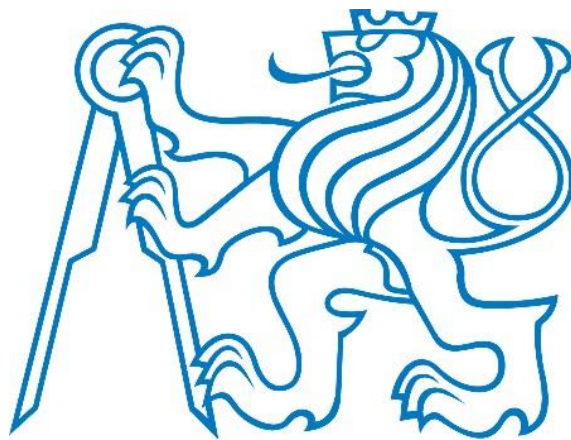


**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STAVEBNÍ**



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**2018**

**Petra Korytová**



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební  
Tháškurova 7, 166 29 Praha 6

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Korytová	Jméno: Petra	Osobní číslo: 369927
Zadávací katedra: Experimentální centrum		
Studijní program: Stavitelství		
Studijní obor: Realizace pozemních a inženýrských staveb		

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Studie zpracovatelnosti cementového kompozitu v textilních 3D úpletech

Název bakalářské práce anglicky: Analysis of cementitious composite workability in 3D knitted fabric

Pokyny pro vypracování:  
Zpracování rešerše, výroba zkušebních vzorků, měření ohybových pevností, zpracování výsledků a jejich vyhodnocení.


Výroba vzorků - provádění testů zpracovatelnosti směsi před betonáží, výroba trámek 40x40x160mm s několika druhy 3D úpletu (3ks od každého). Z každé výroby bude vypracován protokol o použité směsi a zpracovatelnosti.


Měření vlivu různých 3D úpletů na ohybovou pevnost vzorků.

Seznam doporučené literatury:  
M. Tvarog, Vliv orientace vláken na mechanické vlastnosti cementových kompozitů, diplomová práce.  
J. Hrubý, Cementové kompozity vyztužené tkaninami a jejich vlastnosti při extrémním zatížení, bakalářská práce  
Zdroje: sciencedirect.com, scholar.google.cz, concrete.org (vyžaduje registraci)  
Klíčová slova: concrete, UHPC, cementitious composite, textile, fibre, workability

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Jindřich Fornůsek, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 13.10.2017 Termín odevzdání bakalářské práce: 14.1.2018  
*Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku*


  
Podpis vedoucího práce

  
Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

13.10.2017  
Datum převzetí zadání

  
Podpis studenta(ky)

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně, pouze pod odborným vedením vedoucího Ing. Jindřicha Fornůska, Ph.D., a že veškeré informační zdroje a literaturu, ze kterých jsem čerpala, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

V Praze dne 14. ledna 2018

.....

Petra Korytová

## **Poděkování**

Na tomto místě bych chtěla poděkovat vedoucímu práce Ing. Jindřichovi Fornůskovi, Ph.D. za odborné vedení mé práce. Rovněž bych ráda vyjádřila své poděkování Lukášovi Joglovi, Karlovi Hurtigovi a Filipovi Petříkovi za pomoc při realizaci experimentální části. Také bych ráda poděkovala rodině za podporu během studia.

**Studie zpracovatelnosti cementového kompozitu  
v 3D úpletech**

Analysis of cementitious composite workability  
in 3D knitted fabric

# Abstrakt

Vliv strukturálních 3D pletenin na ohybovou pevnost byl hodnocen na základě experimentálních zkoušek. K experimentu bylo vybráno šest pletenin z 100% polyesterových vláken, které se lišily hustotou vláken ( $\text{kg/m}^3$ ) a tloušťkou (mm). K zhotovení vzorků byla použita směs ultra vysokohodnotného betonu vyvinutá Experimentálním centrem ČVUT.

Z každého vzorku byly vyrobeny tři zkušební trámečky o rozměrech 40 mm x 40 mm x 160 mm a ty pak otestovány destruktivními zkouškami na pevnost v tahu za ohybu a pevnost v tlaku. Součástí experimentu bylo pozorování propojení zhutněné směsi s pleteninou a jeho vliv na pevnostní vlastnosti. Vyhodnocení jednotlivých vzorků je obsaženo v závěru této práce.

## **Klíčová slova:**

Beton, UHPC, cementové kompozity, textilie, vlákno, zpracovatelnost

# Abstract

The effect of the structural 3D knitwear on bending strength was rated on the base of an experimental tests. Six knits of 100% polyester fibers were selected for the experiment, which were differ in fiber density ( $\text{kg/m}^3$ ) and thickness (mm). For the samples was used a mixture of ultrahigh-grade concrete developed by the Experimental centre of CVUT.

From each sample, a three test beams of 40 mm x 40 mm x 160 mm were produced, and then tested by destructive tests for tensile strength after bending and compressive strength. Part of the experiment was the observation of the blending of the compacted mixture with the knitwear and its influence on the strength characteristic. Evaluation of individual samples is included at the end of this work.

## **Key words:**

Concrete, UHPC, cementitious composite, textile, fibre, workability

# Obsah

1	Úvod.....	10
1.1	Motivace.....	10
1.2	Cíl práce .....	10
2	Cementové kompozity vyztužené vlákny .....	11
2.1	UHPC .....	12
2.1.1	Složení UHPC.....	13
2.1.2	Technologie výroby UHPC .....	15
2.1.3	Využití v konstrukcích.....	16
2.2	Cement .....	17
2.2.1	Cement jako hydraulické pojivo .....	17
2.2.2	Výroba cementu.....	18
2.2.3	Složení slínku.....	22
2.2.4	Základní vlastnosti cementu .....	24
2.2.5	Druhy cementu.....	24
2.3	Vláknové kompozity .....	27
2.3.1	Rozdělení vláken.....	29
2.3.2	Technické 3D textilie.....	30
2.4	Textilní beton .....	32
3	Experimentální část.....	33
3.1	Složení směsi UHPC.....	33
3.2	Výroba vzorků.....	33
3.3	Pevnostní zkoušky.....	38
3.3.1	Pevnost v tahu za ohybu .....	39
3.3.2	Pevnost v tlaku.....	40
3.4	Vyhodnocení experimentu .....	43
3.4.1	Posouzení kvality propojení směsi s textilem.....	43
3.4.2	Vyhodnocení pevnostních zkoušek .....	50
4	Závěr.....	57
	Použité zdroje .....	58

# Seznam obrázků

Obr. 2.1 Základní dělení vyztužených kompozitů [2]	11
Obr. 2.2 Vliv vodního součinitele na pevnost v tlaku [9]	14
Obr. 2.3 Elektrostatické a sférické odpuzování částic [9]	15
Obr. 2.4 Zkoušky konzistence čerstvého beton - metoda rozlití kuželem (vlevo)	16
Obr. 2.5 Obloukový most ve Wildbrücke [10]	16
Obr. 2.6 Schéma rotační pece [14]	18
Obr. 2.7 Schéma procesu výroby cementu v rotační peci [15]	20
Obr. 2.8 Rozdělení vláknových kompozitů [19]	28
Obr. 2.9 3D textilie s vlákny ze 100 % polyesteru	31
Obr. 2.10 relaxačního lehátka z dílny Betone [24]	32
Obr. 3.1 Vzorky pletenin – pohled ze shora	34
Obr. 3.2 Vzorky pletenin – pohled z boku	34
Obr. 3.3 Vážení UHPC směsi	35
Obr. 3.4 Vážení vody	35
Obr. 3.5 Laboratorní míchačka	36
Obr. 3.6 Forma s vloženou pleteninou	36
Obr. 3.7 Vzorky po zhutnění	36
Obr. 3.8 Vzorek č.1 – D0054-01 po odbednění	37
Obr. 3.9 Nedokonalé protečení vzorkem č.5 – D0101-01	37
Obr. 3.10 Nedokonalé protečení u vzorku č.6 – D0030-02	37
Obr. 3.11 Zrání vzorků	38
Obr. 3.12 Měření vzorku č.6 – D0030-02	38
Obr. 3.13 Vážení vzorku č.6 – D0030-02	38
Obr. 3.14 Zkušební stroj EU 40	39
Obr. 3.15 Schéma uložení vzorků při zkoušce pevnosti v tahu za ohybu [25]	39
Obr. 3.16 Zkoušení vzorku č.3 – D0020-01	40
Obr. 3.17 Uložení vzorku č.1 – D0054-01 v lisu při zkoušce pevnosti v tlaku	41
Obr. 3.18 Schéma uložení vzorků pro zkoušku pevnosti v tlaku [25]	41
Obr. 3.19 Typy porušení vzorku podle ČSN EN 12390-3 [26]	42
Obr. 3.20 Příklad porušení vzorku č.1 – D0054-01	42
Obr. 3.21 Tkanina vzorku č.1 – D0054-01	44
Obr. 3.22 Vzorek č.1 – D0054-01 po odbednění	44
Obr. 3.23 Tkanina vzorku č.2 – D0030-01	45
Obr. 3.24 Vzorek č.2 – D0030-01 po odbednění	45
Obr. 3.25 Tkanina vzorku č.3 – D0020-01	46
Obr. 3.26 Vzorek č.3 – D0020-01 po odbednění s viditelnými vlákny pleteniny	46
Obr. 3.27 Tkanina vzorku č.4 – D0086-01	47
Obr. 3.28 Vzorek č.4 – D0086-01 po odbednění	47
Obr. 3.29 Tkanina vzorku č.5 – D0101-01	48
Obr. 3.30 Vzorek č.5 – D0101-01 po odbednění s viditelnou pleteninou	48
Obr. 3.31 Tkanina vzorku č.6 – D0030-02	49
Obr. 3.32 Vzorek č.6 – D0030-02 po odbednění	49
Obr. 3.33 Pevnosti v tahu v závislosti na hustotě pro jednotlivé vzorky	53
Obr. 3.34 Pevnosti v tahu v závislosti na tloušťce pro jednotlivé vzorky	53
Obr. 3.35 Pevnosti v tlaku v závislosti na hustotě pro jednotlivé vzorky	55
Obr. 3.36 Pevnosti v tlaku v závislosti na tloušťce pro jednotlivé vzorky	55



## Seznam tabulek

Tab 2.1 Velikost částic pro jednotlivé třídy konzistence betonu [9].	13
Tab 2.2 řehled hlavních složek v cementářském slínku [14]	23
Tab 2.3 Pevnost v tlaku podle pevnostních tříd [9].	24
Tab 2.4 Druhy cementu podle ČSN EN 197-1 [16].	25
Tab 2.5 Základní druhy cementů [14].	26
Tab 2.6 Vlastnosti cementového kompozitu a vláken [2].	29
Tab 3.1 Složky použité směsi	33
Tab 3.2 Vstupní údaje získané z technických listů.	43
Tab 3.3 Zatěžovací síla	50
Tab 3.4 Výsledky pevnostech zkoušek - pevnost	51
Tab 3.5 Výsledky ohybové zkoušky	52
Tab 3.6 Výsledky tlakové zkoušky.	54

## Seznam příloh

Příloha č. 1 Technické listy	64
------------------------------	----

# 1 Úvod

## 1.1 Motivace

Textilní beton je novým konstrukčním materiálem, který se stále více uplatňuje ve stavebních konstrukcích. Umožňuje vytvářet flexibilní a zároveň velmi subtilní prvky, vhodné nejen na nosné konstrukce ale také na doplňky exteriéru či interiéru. Tím se odlišuje od běžně používaných železobetonů. Vyšší náklady na pořízení zabraňují větší realizaci projektů z toho materiálu. Proto v současné době stále více převládají na trhu prvky z klasických materiálů, to brzdí vývoj v navrhování konstrukcí. Zjištěním vlivu strukturálních tkanin na pevnost bychom mohli přispět k odvrácení tohoto trendu.

## 1.2 Cíl práce

Cílem této bakalářské práce je zjištění vlivu strukturálních tkanin na ohybové pevnosti UHPC směsi. Experiment bude uskutečněn na šesti vzorcích různých 3D technických pletenin, z nichž budou vyrobeny trámečky o rozměrech 40 x 40 x 160 mm.

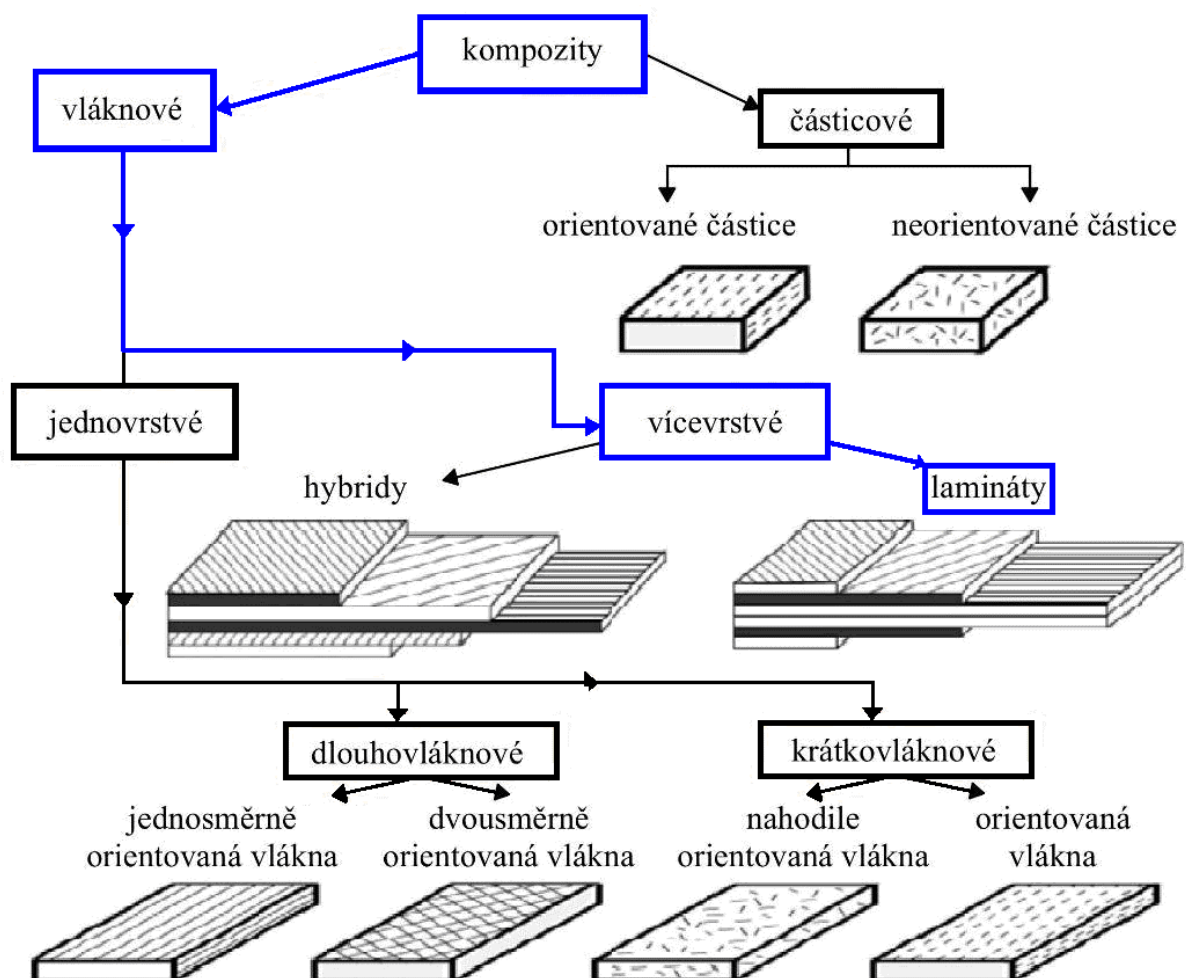
Z cílů této práce vyplývají tyto úkoly:

- zpracování rešerše.
- výroba zkušebních vzorků.
- provedení posouzení kvality zpracovatelnosti směsi.
- provedení měření ohybových pevností.
- zpracování výsledků a jejich vyhodnocení.

## 2 Cementové kompozity vyztužené vlákny

Beton je umělý slepenec hrubého a jemného kameniva jako plniva, cementu jako pojiva a vody. Tyto základní složky mohou být obohaceny o přísady a příměsi, které pomáhají zlepšovat některé vlastnosti jako zpracovatelnost, čerstvého či ztvrdlého betonu. Správný návrh těchto složek betonu, které nejsou zcela zhomogenizovány, to je betonové směsi, určují vlastnosti cementového kompozitu. Jedním ze způsobů jak zlepšit vlastnosti prostého betonu, jako je pevnost v tahu a pevnost v tahu za ohybu, je vyztužení kompozitu, například vlákny [1].

Na obrázku (Obr. 2.1) je znázorněno schéma základního rozdělení kompozitů podle výztuže. [2].



Obr. 2.1 Základní dělení vyztužených kompozitů [2]

Vláknobeton (fiberreinforcedconcrete) je označení pro beton, který má základní strukturu prostého betonu, obohacenou o vlákna. Podle druhu použitého materiálu lze vláknobeton použít na základy, sloupy, opěry, stropy, podlahy, k zamezení trhlin, k protipožární ochraně nebo jako stříkaný beton [1].

Vlákna v cementovém kompozitu vylepšují především mechanické vlastnosti. Jejich hlavní úlohou je kontrola tvoření trhlin, omezení vzniku trhlin, změna chování materiálu, jestliže matrice obsahuje trhliny a umožňují tvárnost betonu [3]. O vláknový kompozit jde ve chvíli, kdy délka jeho výztuže výrazně přesahuje jeho průměr. Může se pak jednat o anizotropní materiál, kdy ve všech směrech nejsou stejné mechanické vlastnosti. Proto by vlákna měla splňovat následující kritéria [3]:

- vyztužující vlákna mají vyšší pevnost než matrice.
- vyztužující materiál má vyšší tuhost než matrice.
- vyztužující vlákno se musí porušit dříve než matrice.

Matrice je materiál, který má nižší pevnost a hustotu než výztuž. Její hlavní úlohou je transport namáhání na jednotlivé části vlákna, rozložení namáhání, zajišťuje tvarovou stálost a polohu výztuže. Chrání výztuž před okolními jevy, jako je například vlhkost, teplota, záření a biologičtí škůdci. Důležité v posuzování kvality kompozitu je adheze, neboli přilnavost mezi matricí a výztuží [2; 3].

Vlastnosti cementového kompozitu jsou ovlivňovány zvoleným materiálem výztuže. Vlákna mohou být ocelová, čedičová, polymerní, skelná, uhlíková, celulózová nebo azbestová. Specifické vlastnosti vláken jsou podmíněné vlastnostmi použité matrice [2; 3].

## **2.1 UHPC**

Ultra vysokohodnotný beton (ultra-high-performance concrete - UHPC), je beton s vylepšenou vlastností nebo vlastnostmi, na rozdíl od běžně používaného betonu. Mezi vylepšené vlastnosti patří pevnost, zpracovatelnost, trvanlivost, kvalita povrchu a jiné [4; 5].

Pevnostní třída UHPC betonů bývá vyšší než C 135/150. Válcová pevnost v tlaku je tedy vyšší než 135 MPa a krychelná pak nabývá pevností 150 MPa a více. Pevnost v tahu za ohybu u těchto betonů je obvykle vyšší než 150 MPa. UHPC vyniká vysokou tvárností a zpracovatelností, ta je zajištěna použitím vhodnými superplastifikátory. Trvanlivost je podmíněna přítomností mikrosilik [6; 7; 8].

### 2.1.1 Složení UHPC

Správná receptura, a technologický postup výroby betonu má velký vliv na výsledné vlastnosti. Receptura pro UHPC je charakteristická nízkým vodním součinitelem, vysokou hutností uloženého betonu a přítomností většího množství mikrosilikátů a pojiva. Základní složky betonu tvoří [9; 7]:

- Kamenivo.
- Cement.
- Voda.
- Přísady a příměsi.

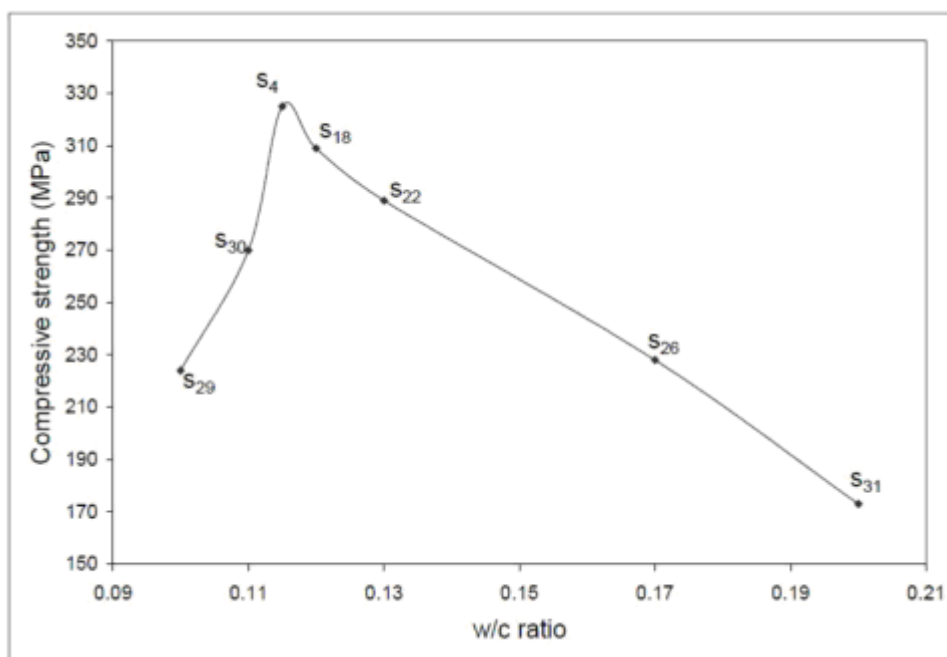
Kamenivo je zrnitý, obvykle přírodní materiál, který bývá chemicky neaktivní. Zaujímá přibližně 2/3 objemu betonu, vylepšuje objemovou stabilitu a trvanlivost. Má vliv na objemovou hmotnost, tlakovou pevnost a modul pružnosti [9]. U kameniva je důležitý podíl jednotlivých frakcí a tvar zrn. Kamenivo použité ve směsi by mělo být čisté a vysušené. Zastoupení hrubého a jemného kameniva udává předepsaná křivka zrnitosti. V tabulce (Tab. 2.1) jsou uvedeny maximální velikosti částic těžného a drceného kameniva pro jednotlivé třídy konzistence čerstvého betonu. Výsledná směs UHPC betonů je velmi jemnozrná [9; 7; 10].

Kamenivo	Maximální velikost kameniva [mm]		
	Konzistence betonové směsi		
	tuhá S1	plastická S2, S3	tekutá S4, S5
těžné	8	10	12
drcené	10	12	14

Tab 2.1 Velikost částic pro jednotlivé třídy konzistence betonu[9].

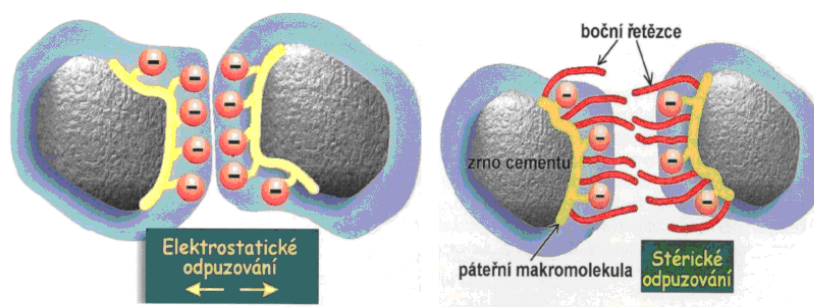
Jako plnivo do UHPC betonů se používá cement řady CEM I, nebo CEM II, s obsahem slínku více než 95%. A to z ekonomických důvodů. Více je popsáno v samostatné kapitole [9; 10].

Další důležitou složkou je obsah vody. Zajišťuje hydrataci, podílí se na zlepšování zpracovatelnosti tím, že snižuje tření na povrchu jednotlivých zrn. Ovlivňuje smršťování, trvanlivost a výslednou pevnost. Na obrázku (Obr. 2.2) je znázorněn vliv vodního součinitele na pevnost v tlaku v MPa. Vodní součinitel, vyjadřující hmotnostní poměr vody a cementu, se pohybuje v rozmezí 0,2 až 0,25. Ve směsi není dostatek vody na plnou hydrataci cementu, proto část cementu funguje nejen jako pojivo, ale i jako plnivo.



Obr. 2.2 Vliv vodního součinitele na pevnost v tlaku [9]

Snížený obsah vody umožňují superplastifikátorové přísady, zejména na bázi polykarboxylátů. Tyto chemické látky mají významný vliv na zpracovatelnost, která je stejná i po 45 až 90 minutách. A to proto, že zajišťují sférické a elektrostatické odpuzování částic, které je zobrazeno na obrázku (Obr. 2.3). Tyto přísady zlepšující více vlastností, například vyšší pevnost, odolnost vůči korozi, vysoká tekutost, mrazuvzdornost a další.



Obr. 2.3 Elektrostatické a sférické odpuzování částic [9].

Příměsi jsou práškovité látky, které se přidávají do směsi, aby zlepšili vlastnosti čerstvého nebo ztvrdlého betonu. Do ultra vysokohodnotných betonů jsou přidávána mikrosilika (křemičité úlety). Ta obsahují 80 až 90 % amorfního oxidu křemičitého SiO<sub>2</sub> a mají skrytou schopnost zúčastnit se hydratačního procesu. Tyto typy příměsí se označují jako latentně hydraulické a pomáhají zlepšovat zpracovatelnost, zlepšují hutnost, redukují uvolněné hydratační teplo. Jemnost mletí je výrazně vyšší než u ementu a to v rozmezí 15 000 až 30 000 m<sup>2</sup>/kg. Díky této jemnosti mletí vyplňují mezery mezi ostatními složkami. Vytváří hutnější mikrostrukturu a to znamená vyšší pevnost [8; 9; 12].

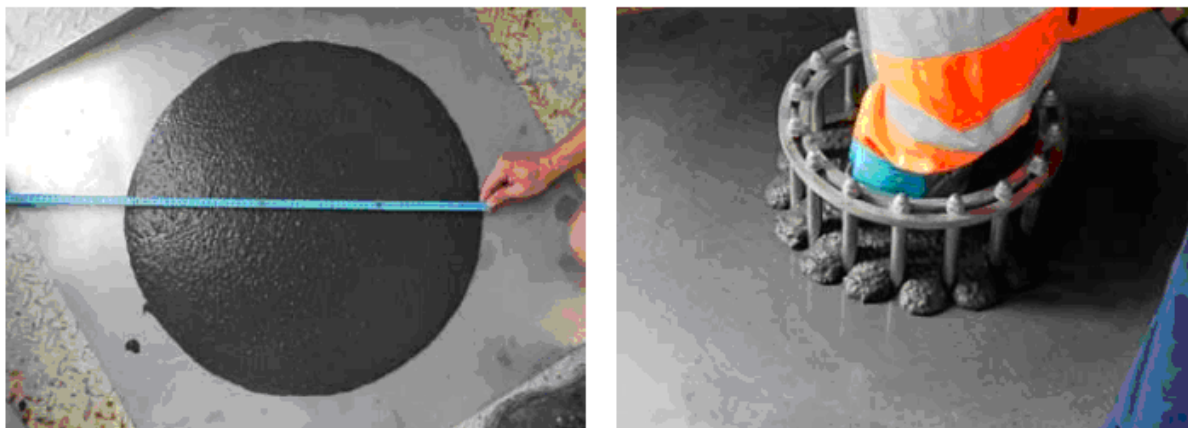
### 2.1.2 Technologie výroby UHPC

Výroba UHPC vyžaduje zvýšené nároky na správné a intenzivní míchání betonu. Je důležité zajistit správný postup dávkování jednotlivých složek, kvůli zpracovatelnosti, a dodržení predepsané receptury. Mezi ověřené postupy patří promíchat nejprve sypkou směs, přidat vodu, následně přísady a po promíchání příměsí [9].

Vzhledem k samovolnému smršťování může dojít k nedostatku vody pro hydrataci i v takovém případě, že je zabráněno jejímu úniku. Proto je potřeba poskytovat betonu vodu co nejdříve, protože nepropustnost betonu rychle roste a to značně ztěžuje přístup do vnitřní části prvku. Smršťování lze částečně zabránit proteplováním betonu. To zlepšuje i mechanické vlastnosti, jako je například pevnost, trvanlivost a dotvarování [6].

Pro zjištění kvality a správnosti betonu se používají zkoušky na zpracovatelnost

a konzistenci. Konzistence se určuje pomocí zkoušky rozlití kuželem nebo metodou J-ring, které jsou znázorněny na následujícím obrázku (Obr. 2.4). Nejčastěji se směs pohybuje v rozmezí konzistence zavlhlých směsí až po samozhutnitelné betony [6; 7].



*Obr. 2.4 Zkoušky konzistence čerstvého beton - metoda rozlití kuželem (vlevo) a metoda J-ring (vpravo) [7].*

### **2.1.3 Využití v konstrukcích**

Pro své dobré především mechanické vlastnosti je tento beton vhodný pro subtilní konstrukce. Jedny z prvních realizovaných staveb byly lávky pro pěší. Dnes se již tento beton používá při výstavbě řady jiných staveb, jako jsou například mosty pro pozemní komunikaci. Uplatnění nachází také pro vojenské účely. Na obrázku (Obr. 2.5) je zobrazen obloukový most ve Wildbrücke s prefabrikovanými dílci z UHPC [6; 10].



*Obr. 2.5 Obloukový most ve Wildbrücke [10].*



## 2.2 Cement

Cement je anorganická jemně mletá látka, která po smíchání s vodou vytváří kašovitou hmotu. Ta relativně snadno tuhne a tvrdne vlivem chemické reakce. Ve fázi tuhnutí přichází o svoji zpracovatelnost a postupně získává charakter pevné látky. Zvyšování pevnosti pak nastává ve fázi tvrdnutí. Pevnost je důležitá při skutečném využití cementu ve funkci stavební [13; 14].

Pro svou schopnost nabývat pevnosti, při zachování pevnosti a stability, i pod vodou patří mezi hydraulická pojiva [15].

### 2.2.1 Cement jako hydraulické pojivo

Cement patří v současné době mezi nejvíce používaná hydraulická pojiva ve stavebnictví. K dostačujícímu průběhu tuhnutí u hydraulických pojiv dochází často jen na vzduchu, jakmile však vznikne zatuhlá struska, mohou další procesy tuhnutí a tvrdnutí probíhat i pod vodou. Vznik trvale, ve vodě nerozpustných struktur, je závislý na přítomnosti hydraulicky účinných oxidů a hydraulických přísad [14; 17].

Procentuální zastoupení oxidů ovlivňuje hydraulicitu, to je schopnost látek tuhnout pod vodou. Tyto oxidy označujeme jako hydraulity. Jedná se o oxid křemičitý ( $\text{SiO}_2$ ), oxid hlinitý ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) a oxid železitý ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), nebo jiné oxidy podobného typu [14; 17].

Pevná struktura ztvrdlého hydraulického pojiva je utvářena hlavně krystalizací hydrokřemičitanů a hydrohlinitanů vápenatých. Karbonizační reakce nemá zásadní vliv na výslednou pevnost cementu jako pojiva. Hydraulický modul (2.1) je empirickým ukazatelem hydraulicity pojiva. Který udává hmotnostní poměr procentního obsahu oxidu vápenatého k celkovému hmotnostnímu procentnímu množství všech hydraulických oxidů [14].

$$M_h = \frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3} \quad (2.1)$$

Portlandský cement  $M_h \leq 2,5$

Celkový hmotnostní poměr složek oxidu vápenatého (CaO) a aktivního oxidu křemičitého (SiO<sub>2</sub>) musí být zastoupen v cementu nejméně 50 % hmotnosti [17].

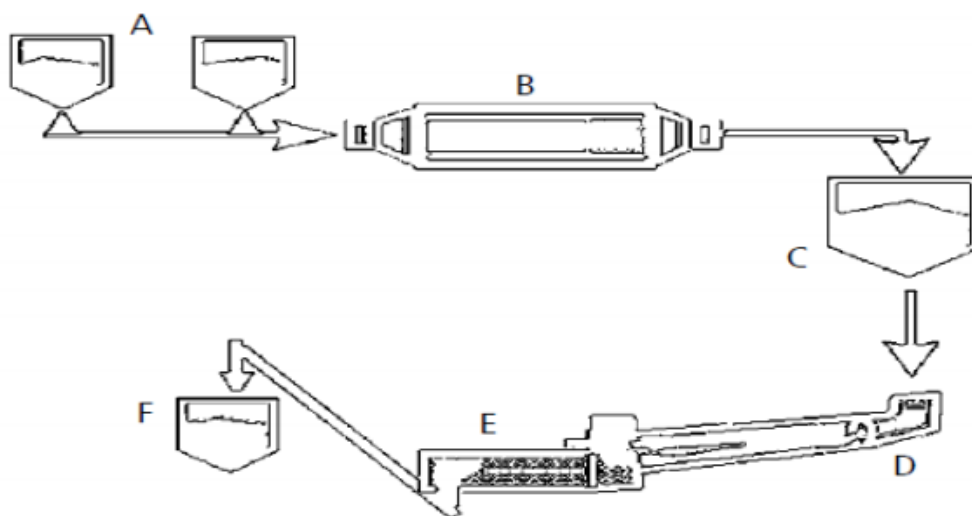
Mezi další látky ovlivňující schopnost hydratovat pod vodou patří také hydraulické přísady. A to s latentní hydraulitou nebo pucolány. Látky s latentní hydraulitou jsou práškovité přírodní nebo umělé, které samy o sobě po smíchání s vodou netuhnou ani netvrdnou. Ale po přidání malého množství oxidu vápenatého (CaO) se u nich vyvolají hydraulické schopnosti a aktivně se podílejí na vytváření pevné struktury. Pucolány rovněž zajišťují hydraulicitu. Rozlišujeme pucolány přírodní, jako je například pemza, tuf nebo tras, a umělé, mezi které řadíme popílek, strusku, popel a další [18].

### 2.2.2 Výroba cementu

Mezi hlavní složky cementu řadíme přírodní vápenec, hlinité břidlice a vápenné slínky. Vedlejší složku pak tvoří struska, sádrovec a popílek. Podle chemického složení, lze cementy rozdělit do tří skupin [17]:

- Křemičitanové (silikátové) cementy.
- Hlinitanové (aluminátové) cementy.
- Ostatní cementy – například barnataté, železitanové.

Dříve se pro výrobu cementu používali šachtové pece, v současné době se používají kontinuálně pracující rotační pece. Toto schéma je zobrazeno na obrázku (Obr. 2.6) [14].



Obr. 2.6 Schéma rotační pece [14].

Technologie výroby cementu vychází především z výroby slínku. Jedná se o přípravu surovinové směsi, která má vhodné chemické složení a odpovídající stupeň nasycení vápnem. Surovinová směs se jemně nemele a musí být řádně homogenizována. Teplota, doba a prostředí výpalu jsou velice rozhodující pro samotný průběh reakcí. I při dobrém dodržení chemického složení můžeme nevhodným způsobem vypalování dospět k vytvoření nekvalitního slínku, který je rozhodující při výrobě cementu [15].

Výrobu cementu můžeme rozdělit na tři fáze hlavní fáze [17]:

- fáze příprava surovinové směsi – tato fáze zahrnuje těžbu vápence a korekčních surovin, drcení a následné mletí a homogenizaci.
- fáze vlastní výroba slínku – jedná se o tepelné zpracování surovinové směsi na slínek a po té ochlazení a odležení vypáleného slínku.
- fáze výroba cementu - mletí slínku s přidanými příměsemi nebo přísadami, skladování cementu v zásobnících, balení a následná expedice.

Rozlišujeme dva základní způsoby výroby cementu a to suchý a mokrý [15].

#### ***Mokrý proces výroby cementu***

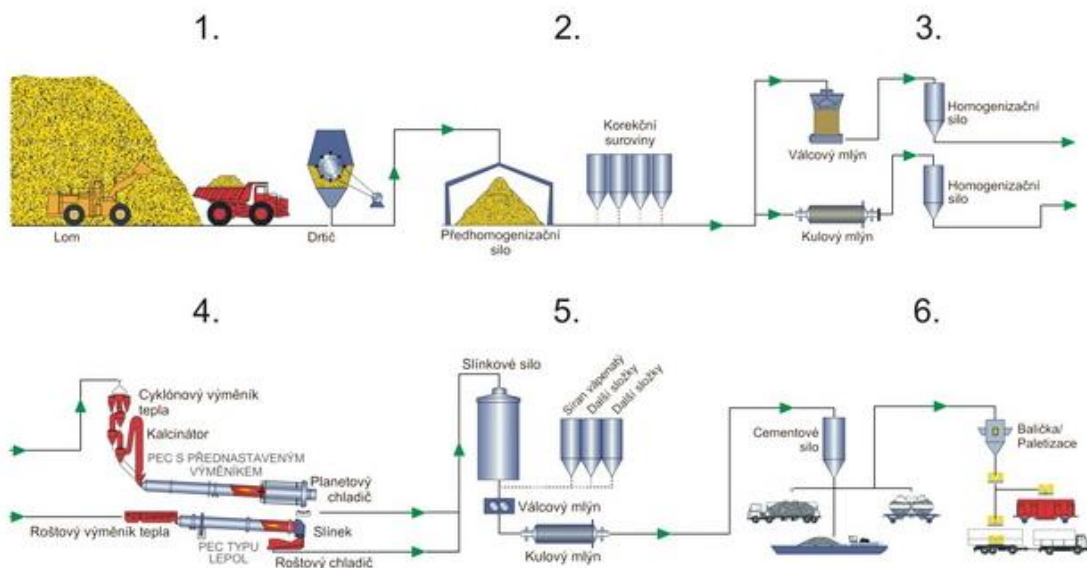
Vytěžený vápenec se nadrtí za sucha a následně se nemele s přidáním vody zpravidla v bubnových mlýnech. Vibračními vidlicemi dochází ke třídění kalu. Voda obsažená v surovinovém kalu kolísá v rozmezí 30 % až 40 %. Vzniklý kal se ukládá v nádržích, kde je neustále promícháván a tím dochází k homogenizaci. Následně se kal přečerpá do menších zásobníků a odtud putuje do pecí. Nejdříve dojde k vysušení kalové směsi a poté dojde k výpalu na mez slnutí. Tato metoda má výhodu v lépe vytvořené homogenizaci hmoty a může využívat i méně kvalitní vlhké suroviny. Nevýhodou naopak je spotřeba velkého množství vody a tepla, které je potřebné pro vysušení před výpalem [15; 17].

#### ***Suchý proces výroby cementu***

U suchého způsobu výroby cementu nedochází k mletí vytěženého vápence s přidanou vodou a vypadáva následný proces sušení. K tomu dochází už před výpalem, nebo může dojít k vysušení při samotném mletí, které probíhá v sušících mlýnech. Je

důležité, aby veškeré vstupující suroviny byly důkladně vysušeny. Namleté suroviny jsou dopraveny do zásobníků, kde dojde k homogenizaci a k úpravě chemismu, přidáním přísad, jako například popílek, vysokopecní struska a jiné. Následně upravená směs se dopravuje do šachtové pece, kde dochází k výpalu při teplotě 1400°C, to je na mez slinutí. Pokud bychom nedodrželi teplotu potřebnou k vypálení na mez slinutí, výsledkem by nebyl požadovaný slínek ale vápno. Po vypálení opět dochází k mletí cementu, ukládání do zásobníků a následné expedici. Hlavní výhodou tohoto procesu výroby je efektivnost výpalu, tím je spojena nižší spotřeba tepla, jak při pálení tak také i při sušení. A to tak, že spotřeba tepla je nižší o 50 % oproti mokrému procesu. Nevýhodou je náročnost na kvalitu vstupních surovin, jako je vlhkost a kolísavé vlastnosti [15; 17].

V devadesátých letech dvacátého století v České republice převažoval způsob výroby cementu mokrou metodou. V dnešní době byla tato metoda nahrazena suchým procesem výroby cementu a to hlavně z důvodu nižší náročnosti na spotřebu vody a tepla. Při výrobě 1 tuny slínku klesla spotřeba tepla ze 7000 MJ na 3000 MJ. Tato metoda je energeticky efektivnější a ekologicky šetrná. Na obrázku (Obr. 2.7) je znázorněno schéma procesu výroby cementu v rotační peci [15; 17].



Obr. 2.7 Schéma procesu výroby cementu v rotační peci [15].

Popis postupu procesu výroby cementu suchým způsobem:

1) Těžba surovin

Vápenaté suroviny jsou vytěženy povrchově v lomech, kde je oddělována odstřely. Poté se odtěžená hornina kolovými nakladači odveze na drtírnu. Pro docílení optimální směsi jsou prováděny chemické analýzy. Cementárny se nacházejí většinou v blízkosti lomů, jsou tak sníženy náklady spojené s dopravou [15].

2) Drcení surovin

Drcení může být jednostupňové nebo dvoustupňové, to bývá používáno častěji. Počet a úroveň drcení vychází z charakteru a z vlastností drcené suroviny. Jednostupňové drcení probíhá u málo zpevněných surovin kladivovými drtiči. Tvrdší horniny využívají dvoustupňové metody. Kdy první stupeň prochází přes čelistové nebo kuželové drtiče a u druhého stupně se pak uplatní drtiče čelistové, kuželové, kladivové nebo odrazové [15; 17].

3) Předhomogenizace směsi

Stupeň homogenizace vstupujících surovin je důležitý pro zaručení kvality cementového slínku. Z předhomogenizační skládky se směs odebírá k mletí. Homogenita je zajišťována systémem skládání a odebírání, který bývá řízen laboratoří a je plně automatizován. Z tohoto důvodu jsou na skládce umístěny vzorkovací stanice [15; 17].

4) Mletí směsi

Mletí probíhá tak, aby směs byla vhodně připravena pro výpal v rotační peci. Jemnost mletí je rozhodujícím kritériem pro správný proces slinování a rychlost tvorby slínku, který vzniká při výpalu. Dnes se pro mletí cementářské suroviny používají jednostupňové mlýnice se současným sušením mleté směsi. Pro zjemnění směsi se používají mlýny s volnými tělesy, jako jsou například mlýny kulové. Tyto mlýny jsou válcového tvaru a jsou v nich umístěny volně pohyblivé se železné koule. Namletá surovina je ukládána v homogenizačních silech [15; 17].

### 5) Výpal slínku

K vypálení slínku dochází nejčastěji v rotačních pecích, tyto pece se používají nejvíce, pro vysoký výkon a zaručují vyšší kvalitu vypalovaného slínku. Rotační pec má tvar válce, je ocelový a vyložen žáruvzdornými tvarovkami. Způsob výroby ovlivňuje vlastní rozměry pece. Samotná délka pece pro suchý způsob výroby se pohybuje v rozmezí 60 až 100 m, maximální délka může být 130 m. Průměr pece je 3 až 7 m, se sklonem 3 až 7°, frekvence otáčení je pak 1 až 2 otáčky za minutu kolem vlastní osy. Během dne se takto vyrobí 500 – 4000 tun slínku [15; 17].

### 6) Mletí slínku

Vypálený slínek se poté ochlazuje v chladičích, nejčastěji roštových nebo plamenových. Poté se uskladní, může být uložen ve velkoprostorových silech nebo krytých halách, kde dochází k odležení. Následně dochází k mletí portlandského slínku společně s přidanými hydraulickými příměsemi nebo sádrovcem [17].

Jemnost mletí ovlivňuje použití cementu. Čím jsou částice menší, tím mají větší měrný povrch, to umožňuje rychlejší hydrataci, s větším hydratačním teplem. Při zpracování jsou plastičtější. Počáteční a konečná pevnost je pak vyšší, než u hrubě namletého cementu. Pro portlandský cement je minimální jemnost mletí stanovena na 225 m<sup>2</sup>/kg [15].

## 2.2.3 Složení slínku

Slínkových minerálů jde v slínku definovat mnoho, nejvíce zásadní jsou však 4 z nich [14]:

- Trikalciumsilikát - křemičitan trojvápenatý.
- Dikalciumsilikát - křemičitan dvojvápenatý.
- Trikalciumaluminát - hlinitan trojvápenatý.
- Tetrakciumaluminátferit - hlinitoželezitan čtyřvápenatý.

Tyto sloučeniny tvoří přes 90 % hmotnosti a výrazně se podílejí na vlastnostech slínku [14].

Pro výrobu cementu jsou typické vysoké teploty a přítomnost kyslíku. Proto se prvky, které se podílejí na vzniku slínekových minerálů, vyskytují ve formě oxidů. Oxidace se tak považuje za základní reakce. Základní složky slínku jde zapsat jako komplexní sloučeniny základních oxidů [14]:

- Trikalciumpsilikát –  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  (zkráceně  $\text{C}_3\text{S}$ );
- Dikalciumpsilikát –  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  (zkráceně  $\text{C}_2\text{S}$ );
- Trikalciumaluminát –  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  (zkráceně  $\text{C}_3\text{A}$ );
- Tetraalkiumaluminátferit -  $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  (zkráceně  $\text{C}_4\text{AF}$ ).

Pro zjednodušení se používá podoba cementářských vzorců [14]:

- $\text{C}_3\text{S}$  - alit;
- $\text{C}_2\text{S}$  – belit;
- $\text{C}_3\text{A}$ ;
- $\text{C}_4\text{AF}$  – celit.

Tyto oxidy ovlivňují svými vlastnostmi průběh proces utváření betonu. Alit zajišťuje nárůst počáteční pevnosti. Belit má vliv na konečnou pevnost.  $\text{C}_3\text{A}$  ihned reaguje po smíchání s vodou a podílí se na hydratační reakci. Celit zajišťuje objemovou stálost. Přehled hlavních složek v cementářském slínku je uveden v tabulce (Tab. 2.2) [14].

název	vzorec	označení	zastoupení (%)	hydratační teplo ( $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	rychlost hydratace
trikalciumpsilikát	$\text{C}_3\text{S}$	alit	37 - 75	500	rychlá
dikalciumpsilikát	$\text{C}_2\text{S}$	belit	5 - 40	250	střední
trikalciumaluminát	$\text{C}_3\text{A}$	amorfní fáze	3 - 15	910	velmi rychlá
tetraalkiumaluminát ferit	$\text{C}_4\text{AF}$	brownmillerit (celit)	9 - 14	420	rychlá
oxid vápenatý	$\text{CaO}$	volné vápno	< 4	1160	pomalá
oxid hořečnatý	$\text{MgO}$	periklas	< 6		pomalá

Tab 2.2 řehled hlavních složek v cementářském slínku [14]

## 2.2.4 Základní vlastnosti cementu

Základní vlastnosti určují třídy cementu. Mezi základní vlastnosti řadíme [9]:

- Počátek tuhnutí – tato doba trvá 4 až 8 hodin.
- Počátek tvrdnutí – nastává po 1 dni.
- Jemnost mletí – 300 m<sup>2</sup>/kg.
- Sypná hmotnost – se pohybuje v rozmezí 1050 až 3150 kg/m<sup>3</sup>.
- Velikost objemových změn – odpovídá +1 mm až -0,5 mm/m’.
- Vaznost – je stanovena podle použité třídy cementu a má 6 hlavních fází:
  - Smíchání s vodou – je počátek hydratace a trvá 0 - 15 min.
  - Indukční perioda – trvá 15min až 4 hodiny.
  - Zrychlení hydratace a počátek tuhnutí – se pohybuje v rozmezí 4 - 8 hodin.
  - Zpomalení hydratace – 8 - 24 hodin.
  - Doba zrání – 1 - 28 dní, ale může trvat i déle.

V tabulce (Tab. 2.3) jsou uvedeny hodnoty pevnosti v tlaku (MPa) podle jednotlivých pevnostních tříd cementu [9].

Pevnostní třída	Pevnost v tlaku (MPa)			
	počáteční pevnost		normalizovaná pevnost	
	2 dny	7 dnů	28 dnů	
32,5 N	-	≥ 16	≥ 32,5	≤ 52,5
32,5 R	≥ 10	-		
42,5 N	≥ 10	-	≥ 42,5	≤ 62,5
42,5 R	≥ 20	-		
52,5 N	≥ 20	-	≥ 52,5	-

Tab 2.3 Pevnost v tlaku podle pevnostních tříd [9].

## 2.2.5 Druhy cementu

Druhy cementu se od sebe odlišují složením slínku, použitými surovinami a jejich množstvím při výrobě. Různé druhy se vyznačují různými vlastnostmi. Podle způsobu použití, rozděluje druhy cementu na [15]:

- Cementy pro běžné použití
- Speciální cementy



## Cementy pro běžné použití

Technická norma ČSN EN 197-1 ed.2 [16], která nabyla platnosti od 1. 5. 2012, definuje složení cementů pro obecné použití. Také specifikuje složky, které mohou částečně nahradit slínek. Cementy pro běžné použití jsou označovány podle této normy zkratkou CEM a dalšími číselnými a písemnými znaky, které určují vlastnosti. Úplný přehled všech typů specifikovaných cementů je podle této normy uvede v tabulce (Tab. 2.4) [14].

Hlavní druhy	Označení 27 výrobků (druhy pro obecné použití)	Složení (poměry složek podle % hmotnosti <sup>a</sup> )										Doplňující složky		
		Hlavní složky												
		Slínek	Vysoko- pecní struska	Křemi- čitý úlet	Pucolány		Popílek		Kalcino- vaná břidlice	Vápenec				
					přírodní	přírodní kalcino- vané	křemi- čitý	vápe- natý						
K	S	D <sup>b</sup>	P	Q	V	W	T	L	LL					
CEM I	Portlandský cement	CEM I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM II	Portlandský struskový cement	CEM III/A-S	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-S	65-79	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Portlandský cement s křemičitým úletem	CEM III/A-D	90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Portlandský pucolánový cement	CEM III/A-P	80-94	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-P	65-79	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM III/A-Q	80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-Q	65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	0-5
	Portlandský popílkový cement	CEM III/A-V	80-94	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-V	65-79	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	0-5
		CEM III/A-W	80-94	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5
	Portlandský cement s kalcinovanou břidlicí	CEM II/B-W	65-79	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	0-5
		CEM III/A-T	80-94	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	0-5
	Portlandský cement s vápencem	CEM II/B-T	65-79	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	0-5
		CEM III/A-L	80-94	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	0-5
	Portlandský cement s vápencem	CEM II/B-L	65-79	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	0-5
		CEM III/A-LL	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5
Portlandský směsný cement <sup>c</sup>	CEM II/B-LL	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	0-5	
	CEM III/A-M	80-88	←----- 12-20 ----->									0-5		
	CEM II/B-M	65-79	←----- 21-35 ----->									0-5		
CEM III	Vysokopecní cement	CEM III/A	35-64	36-65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM III/B	20-34	66-80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM III/C	5-19	81-95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM IV	Pucolánový cement <sup>c</sup>	CEM IV/A	65-89	-	←----- 11-35 ----->					-	-	-	0-5	
		CEM IV/B	45-64	-	←----- 36-55 ----->					-	-	-	0-5	
CEM V	Směsný cement <sup>c</sup>	CEM V/A	40-64	18-30	-	←----- 18-30 ----->		-	-	-	-	-	0-5	
		CEM V/B	20-38	31-49	-	←----- 31-49 ----->		-	-	-	-	-	0-5	

<sup>a</sup> Hodnoty v tabulce se vztahují k součtu hlavních a doplňujících složek.

<sup>b</sup> Obsah křemičitého úletu je omezen do 10 %.

<sup>c</sup> Hlavní složky v portlandských směsných cementech CEM III/A-M a CEM II/B-M, v pucolánových cementech CEM IV/A a CEM IV/B a ve směsných cementech CEM V/A a CEM V/B mimo slínek musí být deklarovány v označení cementu (viz příklad v kapitole 8).

Tab 2.4 Druhy cementu podle ČSN EN 197-1[16].

Portlandská slínek tvoří základní složku cementů označených jako CEM a je kombinován s dalšími hydraulicky aktivními složkami. Tyto cementy jsou rozděleny do 5 tříd a označeny římskými číslicemi, které udávají druhové označení, jsou uvedeny v tabulce (Tab. 2.5) [14]:

- CEM I – Portlandský cement.
- CEM II – Portlandský cement směsný.
- CEM III – Vysokopecní cement.
- CEM IV - Pucolánový cement.
- CEM V – směsný cement.

Po druhovém označení musí být uvedena normalizovaná pevnostní třída – 32,5, 42,5, 52,5. Tato třída je dána pevností v tlaku po 28 dnech zrání, vyzkoušenou na zkušebních trámečcích podle normy ČSN EN 196-1. U této hodnoty jsou uvedeny zkratky N nebo R (rychlovazný cement). R značí rychlý nárůst počáteční pevnosti.

Ostatní vlastnosti jako jsou například podíl a druh příměsí nemusí být podle normy udávány a záleží jen na výrobci, zda je uvede nebo ne [15; 14].

Druh cementu	Název cementu	Označení	Obsah složek v % hmotnosti		
			slínek	složka	plnivo
I.	portlandský	I	95–100	–	0–5
II.	portlandský směsný	II / A – X	80–94	6–20	0–5
		II / B -- X	65–79	21–35	0–5
III.	vysokopecní	III / A	33–64	36–65	0–5
		III / B	20–34	66–80	0–5
		III / C	5–195	81–95	0–5
IV.	pucolánový	IV / A	65–89	11–35	0–5
		IV / B	45–64	36–55	0–5
V.	směsný	V / A	40–64	18–30	0–5
		V / B	20–39	30–50	0–5

Tab 2.5 Základní druhy cementů [14].

### ***Speciální cementy***

Speciální cementy se vyznačují různými mechanismy tvrdnutí a mají speciální vlastnosti podle způsobu použití. Mezi ně řadíme [15]:

- Silniční cementy.
- Síranuvzdorné cementy.

- Hydrofobizované cementy.
- Bílé cementy.
- Probarvované cementy.
- Rozpínavý cement.

## 2.3 Vláknové kompozity

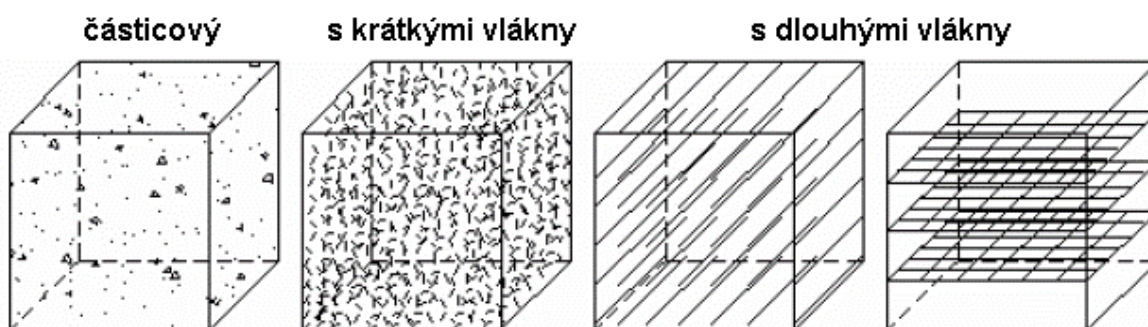
Kompozit je heterogenní materiál, složený ze dvou nebo více fází. Které se od sebe výrazně odlišují svými mechanickými, fyzikálními ale i chemickými vlastnostmi. Spojitou fází v kompozitu nazýváme maticí a fází, která spojitá není pak výztuží. Výztuž často mívá lepší mechanické vlastnosti, jako je například pevnost, modul pružnosti a jiné, než samotná matice. Rozhraní mezi maticí a výztuží má zásadní vliv na konečné vlastnosti celého kompozitu [19].

Kompozity je možné klasifikovat podle materiálu matrice, materiálu výztuže nebo podle geometrie výztuže [3].

- Podle materiálu matrice:
  - keramické.
  - kovové.
  - uhlíkové.
  - polymerní.
  - betonové.
- podle materiálu výztuže:
  - keramické.
  - kovové.
  - uhlíkové.
  - polymerní.
  - skelné.
  - whiskery (vyztužené vláknovými monokrystaly).

- podle geometrie výztuže je následující:
  - vláknové.
    - s krátkými vlákny.
    - s dlouhými vlákny.
  - částicové.
  - strukturní.

Vláknové kompozity mají vlákna v jednom směru výrazně většího rozměru, než v ostatních směrech. Pro kompozity s krátkými vlákny je charakteristická velikost vláken, která je menší než samotný výrobek. U kompozitů s dlouhými (kontinuálními) vlákny je velikost vláken srovnatelná s výrobkem. Na obrázku (Obr. 2.8) je zobrazeno rozdělení vláknových kompozitů. Vlákna zajišťují především tuhost a pevnost kompozitu [19].



Obr. 2.8 Rozdělení vláknových kompozitů [19].

Pro vláknové výztuže je charakteristická vysoká pevnost v tahu. Důvodem je nízká pravděpodobnost poškození (vznik trhlin) ve vláknech. Vzniklé trhliny jsou orientovány ve směru osy vláken, které mají za následek menší poškození, než trhliny vzniklé kolmo na osu. Pevné vazby jsou orientovány ve směru osy vláken, díky tomu dochází u polymerních vláken k tzv. dlužení, mechanickému natahování, při kterém se orientují polymerní řetězce. Pro vlákna je také typická anizotropie, mají různé vlastnosti v různých směrech. Pevnost a modul pružnosti bývá větší ve směru vláken, proto i kompozity mají v tomto směru větší pevnost. Vyztužení vlákny se nejčastěji používá k zvýšení pevnosti, tuhosti (modulu pružnosti) a houževnatosti [19].

Vlastnosti cementového kompozitu a vláken jsou uvedeny v tabulce (Tab. 2.6) [2].

Materiál vlákna	Průměr (μm)	Objemová hmotnost (kg/m <sup>3</sup> )	Modul pružnosti (GPa)	Pevnost v tahu (GPa)	Prodloužení při přetržení (%)
Ocel	5-500	7.84	200	0,5-2	0,5-3,5
Sklo	9-15	2.60	70-80	2-4	2-3,5
Azbest	0,02-0,4	3,4	196	3,5	2-3
Polypropylen	6-200	0,91	5-77	0,15-0,75	15
Aramid (Kevlar)	10	1,45	65-133	3,6	2,1-4
Uhlík	9-18	1,6-2,15	28-480	0,5-3	0,5-2,4
Nylon	20-200	1,1	4	0,9	13-15
Celulóza	-	1,2	10	0,3-0,5	-
Polyethylen	25-1000	0,95	0,3	0,08-0,6	3-80
Sisal	10-50	1,5	13-26	0,3-0,6	3-5
Cement	-	2,5	10-45	0,004	0,02

Tab 2.6 Vlastnosti cementového kompozitu a vláken [2].

### 2.3.1 Rozdělení vláken

Vláknové kompozity dělíme podle druhu vláken na [2]:

- a) Ocelová - vlákna se vyrábějí řezáním, tažením z horké taveniny nebo řezáním z folie. Rozdílný způsob výroby ovlivňuje vlastnosti při zatěžování. Aby bylo zajištěno spolupůsobení matrice a ocelových vláken, jsou vlákna deformována podélně nebo na koncích. Zlepšují pevnost matrice v tahu, v tahu za ohybu, smykovou pevnost a houževnatost [15; 2].
- b) Skleněná – tato vlákna patří mezi nejvíce rozšířená. Jsou tvořena směsí oxidu siřičitého SiO<sub>2</sub> a příměsí dalších oxidů železa, vápníku, hliníku a jiných. Vyrábí se tažením skelné taveniny otvorem, který je ve dně rozžhavené platinové nádoby. Vlákna se táhnou současně a po ztuhnutí se zapletou do jednoho provazce. Používají se ve formě štípaných vláken nebo jako vlákna nekonečně dlouhá. Mají vysokou pevnost v tahu a jsou odolné vůči vysokým teplotám a chemikáliím [2; 3].

- c) Uhlíková – jsou vlákna, která se nejvíce používají u vysokovýkonných kompozitních materiálů a obsahují až 95% uhlíku. Vlákna jsou vyráběna pyrolýzou, to je tepelným rozkladem organických vláken v plynném prostředí. Existují dva typy vláken – vysoké a nízké kvality. S výhradně uhlíkovými vlákny se běžně nesetkáváme pro vyšší výrobní cenu. Proto bývají doplněny o jiné materiály. Mají dobré tepelné (např. nízký koeficient tepelné roztažnosti), mechanické (vysoká pevnost v tahu, odolnost proti únavě), chemické (nehořlavost) a elektromagnetické vlastnosti [3].
- d) Azbestová – tyto vlákna nejsou ze zdravotních důvodů už používána. Vyznačují se vysokou abrazní a korozní odolností [2]
- e) Přírodní organická vlákna – mezi tyto vlákna patří například juta, sisal, kokosové vlákno, sloní tráva, vylisovaná cukrová třtina, len, konopí a jiné. Mají nízký modul pružnosti a podléhají degradaci vlhkostí. Celulózová vlákna mají vysokou pevnost v tahu a vysoký modul pružnosti. Používají se jako náhrada za vlákna azbestová [2].
- f) Polymerní – syntetická vlákna jsou vlákna na bázi organických sloučenin uhlíku. Mohou být například polyesterová, polypropylenová, nylonová, polyethylenová a další. Polymery dělíme na plasty (reaktoplasty, termoplasty) a elastomery (kaučuk, termoplastické elastomery). Vlákna mají vysoký modul elasticity, pomáhají omezit vznik trhlin a zlepšují houževnatost, tím, že zvyšují odolnost vůči nárazu a mechanickému porušení. Polymerní vlákna jsou nemagnetická, odolná proti korozi, alkalickému prostředí a lze recyklovat [2].

### **2.3.2 Technické 3D textilie**

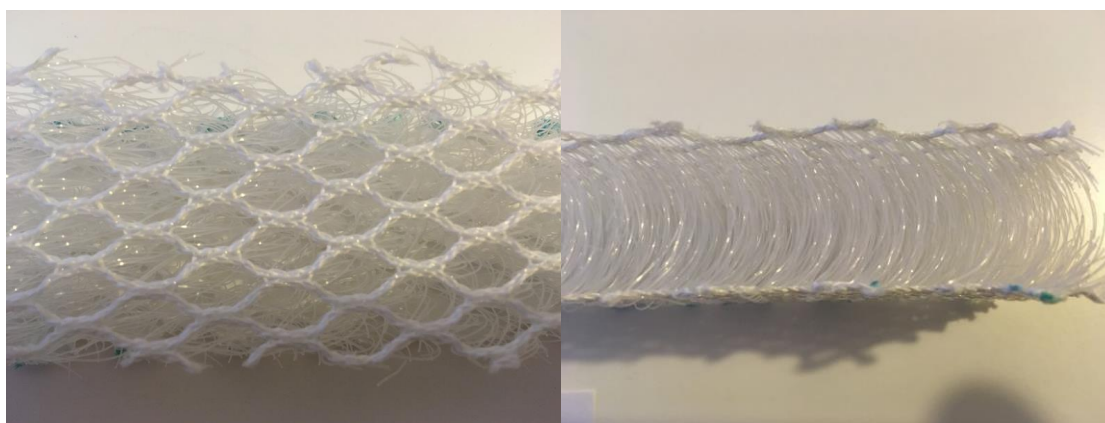
Jsou textilie s prostorovou orientací vláken či nití. Lze je zařadit mezi vláknové, vícevrstvé, laminátové kompozity. Podle druhu a tvaru vláken rozlišujeme – vlákna přírodní a umělá. Pro textilní vlákno je charakteristická ohebnost, jemnost a poměr délky k průřezu, který je vysoký. Podle způsobu zpracování, rozlišujeme tyto vlákna na

spřadatelná (s délkou nad 10mm), filamenty (s nekonečnou délkou) a nespřadatelná (s délkou menší než 10 mm, pro netkané kompozity) [23].

Technické 3D textilie můžeme také označovat jako distanční pleteniny. Textilie se skládají z více vrstev nad sebou, které se vyrábějí ve všech základních vazbách (trikot, kepr, sukno). Mezi dvěma navzájem nezávislými plochými pletinami jsou umístěny spojovací nitě, které hlídají distanci mezi dvěma lamelami Tyto trojrozměrné textilie se vyrábějí jako spletené nebo splétané [20].

Pleteniny bývají nejčastěji spojeny polymerními vlákny, jako je například polyester (PES). Vlákna z polyesteru jsou lineární makromolekuly, tvořené z 85% esteru vyrobeného polykondenzací. Spojovací vlákna jsou pokládána zkříženě pod úhlem 45°, to zajišťuje vzájemný posun obou pletenin [20].

Pro účely této bakalářské práce byly zvoleny 3D pleteniny s vlákny ze 100 % polyesteru (PES) (Obr. 2.9). Jednotlivé vzorky textilií se od sebe lišily tloušťkou a hustotou vazby. To ovlivňuje tuhost celého prvku. Textilie se mohou vyrábět v tloušťkách od 3mm do 23 mm, strukturu lze měnit vazbou od otevřenější k uzavřenější. Použitím elastického vlákna zajišťujeme pružnost materiálu [21; 22].



*Obr. 2.9 3D textilie s vlákny ze 100 % polyesteru.*

Mezi vlastnosti 3D textilií patří vysoká prodyšnost, nízká hmotnost k poměru objemu, neabsorbuje vlhkost, jednoduchá tvarovatelnost, pružnost a recyklovatelnost. Tyto 3D textilie nacházejí uplatnění v oděvním, obuvnickém, automobilovém, zdravotním a stavebním průmyslu, jako vyztužující materiál [21; 22].

## 2.4 Textilní beton

Jde o jemný cementový kompozit vyztužený textilií ze syntetických vláken. Tato vlákna se vyznačují pevností a vysokou elasticitou, tyto vlastnosti nejlépe splňují vlákna z uhlíku. Únosnost výztuže lze zvýšit impregnací vláken polymer. Vyztužovací textilie mohou být ploché nebo trojrozměrné. Liší se od sebe použitým materiálem, strukturou a způsobem výroby [23].

Textilní výztuž ovlivňuje vznik a průběh trhlin, čímž tak zvyšuje houževnatost textilních betonů. Oddaluje porušení betonové konstrukce. Mohou zvyšovat pevnost a pomáhají zvyšovat odolnost vůči nárazům, pro zjištění se například používá test Charpyho kladivem. Textilní vlákna jsou odolná proti korozi, to umožňuje snížit krycí vrstvu, na rozdíl od železobetonu [2; 23].

Aby bylo dosaženo těchto mechanických vlastností je potřeba zajistit spolupůsobení matrice a výztuže. Velmi důležitá je tranzitní zóna, která je také mezi maticí a výztuží. Zde probíhají chemické reakce v závislosti na čase působení a objemové změny. Matrice bývá u povrchu vláken poréznější, než v objemu. Velice důležitý je správný návrh směsi, aby bylo zaručené propojení cementové výztuže po zhutnění s textilií [2]

Textilní beton je novým konstrukčním materiálem. Své uplatnění nachází ve stavitelství, umožňuje díky svým mechanickým vlastnost a tvarové flexibilitě vytvářet štíhlé, staticky náročné konstrukční prvky. Na obrázku (Obr. 2.11) je příklad použití textilního betonu jako relaxačního lehátka z dílny Betone [24].



Obr. 2.10 relaxačního lehátka z dílny Betone [24].



## 3 Experimentální část

### 3.1 Složení směsi UHPC

K výrobě vzorků byla použita směs pro UHPC: Portlandský cement CEM I 42,2R, mikrosilika (křemičitý úlet), jemný křemičitý písek s frakcí 0,1-0,6 mm a 0,3-0,8 mm, mletá křemičitá moučka, superplastifikátory a voda. V tabulce (Tab. 3.1) jsou uvedeny jednotlivé složky, jejich hmotnostní poměr a hmotnost. Tato směs byla vyvinuta a používána Experimentální centrem ČVUT v Praze.

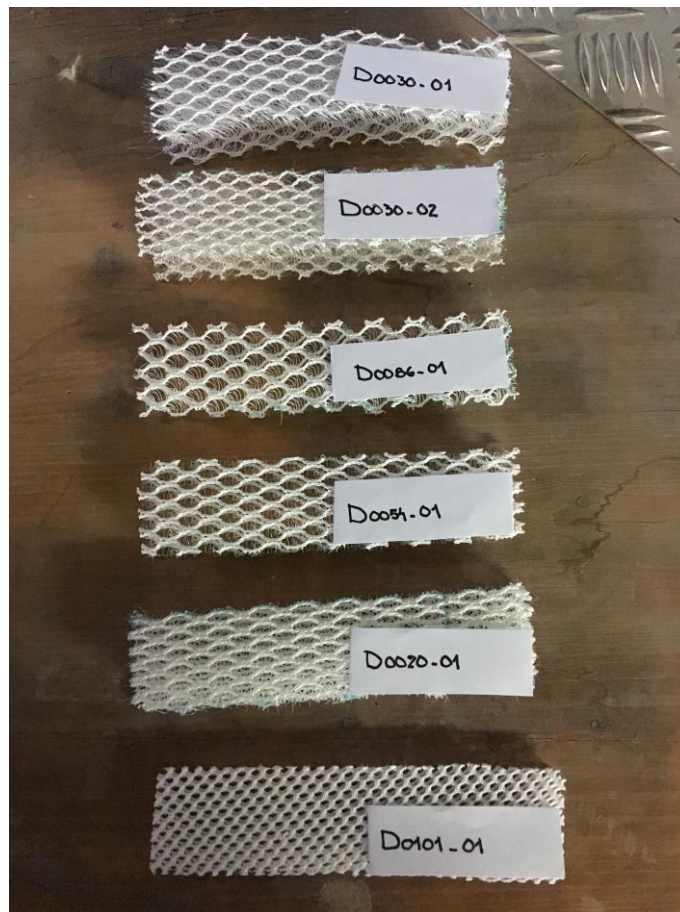
Složka	Hmotnostní poměr	Hmotnost složky
	[-]	[g]
Cement CEM I 42,5R	1	600
Voda	0,3	180
Mikrosilika	0,1	60
Křemičitá moučka	0,25	150
Křemičitý písek 0,1 - 1,2	1,6	958,5
Plastifikační přísady	0,01	6
Odpěňovací přísady	0,001	0,5

Tab 3.1 Složky použité směsi

Celková hmotnost suché směsi a vody byla 1 995g. Poměr hmotnosti vody a cementu udává vodní součinitel. Ten je pro tuto směs 0,3. Takto nízký vodní součinitel ovlivňuje hydrataci, která může být neúplná. Pojivo, které plně nezhydratuje, pak plní funkci plniva.

### 3.2 Výroba vzorků

Pro experiment bylo použito 6 druhů 3D pletenin, které se od sebe lišily tloušťkou a hustotou výpletu. Nejprve bylo nutné si tyto pleteniny označit (Tab. 3.2) a pro testování připravit z každé 3 vzorky o rozměrech 40 mm x 160 mm (Obr. 3.1, Obr. 3.2).



*Obr. 3.1 Vzorky pletenin – pohled ze shora.*

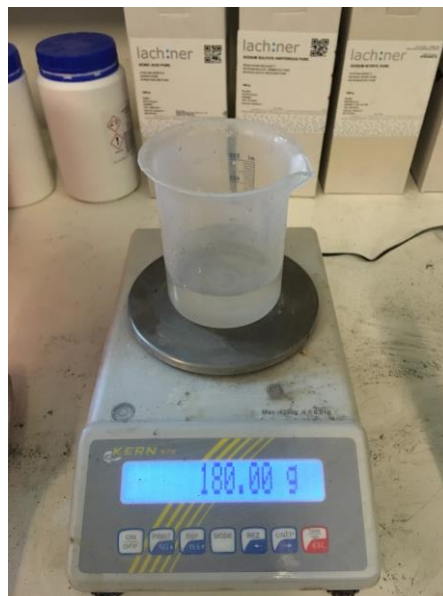


*Obr. 3.2 Vzorky pletenin – pohled z boku.*

V laboratoři byly naváženy jednotlivé složky pro betonovou směs. (Obr. 3.3, Obr. 3.4).  
Betonová směs se připravovala vždy pro 3 samostatné vzorky.



*Obr. 3.3 Vážení UHPC směsi*



*Obr. 3.4 Vážení vody*

Míchání směsi probíhalo v laboratorní míchačce o objemu 10l SPAR SP 100, která umožňovala důkladné promíchání směsi (Obr. 3.5). Do zvlhčené nádoby byla nejprve nasypána suchá prefabrikovaná směs cementového kompozitu, podle patentového dokumentu CZ 30170 U1 [15]. Po promíchání suché směsi, byla postupně přidána záměšová voda. Míchání probíhalo po dobu 6 minut. Po té byl proces míchání přerušen a kompozit promíchán ručně zednickou lžící. Strojní míchání pak dále pokračovalo 4 minuty. Vzniklá směs byla nalita do předem olejem vymazaných forem, do kterých byla vložena pletenina (Obr. 3.6). Následovalo zhutnění čerstvé směsi vibrováním a doplnění forem zbývající směsí. Již v této fázi, bylo možné sledovat různé chování jednotlivých typů pletenin. U silnějších pletenin bylo hutnění provedeno opakovaně, ve snaze docílit propojení betonové směsi s pleteninou (Obr. 3.7).



*Obr. 3.5 Laboratorní míchačka*



*Obr. 3.6 Forma s vloženou pleteninou*

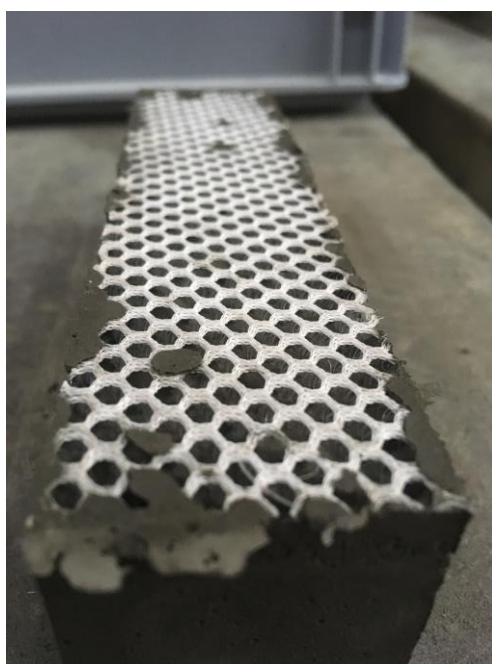


*Obr. 3.7 Vzorky po zhutnění.*

Následující den, bylo provedeno odbednění, očištění, popsání vzorků a uložení vzorků na 27 dní. (Obr. 3.8). Již po odbednění bylo u některých vzorků možné sledovat nedokonalé zhutnění a propojení s pleteninou (Obr. 3.9, Obr. 3.10).



*Obr. 3.8 Vzorek č.1 – D0054-01 po odbednění.*



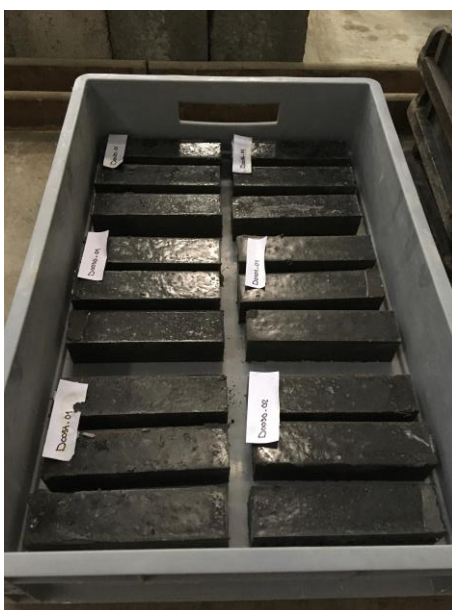
*Obr. 3.9 Nedokonalé protečení vzorkem č.5 – D0101-01.*



*Obr. 3.10 Nedokonalé protečení u vzorku č.6 – D0030-02.*

### 3.3 Pevnostní zkoušky

Po 27 dnech zrání (Obr. 3.11) byly provedeny pevnostní ohybové zkoušky – pevnost v tahu za ohybu a pevnost v tlaku. Tyto zkoušky proběhly na stroji EU 40 podle norem ČSN EN 12390-5 Ztvrdlý beton – Zkoušení pevnosti betonu v tahu ohybem a ČSN EN 12504-1 Ztvrdlý beton – Zkoušení v tlaku. Všechny vzorky byly nejprve zváženy a přeměřeny (Obr. 3.12, Obr. 3.13, Obr. 3.14). Naměřené údaje jsou uvedeny v tabulce (Tab. 3.3).



Obr. 3.11 Zrání vzorků.



Obr. 3.12 Měření vzorku č.6 – D0030-02.



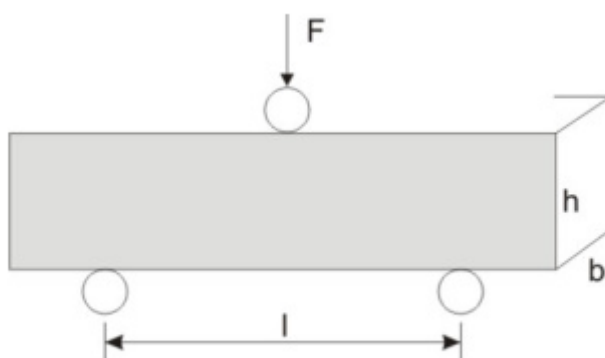
Obr. 3.13 Vážení vzorku č.6 – D0030-02.



Obr. 3.14 Zkušební stroj EU 40.

### 3.3.1 Pevnost v tahu za ohybu

Tato destruktivní trojbodová ohybová zkouška byla provedena na všech vzorcích. Zkušební vzorky byly vystaveny ohybovému momentu od zatížení přenášeného skrze horní a dolní podpěry. Schéma uložení je znázorněno na obrázku (Obr. 3.15). Zatěžovací síla působila na směr hutnění. Zatížení bylo postupně zvětšováno s konstantní rychlostí. Při dosažení meze pevnosti došlo k porušení vzorku (Obr. 3.16). Hodnota zatěžovací síly byla zaznamenána strojem zapsána do tabulky (Tab. 3.3).



Obr. 3.15 Schéma uložení vzorků při zkoušce pevnosti v tahu za ohybu [25].



*Obr. 3.16 Zkoušení vzorku č.3 – D0020-01.*

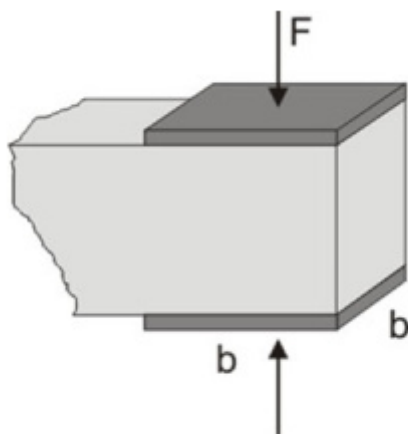
### **3.3.2 Pevnost v tlaku**

Zkouška pevnosti v tlaku proběhla na obou polovinách zkušebního trámečku u všech vzorků. Vzorek byl vložen mezi čelisti lisu a zatěžován rostoucí silou ve směru hutnění (Obr. 3.17). Schéma uložení je znázorněno na obrázku (Obr. 3.18). Výsledné hodnoty byly opět zaznamenány do tabulky (Tab. 3.3). Zkouška vzorků splnila požadavky dané normou ČSN EN 12390-3 na porušení (Obr. 3.19, Obr. 3.20)

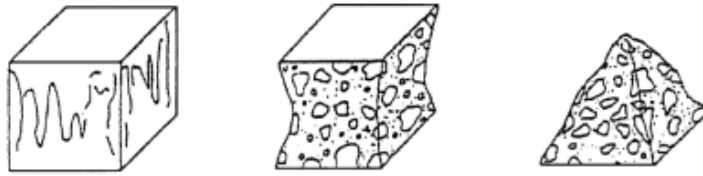




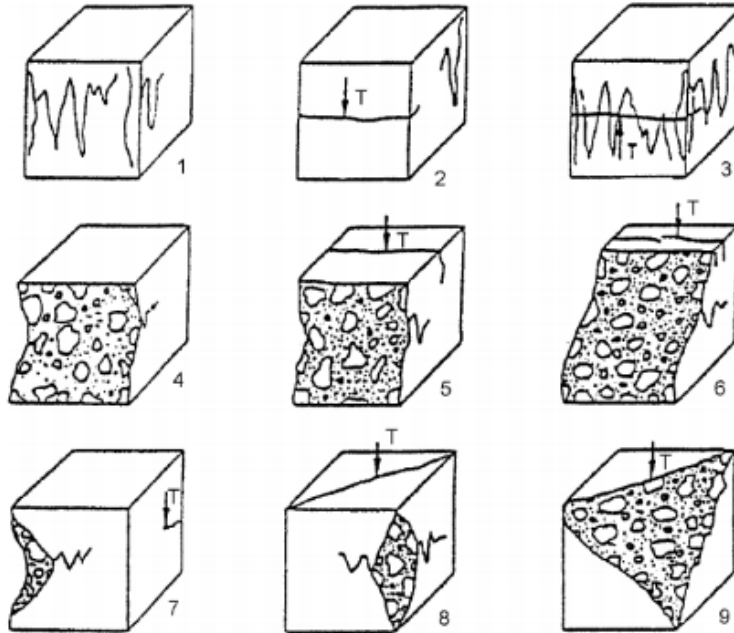
*Obr. 3.17 Uložení vzorku č.1 – D0054-01 v lisu při zkoušce pevnosti v tlaku.*



*Obr. 3.18 Schéma uložení vzorků pro zkoušku pevnosti v tlaku [25].*



*Vyhovující způsoby porušení*



*Nevyhovující způsoby porušení*

*Obr. 3.19 Typy porušení vzorku podle ČSN EN 12390-3 [26].*



*Obr. 3.20 Příklad porušení vzorku č.1 – D0054-01.*

### 3.4 Vyhodnocení experimentu

#### 3.4.1 Posouzení kvality propojení směsi s textilem

Nejprve byly všechny vzorky zkoumány na kvalitu propojení zhutněné směsi s pleteninou vizuální kontrolou. Tato kontrola proběhla druhý den po odbednění vzorků. Nedokonalé propojení matrice a výztuže má značný vliv pevnosti v tahu za ohybu a na pevnosti v tlaku. Vzorky byly zhotoveny ze stejné UHPC směsi. Hustota ( $\text{g}/\text{m}^3$ ) a tloušťka (mm) se tak staly rozhodujícím faktorem na kvalitu propojení. Vstupní údaje jsou uvedeny v tabulce (Tab. 3.2).

Číslo vzorku	Označení vzorku	Materiálové složení	Plošná hmotnost	Tloušťka	Hustota	Odolnost proti stlačení - 40 %
		[%]	$[\text{g}/\text{m}^2]$	[mm]	$[\text{kg}/\text{m}^3]$	[kPa]
1.	D 0054-01	100% PES	640	10	64	18
2.	D 0030-01	100% PES	1000	20	50	8,7
3.	D 0020-01	100% PES	800	10	80	20,7
4.	D 0086-01	100% PES	530	10	53	10,4
5.	D 0101-01	100% PES	295	5	59	17
6.	D 0030-02	100% PES	774	20	38,7	4,7

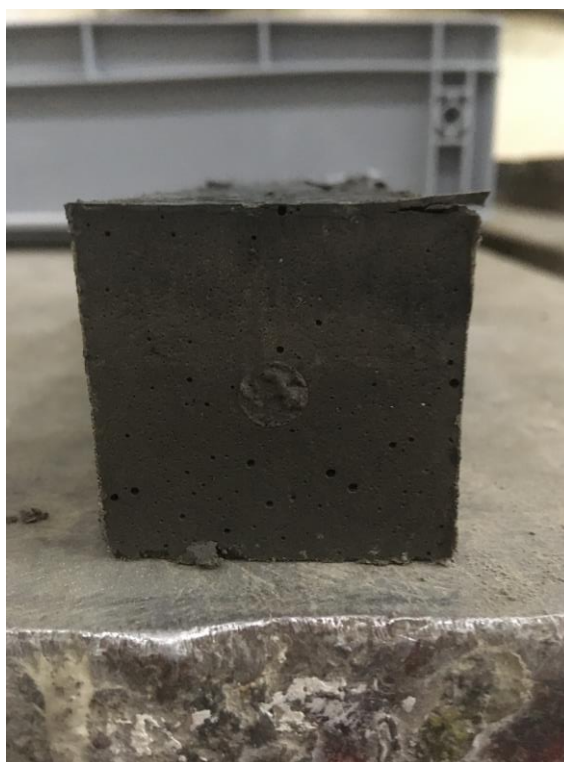
Tab 3.2 Vstupní údaje získané z technických listů.

Technické listy vzorků pletenin jsou uvedeny příloze č.1.

U vzorku č.1 – D0054-01 (Obr. 3.21) nebyly pozorovány žádné projevy, které by naznačovaly nedokonalé zhutnění a propojení s pleteninou (Obr. 3.22).

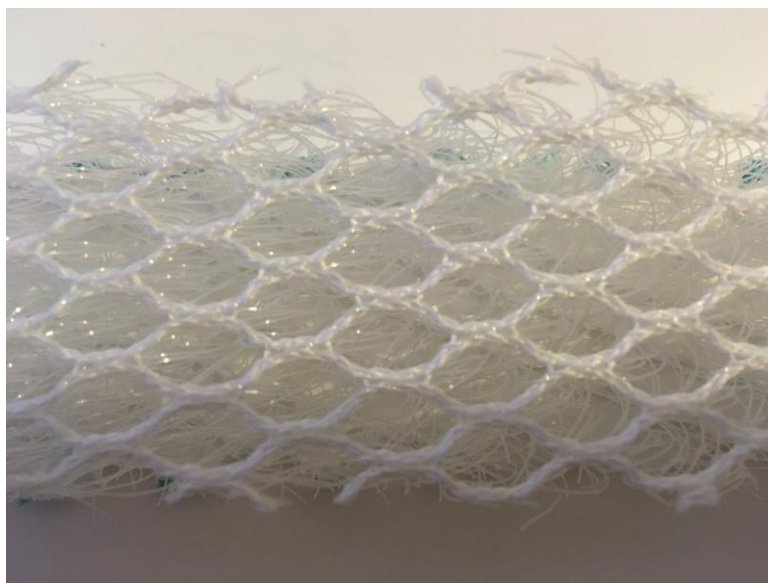


*Obr. 3.21 Tkanina vzorku č.1 – D0054-01.*

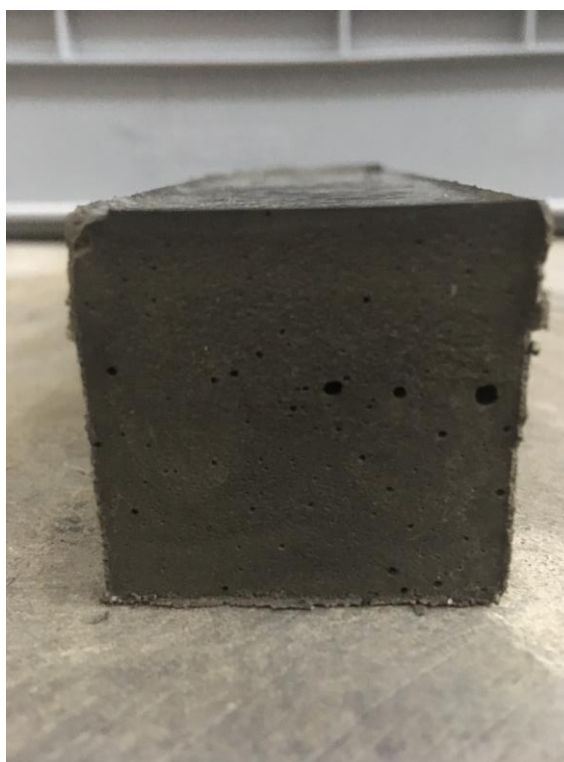


*Obr. 3.22 Vzorek č.1 – D0054-01 po odbednění.*

Tento výsledek byl zopakován i u vzorků z pletenin č.2 - D0030-01(Obr. 3.23, Obr. 3.24)



*Obr. 3.23 Tkanina vzorku č.2 – D0030-01.*



*Obr. 3.24 Vzorek č.2 – D0030-01 po odbednění.*

Trámečky vzorku č.3 – D0020-01 (Obr. 3.25) směs již dokonale neprotekla. U některých trámečků bylo možné pozorovat místa s odhalenou pleteninou (Obr. 3.26)

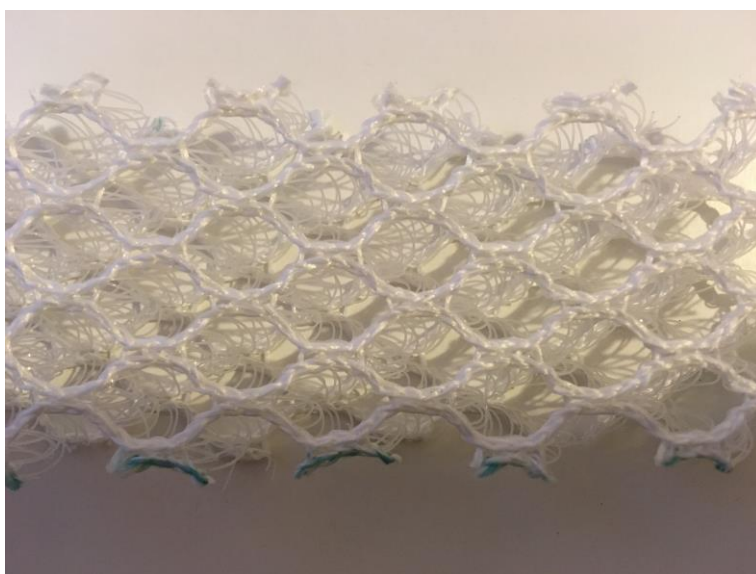


*Obr. 3.25 Tkanina vzorku č.3 – D0020-01.*



*Obr. 3.26 Vzorek č.3 – D0020-01 po odbednění s viditelnými vlákny pleteniny.*

U vzorku č.4 – D0086-01 (Obr. 3.27) bylo zhutnění směsi dostačující a na povrchu zkušebních trámeček nebyla pletenina pozorována (Obr. 3.28)

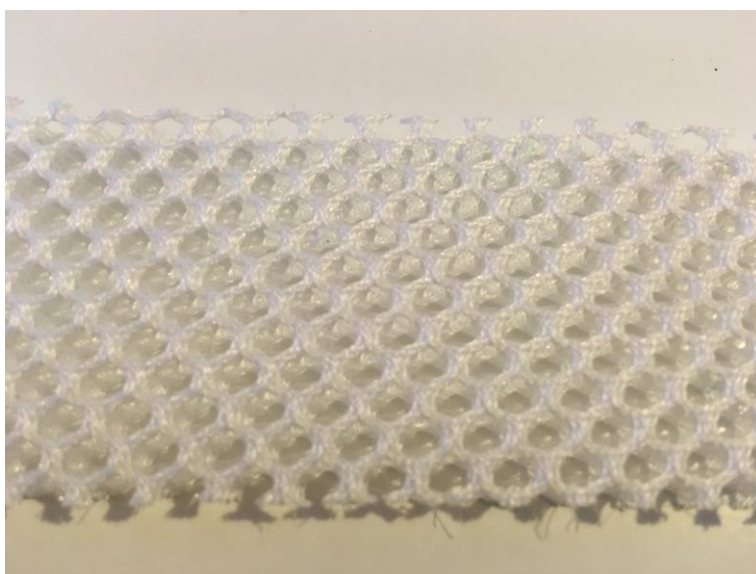


*Obr. 3.27 Tkanina vzorku č.4 – D0086-01.*



*Obr. 3.28 Vzorek č.4 – D0086-01 po odbednění.*

U vzorek č.5 – D0101-01 (Obr. 3.29) nedošlo k dokonalému propojení zhutněné směsi s textilií, která byla pozorována po celém povrchu (Obr. 3.30).



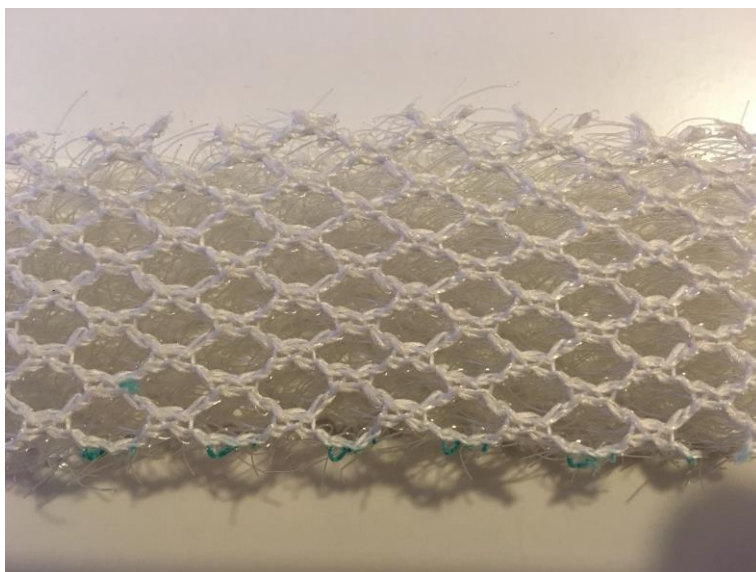
*Obr. 3.29 Tkanina vzorku č.5 – D0101-01.*



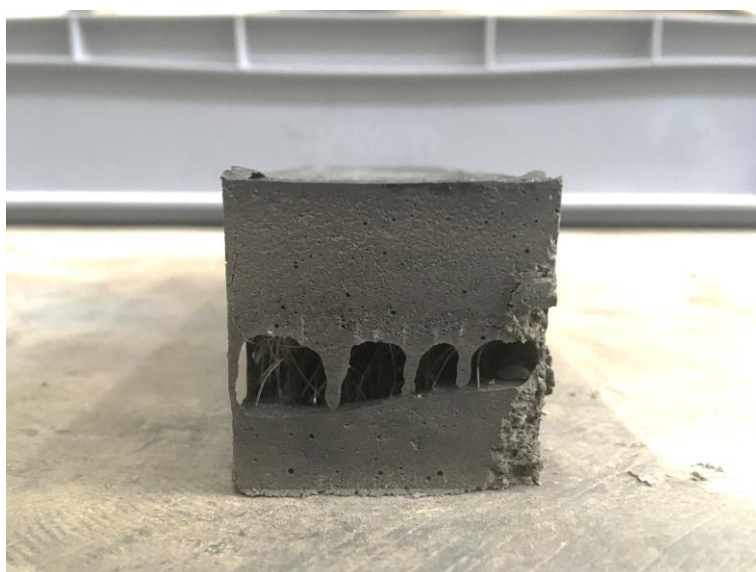
*Obr. 3.30 Vzorek č.5 – D0101-01 po odbednění s viditelnou pleteninou.*



Na zkušebních trámečcích vzorku č.6 – D0030-02 (Obr. 3.31) bylo možné pozorovat po celé délce vlákna pleteniny (Obr. 3.32)



*Obr. 3.31 Tkanina vzorku č.6 – D0030-02.*



*Obr. 3.32 Vzorek č.6 – D0030-02 po odbednění.*

Závěrem tohoto pozorování lze konstatovat, že nejhůře dopadly trámečky vzorku č.6 - D0030-02. Tento vzorek má sice nejnižší hustotu ( $38,70 \text{ kg/m}^3$ ) polyesterových vláken ze zkoumaných pletenin, ale zároveň i největší tloušťku (20mm) a trámečky vzorku č.5 - D0101-01 s hustotou  $59 \text{ kg/m}^3$  a tloušťkou 5mm. Dokonalé propojení směsi a pleteniny bylo pozorováno u vzorků č. 1 – D0054-01, č.2 – D0030-01 a č.4 - D0086-01.

Nedá se však jednoznačně konstatovat, že hustota nebo tloušťka má rozhodující vliv kvalitu propojení zhutněné směsi s pleteninou. Rozhodující je tedy kombinace těchto veličin. Jako dobré se jeví pleteniny s hustotou vláken od 50 kg/m<sup>3</sup> do 64 kg/m<sup>3</sup> a tloušťkou v rozmezí 10 mm až 20 mm.

### 3.4.2 Vyhodnocení pevnostních zkoušek

Po 27 dnech byly provedeny pevnostní zkoušky na všech zkušebních trámečcích. Síla při, které došlo k porušení vzorku, byla zapsána do tabulky (Tab. 3.3).

Číslo vzorku	Označení vzorku	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]	Hmotnost [g]	Max. zatěžovací síla			Propojení zhutněné směsi s textilií
						v tahu za ohybu [kN]	v tlaku [kN]	v tlaku [kN]	
1.	D0054-01 (I)	40,78	40,00	160,00	587,90	5,50	159,00	141,00	ANO
	D0054-01 (II)	40,07	40,00	160,00	579,61	5,70	131,00	155,00	
	D0054-01 (III)	40,34	40,00	160,00	573,50	5,70	131,00	141,00	
2.	D0030-01 (I)	39,72	40,00	160,00	559,53	4,80	132,00	122,00	ANO
	D0030-01 (II)	40,30	40,00	160,00	579,37	5,50	139,00	144,00	
	D0030-01 (III)	39,61	40,00	160,00	557,09	4,30	104,00	144,00	
3.	D0020-01 (I)	39,66	40,00	160,00	548,69	5,30	132,00	141,00	NE
	D0020-01 (II)	40,10	40,00	160,00	549,25	5,30	120,00	143,00	
	D0020-01 (III)	40,43	40,00	160,00	554,37	4,80	126,00	146,00	
4.	D0086-01 (I)	40,45	40,00	160,00	590,01	5,60	153,00	151,00	ANO
	D0086-01 (II)	39,56	40,00	160,00	579,71	5,80	124,00	140,00	
	D0086-01 (III)	40,18	40,00	160,00	587,68	5,60	138,00	136,00	
5.	D0101-01 (I)	40,58	40,00	160,00	548,99	5,40	121,00	134,00	NE
	D0101-01 (II)	40,89	40,00	160,00	545,99	5,10	136,00	128,00	
	D0101-01 (III)	39,92	40,00	160,00	541,50	5,30	107,00	131,00	
6.	D0030-02 (I)	41,27	40,00	160,00	562,79	5,60	160,00	140,00	NE
	D0030-02 (II)	41,39	40,00	160,00	512,27	4,60	95,00	78,00	
	D0030-02 (III)	40,27	40,00	160,00	417,51	4,70	18,00	37,00	

Tab 3.3 Zatěžovací síla

Na základě těchto získaných hodnot byly provedeny výpočty pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulce (Tab. 3.4).

Výpočet pevnosti v tahu za ohybu byl proveden podle vztahu (3.1):

$$f_{cf} = \frac{3F_{uf}l}{2d_1d_2^2} \quad (3.1)$$

kde je:

- $f_{cf}$  pevnost v tahu ohybem [MPa].
- $F_{uf}$  maximální zatížení [N].
- $l$  vzdálenost mezi podpěrnými válečky [mm].
- $d_1, d_2$  rozměry příčného řezu [mm].

Pevnost v tlaku podle vztahu (3.2):

$$f_c = \frac{F_{cu}}{A_c} \quad (3.2)$$

kde je:  $f_c$  pevnost v tlaku [MPa].  
 $F_{cu}$  maximální zatížení při porušení [N].  
 $A_c$  průřezová plocha zkušebního tělesa, na kterou působí  
 zatížení v tlaku, vypočtená ze jmenovité velikosti  
 tělesa [m<sup>2</sup>] (viz EN 12390-1).

Číslo vzorku	Označení vzorku	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]	Hmotnost [g]	Pevnost			Propojení zhuťné směsi s textilií
						v tahu za ohybu [MPa]	v tlaku [MPa]	v tlaku [MPa]	
1.	D0054-01 (I)	40,78	40,00	160,00	587,90	12,89	99,38	88,13	ANO
	D0054-01 (II)	40,07	40,00	160,00	579,61	13,36	81,88	96,88	
	D0054-01 (III)	40,34	40,00	160,00	573,50	13,36	81,88	88,13	
2.	D0030-01 (I)	39,72	40,00	160,00	559,53	11,25	82,50	76,25	ANO
	D0030-01 (II)	40,30	40,00	160,00	579,37	12,89	86,88	90,00	
	D0030-01 (III)	39,61	40,00	160,00	557,09	10,08	65,00	90,00	
3.	D0020-01 (I)	39,66	40,00	160,00	548,69	12,42	82,50	88,13	NE
	D0020-01 (II)	40,10	40,00	160,00	549,25	12,42	75,00	89,38	
	D0020-01 (III)	40,43	40,00	160,00	554,37	11,25	78,75	91,25	
4.	D0086-01 (I)	40,45	40,00	160,00	590,01	13,13	95,63	94,38	ANO
	D0086-01 (II)	39,56	40,00	160,00	579,71	13,59	77,50	87,50	
	D0086-01 (III)	40,18	40,00	160,00	587,68	13,13	86,25	85,00	
5.	D0101-01 (I)	40,58	40,00	160,00	548,99	12,66	75,63	83,75	NE
	D0101-01 (II)	40,89	40,00	160,00	545,99	11,95	85,00	80,00	
	D0101-01 (III)	39,92	40,00	160,00	541,50	12,42	66,88	81,88	
6.	D0030-02 (I)	41,27	40,00	160,00	562,79	13,13	100,00	87,50	NE
	D0030-02 (II)	41,39	40,00	160,00	512,27	10,78	59,38	48,75	
	D0030-02 (III)	40,27	40,00	160,00	417,51	11,02	11,25	23,13	

Tab 3.4 Výsledky pevnostech zkoušek - pevnost

### Vyhodnocení pevnosti v tahu za ohybu

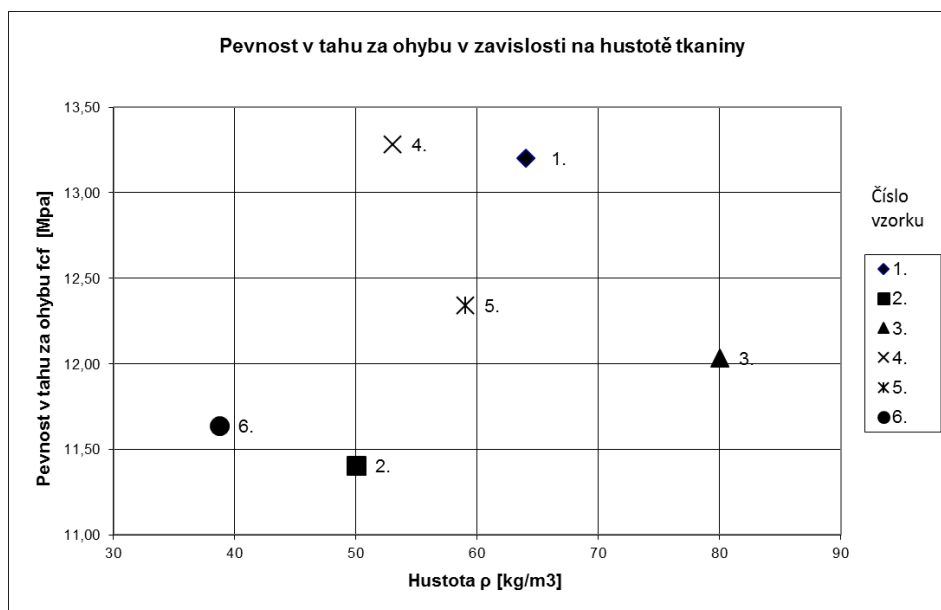
Výsledky z trojbodové ohybové destruktivní zkoušky jsou uvedeny v tabulce (Tab. 3.4).

Číslo vzorku	Označení vzorku	Pevnosti		Propojení zhutněné směsi s textilií
		v tahu za ohybu [MPa]	v tahu za ohybu * [MPa]	
1.	D0054-01 (I)	12,89	13,20	ANO
	D0054-01 (II)	13,36		
	D0054-01 (III)	13,36		
2.	D0030-01 (I)	11,25	11,41	ANO
	D0030-01 (II)	12,89		
	D0030-01 (III)	10,08		
3.	D0020-01 (I)	12,42	12,03	NE
	D0020-01 (II)	12,42		
	D0020-01 (III)	11,25		
4.	D0086-01 (I)	13,13	13,28	ANO
	D0086-01 (II)	13,59		
	D0086-01 (III)	13,13		
5.	D0101-01 (I)	12,66	12,34	NE
	D0101-01 (II)	11,95		
	D0101-01 (III)	12,42		
6.	D0030-02 (I)	13,13	11,64	NE
	D0030-02 (II)	10,78		
	D0030-02 (III)	11,02		

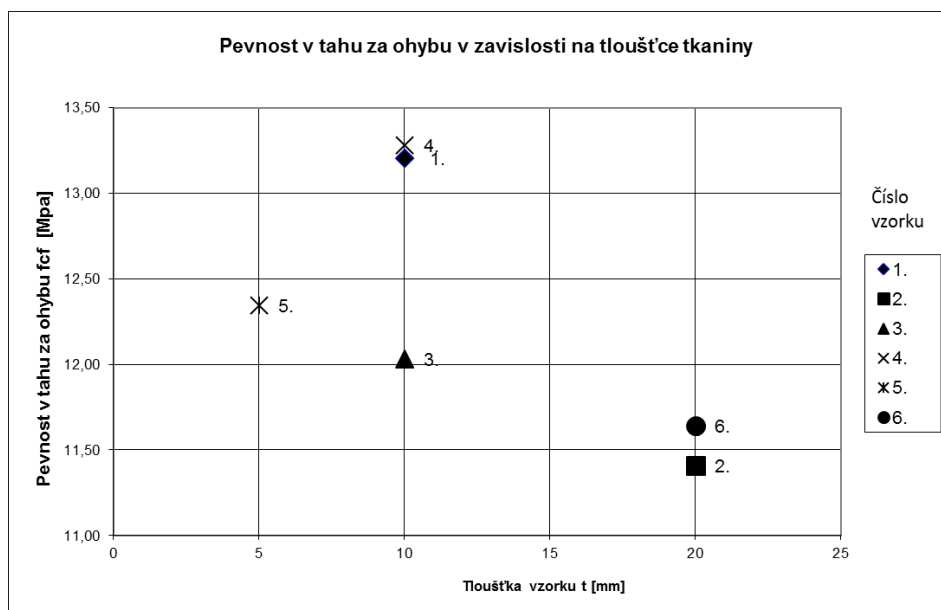
\* - průměrná hodnota vzorků

Tab 3.5 Výsledky ohybové zkoušky

Pro stanovení výsledků byly zhotoveny grafy (Obr. 3.33, Obr. 3.34) ukazující závislost pevnosti na hustotě ( $\text{kg/m}^3$ ) nebo tloušťce (mm) jednotlivých vzorků. K posuzování byly použity průměrné hodnoty ze tří zkušebních trámečků.



Obr. 3.33 Pevnosti v tahu v závislosti na hustotě pro jednotlivé vzorky.



Obr. 3.34 Pevnosti v tahu v závislosti na tloušťce pro jednotlivé vzorky.

Nejvyšší hodnoty pevnosti v tahu za ohybu 13,28 MPa dosáhl vzorek č. 4-D0086-01 s hustotou vláken 53 kg/m<sup>3</sup> a tloušťkou 10 mm. U těchto zkušebních trámečků bylo dosaženo dokonalého propojení ztuhněné betonové směsi s pleteninou. Naopak nejhůře dopadl vzorek č. 2 - D0030-01, s hustotou vláken 50 kg/m<sup>3</sup>, tloušťkou 20 mm a dosaženou hodnotou 11,41 MPa. U toho vzorku bylo rovněž dosaženo dokonalého propojení směsi s pleteninou. Lze tak konstatovat, že pleteniny s různou hustotou, tloušťkou a kvalitou propojení nemají vliv na pevnost v tahu za ohybu. Nejvyšší a nejnižší získaná hodnota těchto zkoušených vzorků se lišila o 1,87 MPa.

### Vyhodnocení pevnosti v tlaku

Ozkoušené zkušební trámečky všech vzorků na pevnost v tahu za ohybu byly prověřeny i na pevnost v tlaku. A to na obou polovinách trámečku. Výsledky jsou uvedeny v tabulce (Tab. 3.5). Pro porovnání byl proveden průměr výsledných hodnot a to nejprve z první a druhé části trámečku a poté průměr hodnot ze všech tří zkušebních trámečků, ty pak byly použity pro vyhodnocení zkoušky.

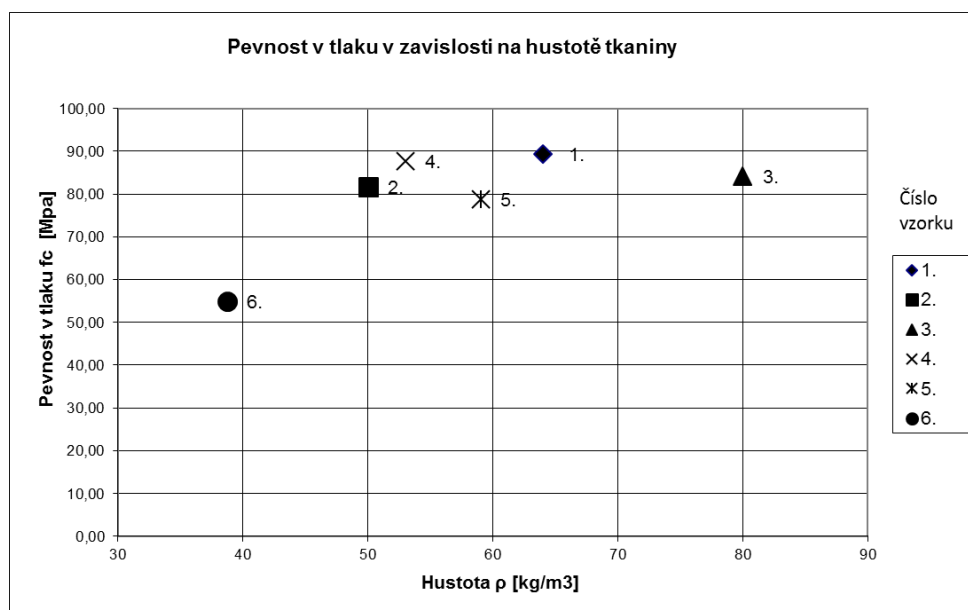
Číslo vzorku	Označení vzorku	Pevnost				Propojení zhutněné směsi s textilií
		v tlaku 1.část	v tlaku 2.část	v tlaku *	v tlaku **	
		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	
1.	D0054-01 (I)	99,38	88,13	93,75	89,38	ANO
	D0054-01 (II)	81,88	96,88	89,38		
	D0054-01 (III)	81,88	88,13	85,00		
2.	D0030-01 (I)	82,50	76,25	79,38	81,77	ANO
	D0030-01 (II)	86,88	90,00	88,44		
	D0030-01 (III)	65,00	90,00	77,50		
3.	D0020-01 (I)	82,50	88,13	85,31	84,17	NE
	D0020-01 (II)	75,00	89,38	82,19		
	D0020-01 (III)	78,75	91,25	85,00		
4.	D0086-01 (I)	95,63	94,38	95,00	87,71	ANO
	D0086-01 (II)	77,50	87,50	82,50		
	D0086-01 (III)	86,25	85,00	85,63		
5.	D0101-01 (I)	75,63	83,75	79,69	78,85	NE
	D0101-01 (II)	85,00	80,00	82,50		
	D0101-01 (III)	66,88	81,88	74,38		
6.	D0030-02 (I)	100,00	87,50	93,75	55,00	NE
	D0030-02 (II)	59,38	48,75	54,06		
	D0030-02 (III)	11,25	23,13	17,19		

\* - průměrná hodnota z 1. a 2. části vzorku

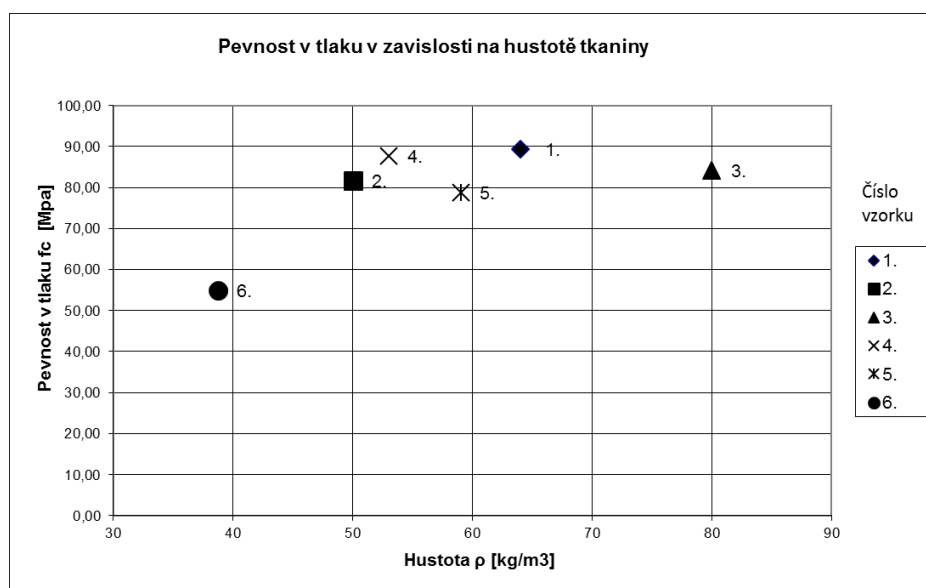
\*\* - průměrná hodnota všech částí vzorku

Tab 3.6 Výsledky tlakové zkoušky.

Z grafů, které ukazují závislost pevnosti (MPa) na hustotě (kg/m<sup>3</sup>) (Obr. 3.35) a tloušťce (mm) (Obr. 3.36) je možné pozorovat výsledky.



Obr. 3.35 Pevnosti v tlaku v závislosti na hustotě pro jednotlivé vzorky.



Obr. 3.36 Pevnosti v tlaku v závislosti na tloušťce pro jednotlivé vzorky.

Nejlepší výsledků dosáhl vzorek č.1 – D0054-01, s nejvyšší hustotou vláken 64 kg/m<sup>3</sup>, tloušťkou 10 mm a velmi dobrou kvalitou propojení směsi s pleteninou. Pevnost v tlaku dosáhla po provedení průměru hodnoty 89,38 MPa. Nejnižší pevnosti

v tlaku 55 MPa dosáhl vzorek č.6 – D0030-02, s nejnižší hustotou 28,7 kg/m<sup>3</sup> a tloušťkou pleteniny 20 mm. Tento vzorek dopadl i nejhůře v hodnocení kvality propojení betonové směsi. Je zajímavé, že první naměřené hodnoty tohoto vzorku pro pevnost v tlaku byly nejvyššími z celého experimentu. Pravděpodobně zde mohlo být dokonalejší propojení směsi s pleteninou. Maximální rozdíl hodnot pevnosti v tlaku neměřených pro tento experiment je 34,38 MPa. U vzorků kde došlo k dokonalému propojení betonové matrice a pleteninové výztuže se naměřené hodnoty neliší více než o 7,61 MPa. Tyto pleteniny nemají zásadní vliv na pevnost v tlaku UHPC směsí.



## 4 Závěr

Cílem této experimentální práce bylo zjistit vliv strukturálních tkanin na ohybové pevnosti UHPC. K uskutečnění experimentu byly použity 3D technické pleteniny z 100% polyesterových vláken (PES). Vybráno bylo 6 různých vzorků pletenin, které se lišily hustotou vláken a tloušťkou. Z nich byli vyrobeno zkušební trámečky o rozměrech 40 mm x 40 mm x 160 mm.

Z vyrobených vzorků byly provedeny zkoušky, podle norem ČSN EN 12390-5 Ztvrdlý beton – Zkoušení pevnosti betonu v tahu ohybem a ČSN EN 12504-1 Ztvrdlý beton – Zkoušení v tlaku, na pevnosti v tahu za ohybu, pevnosti v tlaku a vizuální kontrolou posouzena kvalita propojení betonové směsi a pleteninové výztuže. Zkoušky prokázaly, že rozhodující vliv na ohybové pevnosti nemá jen hustota ( $\text{g/m}^3$ ) nebo tloušťka, ale obě tyto veličiny.

3D technické textilie z 100% polyesterových vláken (PES) nemají zásadní vliv na zvýšení ohybové pevnosti UHPC směsí. Strukturální tkaniny však umožňují svoji elasticitou vytvářet flexibilní a subtilní konstrukce. Návrh betonové směsi, způsob betonáže a struktura 3D pletenin má rozhodující vliv na dosažené výsledky. Lze předpokládat, že při použití vláken, které mají ještě lepší mechanické vlastnosti, jako jsou například Kevlarová vlákna, lze docílit výraznějšího vlivu zlepšení ohybové pevnosti UHPC.

## Použité zdroje

- [1] *Vláknobeton*. eBeton – Specialista na beton. [online]. [cit. 2017-10-14]. Dostupné z: <http://www.ebeton.cz/pojmy/vlaknobeton>
- [2] PAVLÍKOVÁ Milena. *Vláknobeton*. [přednáška]. Praha: ČVUT, 5.října 2014. In: ČVUT [online]. [cit. 2017 -10- 20]. Dostupné z: <http://tpm.fsv.cvut.cz/student/documents/files/CHS/CHS7a.pdf>
- [3] RUSEK, Jan. *Příprava a aplikace kompozitních materiálů na součásti autobusů*. Brno, 2014. Bakalářská práce. Vysoké Učení Technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Karel Němec, Ph.D. [online]. 2014, [cit. 2017-10.20]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/42168992-Vysoke-uceni-technicke-v-brne.html>
- [4] *Vysokohodnotný beton*. eBeton – Specialista na beton. [online]. [cit. 2017-10-20]. Dostupné z: <http://www.ebeton.cz/pojmy/ultra-vysokohodnotny-beton-uhpc>
- [5] UHPC. *Ultra-High Performance Concrete*. Cement. [online]. 2001, [cit. 2017-10-25]. Dostupné z: <http://www.cement.org/learn/concrete-technology/concrete-design-production/ultra-high-performance-concrete>
- [6] MYŠIČKOVÁ Lucie, *Vlastnosti, zkoušení a využití UHPC v konstrukcích*. Brno 2012. Bakalářská práce. Vysoké Učení Technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Petr Cikrle, Ph.D.. [online]. 2012, [cit. 2017-10-30]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=54415](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=54415)
- [7] UHPC. *Ultra-vysokopevnostní betony – UHPC*. TBG Metrostav. [online]. [cit. 2017-11-5]. Dostupné z: <http://www.tbg-metrostav.cz/produkty/ultra-vysokopevnostni-betony-uhpc/>
- [8] *Trvanlivost cementového betonu 2 – modifikace na bázi mikrosiliky*. iMateriály. [online]. 1994, [cit. 2017-11-3]. Dostupné z: [https://imaterialy.dumabyt.cz/rubriky/technologie/trvanlivost-cementoveho-betonu-2-modifikace-na-bazi-mikrosiliky\\_101356.html](https://imaterialy.dumabyt.cz/rubriky/technologie/trvanlivost-cementoveho-betonu-2-modifikace-na-bazi-mikrosiliky_101356.html)
- [9] FLÁDR Josef. *Vysokohodnotný beton 1* [prezentace]. Praha, 2016. [online]. [cit. 2017-11-16]. Dostupné z: [http://people.fsv.cvut.cz/~fladrjos/vyuka/YVHB/01\\_technologie.pdf](http://people.fsv.cvut.cz/~fladrjos/vyuka/YVHB/01_technologie.pdf)
- [10] *Vysokopevnostní betony a UPHC*. Betontsk. [online]. [cit. 2017-11-25]. Dostupné z: <http://www.betontks.cz/sites/default/files/2012-7-42.pdf>
- [11] *Prísady*. eBeton – Specialista na beton. [online]. [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <http://www.ebeton.cz/pojmy/prisady>
- [12] *Latentně hydraulické příměsi*. eBeton – Specialista na beton. [online]. [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <http://www.ebeton.cz/pojmy/latentne-hydraulicke-primesi>

- [13] *Cement*. eBeton – Specialista na beton. [online]. [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <http://www.ebeton.cz/pojmy/cement>
- [14] SVOBODA Luboš a kolektiv. *Stavební hmoty*. 2. vydání. Bratislava: Java group, s. r. o., 2007. ISBN 978-80-8076-057-1.
- [15] HRUBÝ Jaroslav, *Cementové kompozity vyztužené tkaninami a jejich vlastnosti při extrémním zatížení*. Praha, 2017. Bakalářská práce. České Vysoké Učení Technické, Fakulta stavební. Vedoucí práce Ing. Jindřich Fornůsek, Ph.D..
- [16] ČSN EN 197-1: *Cement – Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití*. Ed. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [17] *Anorganická pojiva*. Geologie. [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava [cit. 2017-11-29]. Dostupné z: [http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/anorganicka\\_pojiva.html#cementy](http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/anorganicka_pojiva.html#cementy)
- [18] K123 – Katedra stavebních materiálů [online]. Copyright ©. [cit. 2017-12-2]. Dostupné z: <https://tpm.fsv.cvut.cz/vyuka/ychs>
- [19] KRATOCHVÍL, Bohumil, Václav ŠVORČÍK a Dalibor VOJTĚCH. *Úvod do studia materiálů*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, vydavatelství VŠCHT Praha, 2005. ISBN 80-7080-568-4.
- [20] Textilní vlákna jako surovina, její morfologie, vlastnosti, označování při prodeji a jeho identifikace. Školatextilu. [online]. [cit. 2017-12-11]. Dostupné z: <http://www.skolatextilu.cz/elearning/455/textilni-terminologie-zboziznalstvi/vlakna-prize-a-nite/Textilni-vlakna-jako-surovina-jejich-morfologie-vlastnosti-oznacovani-pri-prodeji-a-jeho-identifikace.html>
- [21] *Technické textile – 3D textile*. Tylex. [online] © 2005 – 2016, [cit. 2017-12-15]. Dostupné z: <http://www.tylex.cz/a114-3d-textilie>
- [22] *Technické textilie*. Sindat. [online]. [cit. 2017-12-15]. Dostupné z: <http://www.sindat.cz/technicke-pletene-textilie/>
- [23] *Pravděpodobnostní model pevnosti výztuže pro textilní beton a jeho porovnání s experimenty*. Digitální knihovna. [online]. 2015, [cit. 2017-12-17]. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/handle/11012/42363>
- [24] *Betone*. Archiweb. [online]. 2016, [cit. 2017-12-20]. Dostupné z: <http://archiweb.cz/news.php?action=show&type=9&id=19906>
- [25] *Cementy základní vlastnosti*. Fast.vbs. [online]. [cit. 2018-1-5]. Dostupné z: [http://homel.vsb.cz/~khe0007/opory/opory.php?stranka=malty\\_cement\\_zk](http://homel.vsb.cz/~khe0007/opory/opory.php?stranka=malty_cement_zk)
- [26] ČSN EN 12390-3: *Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.



## TECHNICAL DATA SHEET

Design No.	<b>D 0054_01</b>	
Yarn	<b>100 % PES</b>	
Weight	<b>640 g/m<sup>2</sup></b>	(±32 g/m <sup>2</sup> )
Width	<b>200 cm</b>	(±3 cm)
Thickness:	<b>10 mm</b>	(± 0,5 mm)

### Tests

Stretch Compression: (Stauchhärte)	<b>40% - 18kPa</b>	
---------------------------------------	--------------------	--

### Make - up

-length	<b>15-20 m</b>
-width	<b>210 cm</b>
-diameter	<b>67 cm</b>
-weight	<b>max. 27 kg</b>



(packed in the roll)

MOQ	<b>280 running meters</b>
-----	---------------------------

MOQ while width changed	<b>3300 running meters</b>
----------------------------	----------------------------

### PRODUCER:

Tylex Letovice, a.s.  
 Brněnská 3  
 679 61 Letovice  
 Czech Republic  
 Tel: +420 516 801 466  
 e-mail: [lreruchova@tylex.cz](mailto:lreruchova@tylex.cz)  
[www.tylex.cz](http://www.tylex.cz)

### SELLER:

Sindat spol. s.r.o.  
 Ukrajinská 1488/10  
 101 00 Praha 10  
 Czech Republic  
 Tel: +420 271 016 401  
 e-mail: [novak@sindatsro.cz](mailto:novak@sindatsro.cz)  
[www.sindat.cz](http://www.sindat.cz)



## TECHNICAL DATA SHEET

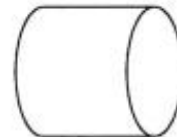
Design No.	<b>D0030_01</b>	
Yarn	<b>100 % PES</b>	
Weight	<b>1000 g/m<sup>2</sup></b>	(±50 g/m <sup>2</sup> )
Width	<b>200 cm</b>	(±3 cm)
Thickness:	<b>20 mm</b>	(± 1 mm)

Tests **Ignitability test (smouldering cigarette and butane gas flame)**

Stretch Compression:  
40%(Stauchhärte) **8,7 kPa**

Make - up

-length	<b>15-20 m</b>
-width	<b>210 cm</b>
-diameter	<b>70 cm</b>
-weight	<b>max. 45 kg</b>



(packed in the roll)

MOQ **280 running meters**

MOQ while width  
changed **3300 running meters**

**PRODUCER:**

Tylex Letovice, a.s.  
Brněnská 3  
679 61 Letovice  
Czech Republic  
Tel:+ 420 516 801 466  
e-mail:lreruchova@tylex.cz  
www.tylex.cz

**SELLER:**

Sindat spol. s.r.o.  
Ukrajinská 1488/10  
101 00 Praha 10  
Czech Republic  
Tel:+420 271 016 401  
e-mail:novak@sindatsro.cz  
www.sindat.cz



## TECHNICAL DATA SHEET

Design	<b>Bikomb C10</b>
Design No.	<b>D0020_01</b>
Yarn	<b>100 % PES</b>
Weight	<b>800g/m<sup>2</sup></b> (±56 g/m <sup>2</sup> )
Width	<b>170 cm</b> (±3 cm)
Distance:	<b>10 mm</b> (± 0,5 mm)
Tests	<b>Öko tex</b> <b>Ignitability test (smouldering cigarette and butane gas flame)</b>
Stretch Compression: 40% (Stauchhärte)	<b>20,7 kPa</b>
Make - up	
-length	<b>15-20 m</b>
-width	<b>180 m</b>
-diameter	<b>50 cm</b>
-weight	<b>max. 32 kg</b>
	(packed in the roll)
MOQ	<b>280 running meters</b>
MOQ while width changed	<b>3300 running meters</b>

**PRODUCER:**

Tylex Letovice, a.s.  
Brněnská 3  
679 61 Letovice  
Czech Republic  
Tel:+ 420 516 801 466  
e-mail:[lreruchova@tylex.cz](mailto:lreruchova@tylex.cz)  
[www.tylex.cz](http://www.tylex.cz)

**SELLER:**

Sindat spol. s.r.o.  
Ukrajinská 1488/10  
101 00 Praha 10  
Czech Republic  
Tel:+420 271 016 401  
e-mail:[novak@sindatsro.cz](mailto:novak@sindatsro.cz)  
[www.sindat.cz](http://www.sindat.cz)



## TECHNICAL DATA SHEET

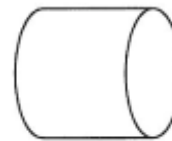
### Design

Design No.	<b>D 0086_01</b>	
Yarn	<b>100 % PES</b>	
Weight	<b>530 g/m<sup>2</sup></b>	(±26 g/m <sup>2</sup> )
Width	<b>280 cm</b>	(±5 cm)
Distance:	<b>10 mm</b>	(± 0,5 mm)

Stretch Compression:  
(Stauchhärte) 40% **10,4 kPa**

### Make - up

-length	<b>15-20 m</b>
-width	<b>280 cm</b>
-diameter	<b>50 cm</b>
-weight	<b>max. 25 kg</b>



(packed in the roll)

MOQ **280 bm**

MOQ while width  
changed **500 bm**

13.2.2014

### PRODUCER:

Tylox Letovice, a.s.  
Brněská 3  
679 61 Letovice  
Czech Republic  
Tel: +420 516 801 466  
e-mail: [lreruchova@tylox.cz](mailto:lreruchova@tylox.cz)  
[www.tylox.cz](http://www.tylox.cz)

### SELLER:

Sindat spol. s.r.o.  
Ukrajinská 1488/10  
101 00 Praha 10  
Czech Republic  
Tel: +420 271 016 401  
e-mail: [novak@sindatsro.cz](mailto:novak@sindatsro.cz)  
[www.sindat.cz](http://www.sindat.cz)



## TECHNICKÁ DATA VZORU

Vzor	<b>D0101_01</b>	
Materiál	<b>100 % PES</b>	
Plošná hmotnost	<b>295</b>	(21± g/m <sup>2</sup> )
Šíře	<b>140 cm</b>	(±5 cm)
Tloušťka:	<b>5 mm</b>	(±0,5 mm)

### Testy:

Odolnost proti stlačení 40% **17** kPa

### Adjustace

-délka	<b>50 m</b>
-šířka	<b>165 cm</b>
-průměr	<b>45 cm</b>
-hmotnost	<b>max 30 kg</b>



(balení role)

Nejmenší výrobní dávka **1000 běžných metrů**

Nejmenší výrobní dávka při změně šíře: **1000 běžných metrů**

16.1.2015

### VÝROBCE:

Tylex Letovice, a.s.  
Brněnská 3  
679 61 Letovice  
Czech Republic  
Tel:+ 420 516 801 466  
e-mail:[lreruchova@tylex.cz](mailto:lreruchova@tylex.cz)  
[www.tylex.cz](http://www.tylex.cz)

### PRODEJCE:

Sindat spol. s.r.o.  
Ukrajinská 1488/10  
101 00 Praha 10  
Czech Republic  
Tel:+420 271 016 401  
e-mail:[novak@sindatsro.cz](mailto:novak@sindatsro.cz)  
[www.sindat.cz](http://www.sindat.cz)





## TECHNICAL DATA SHEET

Design	<b>Stretch 500 MC21</b>	
Design No.	<b>D0030_02</b>	
Yarn	<b>100 % PES</b>	
Weight	<b>774 g/m2</b>	(±39 g/m2)
Width	<b>200 cm</b>	(±3 cm)
Distance:	<b>20 mm</b>	(± 1 mm)

Tests  
**Öko tex**

Stretch  
Compression:40%  
(Stauchhärte) **4,7 kPa**  
Make - up

-length	<b>15-20 m</b>
-width	<b>210 cm</b>
-diameter	<b>70 cm</b>
-weight	<b>max. 36 kg</b>



(packed in the roll)

MOQ **280 running meters**

MOQ while width  
changed **3300 running meters**

**PRODUCER:**

Tylex Letovice, a.s.  
Brněnská 3  
679 61 Letovice  
Czech Republic  
Tel: +420 516 801 466  
e-mail: lreruchova@tylex.cz  
www.tylex.cz

**SELLER:**

Sindat spol. s.r.o.  
Ukrajinská 1488/10  
101 00 Praha 10  
Czech Republic  
Tel: +420 271 016 401  
e-mail: novak@sindatsro.cz  
www.sindat.cz