušební tělesa byla zvolena s ohledem na použité ocelové vlákna. Dalším důvodem byla také váha tělesa, zkouška byla prováděna celkem na 12 tělesech o přibližné hmotnosti 30 kg.



Obrázek 27 Způsob zatížení zkušebního tělesa, modifikovaná zkouška podle [10]

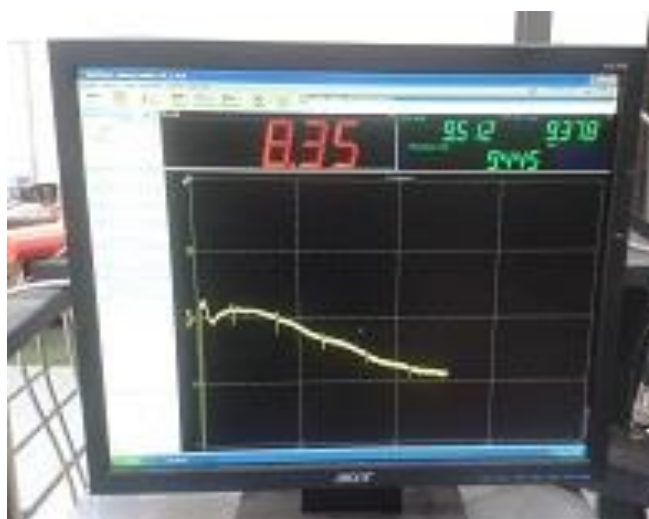
Zkouška byla provedena v laboratoři ČVUT Fakulty stavební, Experimentální centrum ve stáří 40 - 45 dnů na zkušebním stroji ZUZ 200 od společnosti INOVA. Z ohledem na technické vybavení bylo přistoupeno k postupu zatěžování modifikací zkoušky podle [21]. Zkušební tělesa byla zatěžována silou F konstantní rychlostí 0,2 mm/min ($\pm 0,03$) do momentu ukončení zkoušky. Průhyb trámce byl snímán inkrementálními snímači.



Obrázek 28 Zkouška tříbodovým ohybem pomocí zkušebního stroje ZUZ 200

Výstupem byly hodnoty síly a průhybu, které pomocí měřicí ústředny Dewetron + DEWE soft byly zaznamenány v digitální podobě. Data jednotlivých zkoušek byla ukládána do souboru MS Excel. Soubor jedné zkoušky (jednoho zkušebního tělesa) obsahoval až 60 000 řádků, kde soubor zaznamenal hodnoty: čas, sílu a průměrný průhyb, který je vyjádřen ze dvou snímačů. Zkouška vyžaduje maximální přesnost a pečlivost, tím se doba trvání zkoušky jednoho zkušebního tělesa pohybovala kolem 90 minut.

Pevnost v tahu za ohybu byla vypočítána ze vztahu (viz kapitola „2.5.2. Měření pevnosti v tahu za ohybu“) se zaokrouhlením na 0,1 MPa.



Obrázek 29 Zaznamenávání dat pomocí měřicí ústředny Dewetron + DEWE soft

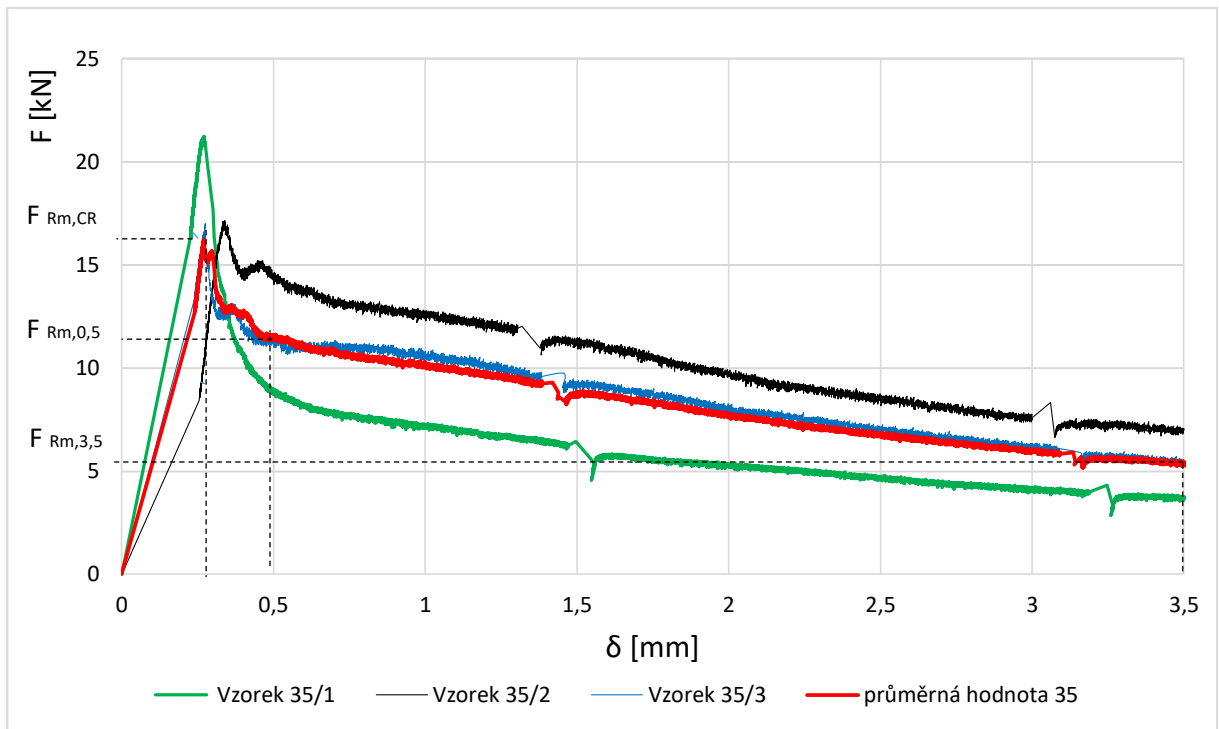
5.3.1. Zkouška pevnosti v tahu za ohybu pro zkušební tělesa Z35

Pro záměs Z35 byly využity tři zkušební tělesa. Rozměry zkušebních těles s ocelovými vlákny HE 75/35, které jsou potřebné ke zjištění reziduálních pevností, jsou uvedeny v tabulce 14.

Tabulka 14 Rozměry měřených vzorků Z35

Vzorky	délka rozpětí l	šířka tělesa b	výška tělesa h
	[mm]	[mm]	[mm]
1/35	450	151,02	151,00
2/35	450	150,08	150,09
3/35	450	150,07	150,01

V grafu 14 jsou zaznamenány hodnoty tří vzorků (viz tabulka 14) společně s křivkou, která udává průměrnou hodnotu. Křivka obsahuje průměrné hodnoty ze zkušebních těles (1/35, 2/35 a 3/35).



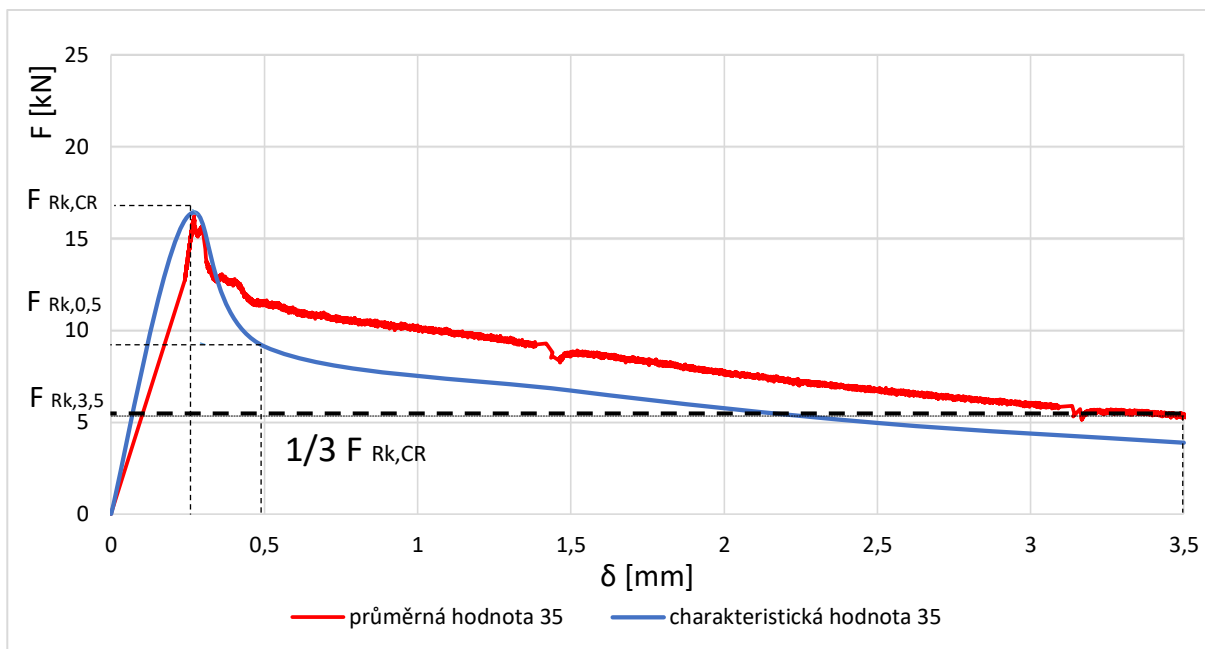
Graf 14 Průměrný diagram trámů Z35

Tabulka 15 Naměřené hodnoty zatížení vzorků Z35

Z35	F_j [kN]				$F_{Rm,CR}$ [kN]			
	1/35	2/35	3/35	$\bar{\delta}$	1/35	2/35	3/35	$\bar{\delta}$
0,25	19,7	8,1	14,3	14,0	21,2	17,3	16,1	18,2
0,5	8,9	14,6	11,3	11,6				
1,5	6,4	11,4	9,2	9,0				
2,5	4,7	8,4	7,1	6,7				
3,5	3,7	7,1	5,4	5,4				

Průběh průměrného diagramu odolnosti normalizovaných trámů se stanovil statistickým vyhodnocením hodnot odolnosti jednotlivých trámů (1/35, 2/35, 3/35) při dosažení deformace (viz tabulka 15 a graf 14). Z průměrného diagramu (graf 14) odolnosti bylo stanoveno:

1. $F_{Rm,CR} = 18,2$ kN, při průhybu na mezi makrotrhliny δ
2. $F_{Rm,0,5} = 11,6$ kN, při dohodnutém průhybu $\delta_{0,5} = 0,5$ mm
3. $F_{Rm,3,5} = 5,4$ kN, při dohodnutém mezním průhybu $\delta_{3,5} = 3,5$ mm



Graf 15 Průměrný a charakteristický diagram odolnosti Z35

Z charakteristického diagramu (graf 15) odolnosti byly stanoveny následující průměrné hodnoty.

1. $F_{Rk,CR} = 16,22$ kN, při průhybu na mezi makrotrhliny δ
2. $F_{Rk,0,5} = 9,1$ kN, při dohodnutém průhybu $\delta_{0,5} = 0,5$ mm
3. $F_{Rk,3,5} = 3,9$ kN, při dohodnutém mezním průhybu $\delta_{3,5} = 3,5$ mm

Tabulka 16 Pevnost v tahu za ohybu (Z35)

Z35	Pevnost v tahu za ohybu
	[MPa]
$f_{fc,tk,CR}$	3,6
$f_{fc,tk,0,5}$	2,3
$f_{fc,tk,3,5}$	1,1

Výsledná charakteristická pevnost v tahu za ohybu u zkušebních těles (1/35, 2/35 a 3/35) byla vypočtena pomocí vztahu (6 viz kapitola „2.5.2. Měření pevnosti v tahu za ohybu“).

Vyhodnocení zkoušky pevnost v tahu za ohybu pro tělesa Z35:

U záměsi s ocelovými vlákny HE 75/35 (Z35) dosahovalo zatížení při porušení hodnoty až 21,2 kN, konkrétně u vzorku č. 1/35. U vzorku č. 1/35 je patrné, že ocelová vlákna byla abnormálně aktivována až na hodnotu 21,2 kN, ale v momentu porušení hodnota rychle klesla na hodnotu 8 kN, která je nižší než u vzorků č. 2/35 a č. 3/35. Od $\delta = 2,12$ mm charakteristická

hodnota klesla pod hranici $1/3 F_{Rk,CR}$, což má za následek, že v záměsi Z35 lze označit účinek drátka za zanedbatelný v případě, když by byla záměs použita do nosných konstrukcí.

5.3.2. Zkouška pevnosti v tahu za ohybu pro zkušební tělesa Z50

Pro stanovení reziduálních pevností byla použita tři zkušební tělesa (1/50, 2/50 a 3/50).

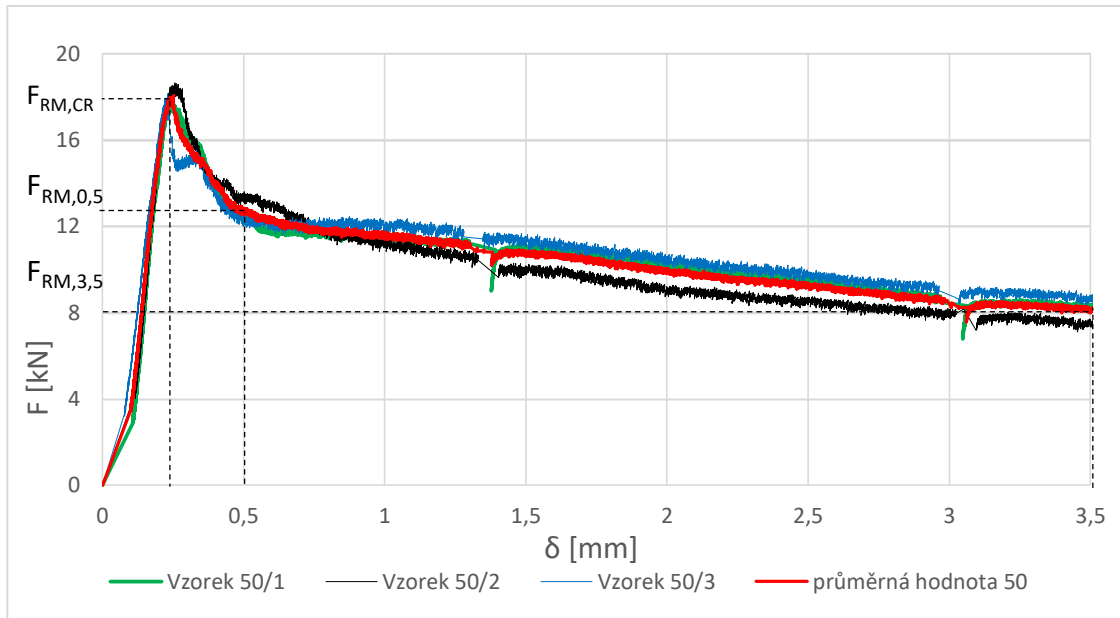
Tabulka 17 Rozměry měřených vzorků Z50

Vzorky	délka rozpětí l	šířka tělesa b	výška tělesa h
	[mm]	[mm]	[mm]
1/50	450	150,01	151,01
2/50	450	149,93	150,05
3/50	450	150,05	150,01

V grafu 16 jsou zaznamenány hodnoty tři vzorků (viz tabulka 17) společně s křivkou, která udává průměrnou hodnotu.



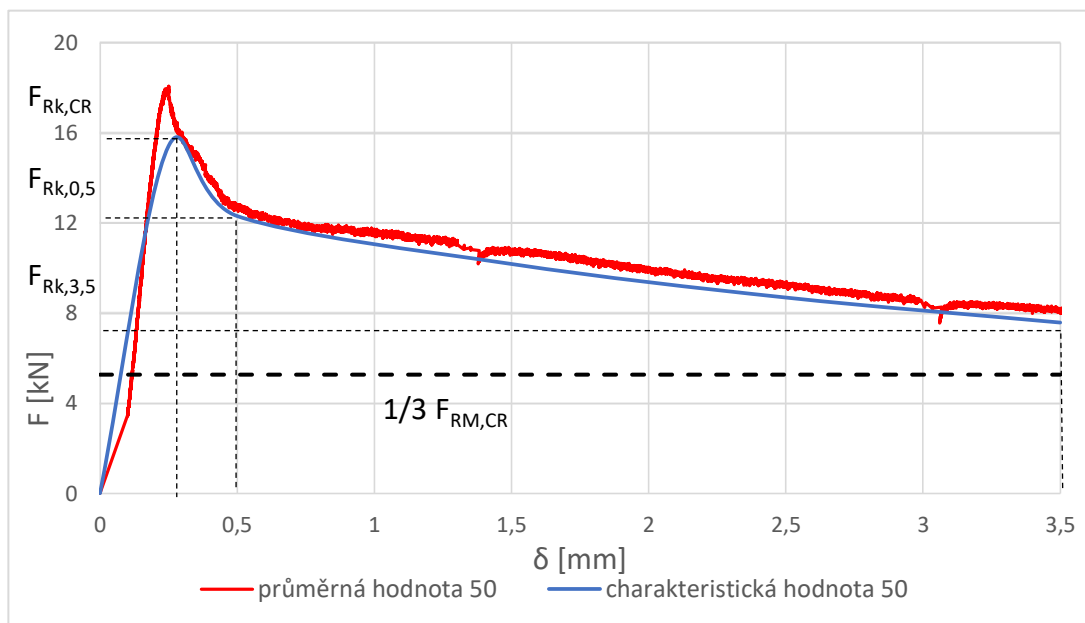
Obrázek 30 Měření reziduálních pevností



Graf 16 Průměrný diagram trámů Z50

Tabulka 18 Naměřené hodnoty Z50

Z50	F_j [kN]				$F_{Rm,CR}$ [kN]			
	1/50	2/50	3/50	Ø	1/50	2/50	3/50	Ø
0,25	17,4	17,9	15,2	16,8	18,2	17,5	17,8	17,8
0,5	12,4	13,5	12,3	12,7				
1,5	10,9	10,1	11,5	10,8				
2,5	9,5	8,6	9,7	9,3				
3,5	8,3	7,5	8,5	8,1				



Graf 17 Průměrný a charakteristický diagram Z50

Z průměrného diagramu (graf 16) odolnosti byly stanoveny následující hodnoty:

$$F_{RM,CR} = 17,8 \text{ kN}$$

$$F_{RM,0,5} = 12,7 \text{ kN}$$

$$F_{RM,3,5} = 8,1 \text{ kN}$$

Z charakteristického diagramu (graf 17) odolnosti byly stanoveny následující hodnoty:

$$F_{Rk,CR} = 15,9 \text{ kN}$$

$$F_{Rk,0,5} = 12,3 \text{ kN}$$

$$F_{Rk,3,5} = 7,6 \text{ kN}$$

Tabulka 19 Pevnost v tahu za ohybu (Z50)

Z50	Pevnost v tahu za ohybu
	[MPa]
$f_{fc,tk,CR}$	3,5
$f_{fc,tk,0,5}$	2,5
$f_{fc,tk,3,5}$	1,6

Výsledná charakteristická pevnost v tahu za ohybu u zkušebních těles (1/50, 2/50 a 3/50) byla vypočtena pomocí vztahu (6 viz kapitola „2.5.2. Měření pevnosti v tahu za ohybu“).

Vyhodnocení zkoušky pevnost v tahu za ohybu pro tělesa Z50:

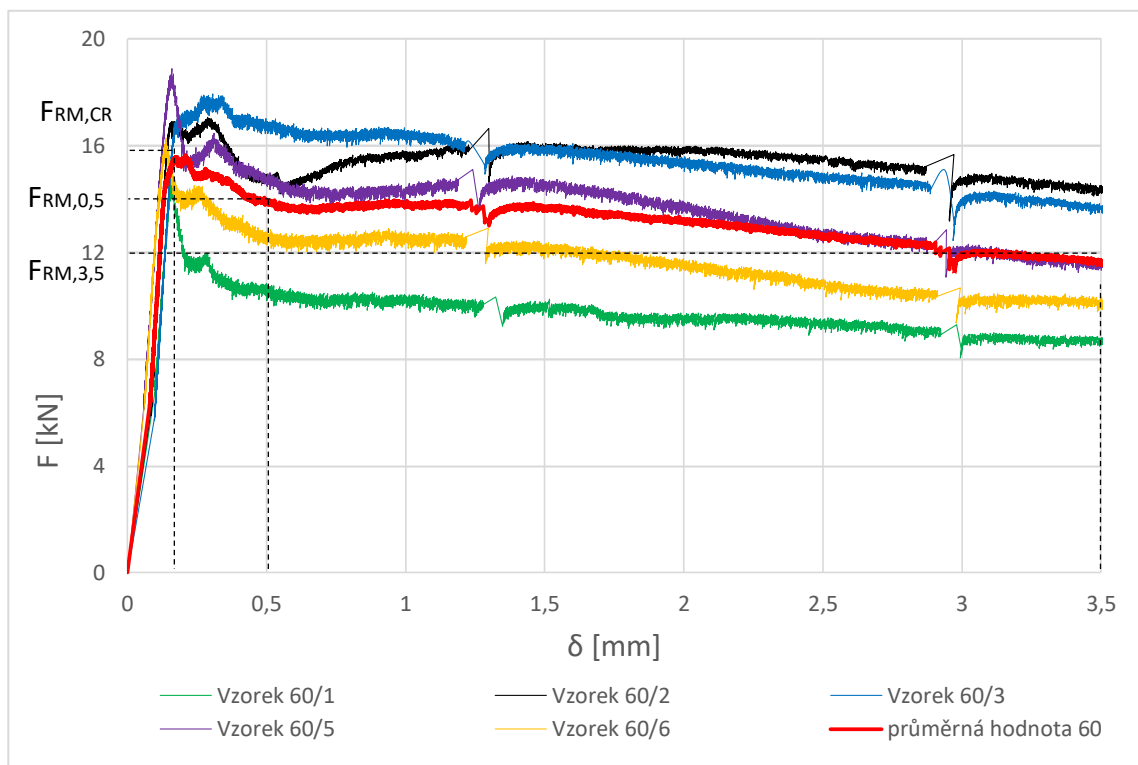
U záměsi s ocelovými vlákny HE 1/50 (Z50) dosahovalo zatížení při porušení hodnoty až 18,2 kN u vzorku č. 1/50. Reziduální pevnost klesala mírně z hodnoty 12 kN od dohodnutého průhybu $\delta = 0,5 \text{ mm}$ na hodnotu 8 kN k dohodnutému meznímu průhybu $\delta = 3,5 \text{ mm}$. Z grafu 16 je velmi dobře vidět, jak ocelová vlákna dobře přenášejí účinky zatížení i po porušení makrotrhlinou.

5.3.3. Zkouška pevnosti v tahu za ohybu pro zkušební tělesa Z60

Zkušebních těles obsahující záměs Z60 bylo pro zkoušku v tahu za ohybu zhotoveno 6. Při měření zkušebního tělesa 4/60 došlo k neočekávanému posunu a tím bylo ovlivněno měření. Těleso 4/60 obsahovalo hodnoty velmi odlišné od ostatních zkušebních těles ze záměsi Z60. Z tohoto důvodu se ve výpočtech zkušební těleso nevyskytuje. Pro stanovení reziduálních pevností bylo použito pět zkušebních těles (1/60, 2/60, 3/60, 5/60 a 6/60).

Tabulka 20 Rozměry měřených vzorků Z60

Vzorky	délka rozpětí l	šířka tělesa b	výška tělesa h
	[mm]	[mm]	[mm]
1/60	450	150,02	151,06
2/60	450	149,98	150,03
3/60	450	150,11	150,07
5/60	450	150,03	150,10
6/60	450	150,05	150,01



Graf 18 Průměrný diagram trámů Z60

Z průměrného diagramu (graf 18) odolnosti byly stanoveny následující hodnoty:

$$F_{RM,CR} = 15,8 \text{ kN}$$

$$F_{RM,0,5} = 14,2 \text{ kN}$$

$$F_{RM,3,5} = 11,9 \text{ kN}$$

Z charakteristického diagramu (graf 19) odolnosti byly stanoveny následující hodnoty:

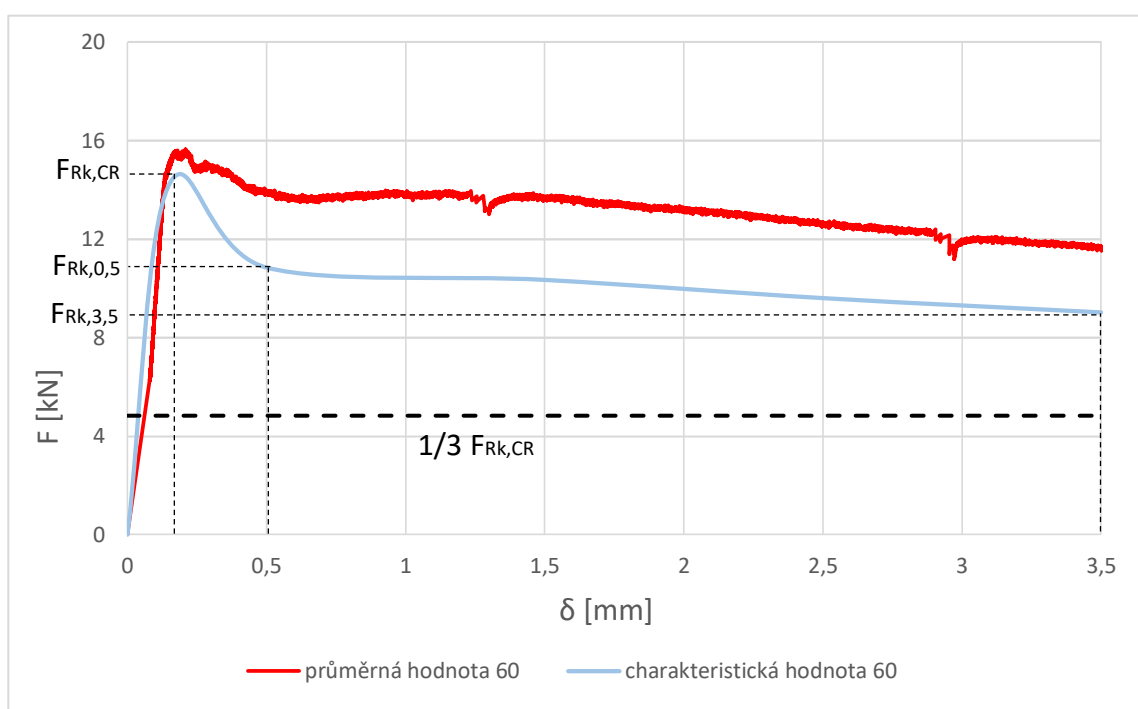
$$F_{Rk,CR} = 14,6 \text{ kN}$$

$$F_{Rk,0,5} = 9,1 \text{ kN}$$

$$F_{Rk,3,5} = 8,8 \text{ kN}$$

Tabulka 21 Naměřené hodnoty Z60

Z60	F_j [kN]						$F_{Rm,CR}$ [kN]					
	1/60	2/60	3/60	5/60	6/60	Ø	1/60	2/60	3/60	5/60	6/60	Ø
0,15	14,1	16,6	14,7	18,3	15,2	13,2	14	16	17,9	19	15	16,4
0,5	10,4	14,9	16,7	14,8	12,6	11,7						
1,5	9,9	15,6	15,9	14,5	12,1	11,6						
2,5	9,3	15,5	14,6	12,7	10,8	10,9						
3,5	8,8	14,4	13,7	11,6	9,9	10,3						



Graf 19 Průměrný a charakteristický diagram Z60

Tabulka 22 Pevnost v tahu za ohybu (Z60)

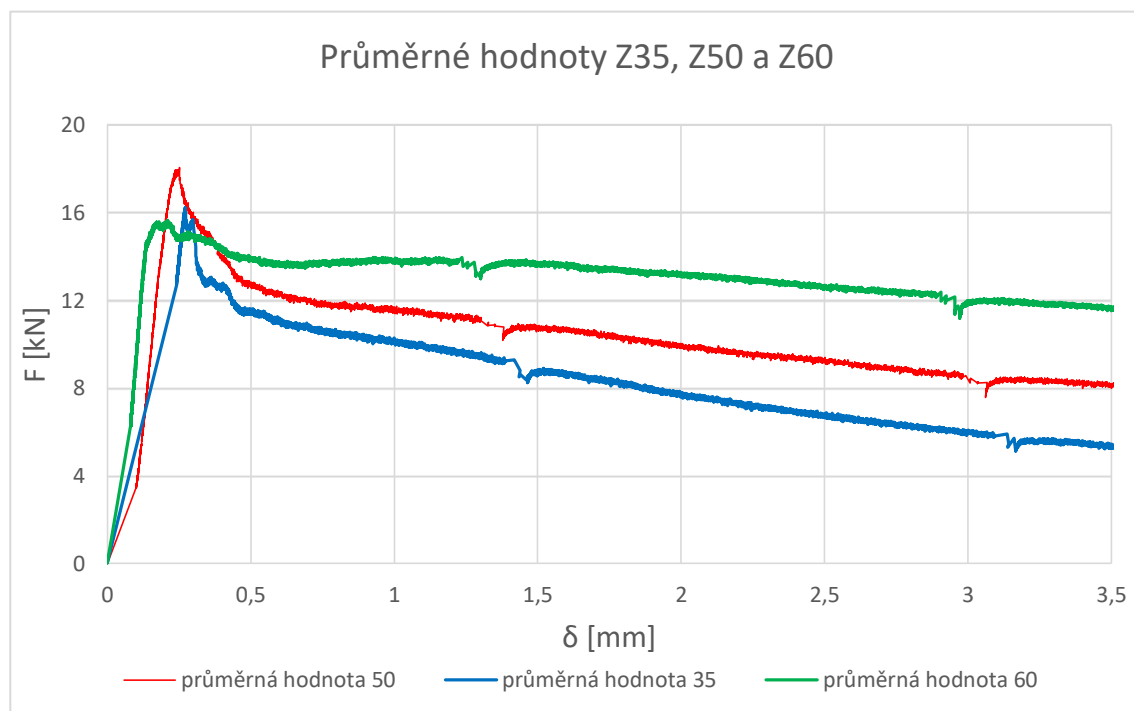
Z60	Pevnost v tahu za ohybu
	[MPa]
$f_{fc,tk,CR}$	3,3
$f_{fc,tk,0,5}$	2,3
$f_{fc,tk,3,5}$	2,1

Výsledná charakteristická pevnost v tahu za ohybu u zkušebních těles (1/60, 2/60, 3/60, 5/60 a 6/60) byla vypočtena pomocí vztahu (6 viz kapitola „2.5.2. Měření pevnosti v tahu za ohybu“).

Vyhodnocení zkoušky pevnost v tahu za ohybu pro tělesa Z60:

U záměsi Z60 s ocelovými vlákny Dramix 3D 55/60 BL dosahovalo zatížení při porušení u vzorku č. 5/60 až k hodnotě 19 kN. U vzorku č. 2/60 reziduální pevnost klesla k hodnotě 14 kN u hodnoty průhybu 0,5 mm, kde od hodnoty průhybu 0,5 mm docházelo opět ke stoupání, znovu se tedy aktivovala vlákna, která přebírala tahovou pevnost. V grafu 18 je vidět, jak ocelová vlákna velmi dobře přenášejí účinky zatížení v jednotlivých vzorcích.

5.3.4. Zkouška pevnost v tahu za ohybu -porovnání (Z35, Z50 a Z60)



Graf 20 Porovnání průměrných hodnot záměsí Z35, Z50 a Z60

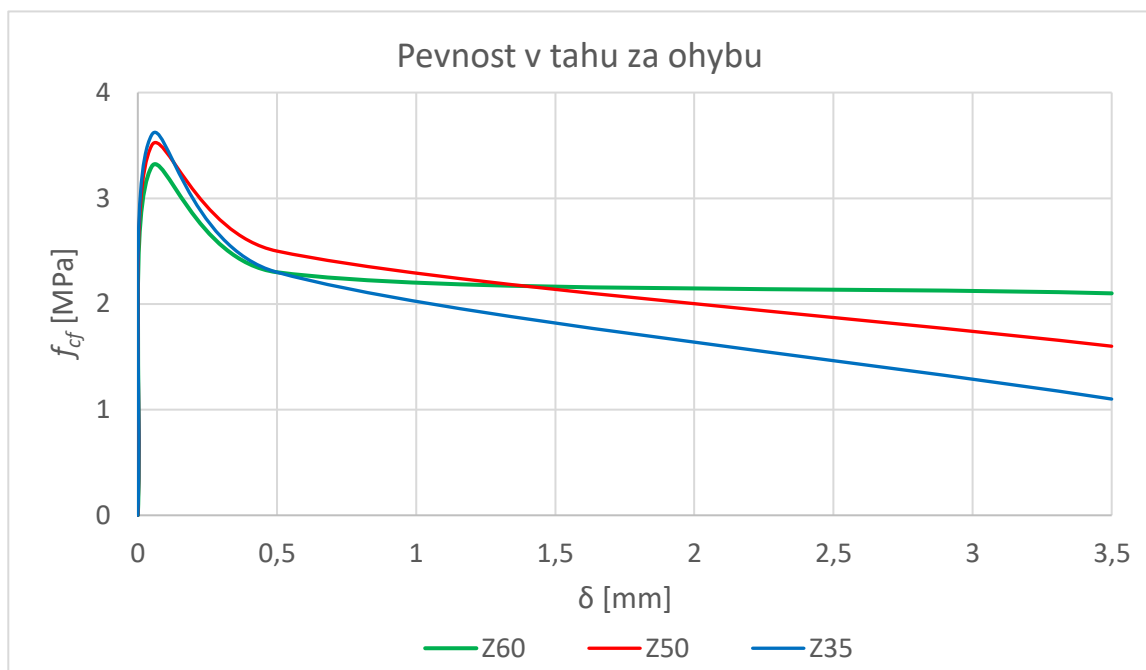
Nejvyšších hodnot zatížení při porušení dosahovala záměs Z50, která obsahuje ocelová vlákna o délce 50 mm. Trámce ze záměsi Z60 s ocelovými vlákny o délce 60 mm dosahovaly nejmenších hodnot zatížení při porušení. Zkušební tělesa obsahující záměs Z35 dosahovaly relativně velkých hodnot zatížení při porušení, ale po porušení následovalo prudké snížení zatížení až o 4 kN během deformace $\delta = 0,1$ mm. Reziduální zatížení dosahuje nevyšších hodnot u záměsi Z60. V reziduálním mezním průhybu $\delta = 3,5$ mm dosahují zkušební tělesa Z60

přibližně o 30 % vyšších hodnot zatížení než u zkušebních těles Z50 a u zkušebních těles Z35 je to dokonce o cca 50 % (viz graf 20).

Pevnost v tahu za ohybu dosahuje maximální hodnoty při porušení přibližně 3,6 MPa u záměsí Z35, Z50. Zbytková pevnost v ohybu dosahuje jednoznačně nejlepších výsledků ze záměsí Z60.

Tabulka 23 Přehled pevnosti v tlaku (Z35, Z50 a Z60)

[MPa]	Pevnost v tahu za ohybu		
	Z35	Z50	Z60
$f_{fc,tk,CR}$	3,6	3,5	3,3
$f_{fc,tk,0,5}$	2,3	2,5	2,3
$f_{fc,tk,3,5}$	1,1	1,6	2,1



Graf 21 Pevnost v tahu za ohybu (Z35, Z50 a Z60)

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo porovnání vlivu délky drátků na pevnostní charakteristiky drátkobetonu. Bakalářská práce byla rozdělena na teoretickou a experimentální část. V teoretické části bylo cílem zachytit především současný stav poznání drátkobetonů, které jsou dále zkoušeny v rámci experimentální části.

Vliv délky drátků na pevnostní charakteristiky drátkobetonu byly ověřovány v experimentální části. Zkoušky byly provedeny jak pro čerstvý, tak ztvrdlý beton. Zkoušky čerstvého betonu byly provedeny jednak kvůli ověření konzistence referenčního betonu, tak i kvůli vzájemnému porovnání s referenčními záměsi, doplněnými o ocelová vlákna s odlišnou délkou stejného typu. Porovnávána byla jak záměs referenční, tak i jednotlivé záměsi, doplněné o 30 kg.m^{-3} drátků o délce 35 mm, 50 mm a 60 mm. U zkoušek ztvrdlého betonu byla ověřována pevnost v tlaku, ovšem největší pozornost byla věnována ověření pevnosti v tahu za ohybu. Výstupem porovnání pevností bylo ověřit, zda má vliv na pevnost betonu délka ocelových vláken.

Nejprve byly vyhodnoceny zkoušky čerstvého betonu, kde výsledky sednutí a rozlité kužele vycházely S4, F4 – F5, jedná se tedy o směs tekutou. Objemová hmotnost čerstvé směsi dosahovala o něco vyšších hodnot u záměs s ocelovými vlákny. Jednotlivé záměsi vykazovaly podobné hodnoty obsahu vzduchu v čerstvém betonu, přibližně 2,1 % z jeho celkového objemu.

Pevnostní zkoušky kompozitu s delšími ocelovými vlákny v tlaku dosahovaly vyšších hodnot, než u zkušebních těles s kratšími vlákny. Dosažená krychelná pevnost betonu v tlaku se pohybovala v rozmezí od 33 MPa do 37 MPa. Vyšší pevnost u drátkobetonů s delšími ocelovými vlákny může být ovlivněna hlavně dvěma způsoby. První způsob může být vlastnost ocelového vlákna. V tabulce 6. je detailní porovnání použitých ocelových vláken v záměsích, kde je prokazatelné, že nejzásadnější rozdíl ve vlastnostech je vliv jejich délky. Delší ocelová vlákna mají tak pozitivní vliv na pevnost v tlaku. Druhým způsobem, může být množství vláken ve zkušebním tělese. Delších ocelových vláken bylo ve vzorcích kusově méně, než ocelových vláken kratších, při stejném dávkování 30 kg.m^{-3} . Důvodem může být, že zkušební těleso s vyšším kusovým množstvím drátků vyvolává větší napětí, které rychleji aktivuje porušení při zatížení tlakem.

Z hlediska ohybových zkoušek drátkobetonu byla využita jedna z možných metod zkoušení pomocí tříbodového ohybu reziduální pevnosti. Při porovnání výsledků v tahu za ohybu je patrné, že nejlepších výsledků dosahuje beton s nejdelšími ocelovými vlákny. Při srovnání s betonem s nejkratšími vlákny, je jeho pevnost v tahu za ohybu v reziduální oblasti místy až o

50 % vyšší. Pevnost betonu s nejdelšími vlákny v reziduální oblasti je vyšší, i než beton Z50, přibližně o 30 %. U výsledků pevnosti je rozdíl mezi jednotlivými betony nejvýraznější v mezním průhybu $\delta_{tk,3,5} = 3,5$ mm, kde je rozdíl mezi Z35 a Z60 1MPa. Nejdelší ocelová vlákna mají pozitivní vliv na zbytkovou pevnost betonu v tahu, kdežto nejkratší ocelová vlákna dosahují nepatrně vyšších hodnot do vzniku makrotrhliny, ale v reziduální oblasti nemají schopnost pevnost betonu výrazněji zlepšit. Pokud by byla potřeba dosáhnout vyšších reziduálních hodnot, je nutné použít především delší ocelová vlákna, která mají schopnost se v matrici efektivněji aktivovat, a tím zlepšit pevnost betonu po vzniku trhliny.

Na základě dosud provedených experimentálních prací lze konstatovat, že delší ocelová vlákna vykazují lepší hodnoty jak v tlaku, tak ve zbytkové pevnosti v tahu, kde je rozdíl ještě výraznější. Rozptýlená výztuž může za určitých předpokladů zcela nahradit funkci betonářské výztuže, například v ostění podzemních staveb. Drátkobeton rozšiřuje možnosti uplatnění betonu, zejména z ekonomického a technologického provádění výroby ve srovnání s železobetonem.

CITACE

- [1] BAREŠ, Richard A. *Kompozitní materiály*. 1988. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury. Redakce stavební literatury. Typové číslo L17-B3-IV-31/72231.
- [2] ČSN EN 206 +A1. *Beton: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*. 2017. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [3] ČSN P 73 2404. *Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda - Doplnující informace*. 2016. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [4] ČSN P 73 2450. *Vláknobeton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*. 2015. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [5] ČSN P 73 2451. *Vláknobeton - Zkoušení čerstvého vláknobetonu*. 2015. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [6] ČSN P 73 2452. *Vláknobeton - Zkoušení ztvrdlého vláknobetonu*. 2015. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [7] ČSN EN 14845-1. *Vláknobeton - Zkušební metody pro vlákna v betonu - Referenční betony*. 2008. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [8] ČSN EN 14845-2. *Vláknobeton - Zkušební metody pro vlákna do betonu: Část 2: Vliv na beton*. 2007. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [9] ČSN EN 14889-1. *Vlákna do betonu – Část 1: Ocelová vlákna – Definice, specifikace a shoda*. 2007. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [10] ČSN EN 14651 +A1. *Vláknobeton - Zkušební metoda betonu s kovovými vlákny - Měření pevnosti v tahu za ohybu (mez úměrnosti, zbytková pevnost)*. 2008. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [11] KRÁTKÝ, Jiří, Karel TRTÍK a Jan VODIČKA. *Drátkobetonové konstrukce: úvodní část a příklady použití: směrnice pro navrhování, provádění, kontrolu výroby a zkoušení drátkobetonových konstrukcí*. 1. vyd. Praha: Informační centrum České komory autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě, 1999, 107 s. ISBN 80-86364-00-3.
- [12] MEHTA, P. Kumar a Paulo J. M. MONTEIRO. *Concrete: microstructure, properties, and materials*. 4th ed. New York: McGraw-Hill Education. 2014. ISBN 978-0-07-179787-0; MHID 0-07-179787-4.

- [13] PYTLÍK, Petr. *Technologie betonu*. 2. vyd. Brno: VUTIUM, 2000. ISBN 80-214-1647-5.
- [14] WANG, Z. L., WU, J., WANG, J., G., Experimental and numerical analysis on effect of fibre aspect ratio on mechanical properties of SRFC. *Construction and Building Materials*. 2010, vol. 24, issue 4, s. 559 - 565.
- [15] Peter JM BARTOŠ, *Betonové konstrukce 21. století – Betony s přidanou hodnotou – Vláknobeton*. 2012, vyd 7, s 68 – 78.
- [16] HILAR, Matouš. 2008. *Stříkaný beton v podzemním stavitelství*. Vyd. 1. Praha: Český tunelářský komitét ITA-AITES, 68 s. Dokumenty českého tunelářského komitétu ITA-AITES, sv. 3. ISBN 978-802-5412-626.
- [17] Steel Fibres. *ArcelorMittal Distribution* [online]. 2018 [cit. 2018-03-27]. Dostupné z: <http://ds.arcelormittal.com/wiresolutions/steelfibres/products/language/EN>
- [18] DAfStb *Richtlinie Stahlfaserbeton 2012-11*, DAfStb technical rule Steel Fibre Concrete, Berlin, 2012-11.
- [19] DIN EN 1992-1 -1/NA, *Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings*. Brussels: CEN, 2004.
- [20] Technical Report No. 34. *Concrete industrial ground floors*. Concrete society.
- [21] *Richtlinie Faserbeton*. Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik, Ausgabe 2002.
- [22] ČSN EN 12390-1. *Zkoušení ztvrdlého betonu: Část 1: Tvar, rozměry a jiné požadavky na zkušební tělesa a formy*. 2013. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [23] ČSN EN 12390-2. *Zkoušení ztvrdlého betonu: Část 2: Výroba a ošetřování zkušebních těles pro zkoušky pevnosti*. 2009. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [24] ČSN EN 12390-3. *Zkoušení ztvrdlého betonu: Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles*. 2009. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [25] ČSN EN 12390-7. *Zkoušení ztvrdlého betonu: Část 7: Objemová hmotnost ztvrdlého betonu*. 2009. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [26] ČSN EN 12350-2. *Zkoušení čerstvého betonu: Část 2: Zkouška sednutím*. 2009. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.

- [27] ČSN EN 12350-5. *Zkoušení čerstvého betonu: Část 5: Zkouška rozlitím*. 2009. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [28] ČSN EN 12350-6. *Zkoušení čerstvého betonu: Část 6: Objemová hmotnost*. 2009. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [29] ČSN EN 12350-7. *Zkoušení čerstvého betonu: Část 7: Obsah vzduchu: Tlakové metody*. 2009. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [30] Dramix® steel fiber concrete reinforcement. *BEKAERT* [online]. 2015 [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <https://www.bekaert.com/en/products/construction/concrete-reinforcement/dramix-steel-fiber-concrete-reinforcement>
- [31] VÍTEK, J. L., SMIRŇSKÝ, S., VESELÝ, P., VESELÝ, V. Rozptyl parametrů drátkobetonu ve vazbě na způsob jeho výroby. In: *Sborník konference Fibre Concrete 2013*. Praha, 2013
- [32] HANZALOVÁ, H., VODIČKA, J., KRÁTKÝ, J. Information of normative proces for fibre-reinforced concrete standards in Czech Republic. In: *Sborník konference Fibre Concrete 2015*. Praha, 2015.
- [33] ČSN EN 12390-6. *Zkoušení ztvrdlého betonu: Část 6: Pevnost v příčném tahu zkušebních těles*. 2010. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [34] ČSN EN 12390-5. *Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 5: Pevnost v tahu ohybem zkušebních těles*. 2009. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [35] TP FC 1-1: *Technické podmínky 1: Vláknobeton – Část 1: Zkoušení vláknobetonu – vyhodnocení destruktivních zkoušek a stanovení charakteristického pracovního diagramu vláknobetonu pro navrhování vláknobetonových konstrukcí*. 2007. Praha: Českomoravský beton, a.s. 34s.
- [36] DIN 51220: *Werkstoffprüfmaschinen - Allgemeines zu Anforderungen an Werkstoffprüfmaschinen und zu deren Prüfung und Kalibrierung*. 2003.
- [37] ČSN EN 14488-3: *Zkoušení stříkaného betonu - Část 3: Ohybová únosnost (při vzniku trhliny, mezní a zbytková) vláknobetonových trémových zkušebních těles*. 2006. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [38] DBV Merkblatt – Stahlfaserbeton. *Deutscher Beton – und Bautechnik Vereln E. V.*, October 2001.

- [39] DIN EN 12390-1: *Testing hardened concrete - Part 1: Shape, dimensions and other requirements for specimens and moulds*. German. 2012.
- [40] ČSN 73 1201: *Navrhování betonových konstrukcí pozemních staveb*. 2010. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [41] ČSN EN 197-1 ed. 2: *Cement - Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití*. 2012. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [42] ČSN EN 12620 +A1: *Kamenivo do betonu*. 2008. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [43] Ebeton. *Ocelová vlákna do betonu* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://www.ebeton.cz/pojmy/ocelova-vlakna-do-betonu>
- [44] VODIČKA, CSC., Doc. Ing. Jan, Ing. Jitka VÁŠKOVÁ, CSC., Doc. Ing. Jiří KRÁTKÝ, CSC. a Ing. Vladimír VESELÝ. *Materiály a Technologie: Zkoušky konstrukčního vláknobetonu*. *BETON* [online]. 2010, (2), s. 38 - 47 [cit. 2018-05-21].
- [45] ČSN EN 12390-13. *Zkoušení ztvrdlého betonu: Část 13: Stanovení sečnového modulu pružnosti v tlaku*. 2014. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [46] ČSN EN 1990 ed. 2: *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. 2015. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.


DOKLADOVÁ ČÁST

Obsah dokladové části:

- A. Technický list ocelového vlákna HE 75/35
- B. Technický list ocelového vlákna HE 1/50
- C. Technický list ocelového vlákna Dramix 3D 55/60 BL
- D. Osvědčení o stálosti vlastností portlandského cementu CEM I 42,5R
- E. Prohlášení o shodě - Firma CEMEX Czech Republic, s.r.o.
- F. Certifikát systému řízení výroby
- G. Příloha č. 1 Certifikátu systému řízení výroby

A. Technický list ocelového vlákna HE 75/35

Distribution Solutions
WireSolutions



ArcelorMittal

Technical data sheet

Hooked-end steel fibres

HE 75/35

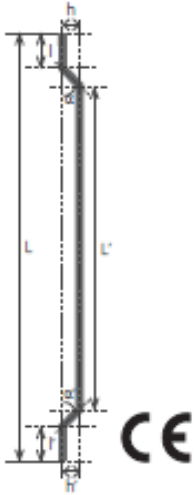
Dimensions	
Wire diameter (d)	0.75 mm (± 0.04 mm)
Fibre length (L)	35.0 mm (+2/-3 mm)
Hook length (l and l')	1 - 4
Hook depth (h and h')	1.80 mm (+1/-0 mm)
Bending angle (α and α')	45° (min. 30°)
Aspect ratio (L/d)	47
Camber of the fibre	max. 5% of L'
Torsion angle of the fibre	< 30°
Number of fibres per kg	8200
Total fibre length per 10 kg	2885 m

Packaging	
Recyclable cardboard boxes	
Net weight/box	25 kg
Boxes/palette	48
Weight/palette	1200 kg
The fibres are oriented in one direction	
Palettes are wrapped or welded in a plastic foil	
Available also in big bag of 500 kg	

Miscellaneous	
The described fibre is in accordance with the following standards:	
<ul style="list-style-type: none"> ▶ EN 14889-1 type 1 (cold-drawn wire) ▶ ASTM A820/A820M-04 type 1 (cold-drawn wire). 	

Material characteristics

- ▶ Tensile strength of drawn wire: 1200 N/mm²



ArcelorMittal Bissen & Bettendorf T +352 83 57 72 1
Route de Finsterthal, PO Box 16 F +352 83 56 98
L-7703 Bissen www.arcelormittal.com/steelfibres


Company certified ISO 9001, ISO 14001 and OHSAS 18001

All information in this promotional material is for information purposes only and does not constitute an offer. This is not contractual. Copyright ArcelorMittal 03/2014.

Zdroj: <http://ds.arcelormittal.com/repository/fanny/HE%2075-35%20EN.pdf>

B. Technický list ocelového vlákna HE 1/50

Distribution Solutions
WireSolutions



ArcelorMittal

Technical data sheet

Hooked-end steel fibres

HE 1/50

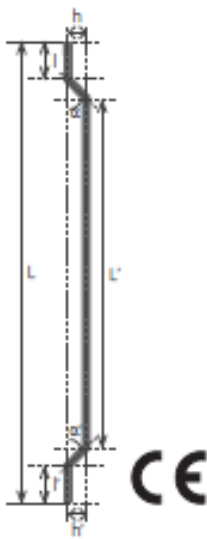
Dimensions	
Wire diameter (d)	1.00 mm (± 0.04 mm)
Fibre length (L)	50.0 mm ($+2/-3$ mm)
Hook length (l and l')	1 – 4
Hook depth (h and h')	1.80 mm ($+1/-0$ mm)
Bending angle (α and α')	45° (min. 30°)
Aspect ratio (L/d)	50
Camber of the fibre	max. 5% of L'
Torsion angle of the fibre	< 30°
Number of fibres per kg	3100
Total fibre length per 10 kg	1575 m

Packaging	
Recyclable cardboard boxes	
Net weight/box	25 kg
Boxes/pallette	48
Weight/pallette	1200 kg
The fibres are oriented in one direction	
Pallettes are wrapped or welded in a plastic foil	
Available also in big bag of 500 kg	

Miscellaneous	
The described fibre is in accordance with the following standards:	
<ul style="list-style-type: none"> ▶ EN 14889-1 type 1 (cold-drawn wire) ▶ ASTM A820/A820M-04 type 1 (cold-drawn wire) 	

Material characteristics

▶ Tensile strength of drawn wire:
1150 N/mm²



ArcelorMittal Bissen & Bettembourg T +352 83 57 72 1
 Route de Finsterthal, PO Box 16 F +352 83 56 98
 L-7703 Bissen www.arcelormittal.com/steelfibres

Company certified ISO 9001, ISO 14001 and OHSAS 18001

All information in this promotional material describes products and services in a non-final way and invites further technical or commercial explanation. This is not contractual. Copyright ArcelorMittal 03/2014.

Zdroj: <http://ds.arcelormittal.com/repository/fanny/HE%201-50%20EN.pdf>

C. Technický list ocelového vlákna Dramix 3D 55/60 BL



Dramix®



DATASHEET

DRAMIX® 3D 55/60BL



Dramix® 3D fibre series is the reference in steel fibre concrete reinforcement. Combining high performance, durability and ease of use. Dramix® 3D series is a time-saving and economical solution for most common applications. Dramix® 3D series exhibits:

- Effective anchorage
- High tensile strength

Dramix® 3D series provides a cost effective solution for:

- Jointed and jointless slabs on ground
- Composite slab reinforcement
- Precast
- Residential applications
- Tunnel applications

Bekaert offers extensive technical assistance in helping to determine the most suitable fibre type, optimal dosage and the appropriate concrete mix for a wide range of applications. For further information, contact your local support.

For recommendations on handling, dosing and mixing visit www.bekaert.com/dosingdramix. For EC Declaration of Performance visit www.bekaert.com/doc/Dramix_3D.

CHARACTERISTICS

Material properties

Nom. tensile strength:	1.115 N/mm ²
Young's modulus:	200.000 N/mm ²
Strain at ultimate strength:	0,8 %

Geometry

Fibre family	3D	
Length (l)	60 mm	
Diameter (d)	1,05 mm	
Aspect ratio (l/d)	55	

Minimum EN 14889-1 dosage

20 kg/m³

Fibre network

2.938 m/m² at 20 kg/m³
2.392 fibres/kg

Dramix® family

- 3D Typical FRC applications
- 4D Supreme serviceability control
- 5D Advanced structural applications

	5D	4D	3D
Tensile strength	=====	=====	=====
Wire ductility	=====	=====	=====
Anchorage strength	=====	=====	=====

PRODUCT CERTIFICATES *



*Product certificates are plant specific.

PRODUCT CONFORMITY

Dramix® conforms to ASTM A820, ISO 13270 Class A and EN 14889-1.

SYSTEM CERTIFICATES



All Dramix® plants are ISO 9001 and ISO 14001 certified.

PACKAGING



HANDLING



Bekaert reserves the right to modify, discontinue or rebrand this product every time with or without notice. All information contained herein is general and may not be complete. For further details, please contact the local Bekaert office.

D. Osvědčení o stálosti vlastností portlandského cementu CEM I 42,5R

 **TECHNICKÝ A ZKUŠEBNÍ ÚSTAV STAVEBNÍ PRAHA, s.p.**
Technical and Test Institute for Construction Prague
Akreditovaná zkušební laboratoř, Autorizovaná osoba, Notifikovaná osoba, Oznamovaný subjekt, Subjekt pro technické posuzování, Certifikační orgán, Inspekční orgán / Accredited Testing Laboratory, Authorized Body, Notified Body, Technical Assessment Body, Certification Body, Inspection Body, Prosecká 811/76a, 130 00 Praha 9 - Prosek, Czech Republic

Oznámený subjekt 1020

**OSVĚDČENÍ
O STÁLOSTI VLASTNOSTÍ**
certificate of constancy of performance

č. 1020 – CPR – 040 019097

V souladu s nařízením Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 305/2011 ze dne 9. března 2011 (nařízení o stavebních výrobcích nebo CPR) se vydává toto osvědčení pro stavební výrobek:

Portlandský cement EN 197-1 – CEM I 42,5 R
Výrobek je určen pro přípravu betonu, malt, injektážní malty a jiných směsí pro stavění a výrobu stavebních výrobků.
vyrobený výrobcem nebo pro výrobce:
CEMEX Cement, k.s.
Tovární 296, 538 04 Prachovice
IČ 15 05 23 20
ve výrobním závodě:
cementárna Prachovice
Tovární 296, 538 04 Prachovice

Toto osvědčení prokazuje, že všechna ustanovení týkající se posuzování a ověřování stálosti vlastností popsaná v příloze ZA normy

EN 197-1:2011
podle systému 1+ pro vlastnosti stanovené v tomto osvědčení byla uplatněna a že
výrobek splňuje všechny předepsané požadavky pro tyto vlastnosti.

Toto osvědčení bylo poprvé vydáno **1. dubna 2004** a zůstává v platnosti, dokud se nezmění zkušební metody a/nebo požadavky na řízení výroby, obsažené v harmonizované normě použité při posuzování vlastností deklarovaných základních charakteristik, a pokud se výrazně nezmění stavební výrobek a/nebo výrobní podmínky v místě výroby nebo pokud oznamovaný subjekt pro osvědčení výrobku nepozastaví nebo nezruší platnost tohoto osvědčení.

Teplice, 1. května 2015

 
Ing. Pavel Rubáš, Ph.D.
zástupce vedoucího oznamovaného subjektu

Zdroj: <http://cemex.cz/dokumenty-ke-stazeni.aspx?categoryid=02eec689-67bc-42c6-a77a-c20a286896cc>

E. Prohlášení o shodě - Firma CEMEX Czech Republic, s.r.o.



PROHLÁŠENÍ O SHODĚ

podle § 13 zákona č. 22/1997 Sb. o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů ve znění pozdějších předpisů a v souladu s § 13 nařízení vlády č. 163/2002 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na vybrané stavební výrobky, ve znění nařízení vlády č. 312/2005 Sb.

Firma CEMEX Czech Republic, s.r.o., se sídlem Siemsenova 2716/2, 155 00 Praha 5 – Stodůlky, IČ 27892638, prohlašuje na svou výlučnou zodpovědnost, že výrobky dodávané ze závodu

PARDOBICE - SEMTÍN

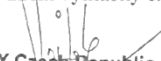
pevnostní třída	Technická specifikace a stupně vlivu prostředí		
	ČSN EN 206:2014 tab F.1	STO-205/224/2014 (ČSN EN 206-1/Z3,Z4)	
C 12/15	X0	X0	
C 16/20	X0	X0, XC1-2	
C 20/25	X0, XC1	X0, XC1-3	
C 25/30	X0, XC1-2, XF2	X0, XC1-4, XD1-2, XF1-3, XA1-2	XM1-2
C 30/37	X0, XC1-4, XD1-2, XF1-4, XA1-2	X0, XC1-4, XD1-3, XF1-4, XA1-3	XM1-3
C 35/45	X0, XC1-4, XD1-3, XF1-4, XA1-3	X0, XC1-4, XD1-3, XF1-4, XA1-3	XM1-3
C 40/50	X0, XC1-4, XD1-3, XF1, XA1-3	X0, XC1-4, XD1-3, XF1, XA1-3	XM1-3
C 45/55	X0, XC1-4, XD1-3, XF1, XA1-3	X0, XC1-4, XD1-3, XF1, XA1-3	XM1-3

CB I, CB II (cementobetonový kryt) dle ČSN EN 13877-1 a ČSN 73 6123-1	C 30/37 XD1-3, XF1-4
--	----------------------

určené k použití jako beton připravený k uložení splňují základní požadavky podle nařízení vlády č. 163/2002 Sb. ve znění nařízení vlády č. 312/2005 a jsou za předpokladu dokonalého zhotovení a ošetřování odběratelem **bezpečné**. Výrobce přijal opatření, kterými zabezpečuje shodu výrobku uváděného na trh s technickou dokumentací a základními požadavky.

Posouzení shody bylo provedeno podle § 6 nařízení vlády č. 163/2002 Sb. v platném znění s použitím následujících dokladů:

- Certifikát systému řízení výroby č. 227/C6/2015/0433 + příloha č.1 ze dne 3.11. 2015 vydaný autorizovanou osobou č. 227 Výzkumný ústav pozemních staveb – Certifikační společnost, s.r.o.
- Vyhláška č. 307/2002 Sb. SÚJB o radiační ochraně, ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb.


CEMEX Czech Republic, s.r.o.
Praha 5, Stodůlky, Siemsenova 2716/2, PSČ 155 00
IČ: 27892638, DIČ: CZ27892638
tel: 257 257 400, Fax: 257 257 480
-20-

Ing. Miroslav Vojtek
představitel vedení pro integrovaný systém


V Praze dne 6.11.2015

CEMEX Czech Republic, s.r.o.
Siemsenova 2716/2, Praha 5 – Stodůlky, tel. (+420) 257 257 400, fax (+420) 257 257 480, www.cemex.cz
IČ: 27892638, DIČ: CZ27892638 Zápis v OR u Městského soudu v Praze, oddíl C, vložka 124693
Bankovní spojení: Raiffeisenbank a.s., č. ú. 5020017857/5500

F. Certifikát systému řízení výroby

	
VÝZKUMNÝ ÚSTAV POZEMNÍCH STAVEB - CERTIFIKAČNÍ SPOLEČNOST, s.r.o. Oznámený subjekt Certifikační orgán pro produkty, kvalifikaci, EPD, kvalitu budov a systémy managementu Zkušební laboratoř Rozhodnutí o autorizaci č. 32/2006 ze dne 31.8.2006 Autorizovaná osoba 227	
<h1>CERTIFIKÁT</h1> <h2>systemu řízení výroby</h2> <p>č. 227/C6/2015/0433</p>	
V souladu s ustanovením § 6 odst. 2 nařízení vlády č. 163/2002 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na vybrané stavební výrobky, ve znění nařízení vlády č. 312/2005 Sb. autorizovaná osoba č. 227 potvrzuje, že u stavebního výrobku	
název výrobku:	Beton pevnostních tříd C 12/15 a vyšší v rozsahu technické specifikace dle Přílohy č. 1
určené použití:	pro konstrukce pozemních, inženýrských a dopravních staveb
výrobce:	CEMEX Czech Republic, s.r.o. Siemensova 2716/2, Stodůlky, 155 00 Praha 5 IČ 27892638
výrobní závod:	Betonárna Pardubice - Semtín Semtín 102, 533 54 Pardubice IČ 27892638
posoudila systém řízení výroby, který odpovídá příslušným technickým podkladům podle § 6 odst. 1 písm. d) výše uvedeného nařízení vlády a zjistila, že systém řízení výroby zabezpečuje, aby výrobky uváděné na trh splňovaly požadavky stanovené určenou normou ČSN EN 206, ČSN EN 13877-1, ČSN 73 6123-1 a stavebním technickým osvědčením č. STO-205/224/2014 a odpovídaly technické dokumentaci podle § 4 odst. 3 a dokladu vystavenému podle § 6 odst. 1 písm. a) o výsledcích počátečních zkoušek typu výrobku na vzorku.	
Tento certifikát zůstává v platnosti po dobu, po kterou se požadavky stanovené ve stavebním technickém osvědčení, na které byl uveden odkaz, nebo výrobní podmínky v místě výroby, či systém řízení výroby výrazně nezmění.	
Autorizovaná osoba 227 provádí nejméně jedenkrát za 12 měsíců dohled nad řádným fungováním systému řízení výroby v místě výroby. Pokud autorizovaná osoba zjistí nedostatky, je oprávněna zrušit nebo změnit ji vydaný certifikát.	
Výtisk číslo 1 Místo a datum vydání: V Praze dne 03.11.2015	 Ing. Lubomír Keim, CSc. ředitel Autorizované osoby 227
K 15264 28-4 310 49927 www.vups.cz	Výzkumný ústav pozemních staveb - Certifikační společnost, s.r.o. 102 21 Praha 10 - Hostivař, Pražská 810 / 16 IČ 25052083 DIČ CZ250 520 83, Tel. 00420 271 751 148, Fax 00420 281 017 241, E-mail info@vups.cz www.vups.cz

G. Příloha č. 1 Certifikátu systému řízení výroby



VÝZKUMNÝ ÚSTAV POZEMNÍCH STAVEB - CERTIFIKAČNÍ SPOLEČNOST, s.r.o.
Oznámený subjekt Certifikační orgán pro produkty, kvalifikaci, EPD, kvalitu budov a systémy managementu Zkušební laboratoř
Rozhodnutí o autorizaci č. 32/2006 ze dne 31.8.2006
Autorizovaná osoba 227

PŘÍLOHA č. 1

Certifikátu systému řízení výroby

č. 227/C6/2015/0433

Vymezení rozsahu platnosti certifikátu:

Beton dle ČSN EN 206:2014 dle tabulky F.1
C 12/15 X0
C 16/20 X0
C 20/25 X0, XC1
C 25/30 X0, XC1, XC2, XF2
C 30/37 X0, XC1, XC2, XC3, XC4, XD1, XD2, XA1, XA2, XF1, XF2, XF3, XF4
C 35/45 X0, XC1, XC2, XC3, XC4, XD1, XD2, XD3, XA1, XA2, XA3, XF1, XF2, XF3, XF4
C 40/50 X0, XC1, XC2, XC3, XC4, XD1, XD2, XD3, XA1, XA2, XA3, XF1
C 45/55 X0, XC1, XC2, XC3, XC4, XD1, XD2, XD3, XA1, XA2, XA3, XF1

Beton dle ČSN EN 206-1/Z4 dle tabulky NA F.1
C 12/15 X0
C 16/20 X0, XC1, XC2
C 20/25 X0, XC1, XC2, XC3
C 25/30 X0, XC1, XC2, XC3, XC4, XD1, XD2, XA1, XA2, XF1, XF2, XF3
C 30/37 X0, XC1, XC2, XC3, XC4, XD1, XD2, XD3, XA1, XA2, XA3, XF1, XF2, XF3, XF4
C 35/45 X0, XC1, XC2, XC3, XC4, XD1, XD2, XD3, XA1, XA2, XA3, XF1, XF2, XF3, XF4
C 40/50 X0, XC1, XC2, XC3, XC4, XD1, XD2, XD3, XA1, XA2, XA3, XF1
C 45/55 X0, XC1, XC2, XC3, XC4, XD1, XD2, XD3, XA1, XA2, XA3, XF1

Beton dle ČSN EN 206-1/Z3 dle tabulky NA F.3
C 25/30 XM1, XM2
C 30/37 XM1, XM2, XM3
C 35/45 XM1, XM2, XM3
C 40/50 XM1, XM2, XM3
C 45/55 XM1, XM2, XM3


Beton dle ČSN EN 13877-1, ČSN 73 6123-1 (cementobetonový kryt)
CB I C30/37 XD1, XD2, XD3, XF1, XF2, XF3, XF4
CB II C30/37 XD1, XD2, XD3, XF1, XF2, XF3, XF4

Tato příloha č. 1 je nedílnou součástí certifikátu č. 227/C6/2015/0433.

Místo a datum vydání:
V Praze dne 03 11 2015

K 15264

Číslo výtisku: 0021
Rok vydání: 2015



ÚNMZ

Ing. Lubomír Keim, CSc.
ředitel Autorizované osoby 227

Výzkumný ústav pozemních staveb - Certifikační společnost, s.r.o. 102 21 Praha 10 - Hostivař, Pražská 810 / 16
IČ 25052063 DIČ CZ260 520 63 Tel. 00421 271 751 148 Fax 00241 281 017 241, E-mail info@vups.cz www.vups.cz