

VYSOKÁ ŠKOLA BAŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

Fakulta stavební

Katedra stavebních hmot a diagnostiky staveb

MECHANICKÉ VLASTNOSTI DRÁTKOBETONU PROKONŠTRUKČNÍ NÁVRH

**MECHANICAL PROPERTIES OF FIBER REINFORCED CONCRETE FOR
STRUCTURAL DESIGN**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Autor:

Miroslav Raček

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Bc. Oldřich Sucharda, Ph.D.

Ostrava 2020

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra stavebních hmot a diagnostiky staveb

Zadání bakalářské práce

Student: **Miroslav Raček**
Studijní program: B3607 Stavební inženýrství
Studijní obor: 3647R019 Stavební hmoty a diagnostika staveb
Téma: **Mechanické vlastnosti drátkobetonu pro konstrukční návrh**
Mechanical properties of fiber reinforced concrete for structural design
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Zpracujte bakalářskou práci na téma mechanické vlastnosti drátkobetonu pro výpočet a konstrukční návrh. Součástí práce bude také stručný souhrn současného stavu standardů testování drátkobetonu. V rámci práce se provede a vyhodnotí ucelený experimentální program laboratorních zkoušek pro vybraný typ drátku. Mechanické vlastnosti ze zkoušek se stanoví v závislosti na dávkování drátků a stanoví se funkční závislost mezi mechanickými vlastnostmi.

Seznam doporučené odborné literatury:

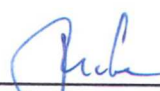
- [1] <https://stavba.tzb-info.cz/beton-malty-omitky/18133-zkouseni-a-stanoveni-pevnosti-v-tahu-u-dratkobetonu>
- [2] ČSN P 732350: Vláknobeton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda. Předběžná česká technická norma. ÚNMZ, Praha, 2015.
- [3] TP FC 1-1 Technické podmínky 1: Vláknobeton – Část 1: Zkoušení vláknobetonu, vyhodnocení destruktivních zkoušek a stanovení charakteristického pracovního diagram vláknobetonu pro navrhování vláknobetonových konstrukcí; ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra betonových a zděných konstrukcí, Praha 2007.
- [4] Krátký, J., Trtík, K., Vodička, J. Drátkobetonové konstrukce, Informační centrum ČKAIT ve spolupráci s Českou společností pro beton a zdivo, Praha 1999
- [5] DAFStb guidelines, 2011: DAFStbRichtlinie Stahlfaserbeton. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton DAFStb, Berlin, German. (In German)


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Bc. Oldřich Sucharda, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2019

Datum odevzdání: 30.04.2020


doc. Ing. Vlastimil Bílek, Ph.D.
vedoucí katedry


prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prehlásenie študenta

Prehlasujem, že som celú bakalársku prácu vrátane príloh vypracoval samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce a uviedol som všetky použité podklady a literatúru.

V Ostrave

.....

Podpis študenta

Prehlasujem, že:

- *som bol oboznámený s tým, že na moju bakalársku prácu sa plne vzťahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, najmä § 35 – použitie diela v rámci občianskych a náboženských obradov, v rámci školských predstavení a použitia diela školského a § 60 – školské dielo*
- *beriem na vedomie, že Vysoká škola baňská – Technická univerzita Ostrava (ďalej len VŠB-TUO) má právo nezárobkovo ku svojej vnútornej potrebe bakalársku prácu použiť (§ 35 odst.3).*
- *súhlasím s tým, že jeden výtlačok bakalárskej práce bude uložený v Ústrednej knižnici VŠB-TUO k prezenčnému nahliadnutiu. Súhlasím s tým, že údaje o bakalárskej práci budú zverejnené v informačnom systéme VŠB-TUO.*
- *bolo zjednané, že s VŠB-TUO, v prípade záujmu z jej strany, uzavriem licenčnú zmluvu s oprávnením použiť toto dielo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.*
- *bolo zjednané, že použiť svoje dielo – bakalársku prácu alebo poskytnutie licencií k jej využitiu môžem len so súhlasom VŠB-TUO, ktorá je oprávnená v takomto prípade odo mňa požadovať primeraný príspevok na úhradu nákladov, ktoré boli VŠB-TUO na vytvorenie diela vynaložené (až do jej skutočnej výšky)*
- *beriem na vedomie, že odovzdaním svojej práce súhlasím so zverejnením svojej práce podľa zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o zmene a doplnení ďalších zákonov (zákon o vysokých školách), v znení neskorších predpisov, bez ohľadu na výsledok jej obhajoby.*

V Ostrave

Pod'akovanie

Týmto chcem poďakovať môjmu vedúcemu pri bakalárskej práci Ing. Bc. Oldřichovi Suchardovi, Ph.D. za vedenie, užitočné rady a pomoc pri realizácii mojej bakalárskej práce. Poďakovať chcem aj pani Ing. Zuzane Marcalíkovej za poskytnuté fotografie a pomoc pri praktickej časti bakalárskej práce. Práca vznikla za podpory projektu SGS SP2020/109.

Abstrakt

RAČEK, Miroslav - Mechanické vlastnosti drátkobetonu pro konstrukční návrh. Ostrava, 2020 Bakalárska práca. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Vedúci práce: Ing. Bc. Oldřich Sucharda, Ph.D.

Predmetom bakalárskej práce je skúšanie mechanických vlastností drátkobetónu pre výpočet a konštrukčný návrh. Práca sa konkrétne zaoberá problematikou stanovenia vybraných mechanických vlastností drátkobetónu. V rámci bakalárskej práce je stručne uvedená teoretická časť delenie drátkobetónov a ich testovanie. V rámci experimentálneho programu boli prevádzané skúšky pevnosti v tlaku, pevnosti v priečnom ťahu a pevnosti v ťahu za ohybu. Zvolený typ drôtikov je dávkovaný v 4 sériách od 0 do 110 kg / m³. Súčasťou experimentálneho programu boli tiež špecializované skúšky na priesak tlakovou vodou, odolnosť voči CHRL a šmykové odolnosti malých trámecov.

Kľúčové slová

Drátkobetón, drôty, vlákna, mechanické vlastnosti

Abstract

RAČEK, Miroslav - Mechanical properties of fiber reinforced concrete for structural design. Ostrava, 2020 Bachelor thesis. VŠB – Technical University of Ostrava, Thesis head: Ing. Bc. Oldřich Sucharda, Ph.D.

The subject of this work is the testing of mechanical properties of fiber reinforced concrete for calculation and structural design. The work specifically deals with the issue of determining selected mechanical properties of fiber reinforced concrete. The bachelor's thesis briefly presents the theoretical part of the division of fiber reinforced concretes and their testing. Within the experimental program, tests of compressive strength, transverse tensile strength and flexural tensile strength were performed. The selected type of wires is dosed in 4 series from 0 to 110 kg / m³. The experimental program also included specialized tests for pressurized water seepage, against de-icing salts resistance and shear resistance of small beams.

Keywords

Fiber reinforced concrete, wires, fibers, mechanical properties

Obsah

ÚVOD	8
1 DRÁTKOBETÓN.....	9
1.1 HISTÓRIA	9
1.2 ZÁKLADNÉ INFORMÁCIE	9
1.3 TECHNOLOGIE VÝROBY.....	10
1.4 VYUŽITIE DRÁTKOBETÓNU	11
1.5 POŽIADAVKY NA ZLOŽKY DRÁTKOBETÓNU	12
1.5.1 Rozptýlená výstuž.....	12
1.5.2 Kamenivo	12
1.5.3 Cement, voda a prísady do betónu	13
2 DRUHY VLÁKIEN	14
2.1 OCEĽOVÉ VLÁKNA	15
2.2 SKLENENÉ VLÁKNA	16
2.3 POLYPROPYLENOVÉ VLÁKNA.....	17
2.4 OSTATNÉ DRUHY VLÁKIEN.....	18
3 STANOVENIE MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ DRÁTKOBETÓNU	20
3.1 PEVNOSŤ V TLAKU	20
3.2 PEVNOSŤ V PRIEČNOM ŤAHU	21
3.3 TROJBODOVÁ A ŠTVORBODOVÁ OHYBOVÁ SKÚŠKA.....	22
3.4 HĽBKA PRIESAKU TLAKOVOU VODOU.....	24
3.5 ODOLNOSŤ BETÓNU VOČI MRAZU A CHRL.....	25
4 VÝSLEDKY SKÚŠOK NA STVRDNUTOM BETÓNE	26
4.1 PEVNOSŤ V TLAKU	28
4.2 PEVNOSŤ V PRIEČNOM ŤAHU	30
4.3 PEVNOSŤ V ŤAHU ZA OHYBU	32
4.4 PRIESAK TLAKOVOU VODOU	37
4.5 ODOLNOSŤ PROTI CHRL	39
5 ZÁVER.....	42
ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY:.....	43
ZOZNAM OBRÁZKOV	46
ZOZNAM TABULIEK	48

Úvod

Cieľom tejto bakalárskej práce je skúmanie mechanických vlastností drátkobetónu pre výpočet a konštrukčný návrh. Mechanické vlastnosti budú stanovené pre 3 druhy dávkovania a to 40 kg/m^3 , 75 kg/m^3 a 110 kg/m^3 s použitím drôtikov MasterFiber 482 a Dramix® 5D 65/60 BG. Tiež boli skúmané mechanické vlastnosti referenčnej betónovej zmesi, tj. prostého betónu.

V 80. rokoch 20. storočia nastal veľký záujem o vystužovanie krehkých materiálov čo malo za následok vznik prvých vláknobetónov. Betón vystužený vláknami sa začal čoraz viac používať pre jeho zlepšené vlastnosti s širokými možnosťami použitia. Vlákná do betónu sa vyrábajú z rôznych materiálov no najrozšírenejšie sú vlákna z ocele (drôtičky), skla a vlákna na báze plastov. Z technologického hľadiska je tu tiež zjednodušenie oproti betónu vystuženého betonárskou výstužou, keďže vlákna sa do betónu pridávajú počas jeho miešania čím sa eliminuje náročný krok ukladania klasickej výstuže.

Práca je rozdelená do dvoch častí. Prvá teoretická časť je zameraná na zoznámenie sa s históriou, základnými informáciami, zložením a možnosťami použitia vláknobetónu. Rozoberú sa aj druhy vlákien podľa materiálu a porovnanie ich vlastností a popíše sa postup skúšania mechanických vlastností vláknobetónu.

Druhá praktická časť bude zameraná na skúšanie mechanických vlastností drátkobetónu s konkrétnymi drôtikmi, ktorými sú MasterFiber 482 a Dramix® 5D 65/60 BG. Skúmať sa bude ich pevnosť v tlaku, pevnosť v priečnom ťahu, pevnosť v ťahu za ohybu, priesak tlakovou vodou a odolnosť proti CHRL. Postup prevedenia jednotlivých skúšok bude vysvetlený v teoretickej časti.

1 Drátkobetón

1.1 História

Aj keď veľa ľudí považuje vláknobetón za nový kompozitný materiál, princíp pridávania vlákien pre získanie nových lepších vlastností je dávny vynález. Vlákňité kompozity sa používali po tisícročia a niektoré z nich pretrvávajú dodnes. Na začiatku 20. storočia prišiel veľký záujem o vystužovanie krehkých materiálov a vtedy vznikli prvé vláknobetóny. Pridaním vlákien do betónu sa zmiernila jeho krehkosť a hlavne sa zlepšila pevnosť v ťahu betónu. Ako prvé sa začali pridávať vlákna oceľové a sklenené. Keďže sa zistilo, že vlákna výrazne zlepšujú mechanické vlastnosti, postupom času začalo vznikať mnoho firiem, ktoré experimentovali s ďalšími materiálmi vlákien s rôznymi tvarmi. Dnes môžeme vlákna rozdeliť na 3 hlavné skupiny a to:

- oceľové vlákna
- sklenené vlákna
- polymérové vlákna.

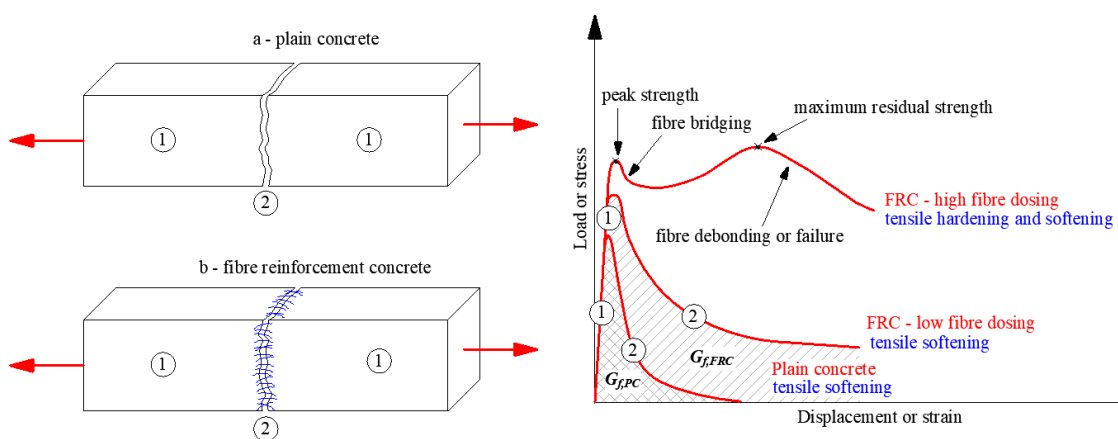
Aj keď je trh s vláknami dnes veľmi rozmanitý a vlákna zlepšujú mechanické vlastnosti betónu tak je jeho vývoj brzdený kvôli vysokej cene. [1]

1.2 Základné informácie

V dnešnej dobe môžeme čoraz častejšie počuť o využívaní betónov s rozptýlenou výstužou a to hlavne pri konštrukciách priemyslových podláh. Ako výstuž do betónu sa používa rozptýlená výstuž vo forme vlákien, ktorú môžeme rozdeliť podľa materiálu, povrchovej úpravy, tvaru a koncovej úpravy. Rozptýlená výstuž slúži k zachytávaniu lokálnych ťahových účinkov, ktoré sú spôsobené priestorovým napätím v oblastiach medzi zrnami kameniva. Hlavný dôvod použitia rozptýlenej výstuže je predovšetkým zvýšenie ťahových pevností betónu. V niektorých prípadoch sa rozptýlená výstuž nepoužíva len k zvýšeniu tejto pevnosti, ale taktiež k obmedzeniu vzniku zmršťovacích trhlín, ktoré sú spôsobené objemovými zmenami v dobe zrenia betónu. Takýto typ výstuže sa najčastejšie používa v prípade vysokopevnostných betónov, ktoré sú na tieto objemové zmeny najviac náchylné. Vzniknutý kompozit má aj ďalšie výhodné vlastnosti a to napríklad vysokú odolnosť proti rozvoju mikrotrhlín, vysokú pevnosť pri zaťažení rázom a odolnosť voči náhlym teplotným zmenám. Ďalšou kladnou vlastnosťou je možnosť výroby stavebných prvkov v rôznych tvaroch ako napríklad tenkostenné prvky slúžiace na zníženie hmotnosti

konštrukcie, ktoré by sa zo železobetónu vyrobiť nedali. Vláknobetóny majú taktiež vysokú trvanlivosť a po prekročení maximálnych namáhání si ešte zachovávajú časť svojej pevnosti.

Všetky tieto vlastnosti sú ovplyvnené zložením betónovej zmesi, materiálom použitých vlákien, ich tvarom, opracovaním a množstvom použitých vlákien. Najčastejšie používanými vláknami do betónu sú oceľové vlákna - „drôtky“ - a betón s ich použitím nazývame drátkobetón. [2] Základný princíp chovania drátkobetónových prvkov a rozdiel medzi chovaním nevstuženého betónu je možné vystihnúť pomocou obr. 1.



Obrázok 1 - Pracovný diagram prostého betónu a drátkobetónu. [3]

Z obr. 1 je na prvý pohľad zrejماً zmena tvaru krivky pracovného diagramu drátkobetónu v porovnaní s prostým betónom. Pridaním rozptýlenej výstuže do betónu dochádza nielen k zvýšeniu ťahovej pevnosti, zmene tvaru pracovného diagramu, ale taktiež k vzniku tzv. reziduálnej ťahovej pevnosti. Veľkosť tejto reziduálnej ťahovej pevnosti je daná nielen typom použitých vlákien, ale aj dávkovaním vlákien. Drátkobetónové konštrukcie sú stále schopné prenášať vonkajšie zaťaženie aj po prekročení hraničnej hodnoty ťahovej pevnosti. Pri vzniku prvých trhlín dochádza k aktivovaniu vlákien v betóne, ktoré sú namáhané až do doby než dôjde k ich vytrhnutiu alebo zlomeniu. [3]

1.3 Technológie výroby

Na realizáciu drátkobetónových konštrukcií sa najčastejšie používajú dva technologické postupy. Jedným z nich je klasické ukladanie drátkobetónovej zmesi do debnenia a jej následným spracovaním. Pri ukladaní musíme venovať väčšiu pozornosť konzistencii zmesi aby sme dosiahli potrebnú homogenitu výsledného drátkobetónu. Druhým technologickým

postupom na zhotovenie konštrukcií je striekaný betón. Použiť môžeme suchý aj mokrý spôsob. Striekaný drátkobetón sa od obyčajného striekaného betónu takmer vôbec nelíši, musíme však počítať s tým, že vlákna sú svojim pružným chovaním materiálu a svojim tvarom náchylnejšie na odraz od povrchu, na ktorý sú nanášané. Dôsledkom toho musíme dbať na vhodný návrh betónovej zmesi. [2] Výroba a ukladanie drátkobetónu do debnenia v rámci experimentálneho skúšania na obr. 2.



Obrázok 2 - Výroba a ukladanie drátkobetónu. [autor]

1.4 Využitie drátkobetónu

Drátkobetón vytvorený klasickým technologickým spôsobom betónovania sa najčastejšie používa v konštrukciách priemyslových podláh, letiskových plôch a dosky vozoviek čo tvorí v súčasnosti až $\frac{3}{4}$ z celkového využitia. Ďalej sa používa na základové konštrukcie pri dynamickom namáhaní, tenkostenné konštrukcie, nádrže so zvýšenými požiadavkami na nepriepustnosť, rekonštrukcie a zosilnenie betónových konštrukcií. Striekaný drátkobetón sa zas najčastejšie uplatňuje pri ostení tunelov, stabilizácii svahov, zosilnení alebo rekonštrukcii stávajúcich konštrukcií a pri tesniacich uzáveroch podzemných nádrží.

Dnes môžeme na trhu vidieť drôtičky rôznych veľkostí a tvarov. Širšie využitie drátkobetónu preto nebrzdí ich nedostatok ale hlavnou príčinou je cena drátkobetónu, ktorá je zvýšená o cenu drôťkov a ich vkladania do zmesi a legislatívne podklady, ktoré potrebujú ku svojej činnosti projektanti a odborníci čo hodnotia jeho akosť. [2]

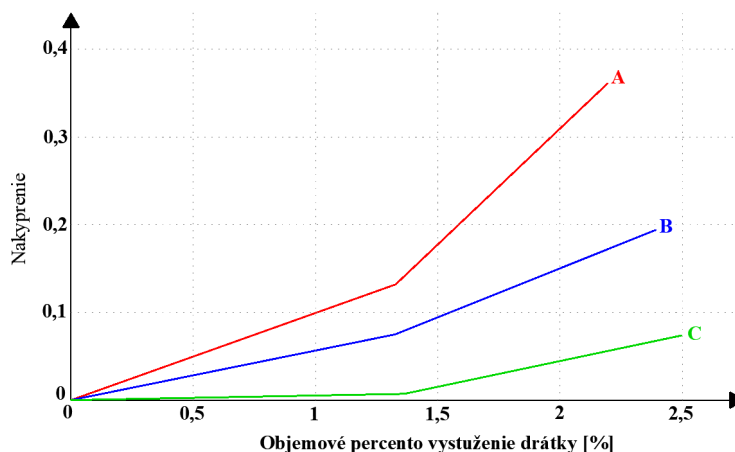
1.5 Požiadavky na zložky drátkobetónu

1.5.1 Rozptýlená výstuž

Fyzikálne mechanické vlastnosti drátkobetónu zlepšujeme rovnomerne a všesmerne rozptýlenou výstužou, ktorá funguje na základe vzájomnej súdržnosti drôťkov s cementovou maticou. Požiadavky na drôťky sú podobné ako požiadavky na betonársku výstuž a platí, že drôťky s povrchovou úpravou a rôznym typom zakončenia sú z hľadiska súdržnosti účinnejšie ako hladké. Aby boli zaistené mechanické kotviace účinky drôťkov v betóne musia mať dostatočnú veľkosť, ktorú prispôbíme podľa veľkosti frakcii kameniva. To znamená, že by mali mať takú veľkosť aby pretínali celý priestor susedných zŕn a pritom ešte pretŕčali z oboch strán aby sa o ne mohli oprieť. Drôťky taktiež musia mať dostatočnú ohybovú tuhosť aby sa pri miešaní, ukladaní a hutnení netvorili zhluky a držali si stále čo najpriamejší tvar. [2]

1.5.2 Kamenivo

Požiadavky na kamenivo sú rovnaké ako u obyčajného betónu preto ho volíme tak, aby čo najviac odpovedalo zloženiu osvedčených konštrukčných betónov. Drôťky nepriaznivo pôsobia na zrná hrubšej frakcie kameniva v betónovej zmesi tým, že ich od seba oddávajú a tak zabraňujú k ich zhlukovaniu. To má za následok nakyprenie zmesi o objem V_n , ktoré závisí od množstva použitých drôťkov, ich tvaru a veľkosti, a od množstva a veľkosti zŕn. Často sa preto vyrába drátkobetón s absenciou hrubej frakcie kameniva čo však znižuje jeho pevnosť. [2]



Obrázok 3 - Nakyprenie V_n (m³) na 1 m³ zmesi kameniva (o max. priemere zrna d_{max}) a drôťkov, pre betón s objemovým stupňom výstuženia μV (%) - Závislosť A: $d_{max} = 22$ mm, Závislosť B: $d_{max} = 8$ mm, Závislosť C: $d_{max} = 4$ mm. [2]

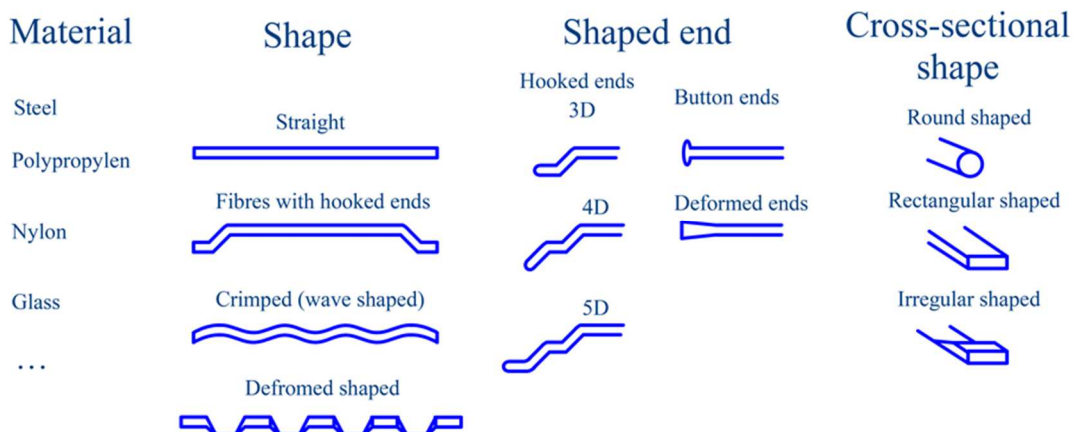
1.5.3 Cement, voda a prísady do betónu

Požiadavky na cement a prísady sú pri drátkobetóne rovnaké ako pri obyčajnom betóne, preto môžeme použiť rovnaký cement aj prísady ako sú používané pri obyčajných betónoch v rovnakých výrobných podmienkach a prostrediach.

Požiadavky na vodu sú tak isto zhodné s požiadavkami pre obyčajný betón. Rozdiel je však vo vodnom súčiniteli w/c . Aby nedošlo k odmiešavaniu alebo k zhlukovaniu drôtikov pri doprave a spracovaní je najlepšie použiť pomer vody ku cementu 0.4 – 0.5. Na zlepšenie spracovateľnosti drátkobetónu sa preto často používajú plastifikačné prísady. [2]

2 Druhy vlákien

V súčasnej dobe je na trhu dostupná veľká škála vlákien do betónu. Výber vlákien do betónu je potrebné previesť s ohľadom na požiadavky konštrukcie. Medzi najzakladanejšie typy vlákien používané pre stavebné konštrukcie môžeme zaradiť vlákna oceľové a polypropylénové, teda vlákna na báze plastov. Vláknotetóny týchto dvoch typov majú rozdielne výsledné mechanicko-fyzikálne vlastnosti. Napríklad v prípade priemyslových podláh je potrebné, aby betón plnil taktiež statickú funkciu. Toto docielime práve použitím vláknotetónu s prímiesou oceľových vlákien. Vláknotetóny s oceľovými drôtikmi majú však slabú odolnosť v prípade požiaru. Ďaleko lepšiu požiaru odolnosť splňuje vláknotetón s prímiesou vlákien na báze plastov, ktoré taktiež lepšie reagujú aj na prípadné objemové zmeny a trhliny s týmto spojené. Zhrnutie niektorých typov vlákien je na obr. 4. [3]



Obrázok 4 - Typy vlákien. [3]

Tabuľka 1 – Typy vlákien. [4]

Typ vlákien	Pevnosť v ťahu [MPa]	Modul pružnosti [GPa]	Medzné pretiahnutie [%]	Merná hmotnosť [kg.m ⁻³]
Aramidové	1800	80	-	1450
Azbestové	550-960	82-138	0.6	3200
Celulózové	400-620	6.9	10-25	1500
Oceľové	270-2700	200	0.5-35	7800
Polypropylénové	550-750	3.45	25	900
Sklenené	100-3800	69	1.5-3.5	2500
Uhlíkové	8.3	0.386	-	1630

2.1 Oceľové vlákna

Požiadavky na vlákna, ktoré musia spĺňať sú uvedené v norme „ČSN EN 14889-1: Vlákna do betonu – Časť 1: Ocelová vlákna – Definície, špecifikácie a shoda“ [5].

Rozmanitosť oceľových vlákien nám ich dovoľuje rozdeliť do viacerých skupín a to podľa ich materiálu, tvaru a prierezu. Podľa materiálu ich rozdeľujeme na 5 skupín:




1. Skupina – za studena ťahaný drôt
2. Skupina – vlákna strihané z plechu
3. Skupina – vlákna oddeľované z taveniny
4. Skupina – vlákna preťahované z drôtu ťahaného za studena
5. Skupina – vlákna frézované z oceľových blokov

Podľa tvaru rozdeľujeme drôtky na:

1. Priame – u vysokopevnostných betónov k zabráneniu zmrašťovacích trhliny
2. Tvarované:
 - Vlákna so zahnutými koncami
 - Zvlnené vlákna
 - Mikrovlákna
 - Sploštené vlákna

Najpoužívanejšími oceľovými vláknami sú tvarované vlákna so zahnutými koncami, ktoré ďalej rozlišujeme podľa počtu koncových ohybov (Tab. 2).

Tabuľka 2 - Oceľové tvarované vlákna. [6]

	Jeden	Dva	Tri
Počet koncových ohybov			
Dĺžka [mm]	35-60	35 - 60	60
Pomer l/d [mm]	47-67	65-80	65
Pevnosť v ťahu [MPa]	1100 - 2000	1450 - 1850	2300

Použitím oceľových vlákien dosiahneme v betóne úplne odlišné mechanické vlastnosti oproti betónu prostého alebo inak vystuženého. V betóne musia byť rozložené rovnomerne tak aby bola zaistená homogenita prierezu inak vlákna nebudú účinné. Oceľové vlákna rozlišujeme nielen materiálom, tvarom a prierezom ale aj podľa systému ukotvenia v betóne. Najväčšie využitie týchto vlákien je pre podlahy priemyselných budov, základových konštrukciách, oporných múroch a pri výrobe prefabrikátov. [6]

2.2 Sklenené vlákna

Sklenené vlákna do betónu sa začali používať až v 90. rokoch 20. storočia, keď vznikli nové alkalivzdorné vlákna. Sklenené vlákna majú vysoké hodnoty pevnosti a sú tiež vynikajúcim elektrickým izolantom s vysokou priepustnosťou pre žiarenie. Je to tiež izotropný materiál takže má vlastnosti v pozdĺžnom aj priečnom smere totožné. [7] [8]



Obrázok 5 - Sklenené vlákna. [autor]

Sklenené vlákna sa vyrábajú v sklárskych peciach ťahaním z trysiek pri teplote asi 1400°C a dodávajú sa formou:

1. Priadze – vyrábajú sa spriadaním z vlákien
2. Nite – zložené z jednej alebo viacerých priadzí
3. Prameň – zložený z 20 až 60 koncov, združených z rovnobežne uložených vlákien
4. Rohože zo sekaných prameňov – plošný výrobok vyrobený z 25 až 50 mm dlhých sekaných vlákien nepravidelne uložených
5. Krátke vlákna – mleté, rozptýlené vlákna s dĺžkou 0.1 až 5 mm [7]

Sklenené vlákna majú v stavebníctve široké využitie. Môžeme ich použiť do všetkých druhoch betónov na zabránenie vzniku zmrašťovacích trhlín alebo zníženie krehkosti betónu. Najviac sa ale využívajú v podlahách a poteroch v interiéri aj exteriéri a taktiež aj do jadrových omietok a reprofilačných mált. Sú vhodné aj pri betonáži v nepriaznivých podmienkach ako napríklad pri vysokej teplote. [7] [8]

2.3 Polypropylénové vlákna

Polypropylénové vlákna sú vyrábané z čistého polypropylénu, ktorý zlepšuje kvalitatívne hodnoty betónu. Tieto vlákna výrazne nezlepšujú pevnosť betónu v ťahu zato však zabraňujú vzniku mikrotrhlín pri zmrašťovaní betónu, obmedzuje sadanie betónu v okolí výstuže a zamedzujú rýchlemu vysychaniu. V praxi sa často môžeme stretnúť aj s vláknami zo špeciálnej zmesi polypropylénu a polyetylénu. [9]



Obrázok 6 - Polypropylénové vlákna. [10]

Polypropylénové vlákna rozdeľujeme na:

1. Konštrukčné syntetické makrovlákna – Vlákna dĺžky 25 až 70 mm vyrábané zo zmesi polypropylénu a polyetylénu.
2. Konštrukčné syntetické mikrovlákna – používajú sa vo väčších dávkach za účelom zachytenia ťahových napätí pri zrejúcom betóne.

Môžeme ich ďalej rozdeliť na:

- a) Nízkomodulové – z polypropylénu alebo polyamidu.
- b) Vysokomodulové – polyakrylonitrilové vlákna.

Polypropylénové vlákna sa používajú pri výrobe tvaroviek na ploty a prefabrikátov alebo ako prísada do betónu, mált, omietok, tmelov alebo vozoviek na nechránených vonkajších plochách. [9]

2.4 Ostatné druhy vlákien

Medzi ďalšie druhy vlákien, ktoré sa v praxi používajú menej patria:

1. Aramidové vlákna – vlákna na báze lineárnych organických polymérov. Sú veľmi pevné a tuhé. Podobne ako uhlíkové vlákna majú v smere vlákien záporný súčiniteľ dĺžkovej teplotnej rozťažnosti. Poznáme 3 druhy aramidových vlákien, ktoré sa od seba odlišujú hodnotami modulu pružnosti v ťahu a ťažnosťou (Tab.3).

Tabuľka 3 - Aramidové vlákna. [7]

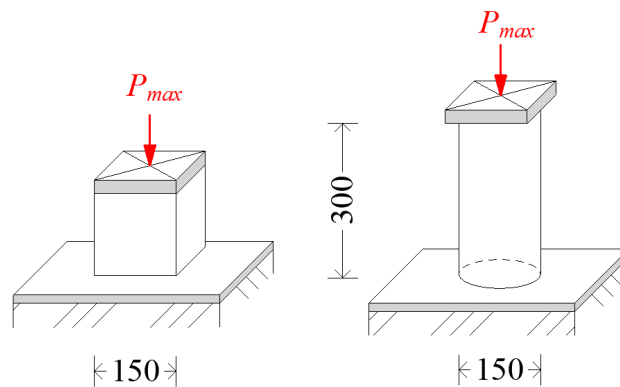
Aramidové vlákna	Hustota [g.cm ⁻³]	Priemer [μ]	Modul pružnosti v ťahu [N.mm ⁻²]	Medza pevnosti v ťahu [N.mm ⁻²]	Ťažnosť [%]
vysokoťažný	1.45	12	80 000	3 600	4.0
s vysokou tuhosťou	1.45	12	131 000	3 800	2.8
ultratuhy	1.45	12	186 000	3 400	2.0

1. Azbestové vlákna – Azbestové vlákna boli prvým materiálom, ktorý sa začal pridávať do betónu ako rozptýlená výstuž. Vlákna majú vysokú pevnosť, modul pružnosti, dobrú odolnosť proti pôsobeniu vysokých teplôt. Zistilo sa však, že sú zdraviu škodlivé preto sa ich používanie časom zakázalo.
2. Uhlíkové vlákna – Technické vlákna s nízkou ťažnosťou, ale s extrémne vysokou pevnosťou a tuhosťou. Troma základnými surovinami na výrobu uhlíkových vlákien sú celulóza, polyakrylonitril a smola. Obsahujú viac ako 90% uhlíka a majú priemer medzi 5 a 10 μm. Na výrobu týchto vlákien sa využívajú hlavne dva výrobné postupy a to postup využívajúci polyakrylonitril a v druhom prípade ide o využitie surovín bohatých na uhlík. Podľa štruktúry môžeme vlákna rozdeliť na vysoko pevné vlákna, vlákna s vysokým modulom pružnosti a sekané vlákna s nízkou pevnosťou. [7]
3. Celulózové vlákna – Vlákna sú na prírodnej báze a vyrábajú sa pomocou chemicky-fyzikálneho syntetizovania z rôznych druhov rastlín. Vlákna zvyšujú adhéziu čerstvého betónu k podkladu, zvyšujú pevnosť a modul pružnosti. Vlákna dokážu pri miešaní absorbovať časť zámesovej vody a potom ju pomaly vypúšťajú čo má pri tvrdnutí samo ošetrovacie účinky a obmedzuje sa tak vznik trhlín. Vlákna taktiež zvyšujú lomovú húževnatosť betónu, zvyšujú nepriepustnosť a zlepšujú odolnosť proti pravidelnému zmrazovaniu. Používajú sa hlavne pri výstavbe priehrad, prístavov alebo v dopravnom stavitelstve pri výstavbe vysokorýchlostných železničných dráh, ciest a mostov. [8]

3 Stanovenie mechanických vlastností drátkobetónu

3.1 Pevnosť v tlaku

Skúška sa riadi podľa normy ČSN EN 12390-3: Zkoušení ztvrdlého betonu. Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles [11]. Skúška je jednou so základných špecifikácií betónu. Hodnota pevnosti v tlaku sa stanovuje na základne skúšok na skúšobných kockách s rozmermi 150 x 150 x 150 mm, na valcoch priemeru 150 mm a výšky 300 mm, alebo na vhodnom kuse zlomeného valca, prípadne na jadrových vrtoch. Na skúšku potrebujeme minimálne 3 telesá, ktoré sú staré 28 dní. Vzorky uložíme centricky medzi dosky lisu kolmo na smer plnenia a začneme ich pomaly plynulo zaťažovať až do porušenia, pričom sa zaznamená maximálne zaťaženie P_{max} . Schéma skúšky je zobrazená na obr. 7.



Obrázok 7 - Skúška pevnosti v tlaku [13]

Zo zistených hodnôt vypočítame pevnosť v tlaku podľa vzorcov:

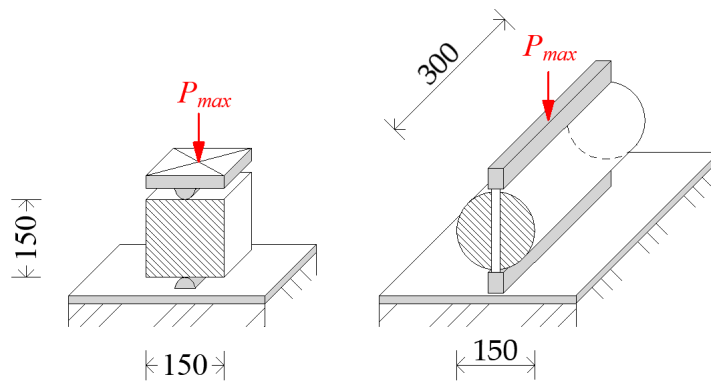
$$f_{c,cube} = \frac{P_{max}}{a^2} \quad (1)$$

$$f_{c,cyl} = \frac{P_{max}}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} \quad (2)$$

kde $f_{c,cube}$ je kocková pevnosť betónu v tlaku, $f_{c,cyl}$ je valcová pevnosť betónu v tlaku, P_{max} je maximálna sila dosiahnutá v skúšobnom lise, a je veľkosť hrany skúšobného vzorku a d je priemer skúšobného vzorku. [11] [12]

3.2 Pevnosť v priečnom ťahu

Skúška sa riadi normou ČSN EN 12390-6 (731302): Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 6: Pevnost v příčném tahu zkušebních těles [15]. Je to najčastejší spôsob testovania pevnosti v ťahu a prevádzať ju môžeme na skúšobných kockách alebo valcoch. Skúška spočíva vo vystavení skúšobnej vzorky tlaku v jej úzkom pruhu po dĺžke až pokiaľ nedôjde k rozštípeniu vzorky. Pred skúškou musíme jednotlivé vzorky zvážiť a zistiť ich rozmery. Vzorky následne uložíme do stredu lisu kolmo na smer plnenia a na hornú aj spodnú stranu uložíme roznášacie prúžky, ktoré slúžia na prenos zaťaženia z lisu na vzorky. Následne sa začne zo zaťažovaním, ktoré musí byť plynulé, konštantné a bez nárazov až do porušenia. Toto porušenie vzniká vyvolaným priečnym napätím v ťahu vo vnútri telesa. Schéma skúšky je zobrazená na obr. 8.



Obrázok 8 - Skúška pevnosti v priečnom. [13]

Zo zistených hodnôt vypočítame pevnosť v priečnom ťahu podľa vzorcov:

- Pre skúšobné teleso v tvare valca:

$$f_{ct,sp} = \frac{2 \cdot P_{max}}{\pi \cdot l \cdot d} \quad (3)$$

kde $f_{ct,sp}$ pevnosť v priečnom ťahu, P_{max} je maximálna sila dosiahnutá v skúšobnom lise, l dĺžka dotykovej priamky telesa a d je zvolený priečny rozmer vzorky.

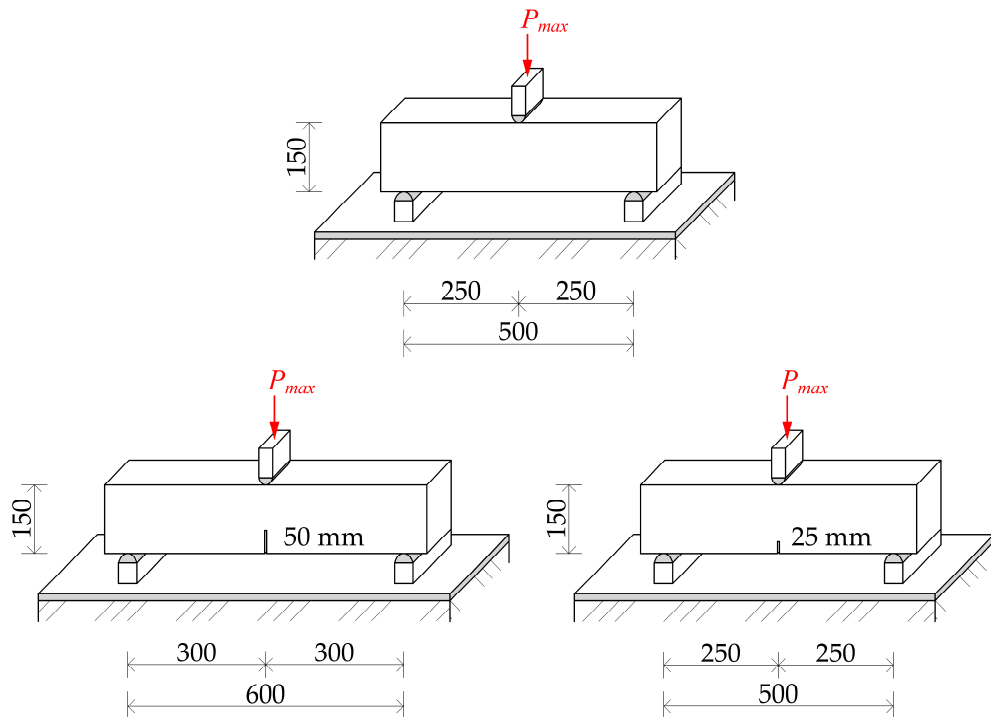
- Pre skúšobné teleso v tvare kocky:

$$f_{ct} = \frac{2 \cdot P_{max}}{\pi \cdot a^2} \quad (4)$$

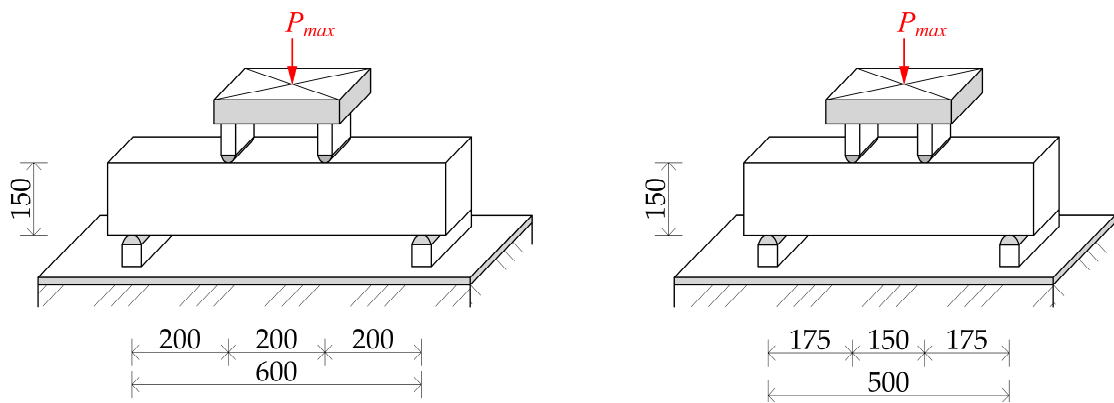
kde $f_{ct,sp}$ je pevnosť v priechom ťahu, P_{max} je maximálna sila dosiahnutá v skúšobnom lise a a je priechny rozmer vzorku. [14] [15]

3.3 Trojbodová a štvorbodová ohybová skúška

Jedná z najdôležitejších vlastností drátkobetónu je ich ťahová pevnosť. Skúšky sa riadia normou ČSN EN 12390-5: Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 5: Pevnost v tahu ohybem zkušebních těles [16]. Najlepším spôsobom zisťovania ťahovej pevnosti sa ponúka trojbodová a štvorbodová ohybová skúška. Poznáme viacero spôsobov, ktoré sa pri týchto skúškach využívajú a líšia sa od seba polohou zaťaženia, rozpätím podpôr a hĺbkou zárezu. Schéma trojbodovej ohybovej skúšky je zobrazená na obr. 9 a štvorbodové ohybové skúšky na obr. 10.

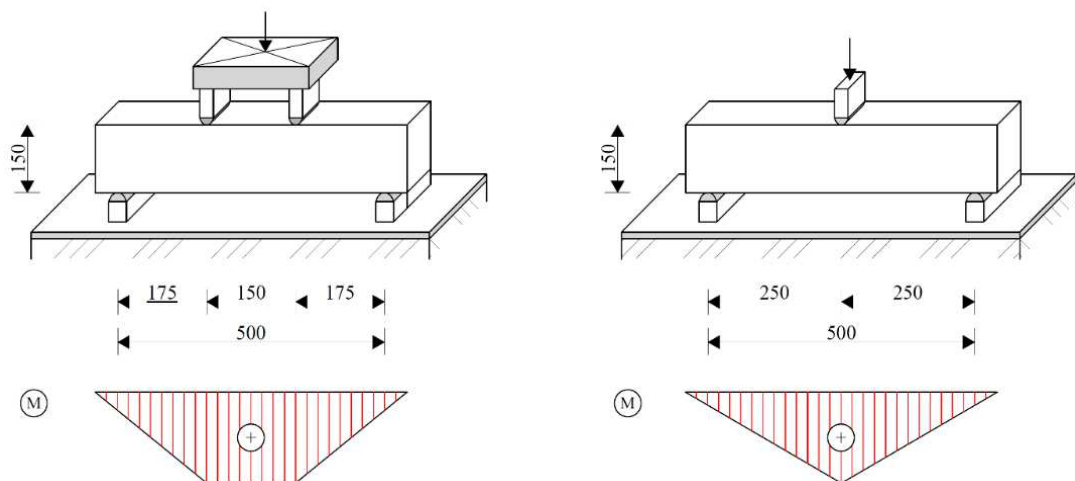


Obrázok 9 - Trojbodová ohybová skúška. [13]



Obrázok 10 - Štvorbodová ohybová skúška. [13]

Rozdiel, medzi trojbodovou a štvorbodovou ohybovou skúškou je ten, že štvorbodová skúška podrobí skúšobné teleso maximálnemu ohybovému momentu v celej jeho vnútornej tretine a tak môžeme zistiť najslabšie miesto prvku. Toto je zrejme z obr. 11.

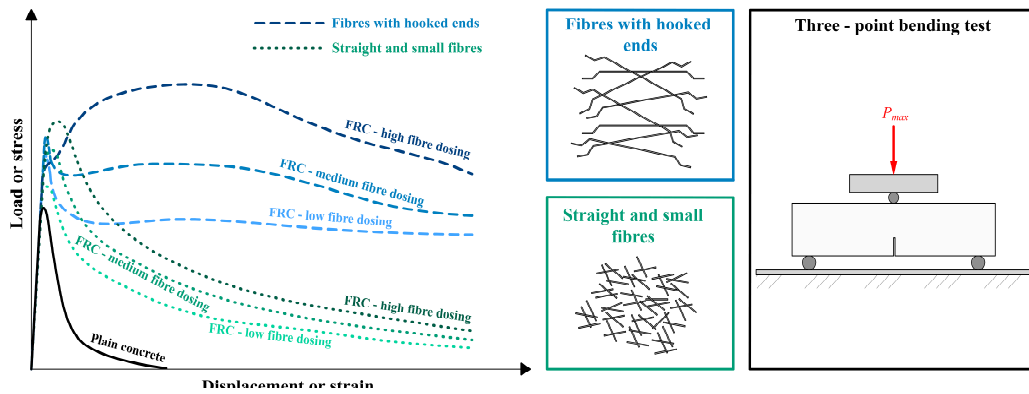


Obrázok 11 - Zaťaženie ohybovým momentom pri trojbodovej a štvorbodovej ohybovej skúške. [13]

Pri trojbodovej ohybovej skúške so zárezom vyjadríme pevnosť betónu v ťahu zo vzorca:

$$f_{ct,fl,3B} = \frac{3 \cdot P_{max} \cdot L}{2 \cdot b \cdot (h - a_0)^2} \quad (5)$$

kde P_{max} je maximálna sila dosiahnutá v skúšobnom lise, L je rozpätie, b a h sú priečne rozmery vzorku a a_0 je veľkosť zárezu. Vplyv typu drôtikov a dávkovanie pre trojbodovú skúšku v ohybe je viditeľný na obr.12.



Obrázok 12 - Vplyv vlákien na odolnosť voči pretvoreniu. [19]

Pri štvorbodovej ohybovej skúške vyjadríme pevnosť v ťahu zo vzorca:

$$f_{ct,fl,4B} = \frac{P_{max} \cdot L}{b \cdot h^2} \quad (6)$$

kde P_{max} je maximálna sila dosiahnutá v skúšobnom lise, L je rozpätie, b a h sú priečne rozmery vzorku. [16] [17] [18].

3.4 Hĺbka priesaku tlakovou vodou

Vodotesnosť betónu je tiež dôležitou vlastnosťou betónu. Požaduje sa hlavne pri vodohospodárskych stavbách ale aj pri konštrukciách na ktoré pôsobí podzemná voda. Vodotesnosť je z veľkej miery závislá od veľkosti a objemovom podiele otvorených pórov v cementovom kameni. [20]



Obrázok 13 - Meranie hĺbky priesaku tlakovou vodou [autor]

Skúška sa riadi podľa normy ČSN EN 12390-8: Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 8: Hĺbka prúsaku tlakovou vodou [21]. Priebeh skúšky priesaku tlakovou vodou spočíva v tom, že sa do prístroja uložia skúšobné vzorky kolmo na smer plnenia. Na vzorky po dobu 72 hodín pôsobí zo spodnej časti tlaková voda. Vzorky následne rozpolíme v lise na dve polovice a zmeriame maximálny priesak vody vo vzorke. [21]

3.5 Odolnosť betónu voči mrazu a CHRL

Skúška sa riadi podľa normy ČSN 73 1326-Z1: Stanovení odolnosti povrchu cementového betonu proti pôsobení vody a chemickým rozmrazovacím látkám [22]. Jedná sa o metódu A – Metoda automatického cyklovania I. Cieľom skúšky CHRL je napodobniť skutočné prostredie, v ktorom sa konštrukcia vyskytuje. Skúškami zisťujeme odolnosť povrchu skúšobných vzoriek proti pôsobeniu vody s obsahom solí pri striedavom zmrazovaní a rozmrazovaní. Ako skúšobné telesá sa používajú kocky s rozmermi strán 150 mm, ktoré uložíme do misky. Misku naplníme 3% roztokom NaCl tak, aby mala hladina vody v miske výšku 5 mm. Pripravené vzorky následne vložíme do mraziaka, kde sa podrobí 100 cyklom zmrazovania a rozmrazovania. Jeden cyklus zahŕňa zmrazenie skúšobnej plochy na -15°C , teplota sa udržiava 15 minút a následne sa skúšobná plocha ohreje na $+20^{\circ}\text{C}$, pričom sa teplota udržiava ďalších 15 minút. Po každých 25 cykloch proces zastavíme, vzorku opláchneme prúdom vody a uvoľnené častice s miskou uložíme do sušiarne na 105°C . Vzorky uložíme do novej misky, s roztokom a skúška pokračuje ďalej. Po vysušení uvoľnené častice zväžíme s presnosťou na 0.1 g. [23]





Obrázok 14 - Uloženie vzoriek na skúšku CHRL [autor]

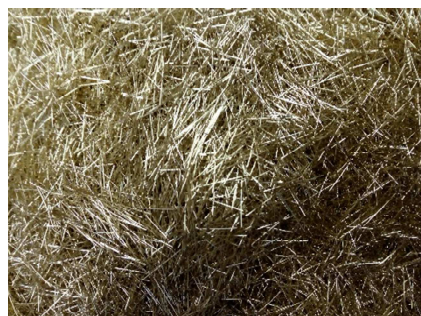
4 Výsledky skúšok na stvrdnutom betóne

V nasledujúcej kapitole budú uvedené a porovnané výsledky zo skúšok na stvrdnutom betóne, ktorý sa odlišuje v dávkovaní drôtikov a v ich type. Použité boli drôtičky MasterFiber 482 [24] a Dramix® 5D 65/60 BG [25] s dávkovaním 40 kg/m^3 , 75 kg/m^3 a 110 kg/m^3 . Taktiež boli skúmané vlastnosti prostého betónu, tj. dávkovanie drôtikov 0 kg / m^3 [26]. Parametre drôtikov sú uvedené v tabuľke 4. Tvar drôtikov je zobrazený na obr. 15. V laboratóriu stavebných hmôt, fakulty stavební, VŠB-TU Ostrava boli vybetónované vzorky ku stanoveniu základných materiálových vlastností prostého betónu a drátkobetónu. Celkom bolo vybetónovaných 7 sérií vzoriek, ktoré sa líšia dávkovaním a typom použitých drôtikov. U každej skúšobnej sérii bola stanovená:

- Pevnosť v tlaku – kocková,
- Pevnosť v priečnom ťahu,
- Pevnosť v ťahu za ohybu.

Tabuľka 4 - Základné charakteristiky drôtikov. [24] [25]

Materiálové vlastnosti	MasterFiber 482	Dramix® 5D 65/60 BG
Typ vlákna		
Tvar vlákna	rovné	dvojité koncové ohyby
Zväzkovanie	voľne	lepeno
Dĺžka l [mm]	13	62
Priemer d [mm]	0.20	0.90
Pomer strán (l/d)	65	68
Pevnosť v ťahu [N/mm^2]	2200	2300
Modul pružnosti [GPa]	200	200



(a)



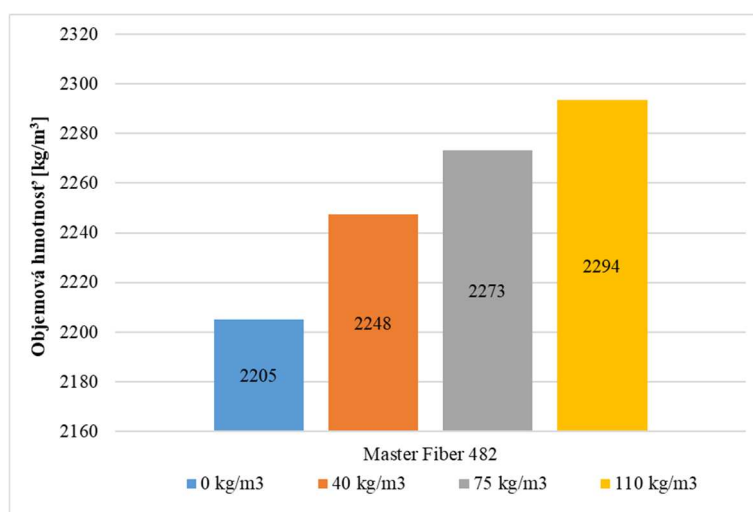
(b)

Obrázok 15 - Oceľové drôtičky: (a) MasterFiber 482, (b) Dramix® 5D 65/60 BG. [19]

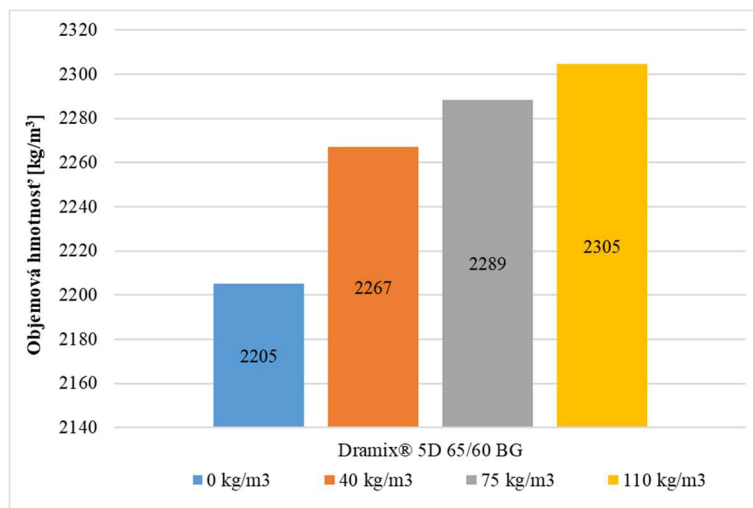
Boli taktiež prevedené doplnkové skúšky prostého betónu, kde bola navyše určená valcová pevnosť v tlaku a modul pružnosti. Na základe 6 skúšobných vzoriek bola stanovená priemerná valcová pevnosť v tlaku 48.85 MPa a priemerný modul pružnosti na základe 3 skúšobných vzoriek 27.13 GPa. Ďalej bola stanovená objemová hmotnosť prostého betónu a drátkobetónu v závislosti na dávkovaní vlákien. Pre každú skúšobnú sériu bolo vybratých 12 vzoriek. Nárast objemovej hmotnosti v závislosti na dávkovaní je viditeľný z tab. 5 obr. 16 a obr. 17.

Tabuľka 5 - Objemová hmotnosť.

Dávkovanie [kg/m ³]	Počet vzoriek [ks]	Objemová hmotnosť [kg/m ³]	
		MasterFiber 482	Dramix® 5D 65/60 BG
0	12	2205	
40	12	2248	2267
75	12	2273	2289
110	12	2294	2305



Obrázok 16 - Objemová hmotnosť - MasterFiber 482.



Obrázok 17 - Objemová hmotnosť - Dramix® 5D 65/60 BG.

4.1 Pevnosť v tlaku

V prípade stanovenia pevnosti betónu v tlaku bolo pre každú skúšobnú sériu vybetónovaných 6 vzoriek. Skúšané boli kocky s rozmermi 150 x 150 x 150 mm. Vzorky boli skúšané v skúšobnom lise (Obr. 18) po dobe zrenia 28 dní. Výsledné priemerné pevnosti v tlaku jednotlivých sérií vzoriek sú uvedené v tab. 6. Na základe priemerných hodnôt pevností v tlaku boli stanovené regresné funkcie, ktoré definujú závislosť medzi pevnosťou v tlaku a dávkovaním drôťkov. Regresné funkcie sú zobrazené na obr. 19 a obr. 20.

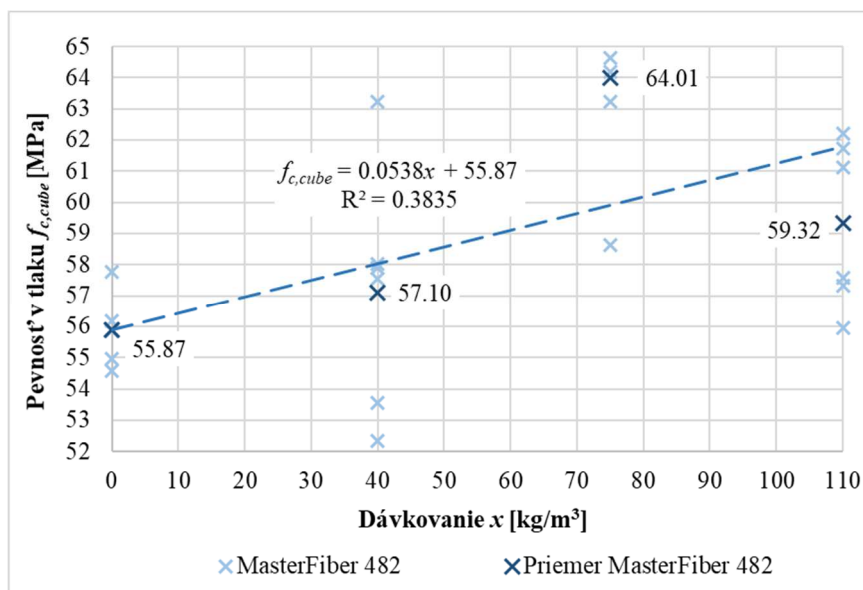


Obrázok 18 - Skúška pevnosti v tlaku. [autor]

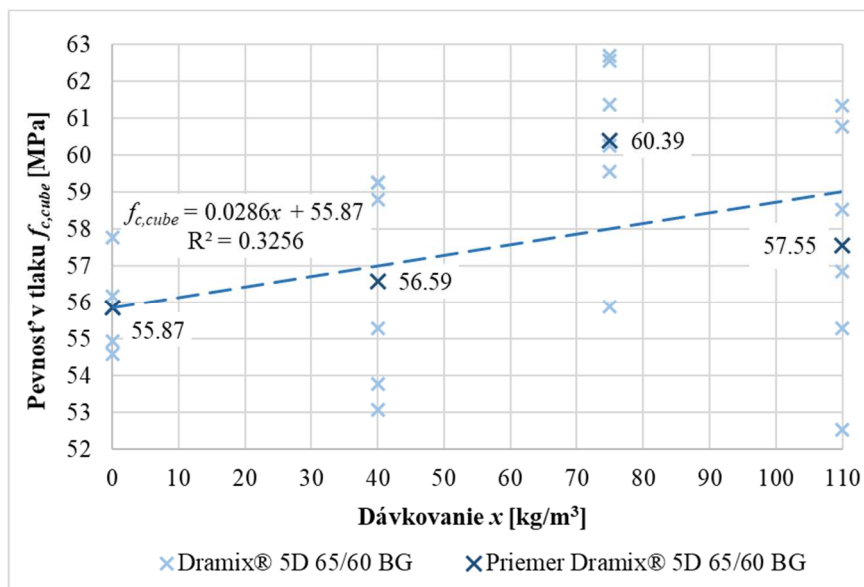
Tabuľka 6 - Pevnosť v tlaku.

Dávkovanie [kg/m ³]	Počet vzoriek [ks]	Pevnosť v tlaku $f_{c,cube}$ [MPa]	
		MasterFiber 482	Dramix® 5D 65/60 BG
0	6	55.87	
40	6	57.10	56.59
75	6	64.01	60.39
110	6	59.32	57.55

Zo zistených hodnôt v tab. 6 môžeme vidieť, že najväčšiu pevnosť v tlaku sme dosiahli použitím drôtkov MasterFiber 482 pri dávkovaní 75 kg/m³ a to v priemere 64.01 MPa čo je o 8.14 MPa viac ako referenčný betón bez drôtkov. Dávkovania 40 kg/m³ a 110 kg/m³ oboch druhov drôtkov nemali na pevnosť v tlaku výrazný vplyv. U pevnosti v tlaku pri dávkovaní 110 kg/m³ došlo dokonca k poklesu v porovnaní s pevnosťou s dávkovaním 75 kg/m³. Toto je taktiež viditeľné z regresnej analýzy, kde koeficient determinácie R^2 je menší než hodnota 0.5.



Obrázok 19 - Funkčná závislosť pevnosti v tlaku $f_{c,cube}$ na dávkovanie x – MasterFiber 482.



Obrázok 20 - Funkčná závislosť pevnosti v tlaku $f_{c,cube}$ na dávkovanie x – Dramix® 5D 65/60 BG.

4.2 Pevnosť v priečnom ťahu

V prípade stanovenia pevnosti betónu v priečnom ťahu bolo pre každú skúšobnú sériu vybetónovaných 6 vzoriek kociek s rozmermi 150 x 150 x 150 mm. Vzorky boli skúšané v skúšobnom lise po dobe zrania 28 dní. Výsledné priemerné pevnosti v priečnom ťahu jednotlivých sérií vzoriek sú uvedené v tab. 7.

Tabuľka 7 - Pevnosť v priečnom ťahu.

Dávkovanie [kg/m ³]	Počet vzoriek [ks]	Pevnosť v priečnom ťahu [MPa]	
		MasterFiber 482	Dramix® 5D 65/60 BG
0	6	2.99	
40	6	4.18	5.18
75	6	5.01	7.35
110	6	5.88	7.63

Zo zistených hodnôt vidíme, že drôtky Dramix 5D 65/60 BG zlepšujú pevnosť v priečnom ťahu lepšie ako drôtky MasterFiber 482. Najvýraznejšie zvyšovanie pevnosti je pri dávkaní do 75 kg/m³, pri vyššom dávkaní je zvyšovanie pevnosti minimálne. Najvyššiu pevnosť v priečnom ťahu sme dosiahli drôtkami Dramix 5D 65/60 BG pri dávkaní 110 kg/m³ v priemere 7.63 MPa čo tvorí rozdiel oproti referenčnému betónu bez drôtkov 4.64 MPa.

Na základe priemerných hodnôt pevností v priečnom ťahu bola stanovená regresná funkcia. Regresné funkcie sú zobrazené na obr. 21 a obr. 22.

Funkčné závislosti množstva drôtikov na pevnosť v priečnom ťahu je možné definovať vzťahom pre:

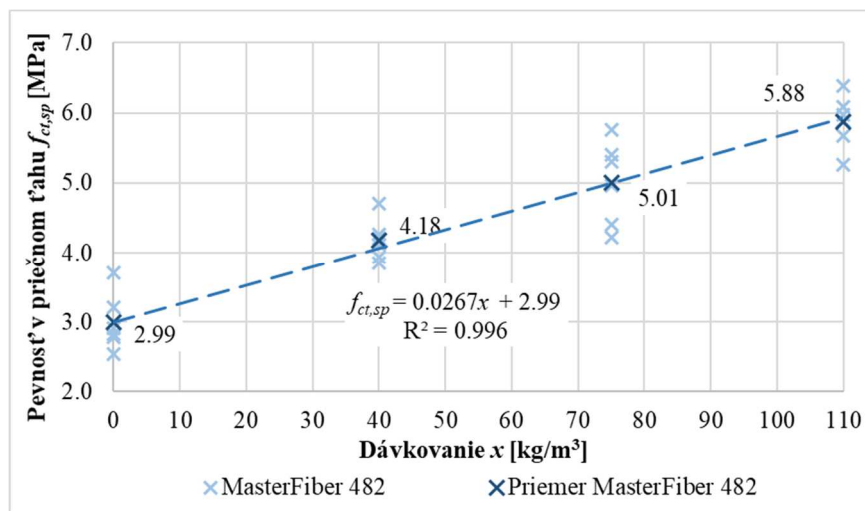
- **MasterFiber 482:**

$$f_{ct,sp} = 0.0267x + 2.99 \quad (R^2 = 0.996) \quad (7)$$

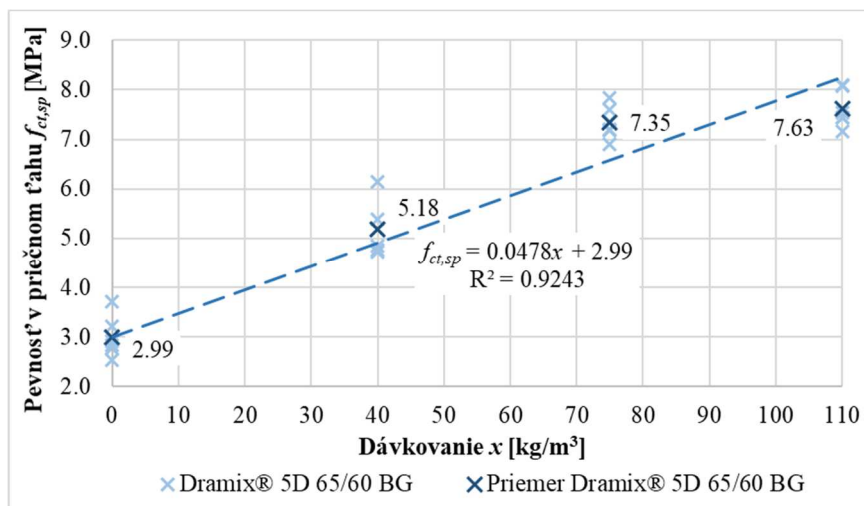
- **Dramix® 5D 65/60 BG:**

$$f_{ct,sp} = 0.0478x + 2.99 \quad (R^2 = 0.9243) \quad (8)$$

kde $f_{ct,sp}$ je pevnosť v priečnom ťahu a x je dávkovanie drôtikov. Z koeficientu determinácie R^2 , môžeme stanoviť silu závislosti týchto dvoch veličín. V oboch prípadoch je tento koeficient blízko hodnote 1 a môžeme predpokladať silnú mieru závislosti pevnosti v priečnom ťahu a dávkovaní.



Obrázok 21 - Funkčná závislosť pevnosti v priečnom ťahu $f_{c,cube}$ na dávkovanie x – MasterFiber 482.



Obrázok 22 – Funkčná závislosť pevnosti v pričnom ťahu $f_{c,cube}$ na dávkovanie x – Dramix® 5D 65/60 BG.

4.3 Pevnosť v ťahu za ohybu

Ku stanoveniu pevnosti v ťahu za ohybu bola vybraná trojbodová ohybová skúška nosníka s rozmermi 150 x 150 x 600 mm. Nosníky boli uprostred opatrené zárezom veľkosti 25 mm. Každá skúšobná séria obsahovala celkom 3 trámce. Z maximálnej sily v skúšobnom lise boli stanovené pevnosti v ťahu za ohybu, ktoré sú uvedené v tab. 8.

Tabuľka 8 - Pevnosť v ťahu za ohybu.

Dávkovanie [kg/m³]	Počet vzoriek [ks]	Pevnosť v ťahu za ohybu [MPa]	
		MasterFiber 482	Dramix® 5D 65/60 BG
0	3	3.14	
40	3	4.58	5.96
75	3	4.78	9.65
110	3	5.45	12.11

Na základe priemerných hodnôt pevností v ťahu za ohybu bola stanovená regresná funkcia. Regresné funkcie sú zobrazené na obr. 23 a obr. 24. Funkčnú závislosť množstva drôťkov na pevnosti v ťahu za ohybu je možné definovať vzťahom pre:

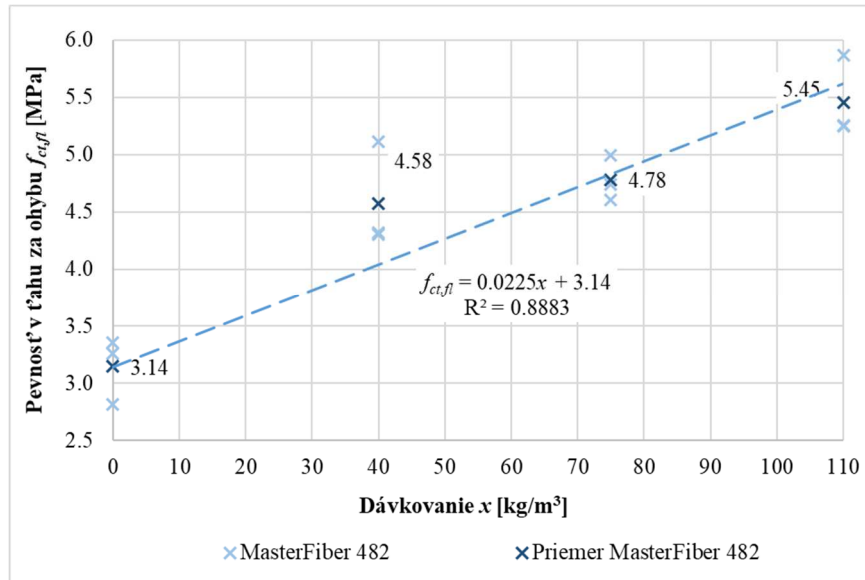
- **MasterFiber 482:**

$$f_{ct,fl} = 0.0225x + 3.14 \quad (R^2 = 0.8883) \quad (9)$$

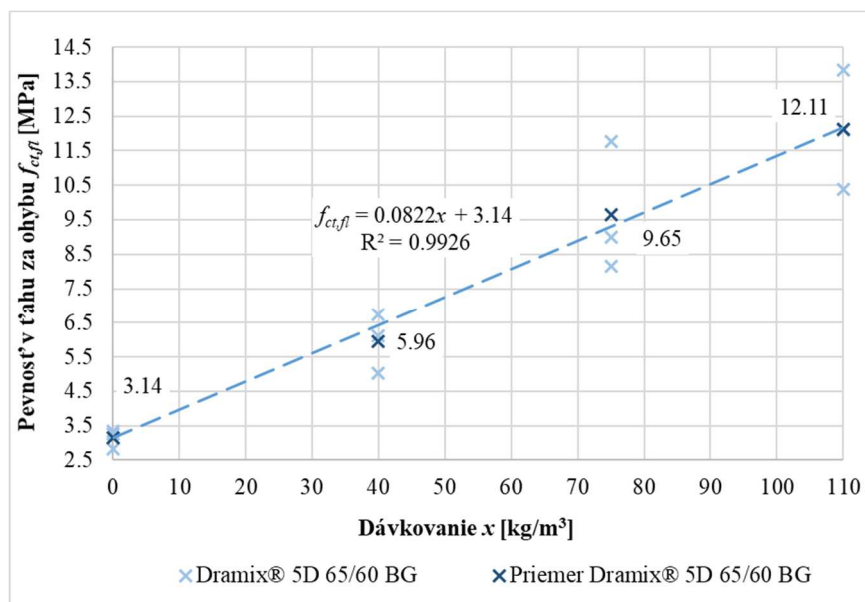
- **Dramix® 5D 65/60 BG:**

$$f_{ct,fl} = 0.0822x + 3.14 \quad (R^2 = 0.9926) \quad (10)$$

kde $f_{ct, fl}$ je pevnosť v ťahu za ohybu a x je dávkovanie drôtikov. Z koeficientu determinácie R^2 , môžeme stanoviť silu závislosti týchto dvoch veličín. V oboch prípadoch je tento koeficient blízko hodnote 1 a môžeme predpokladať silnú mieru závislosti týchto dvoch veličín.

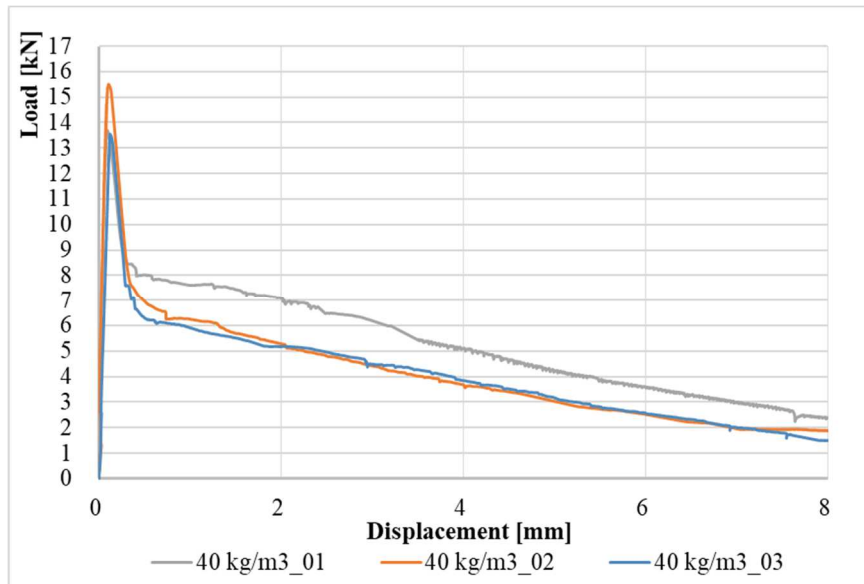


Obrázok 23 - Funkčná závislosť pevnosti v ťahu za ohybu $f_{c,cube}$ na dávkovanie x – MasterFiber 482.

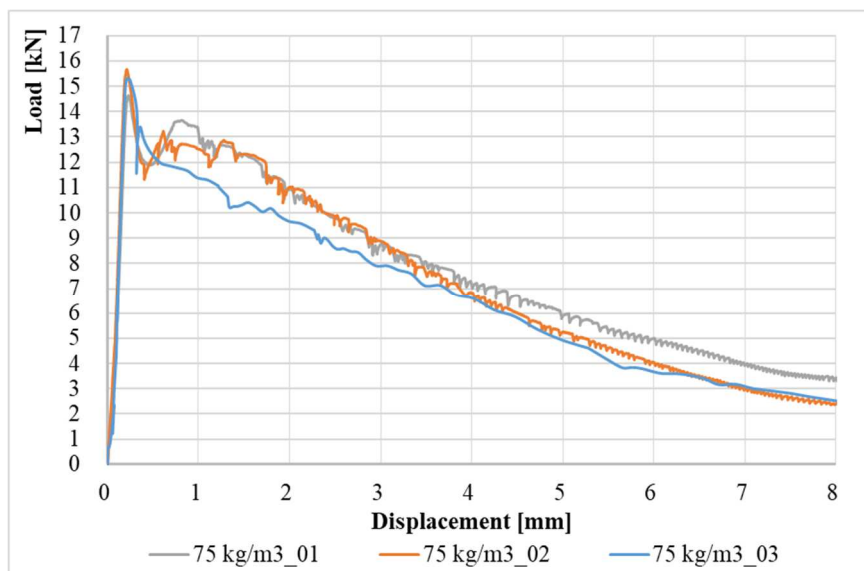


Obrázok 24 - Funkčná závislosť pevnosti v ťahu za ohybu $f_{c,cube}$ na dávkovanie x – Dramix® 5D 65/60 BG.

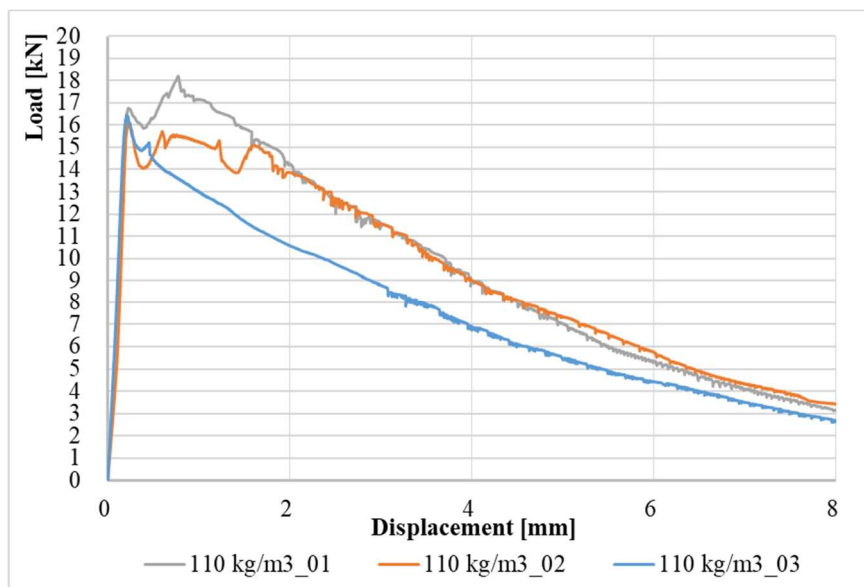
Boli taktiež vyhodnotené pracovné diagramy zo skúšky trojbodovým ohybom pre drátkobetón s drôtikmi MasterFiber 482, ktoré sú zobrazené na obr. 25, obr. 26 a obr. 27. Tráмец s trhlinou po skúške trojbodovým ohybom je zobrazený na obr. 29.



Obrázok 25 - Pracovné diagramy drátkobetónu s drôtikmi MasterFiber 482 pre dávkovanie 40 kg/m^3 .

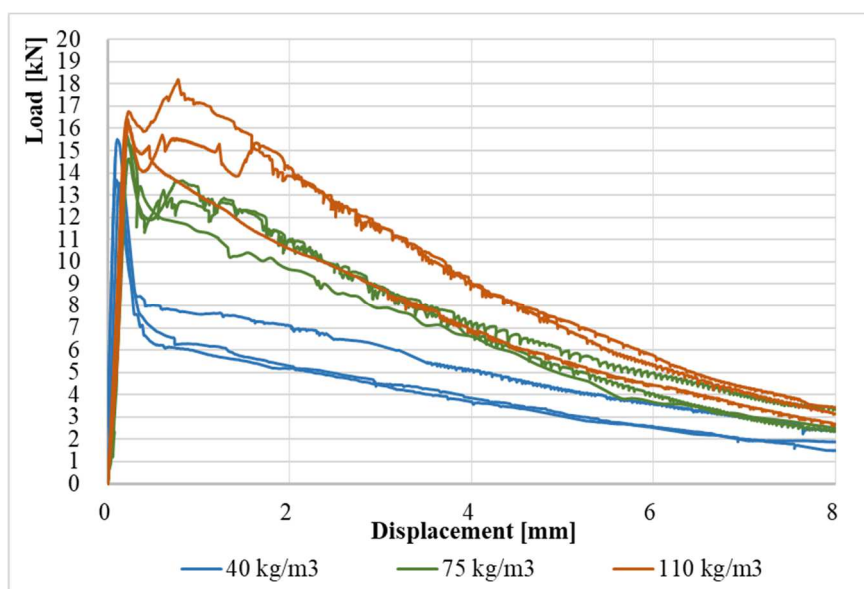


Obrázok 26 - Pracovné diagramy drátkobetónu s drôtikmi MasterFiber 482 pre dávkovanie 75 kg/m^3 .



Obrázok 27 - Pracovné diagramy drátkobetónu s drôtkmi MasterFiber 482 pre dávkovanie 110 kg/m³.

Aby bolo možné porovnať jednotlivé tvary pracovných diagramov v závislosti na rôznom dávkovaní bol vytvorený aj porovnávací graf pre dávkovanie drôtkov 40, 75 a 100 kg/m³. Z grafu na obr. 28 je vidno, že zo zväčšujúcim sa dávkovaním dochádza nielen k zväčšeniu pevnosti v ťahu za ohybu, ale taktiež k zvýšeniu tzv. reziduálnej pevnosti v ťahu.



Obrázok 28 - Pracovné diagramy drátkobetónu s drôtkmi MasterFiber 482 pre dávkovanie 40, 75 a 110 kg/m³.



Obrázok 29 - Skúška trámca na pevnosť v ťahu za ohybu s drôtikmi MasterFiber 482. [3]

Súčasťou experimentálneho merania bola tiež skúška trámca o veľkosti 150 x 150 x 700 mm. Jednalo sa o trojbodovú ohybovú skúšku trámcov s drôtikmi MasterFiber 482 a trámcov z prostého betónu. Trámce boli počas betonáže opatrne betonárskou výstužou - 2x priemer 10 mm, B500B. Betonárska výstuž mala krytie 20 mm. Celkom boli testované 4 série. Každá skúšobná séria obsahovala celkom 2 trámce. Sledovanou veličinou bola maximálna dosiahnutá sila v skúšobnom lise, tab. 9. Trámce po skúške pevnosti v ťahu za ohybu sú zobrazené na obr. 30.

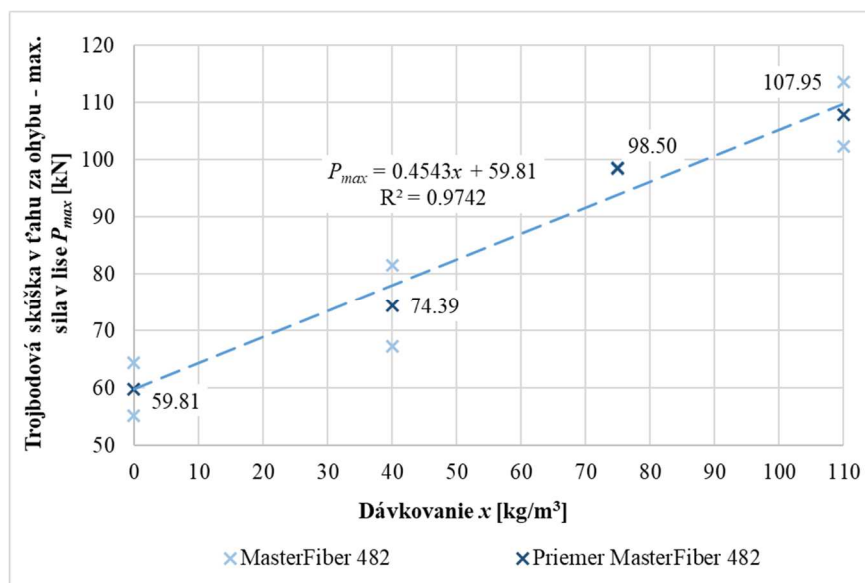
Tabuľka 9 - Maximálna sila v lisu P_{max} .

Dávkovanie [kg/m ³]	Počet vzoriek [ks]	Maximálna sila v lisu P_{max} [kN]
0	2	59.81
40	2	74.39
75	2	98.50
110	2	107.95



Obrázok 30 - Vzorky po skúške pevnosti v ťahu za ohybu. [autor]

Z nameraných hodnôt vidíme, že najväčšiu silu v lise pri trojbodovej ohybovej skúške trámcov vystužených betonárskou výstužou a drôtkami MasterFiber 482 pri dávkovaní 110 kg/m³ sme dosiahli v priemere 107.95 kN. U referenčného betónu s výstužou bola dosiahnutá sila v priemere 59.81 kN, čo tvorí rozdiel 48.14 kN.



Obrázok 31 - Funkčná závislosť maximálnej sily v lise P_{max} na dávkovanie x – MasterFiber 482.

4.4 Priesak tlakovou vodou

Skúška sa robila na skúšobných telesách v tvare kocky s rozmermi 150 x 150 x 150 mm z drátkobetónu s použitím drôtkov MasterFiber 482. Na skúšku priesaku tlakovou vodou bola vybraná z každej skúšobnej série jedna reprezentatívna vzorka. Celkom teda boli vybrané tri reprezentatívne vzorky. Rozlomenie skúšobnej vzorky v lise a vzorka s označenou hranicou priesaku vody je zobrazená na obr. 32.

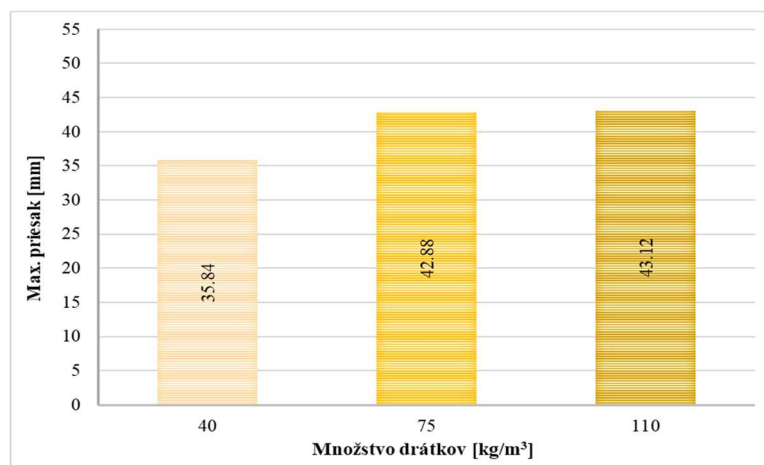


Obrázok 32 - Skúška priepustnosti drátkobetónu s drôtikmi MasterFiber 482 s dávkovaním 110 kg/m³. [autor]

Vďaka skúške môžeme vidieť, že priesak tlakovou vodou závisí v malej miere aj od dávkovania drôtikov. Najväčší priesak sa namerá pri vzorke s dávkovaním 110 kg/m³ a to v priemere 43.12 mm. Najväčší rozdiel v hĺbke priesaku sa namerá medzi dávkovaním 40kg/m³ a 75 kg/m³, pri vyššom dávkovaní bol rozdiel v priesaku minimálny. Reprezentatívne hodnoty priesakov tlakovou vodou sú uvedené v tab. 10 a na obr. 33.

Tabuľka 10 - Maximálna priepustnosť drátkobetónu s drôtikmi MasterFiber 482.

Dávkovanie [kg/m ³]	Max. priesak [mm]		Priemerný max. priesak [mm]
	Časť 1	Časť 1'	
40	37.15	34.52	35.84
75	41.94	43.82	42.88
110	44.79	41.45	43.12



Obrázok 33 - Skúška odolnosti voči priesaku tlakovou vodou drátkobetónu s drôtkmi MasterFiber 482

4.5 Odolnosť proti CHRL

Skúška sa robila na skúšobných telesách v tvare kocky s rozmermi 150 x 150 x 150 mm z drátkobetónu s použitím drôtkov MasterFiber 482. Ku stanoveniu odolnosti voči chloridom bola vybraná metóda A, ktorá je bližšie popísaná v kap. 3. Z požiadavkou na vlastnosti a zloženie betónu podľa ČSN EN 206-1: Beton - Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda [27] je dostačujúci počet 100 cyklov. Vzorky boli vystavované pôsobeniu chloridov 4 krát po 25 cykloch. Vzhľadom k malému odpadu boli prevedené ďalšie dve skúšky po 50 cykloch. Drátkobetón bol teda vystavený celkom 200 cyklom zmrazovania a rozmrazovania. Výsledné súčty odpadov pre vybrané cykly sú uvedené v tab. 11. Na skúšku odolnosti voči chloridom boli vybrané z každej skúšobnej série dve reprezentatívne vzorky. Celkom teda bolo vybraných šesť reprezentatívnych vzoriek. Vzorka vystavená pôsobením chloridov po 100 cykloch je zobrazená na obr. 34.



Obrázok 34 - vzorka po skúške CHRL. [autor]

Tabuľka 11 - Súčet odpadov po cykloch [g].

Dávkovanie [kg/m ³]	Počet cyklov			
	75	100	150	200
40	6.13	12.31	25.07	44.99
40	13.2	20.49	30.36	41.70
75	12.69	25.44	48.17	77.62
75	17.83	30.01	47.25	67.42
110	11.34	21.41	43.74	76.81
110	10.70	23.65	51.13	105.29

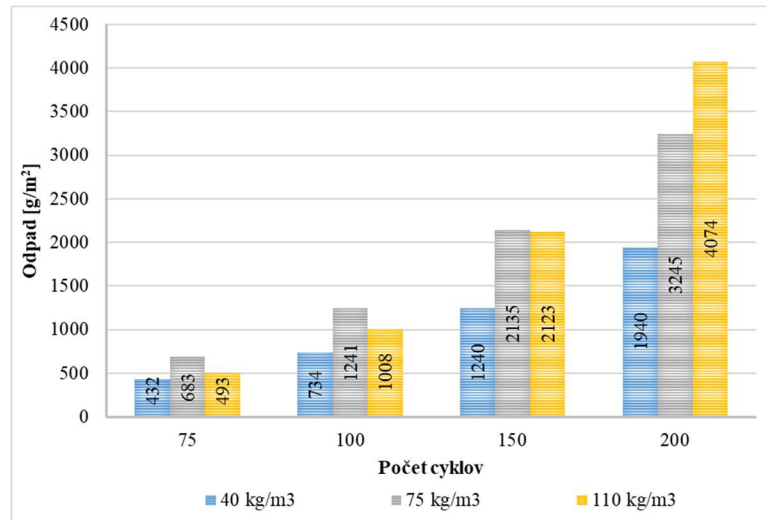
Z grafu na obr. 35 a z tab. 12 vidíme, že množstvo odpadov do 100 cyklov sa v jednotlivých receptúrach líši len málo. Výraznejší rozdiel nastal po 150 cykloch, kedy mali receptúry s dávkovaním drôtikov 110 kg/m³ a 75 kg/m³ skoro o polovicu väčší odpad. Najväčšie rozdiely môžeme vidieť až pri 200 cykloch, kde bol pri vzorke s dávkovaním drôtikov 110 kg/m³ odpad až 4074 g/m².

Tabuľka 12 - Súčet odpadov po cykloch [g/m²].

Dávkovanie [kg/m ³]	Počet cyklov							
	75	100	150	200	75	100	150	200
40	274	551	1122	2013	432	734	1240	1940
	591	917	1359	1866				
75	568	1138	2156	3473	683	1241	2135	3245
	798	1343	2114	3017				
110	507	958	1957	3437	493	1008	2123	4074
	479	1058	2288	4712				

V zmysle požiadavky na vlastnosti a zloženie betónu podľa ČSN EN 206-1: Beton - Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda [27] bol drátkobetón s drôtkami MasterFiber 482 zaradený do kategórie betónu s triedou prostredia XF2. Jedná sa o prostredie s miernym nasýtením vodou s rozmrazovacími prostriedkami. S týmto typom prostredia sa môžeme

stretnúť napríklad u zvislých betónových povrchoch konštrukcií pozemných komunikácií vystavených mrazu a rozmrazovacím prostriedkom rozptýlených vo vzduchu. Zaradenie do tejto kategórie bolo prevedené s ohľadom na maximálny priesak vody 43.12 mm a maximálne množstvo odpadu po 100 cykloch, tj. 1241 g/m². Rozhodujúce však k určení kategórie triedy prostredia bola skúška odolnosti voči priesaku tlakovou vodou.



Obrázok 35 - Priemerný súčet odpadov po cykloch [g/m²].

5 Záver

Bakalárska práca sa zaoberá problematikou drátkobetónov, ktoré nachádzajú uplatnenie u celej rady konštrukčných riešení pozemného a inžinierskeho staviteľstva. Drátkobetón vznikol v rámci inovácií betónu pri snahe o odstránenie jednej z jeho najväčších nevýhod, ktorou je nízka pevnosť v ťahu a malá duktilita. Samotná problematika stanovenia pevnosti v ťahu je veľmi široká, nakoľko jej priame stanovenie je náročné a v prípade drátkobetónu je rozptyl nameraných hodnôt obvykle ešte väčší. Medzi hlavné obmedzenie ďalšieho rozšírenia drátkobetónu patrí tiež vhodné stanovenie mechanických vlastností a optimalizácia dávkovania drôtikov v rámci receptúry. Uvedenou problematikou sa zaoberá táto bakalárska práca, kde sú vykonané dva rozdielne typy skúšok. Konkrétne boli vykonané skúšky pri ohybe a v priečnom ťahu pre rozdielne dávkovanie drôtikov v štyroch sériách od 0 do 110 kg/m³. Pre experimentálny program bol zvolený jemnozrnný betón s kamenivom do 4 mm. Pozitívny vplyv drôtikov sa už výrazne prejavil na dávkovaní 40 kg/m³. S väčším dávkovaním drôtikov rastie tiež pevnosť, ale predovšetkým sa zväčšuje duktilita, ktorá sa prejavuje väčšou lomovou energiou, resp. reziduálnou ťahovou pevnosťou. Z porovnania výsledkov skúšok vyplýva, že väčší pozitívny vplyv na pevnosť v ťahu majú drôtky Dramix® 5D 65/60 BG.

V prípade dávkovania 110 kg/m³ u trojbodovej ohybovej skúšky s drôtkami MasterFiber 482 došlo po vzniku iniciačnej trhliny k celkovému spevneniu prierezu. Vznikol druhý vrchol a výsledná pevnosť v ťahu sa ešte zvýšila.

Medzi dôležité aspekty návrhu konštrukcií patrí nielen celková únosnosť konštrukcie, ale napríklad aj trvanlivosť, kde je možné zaradiť odolnosť proti priesaku tlakovou vodou a skúšky CHRL. Z týchto dôvodov boli vykonané obe overovacie skúšky v rámci experimentálneho programu.

Zoznam použitej literatúry:

- [1] Úvod | Časopis BETON - technologie, konstrukce, sanace (BETON TKS) [online]. [cit. 25.04.2020]. Dostupné z: http://www.betontks.cz/sites/default/files/BETON_TKS_2010-02.pdf
- [2] KRÁTKÝ, Jiří, Jan VODIČKA a Karel TRTÍK. *Drátkobetonové konstrukce: úvodní část a příklady použití : směrnice pro navrhování, provádění, kontrolu výroby a zkoušení drátkobetonových konstrukcí*. Praha: Informační centrum České komory autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě, 1999. Betonové stavitelství. ISBN 80-863-6400-3.
- [3] MARCALIKOVA, Zuzana, MATECKOVA, Pavlina, RACEK, Miroslav BUJDOS, David, Study on Shear Behavior of Steel Fiber Reinforced Concrete Small Beams. In 1st Virtual European Conference on Fracture Comparison of tensile strength for fiber reinforced concrete with different types of fibers. *Structural Integrity Procedia*. 2020 (in print).
- [4] PYTLÍK, Petr, Jan VODIČKA a Karel TRTÍK. *Technologie betonu: úvodní část a příklady použití : směrnice pro navrhování, provádění, kontrolu výroby a zkoušení drátkobetonových konstrukcí*. 2. vyd. Brno: VUTIUM, 2000. Učebnice (VUTIUM). ISBN 80-214-1647-5.
- [5] ČSN EN 14889-1: Vlákna do betonu – Část 1: Ocelová vlákna – Definice, specifikace a shoda, Český normalizační institut, 2007.
- [6] KOSINKA, Filip, *Drátkobetony – porovnání vlivu délky drátků na pevnostní charakteristiky*, 2018, [online]. [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/71394/KosinkaF_DratkobetonyPorovani_VS_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- [7] EHRENSTEIN, Gottfried W. *Polymerní kompozitní materiály* [online]. V ČR 1. vyd. Praha: Scientia, 2009 [cit. 2020-05-07]. ISBN 978-808-6960-296.
- [8] BEDNÁŘ, Patrik, *Betony vyztužené vlákny pro podlahy s vysokým zatížením*, 2017, [online]. [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/129166/BED0110_FAST_N3607_3607T021_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- [9] NOVÁK, Radim, Vláknobetony v ochraně železobetonových konstrukcí za požáru, 2009, VŠB- TU Ostrava, [online]. [cit. 2020-05-07]. Dostupné z:
https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/73658/NOV625_FBI_B3908_3908R006_2009.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [10] Polypropylen [online]. [cit. 2020-05-07]. Dostupné z:
https://www.nonstopstavebniny.sk/web-data/102/plugins/eshop/9442/01_polypropylen2.jpg
- [11] ČSN EN 12390-3: Zkoušení ztvrdlého betonu. Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles. Česká agentura pro standardizaci, 2020.
- [12] Pevnosť v tlaku deštruktívna [online]. [cit. 2020-05-07] Dostupné z:
<https://sites.google.com/site/svfmaterialoveinzierstvo/stavebne-materialy/ucebne-texty/skky-zatvrduho-betnu/pevnos-v-tlaku-detruktivna>
- [13] MARCALIKOVA, Zuzana, Stav napětí a deformace vláknobetonových kompozitů v interakci se zemním prostředím, Teze disertační práce, VŠB-TU Ostrava, 2020.
- [14] FUJAČKOVÁ, Hedvika, 2015, Ověření kvality povrchové vrstvy betonu pomocí odtrhové zkoušky, [online]. [cit. 2020-05-07] Dostupné z:
<https://core.ac.uk/download/pdf/30289525.pdf>.
- [15] ČSN EN 12390-6 (731302) Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 6: Pevnost v příčném tahu zkušebních těles. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [16] ČSN EN 12390-5: Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 5: Pevnost v tahu ohybem zkušebních těles. Český normalizační institut, 2000.
- [17] Nelineární analýza železobetonového nosníku bez smykové výztuže na základě charakteristik betonu [online]. [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/beton-malty-omitky/18218-nelinearni-analyza-zelezobetonoveho-nosniku-bez-smykove-vyztuze-na-zaklade-charakteristik-betonu>.
- [18] Zkoušky ohybem a diagramy odolnosti vláknobetonů s recykláty [online]. [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/beton-malty-omitky/10137-zkousky-ohybem-a-diagramy-odolnosti-vlaknobetonu-s-recyklaty>.

- [19] MARCALIKOVA, Zuzana, RACEK, Miroslav, MATECKOVA, Pavlina, CAJKA, R, Comparison of tensile strength for fiber reinforced concrete with different types of fibers. *In* 1st Virtual European Conference on Fracture Comparison of tensile strength for fiber reinforced concrete with different types of fibers. *Structural Integrity Procedia*, 2020 (in print).
- [20] Biele vane, [online]. [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: <https://www.asb.sk/stavebnictvo/zaklady-a-hruba-stavba/hydroizolacie-zakladov/biele-vane>
- [21] ČSN EN 12390-8: Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 8: Hloubka průsaku tlakovou vodou. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [22] ČSN 73 1326 -Z1, Stanovení odolnosti povrchu cementového betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látkách. ICS 91.100.30. Praha: Český normalizační institut, 2003.
- [23] HOBZA, Jakub, Odolnost betonu proti CHRL, [online]. [cit. 2020-05-07] Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/81007/F1-DP-2019-Hobza-Jakub-Diplomova%20prace_Hobza.pdf?sequence=-1&isAllowed=y
- [24] MasterFiber 482, [online]. [cit. 2020-05-07] Dostupné z: <https://www.master-builders-solutions.basf.cz/cs-cz/products/masterfiber/masterfiber-482>
- [25] Data sheet 5D_6560BG [online]. [cit. 2020-05-07] Dostupné z: https://bosfa.com/wp-content/uploads/2017/08/5D_6560BG.pdf
- [26] Baunit ProofBeton© - technical sheet [online]. [cit. 2020-05-07] Dostupné z: <https://baunit.cz/>
- [27] ČSN EN 206-1: Beton - Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda.

Zoznam obrázkov

Obrázok 1 - Pracovný diagram prostého betónu a drátkobetónu. [3].....	10
Obrázok 2 - Výroba a ukladanie drátkobetónu. [autor]	11
Obrázok 3 - Nakyprenie V_n (m^3) na $1 m^3$ zmesi kameniva (o max. priemere zrna d_{max}) a drôťkov, pre betón s objemovým stupňom vystuženia μV (%) - Závislosť A: $d_{max} = 22$ mm, Závislosť B: $d_{max} = 8$ mm, Závislosť C: $d_{max} = 4$ mm. [2]	12
Obrázok 4 - Typy vlákien. [3]	14
Obrázok 5 - Sklenené vlákna. [autor]	17
Obrázok 6 - Polypropylénové vlákna. [10].....	18
Obrázok 7 - Skúška pevnosti v tlaku [13].....	20
Obrázok 8 - Skúška pevnosti v priečnom. [13]	21
Obrázok 9 - Trojbodová ohybová skúška. [13]	22
Obrázok 10 - Štvorbodová ohybová skúška. [13].....	23
Obrázok 11 - Zaťaženie ohybovým momentom pri trojbodovej a štvorbodovej ohybovej skúške. [13]	23
Obrázok 12 - Vplyv vlákien na odolnosť voči pretvoreniu. [19]	24
Obrázok 13 - Meranie hĺbky priesaku tlakovou vodou [autor]	24
Obrázok 14 - Uloženie vzoriek na skúšku CHRL [autor]	25
Obrázok 15 - Oceľové drôťky: (a) MasterFiber 482, (b) Dramix® 5D 65/60 BG. [19].....	26
Obrázok 16 - Objemová hmotnosť - MasterFiber 482.	27
Obrázok 17 - Objemová hmotnosť - Dramix® 5D 65/60 BG.	28
Obrázok 18 - Skúška pevnosti v tlaku. [autor]	28
Obrázok 19 - Funkčná závislosť pevnosti v tlaku $f_{c,cube}$ na dávkovanie x – MasterFiber 482.	29
Obrázok 20 - Funkčná závislosť pevnosti v tlaku $f_{c,cube}$ na dávkovanie x – Dramix® 5D 65/60 BG.....	30
Obrázok 21 - Funkčná závislosť pevnosti v priečnom ťahu $f_{c,cube}$ na dávkovanie x – MasterFiber 482.....	31

Obrázok 22 – Funkčná závislosť pevnosti v priečnom ťahu $f_{c,cube}$ na dávkovanie x – Dramix® 5D 65/60 BG.....	32
Obrázok 23 - Funkčná závislosť pevnosti v ťahu za ohybu $f_{c,cube}$ na dávkovanie x – – MasterFiber 482.....	33
Obrázok 24 - Funkčná závislosť pevnosti v ťahu za ohybu $f_{c,cube}$ na dávkovanie x – Dramix® 5D 65/60 BG.....	33
Obrázok 25 - Pracovné diagramy drátkobetónu s drôtikmi MasterFiber 482 pre dávkovanie 40 kg/m ³	34
Obrázok 26 - Pracovné diagramy drátkobetónu s drôtikmi MasterFiber 482 pre dávkovanie 75 kg/m ³	34
Obrázok 27 - Pracovné diagramy drátkobetónu s drôtikmi MasterFiber 482 pre dávkovanie 110 kg/m ³	35
Obrázok 28 - Pracovné diagramy drátkobetónu s drôtikmi MasterFiber 482 pre dávkovanie 40, 75 a 110 kg/m ³	35
Obrázok 29 - Skúška trámca na pevnosť v ťahu za ohybu s drôtikmi MasterFiber 482. [3]	36
Obrázok 30 - Vzorky po skúške pevnosti v ťahu za ohybu. [autor].....	37
Obrázok 31 - Funkčná závislosť maximálnej sily v lise P_{max} na dávkovanie x – MasterFiber 482.	37
Obrázok 32 - Skúška priepustnosti drátkobetónu s drôtikmi MasterFiber 482 s dávkovaním 110 kg/m ³ . [autor]	38
Obrázok 33 - Skúška odolnosti voči priesaku tlakovou vodou drátkobetónu s drôtikmi MasterFiber 482.....	39
Obrázok 34 - vzorka po skúške CHRL. [autor].....	40
Obrázok 35 - Priemerný súčet odpadov po cykloch [g/m ²].....	41

Zoznam tabuliek

Tabuľka 1 – Typy vlákien. [4]	15
Tabuľka 2 - Oceľové tvarované vlákna. [6].....	16
Tabuľka 3 - Aramidové vlákna. [7]	19
Tabuľka 4 - Základné charakteristiky drôtikov. [24] [25]	26
Tabuľka 5 - Objemová hmotnosť.	27
Tabuľka 6 - Pevnosť v tlaku.	29
Tabuľka 7 - Pevnosť v priečnom ťahu.....	30
Tabuľka 8 - Pevnosť v ťahu za ohybu.	32
Tabuľka 9 - Maximálna sila v lisu P_{max}	36
Tabuľka 10 - Maximálna priepustnosť drátkobetónu s drôtikmi MasterFiber 482.	38
Tabuľka 11 - Súčet odpadov po cykloch [g].....	40
Tabuľka 12 - Súčet odpadov po cykloch [g/m ²].	40