

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Experimentální analýza ultra-vysokopevnostních betonů
Bc. Michal Radouš

Diplomová práce
2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Bc. Michal Radouš
Osobní číslo: D14463
Studijní program: N3607 Stavební inženýrství
Studijní obor: Dopravní stavitelství
Název tématu: Experimentální analýza ultra-vysokopevnostních betonů
Zadávací katedra: Katedra dopravního stavitelství

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

Požaduje se zpracovat analýza ultra-vysokopevnostních betonů, provést návrh receptur těchto speciálních betonů a následně realizovat vlastní experimentální zkoušky nejenom na zhotovených zkušebních tělesech, ale i na vyrobených zmenšených modelech (např. subtilních desek). Porovnání referenční receptury s recepturou s přidanými ocelovými vlákny. Doporučuje se provést záznam vývinu hydratačního tepla.

Požadované výstupy:

Úvod

1) Teoretická část

Analýza současného stavu poznání v ČR a v zahraničí

Návrh vlastních receptur

2) Experimentální část

Výroba čerstvého betonu

Vyrobění zmenšených modelů subtilních deskových konstrukcí

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

Provedení zkoušek ztvrdlého betonu (krychelná pevnost, pevnost v tahu ohybem, objemová hmotnost, popřípadě stanovení statického modulu pružnosti v tlaku)

Destruktivní zkoušení zhotovených modelů

Vyhodnocení dosažených výsledků

Verifikace a závěr

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

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

AITCIN, Pierre-Claude. Vysokohodnotný beton. 1. české vyd. Praha: ČKAIT, 2005, 320 s. Betonové stavitelství. ISBN 80-867-6939-9

PYTLÍK, Petr. Technologie betonu. 2. vyd. Brno: VUTIUM, 2000, 390 s. ISBN 80-214-1647-5

KRÁTKÝ, Jiří, Karel TRTÍK a Jan VODIČKA. Drátkobetonové konstrukce. 1. vyd. Praha: ČKAIT, 1999. ISBN 80-86364-00-3.

Beton: Technologie, konstrukce, sanace: Materiály a technologie (Vysokohodnotné betony). Praha: Beton TKS, s.r.o., 2011, jedenáctý, 6/2011. ISSN 1213311612.

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

ČSN EN 12 350. Zkoušení čerstvého betonu. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Vladimír Suchánek
Katedra dopravního stavitelství

Datum zadání diplomové práce:

30. listopadu 2014

Termín odevzdání diplomové práce:

22. ledna 2016



doc. Ing. Ivo Drabotský, Ph.D.
děkan

L.S.



doc. Ing. Vladimír Epstejn, CSc.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 1. února 2015

Prohlašuji:

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

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

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

V Pardubicích dne 21. 1. 2016

Bc. Michal Radouš

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval panu Ing. Vladimíru Suchánkovi za ochotu, odborné rady, vstřícný přístup při vedení mé diplomové práce a také za pomoc při shánění materiálu a všech potřebných věcí. Dále bych chtěl poděkovat panu Pavlu Kozlovi ze společnosti BASF s. r. o. za poskytnutí příměsí a přísad do čerstvého betonu. Dále také betonárce M – Silnice a. s. v Novém Bydžově za poskytnutí potřebných zbývajících složek betonu. V neposlední řadě patří můj velký dík mým rodičům za podporu během studia.

Závěrečná práce byla zpracována v souvislosti s řešením vědeckovýzkumného projektu Univerzity Pardubice č. SGSDFJP_2016001

V Pardubicích dne 21. 1. 2016

Bc. Michal Radouš

Anotace

Diplomová práce se zabývá experimentální analýzou vlastností ultra-vysokopevnostních betonů a současným stavem poznání. Experimentální část práce je věnována návrhu betonu, výrobě těles, provedení zkoušek čerstvého betonu a mechanickým vlastnostem betonu. Bylo navrženo a vyrobeno celkem devět různých záměsí, na kterých byla zkoušena pevnost v tlaku. Poté bylo z nejlepší záměsi vyrobeno více těles pro bližší zkoumání. Byly vyrobeny také tenké desky, které byly zkoušeny na průraz. Dále došlo k porovnání pevnosti v tahu ohybem na vybrané záměsi s drátky a absencí drátků. Výsledky zkoušek čerstvého betonu a pevnostních zkoušek jsou vyhodnoceny a porovnávány. Vše je podloženo fotodokumentací.

Klíčová slova

Ultra-vysokopevnostní beton, vlastnosti ultra-vysokopevnostního betonu, návrh složení betonu, zkoušky čerstvého betonu, mechanické vlastnosti betonu

Annotation

The thesis deals with an experimental analysis of the properties of ultra-high strength concrete and the current state of knowledge. The experimental part of the work is devoted to the design of concrete mix, production of specimens for the testing fresh concrete and mechanical properties of concrete. It has been designed and produced in nine different mixtures which have been tested on compressive strength. Then it was made a few specimens from one mixture for further examination. They were also made some thin slabs what were tested for breakdown. There was also a comparison of flexural strength at selected mixures of steel fibres and their absence. Test results of fresh concrete and strength tests are evaluated and compared. Everything is based on photographs.

Keywords

Ultra-high strength concrete, properties of Ultra-high strength concrete, draft of the composition of the concrete mix, test of new concrete, mechanical properties of concrete

Seznam obrázků

Obrázek 1 Porovnání mikrostruktur betonů [1]	17
Obrázek 2 Závislosti pevností v tlaku, v tahu ohybem a konzistence na obsahu vláken [33]..	21
Obrázek 3 Drátky do UHPC [6]	22
Obrázek 4 Makrostruktura běžného betonu a mikrostruktura RPC [7]	23
Obrázek 5 Snížení vzduchových dutin tlakem (vlevo: 1013 kPa, vpravo: 50 kPa) [16]	25
Obrázek 6 Doporučená závislost mezi vodním součinitelem a pevností v tlaku [13]	27
Obrázek 7 Pohled a schematický příčný řez lávky [7]	30
Obrázek 8 Průřez lávky v Soulu [19]	30
Obrázek 9 Pohled na lávku v Soulu [21]	31
Obrázek 10 Schematický podélný a příčný řez [17]	32
Obrázek 11 Tvar žebrové desky [22]	32
Obrázek 12 Průřez předem předpjatého nosníku lávky [31]	33
Obrázek 13 Zábradelní panel u UHPC [32]	33
Obrázek 14 Váha Matest	34
Obrázek 15 Sušička Venticell 111	35
Obrázek 16 Zatěžovací lis pro pevnost v tlaku a pevnost v tahu ohybem	35
Obrázek 17 Použitá míchačka MSH 70 pro výrobu betonu	36
Obrázek 18 Teplotní datalogger	36
Obrázek 19 Sednutí záměsi 1.1	57
Obrázek 20 Sednutí záměsi 1.2	57
Obrázek 21 Sednutí záměsi 1.3	58
Obrázek 22 Sednutí záměsi 2.1	58
Obrázek 23 Sednutí záměsi 2.2	58
Obrázek 24 Sednutí záměsi 2.3	58
Obrázek 25 Sednutí záměsi 3.1	58
Obrázek 26 Sednutí záměsi 3.2	58
Obrázek 27 Rozlití Haegermannova kužele záměsi 3.3	59
Obrázek 28 Hodnoty pevností v tlaku zkušebních záměsí po 3 dnech	66
Obrázek 29 Hodnoty pevností v tlaku zkušebních záměsí po 7 dnech	66
Obrázek 30 Hodnoty pevností v tlaku zkušebních záměsí po 10 dnech	67
Obrázek 31 Hodnoty pevností v tlaku zkušebních záměsí po 28 dnech	67
Obrázek 32 Zkouška sednutím 1. záměsi	72
Obrázek 33 Zkouška sednutím 3. záměsi	72

Obrázek 34 Rozlití Haegermannova kužele 3. záměsi	72
Obrázek 35 Vývoj pevnosti v tlaku finálního betonu	74
Obrázek 36 Zkoušení desek v lapačce	75
Obrázek 37 Spodní pohled na zkoušenou desku	76
Obrázek 38 Graf záznamu teploty v cementovém kamení	77
Obrázek 39 Porušení hranolu bez drátků	82
Obrázek 40 Porušení hranolu s drátky	82
Obrázek 41 Porušení krychlí bez drátků	83
Obrázek 42 Porušení krychlí s drátky	83

Seznam tabulek

Tabulka 1 Pevnosti kameniv dle jeho původu [29]	17
Tabulka 2 Složení jednotlivých betonů [34]	28
Tabulka 3 Mechanické vlastnosti porovnávaných betonů [34]	29
Tabulka 4 Stanovení vlhkosti kameniva	37
Tabulka 5 Stanovení obsahu vzduchu zkušebních záměsí	55
Tabulka 6 Stanovení objemové hmotnosti čerstvého betonu zkušebních záměsí	56
Tabulka 7 Sednutí kužele zkušebních záměsí	56
Tabulka 8 Objemová hmotnost ztvrdlého betonu zkušebních záměsí	59
Tabulka 9 Hodnoty pevností krychlí zkušebních záměsí po 3 dnech	61
Tabulka 10 Hodnoty pevností krychlí zkušebních záměsí po 7 dnech	62
Tabulka 11 Hodnoty pevností krychlí zkušebních záměsí po 10 dnech	63
Tabulka 12 Hodnoty pevností krychlí zkušebních záměsí po 28 dnech	64
Tabulka 13 Hodnoty pevností krychlí zkušebních záměsí po 58 a 62 dnech	65
Tabulka 14 Seznam vyrobených těles	68
Tabulka 15 Složení záměsí	68
Tabulka 16 Postup pracovních úkonů v čase u 1. záměsí	69
Tabulka 17 Postup pracovních úkonů u 2., 3. a 4. záměsí	69
Tabulka 18 Celkové složení záměsí	70
Tabulka 19 Stanovení obsahu vzduchu záměsí	70
Tabulka 20 Stanovení objemové hmotnosti čerstvého betonu	71
Tabulka 21 Zkouška sednutím jednotlivých záměsí	71
Tabulka 22 Rozlítí Haegermannova kužele	71
Tabulka 23 Objemová hmotnost ztvrdlého betonu	73
Tabulka 24 Pevnost v tlaku po 3 dnech	73
Tabulka 25 Pevnost v tlaku po 7 dnech	73
Tabulka 26 Pevnost v tlaku po 10 dnech	73
Tabulka 27 Pevnost v tlaku po 28 dnech	74
Tabulka 28 Hodnoty pevností v tahu ohybem	75
Tabulka 29 Rozměry a síla potřebná pro průraz desek	75
Tabulka 30 Složení záměsí s drátky a bez drátků	78
Tabulka 31 Postup pracovních úkonů záměsí s drátky	78
Tabulka 32 Postup pracovních úkonů záměsí bez drátků	78
Tabulka 33 Stanovení obsahu vzduchu záměsí s drátky a bez drátků	79

Tabulka 34 Stanovení objemové hmotnosti čerstvého betonu	79
Tabulka 35 Rozlití Haegermannova kužele.....	79
Tabulka 36 Objemová hmotnost ztvrdlého betonu záměsi s drátky.....	80
Tabulka 37 Objemová hmotnost ztvrdlého betonu záměsi bez drátků.....	80
Tabulka 38 Hodnoty pevností v tahu ohybem hranolů záměsi s drátky.....	81
Tabulka 39 Hodnoty pevností v tahu ohybem hranolů záměsi bez drátků.....	81
Tabulka 40 Pevnost v tlaku s drátky po 28 dnech	82
Tabulka 41 Pevnost v tlaku bez drátků po 28 dnech	83
Tabulka 42 Finanční porovnání vyrobených betonů	84

Obsah

Úvod.....	15
1. Teoretická část	16
1.1. UHPC betony.....	16
1.2. Mikrostruktura.....	16
1.3. Složení	17
1.3.1. Kamenivo	17
1.3.2. Cement.....	18
1.3.3. Příměsi.....	18
1.3.4. Přísady	20
1.3.5. Ocelová vlákna	20
1.3.6. Polypropylénová vlákna	22
1.4. Reaktivní jemnozrný beton.....	22
1.5. Návrh UHPC betonu.....	23
1.6. Výroba betonu	24
1.7. Zkoušení čerstvého betonu	24
1.7.1. Zkouška obsahu vzduchu	25
1.8. Ukládání betonu.....	25
1.9. Ošetřování betonu.....	26
1.10. Zkoušení ztvrdlého betonu	27
1.10.1. Pevnost v tlaku	27
1.10.2. Pevnost v tahu ohybem.....	28
1.10.3. Modul pružnosti.....	28
1.11. Použití v praxi.....	29
1.11.1. Lávka v Sherbrooku	29
1.11.2. Lávka v Soulu.....	30
1.11.3. Lávka v Čelákovících	31

1.11.4. Benátky nad Jizerou.....	32
1.11.5. Lávka pro pěší přes Opatovický kanál	33
2. Experimentální část.....	34
2.1. Měřicí přístroje	34
2.1.1. Váha Matest.....	34
2.1.2. Sušička.....	35
2.1.3. Zatěžovací lis pro pevnost v tlaku	35
2.1.4. Zatěžovací lis pro pevnost v tahu ohybem	35
2.1.5. Míchačka MSH 70.....	36
2.1.6. Teplotní datalogger.....	36
2.2. Stanovení vlhkosti kameniva.....	36
2.3. Zkušební záměsi	37
2.3.1. Zkušební záměs č. 1.1.....	
2.3.2. Zkušební záměs č. 1.2.....	
2.3.3. Zkušební záměs č. 1.3.....	
2.3.4. Zkušební záměs č. 2.1.....	
2.3.5. Zkušební záměs č. 2.2.....	
2.3.6. Zkušební záměs č. 2.3.....	
2.3.7. Zkušební záměs č. 3.1.....	
2.3.8. Zkušební záměs č. 3.2.....	
2.3.9. Zkušební záměs č. 3.3.....	
2.3.10. Celkové shrnutí zkušebních záměsí.....	
2.4. Zkoušení čerstvého betonu zkušebních záměsí	55
2.4.1. Stanovení obsahu vzduchu	55
2.4.2. Stanovení objemové hmotnosti čerstvého betonu	56
2.4.3. Klasifikace konzistence podle sednutí kužele	56
2.5. Zkoušení ztvrdlého betonu zkušebních záměsí	59

2.5.1.	Objemová hmotnost ztvrdlého betonu.....	59
2.5.2.	Pevnost v tlaku	61
2.6.	Výroba finálních čerstvých betonů.....	68
2.7.	Zkoušky finálního čerstvého betonu.....	70
2.7.1.	Stanovení obsahu vzduchu	70
2.7.2.	Stanovení objemové hmotnosti čerstvého betonu	70
2.7.3.	Zkouška sednutím kužele	71
2.8.	Zkoušení finálního ztvrdlého betonu	72
2.8.1.	Objemová hmotnost ztvrdlého betonu.....	72
2.8.2.	Pevnost v tlaku	73
2.8.3.	Pevnost v tahu ohybem.....	74
2.8.4.	Zkoušení desek na průraz	75
2.9.	Vývin hydratačního tepla finálního betonu	76
2.10.	Porovnání betonů s drátky a bez drátků.....	77
2.11.	Zkoušení čerstvého betonu	79
2.11.1.	Stanovení obsahu vzduchu	79
2.11.2.	Stanovení objemové hmotnosti čerstvého betonu	79
2.12.	Zkoušení ztvrdlého betonu	80
2.12.1.	Objemová hmotnost ztvrdlého betonu.....	80
2.12.2.	Pevnost v tahu ohybem.....	81
2.12.3.	Pevnost v tlaku	82
2.13.	Finanční porovnání vyrobených betonů	84
3.	Závěr	85
3.1.	Čerstvý beton.....	85
3.2.	Ztvrdlý beton	86
3.3.	Použití v praxi.....	87
4.	Seznam použité literatury a internetových zdrojů.....	90

5. Přílohy	94
5.1. Spodní zatěžovací přípravek pro zkoušení desek	94
5.2. Horní zatěžovací přípravek pro zkoušení desek	95
5.3. Technický list Masterfiber 482	96
5.4. Technický list Rheomac SF 120	98
5.5. Technický list Elkem 920 D	99
5.6. Technický list MasterGlenium ACE 430	100
5.7. Prohlášení o vlastnostech mleté granulované vysokopeční strusky	102
5.8. Certifikát k vápenci od firmy Carmeuse s. r. o.	103
5.9. Prohlášení o vlastnostech diabas frakce 0/4	104
5.10. Prohlášení o vlastnostech diabas frakce 4/8	105
5.11. Křivka zrnitosti diabasu frakce 0/4.....	106
5.12. Křivka zrnitosti diabasu frakce 4/8.....	108
5.13. Prohlášení o vlastnostech granit frakce 0/4	110
5.14. Křivka zrnitosti granitu frakce 0/4.....	111

Úvod

Jako téma diplomové práce jsem si zvolil ultra-vysokopevnostní beton. Využití tohoto druhu betonu je u nás zatím pouze omezené. V současnosti je v ČR vyvinut firmou TGB Metrostav s. r. o. V práci jsem se věnoval návrhu betonu a jeho složení. Ultra-vysokopevnostní beton je specifický druh materiálu, a proto k němu bude tak i přistupováno. Některé přístupy, které platí v běžném, popřípadě ve vysokopevnostním betonu, zde platit nemusí. Návrh betonu se bude skládat z několika zkušebních záměsí, ze kterých pak bude vybrána pro další zkoumání ta nejlepší. Zkoušky byly zaměřené nejen na mechanické vlastnosti ztvrdlého betonu, ale také na vlastnosti čerstvého betonu, které jsou u ultra-vysokopevnostních betonů neméně důležitým parametrem. Závěr práce je věnován vyhodnocení dosažených výsledků a také finančnímu porovnání mnou vyrobeného betonu s běžně dostupnými betony. Veškeré vykonané práce byly provedeny ve Výukovém a výzkumném centru v dopravě v Doubravících.

Cíle diplomové práce

Hlavním cílem diplomové práce je navržení UHPC s co nejvyšší pevností v tlaku za použití běžně dostupných vstupních surovin. Dalším z cílů je ověření chování těchto betonů při zkouškách pevnosti v tahu ohybem s použitím rozptýlené výztuže a bez ní. Ze záměsí s nejvyšší hodnotou pevnosti v tlaku dojde k vybetonování tenkých desek na průraz, pro který byl navržen přípravek pro zkoušení v zatěžovacím lisu. Při míchání budou zkoušeny různé technologické způsoby dávkování složek. Za další úkoly také považuji ověření vlivu příměsí na čerstvý i ztvrdlý beton, ověření vlivu superplastifikátoru na vlastnosti čerstvého betonu a v neposlední řadě také ověření možnosti snížení finanční náročnosti UHPC. Pro všechny vyrobené betony budou provedeny zkoušky čerstvého a ztvrdlého betonu.

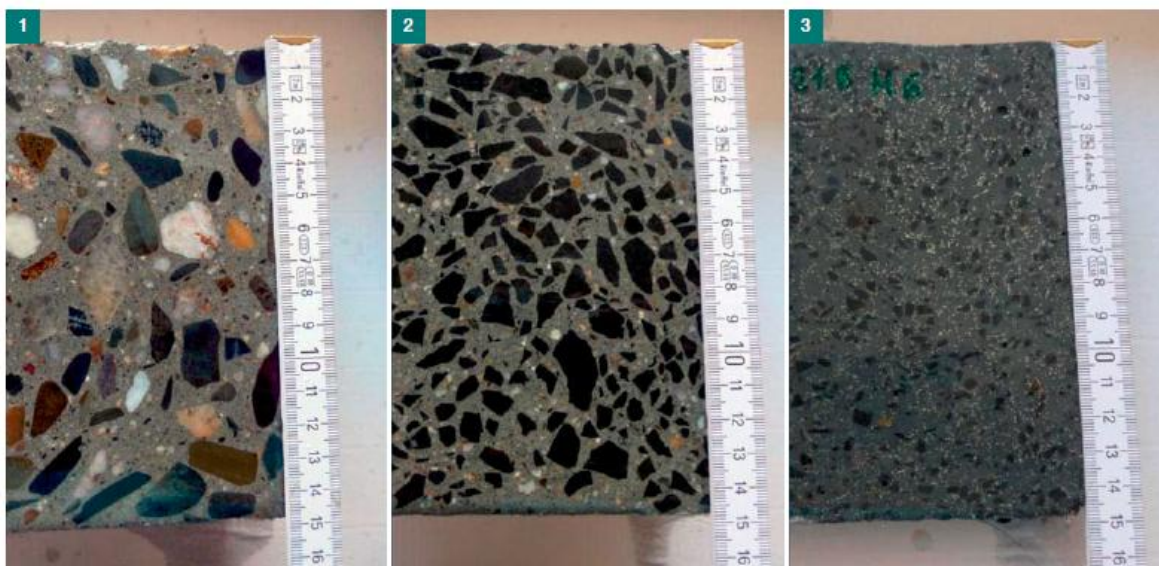
1. Teoretická část

1.1. UHPC betony

UHPC je mezinárodně používaná zkratka pro ultra-vysokohodnotný beton. Ovšem vzhledem k častému použití rozptýlené výztuže se můžeme setkat i s názvem UHPFRC, to znamená ultra-vysokohodnotný vlákny vyztužený beton. Vývoj UHPC byl zahájen asi před 20 lety ve Francii. Od té doby byl zkoumán i aplikován též v USA, Japonsku, Kanadě, Německu a dalších zemích. Přesná specifikace vlastností UHPC není v normě pro výrobu betonu dána. Specifikace vlastností jsou uvedené v různých národních směrnících a dokumentech. UHPC beton je velmi hutný a korozi odolávající beton s válcovou pevností v tlaku nad 150 MPa. U krychlí dosahuje pevnost v tlaku více jak 180 MPa. Pevnost v tahu za ohybu by měla být nad 15 MPa. Díky vysoké pevnosti umožňuje výstavbu úsporných a subtilních konstrukcí, které jsou schopné přenášet vysoké zatížení a jsou velmi odolné. UHPC betony mají obecně výrazně delší životnost než běžné betony i vysokohodnotné betony (zvyšuje se až na 200 let). UHPC má výborné vlastnosti v tlaku, ale zároveň jde o velice křehký materiál. Z těchto důvodů se využívá rozptýlená výztuž, která zlepšuje nejen pevnost v tahu, ale i houževnatost betonu [1,2,3].

1.2. Mikrostruktura

Od běžného betonu se neliší pouze svou pevností a trvanlivostí, ale vyznačuje se velmi hutnou strukturou bez kapilárních pórů. Ta je způsobena velmi nízkým vodním součinitelem a také výrazně větším množstvím jemných částic, které vyplňují mezery mezi zrny větších frakcí. Vzhledem k nízkému vodnímu součiniteli je nutné použití superplastifikátorů na zlepšení zpracovatelnosti betonu. Nízký vodní součinitel má za následek menší množství záměsové vody, což nestačí na zhydratování celého množství cementu. Nezhydratovaný cement působí v betonu jako filler a zvyšuje jeho hutnost. Na obrázku 1 níže můžeme vidět rozdíl mikrostruktur běžného betonu (1), vysokopevnostního betonu (2) a UHPC (3). Pro vyšetřování mikrostruktury se využívá SEM analýzy. Skenovací elektronový mikroskop umožňuje zobrazení povrchu vzorku ve vysokém rozlišení, které převyšuje možnosti optické mikroskopie. [2,3,4,5]



Obrázek 1 Porovnání mikrostruktur betonů [1]

1.3. Složení

1.3.1. Kamenivo

Pro UHPC betony je nutno použít kamenivo o vysoké pevnosti (nad 200 MPa – čedič, žula, bauxit). Kamenivo by mělo mít vhodný tvarový index, nejlépe blízký 1. Nemělo by být použito kamenivo velké frakce (maximálně 8 mm, některé články doporučují maximální velikost frakce 4 mm).

Tabulka 1 Pevnosti kameniv dle jeho původu [29]

hornina	hustota [g/cm ³]	pevnost v tlaku za sucha [MPa]
bazalty	2,95 až 3,15	180 až 380
křemence	2,64 až 2,68	220 až 340
andezity	2,65 až 2,90	120 až 330
diority, gabra	2,85 až 3,10	170 až 300
amfibolity	2,75 až 3,15	150 až 280
granity	2,60 až 2,85	160 až 250
ruly	2,60 až 3,00	120 až 240
pískovce	2,65 až 2,70	60 až 200
vápence, dolomity	2,70 až 2,90	80 až 190
svory	2,70 až 3,00	35 až 110
fylity	2,55 až 3,00	20 až 110
jílovce, slínovce	1,80 až 2,70	20 až 80

1.3.2. Cement

Cement je základní složkou UHPC, která představuje téměř 30 % jeho objemu. Z hlediska reologických vlastností betonu a následných mechanických vlastností vytvrzeného materiálu je velmi důležité učinit správné rozhodnutí ve výběru cementu. Jedním ze základních rysů cementu je obsah C_3A . V případě vysoké koncentrace C_3A můžeme pozorovat významné snížení účinnosti superplastifikátorů. Mnoho různých článků ukazuje, že nejlepší výsledky mohou být získány v případě, že je cement charakterizován následujícím obsahem: $C_3A < 4 \%$, $Na_2O_e < 0,4 \%$ a specifický povrch podle Blaineho by měl být přibližně $3400 \text{ cm}^2/\text{g}$. [7]

O vhodnosti cementu pro UHPC nerozhoduje pouze jeho pevnostní třída. Pevnosti UHPC betonů významně ovlivňuje i vodonáročnost cementu. Není potřeba se omezovat pouze na portlandské cementy. V současnosti jsou v zahraničí vyráběny speciální vysoce účinné cementy. Jedním z příkladů je Nanodur (CEM II/B-S 52,5 R) obsahující též mimořádně jemné ($10 - 100 \mu\text{m}$) syntetické oxidy křemíku, které reagují s hydroxidem vápenatým rychleji než běžný křemičitý úlet. Pro UHPC betony je obvyklé množství cementu nad $800 \text{ kg}/\text{m}^3$. [8, 34, 37, 38, 39]

1.3.3. Příměsi

Používají se jako částečná náhrada cementu nebo pro doplnění jemných podílů v betonu. Důležitost příměsí v průběhu let nabývá stále většího významu. Použití je také výhodné z ekonomického hlediska, kdy alespoň částečná substituce cementu zlevňuje cenu betonů, jelikož cena většiny příměsí je nižší než v případě cementu. Použití příměsí, ať už v UHPC nebo v HPC, je v dnešní době nutností. Přidáváme je do betonu za účelem zlepšení vlastností v čerstvém i zatvrdlém stavu. Jejich zastoupení bývá uvedeno v % z cementu a množství je větší než 5 %. Vyznačují se velikostí částic menších než $0,125 \text{ mm}$ a mají velký měrný povrch vlivem jemného mletí. Podle [25] rozlišujeme dva typy příměsí.

Typ I - inertní příměsi

Příměsí prvního typu používáme pro dosažení hutnější struktury betonu a zvýšení množství jemné cementové malty. Tím přispívají k lepší zpracovatelnosti. Dále je také můžeme použít pro zlepšení reologických vlastností čerstvého betonu. Případně můžeme pomocí těchto příměsí změnit barvu betonu. Příměsí svým chemickým a mineralogickým složením netuhnou a netvrdnou ani za přídavku budiče. Do této skupiny můžeme zařadit kamennou moučku, barevné pigmenty nebo i částečně mikromletý vápenec.

Typ II - aktivní příměsi

Jsou to látky, které svým složením aktivně přispívají k vývinu pevnosti cementového tmele. Dělíme je na latentně hydraulické (jemně mletá struska) a pucolánové látky (popílek, mikrosilika). Pucolánové látky jsou organické látky, které obsahují amorfni SiO_2 , který je schopen reagovat s $\text{Ca}(\text{OH})_2$ za vzniku zhydratované cementové pasty (C-S-H gelu).

Pro výrobu UHPC se používají zpravidla aktivní příměsi. Nejčastějšími zástupci jsou křemičitý úlet, vysokopecní struska a popílek. Obsah příměsí může běžně překračovat i horní mez dávkování, která je 10 % hmotnosti cementu.

Křemičitý úlet

Vzniká jako odpad při výrobě prvkového křemíku nebo slitin obsahujících křemík v elektrické obloukové peci. Při vysokých teplotách dochází k odpařování SiO_2 a jeho následné kondenzaci. Křemičité úlety mají světle až tmavě šedou barvu. Mohou se dodávat v různých formách. Pro UHPC se využívají ve formě jemného prášku. Vyznačují se velkým měrným povrchem 15 000 – 25 000 m^2/kg . Vzhledem ke své jemnosti mohou vyplňovat i mezery mezi zrny cementu a zlepšovat pevnost tranzitních zón na povrchu kameniva. Při jejich použití nedochází u čerstvého betonu k odmísení vody a zlepšuje se čerpatelnost betonu. U zatvrdlého betonu má křemičitý úlet vliv na odolnost proti chemicky agresivnímu prostředí. Dále zlepšuje odolnost proti smršťování a vzniku trhliny.

Granulovaná vysokopecní struska

Struska je latentně hydraulická látka, která vzniká rychlým ochlazením tekoucí taveniny zásadité strusky, která odpadá jako vedlejší produkt při výrobě surového železa ve vysoké peci. Struska má proměnlivé chemické složení se specifickým měrným povrchem podobným cementu (350 – 450 m^2/kg).

Popílek

Vzniká při spalování uhlí, které je mleté na jemný prášek. Popílek je unášen spalinami a separuje se v odlučovačích. Odlučování může probíhat elektrostaticky nebo mechanicky. Elektrostatické odlučovače pracují s účinností 99 %. Mechanické odlučování probíhá na tkaninových filtrech, které jsou ze speciálních vláken. Tato vlákna jsou odolná proti vysokým teplotám.

Popílky mají proměnlivé chemické, mineralogické i granulometrické složení podle druhu spalovaného uhlí, lokality, spalovacího procesu a způsobu odlučování. Popílek z černého uhlí má menší variabilitu a je jako příměs do betonu vhodnější než popílek z hnědého uhlí. Černo-uhelné popílky mají skelné kuličky velikostí podobné zrnům cementu se specifickým povrchem 200 – 600 m²/kg. Naproti tomu hnědouhelné mají nepravidelný tvar zrn. Reaktivnost popílku se projeví po více než 28 dnech. Snižuje cenu betonu a cement může být nahrazen až z 30 %. Používá se také za účelem snížení vývinu hydratačního tepla a pomalého nárůstu pevnosti. [9]

1.3.4. Přísady

Chemické látky, které se přidávají do betonu během jeho míchání, upravují některé z vlastností čerstvého nebo ztvrdlého betonu. Dávkování probíhá v malém množství a obvykle v % hmotnosti cementu.

Druhy přísad:

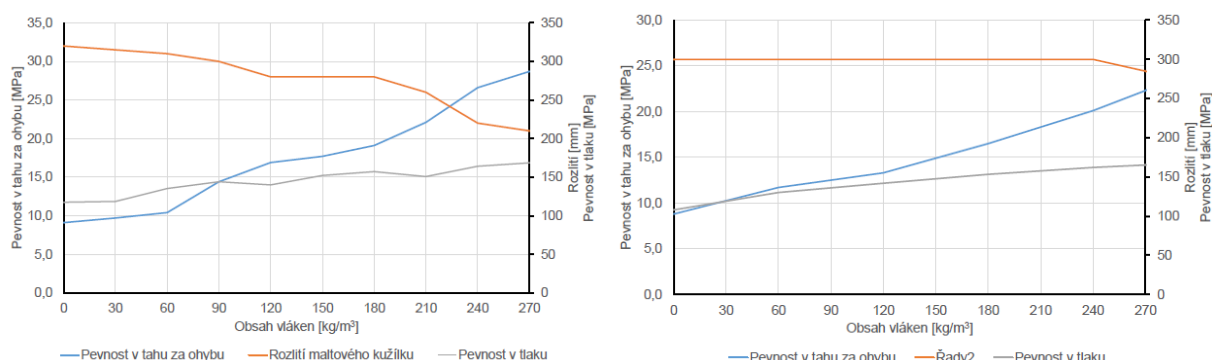
- plastifikátory, superplastifikátory
- zpomalovače tuhnutí, tvrdnutí
- urychlovače tuhnutí, tvrdnutí
- provzdušňující

Pro UHPC betony je nutností používat superplastifikátory na bázi polykarboxylátů na ztekučení čerstvého betonu, které jsou potřebné vzhledem k velmi nízkému vodnímu součiniteli. Další použití přísad se již odvíjí od požadovaných vlastností a nároků na beton.

1.3.5. Ocelová vlákna

Pro dosažení pevnosti v tahu za ohybu alespoň 15 MPa [8] je nevyhnutelné použití drátků, označované jako rozptýlená výztuž. Obvyklé dávkování ocelových drátků bývá minimálně okolo 1 % objemu betonu, což vychází kolem 78,5 kg/m³. Použití drátků může mít nepříznivý vliv na konzistenci betonu. Z tohoto důvodu je vhodné využití jemnějších frakcí kameniva. Velkou nevýhodou je zvětšení finančních nákladů. Na obrázku 3 můžeme vidět nejpoužívanější drátky v ČR Masterfíber 482 od společnosti BASF s. r. o. [10] Kovová vlákna se uplatňují i po vzniku trhliny. V případě vyčerpání tahové únosnosti dojde k vytažení vláken z matrice. [33]

Podle příspěvku ve sborníku [33] můžeme vidět vliv drátků na zpracovatelnost a vlastnosti UHPC. V tomto výzkumu jsou míchány dva UHPC betony, které jsou v základu stejné. Do prvního je přidáváno množství drátků po 30 kg/m^3 až do dávky 270 kg/m^3 . Byl také zkoumán vliv na zpracovatelnost čerstvého betonu, která byla zkoušena Haegermannovým kuželíkem. Do druhého byly přidávány drátky po 60 kg/m^3 do dávky 300 kg/m^3 . V tomto případě byla postupně upravovaná dávka vody, aby zůstala hodnota rozlití Haegermannova kuželíku 300 mm .



Obrázek 2 Závislosti pevností v tlaku, v tahu ohybem a konzistence na obsahu vláken [33]

Obrázek 2 dokládá výsledky výzkumu [33]. Vlevo můžeme vidět postupné klesání rozlití kuželíku a zhoršení zpracovatelnosti betonu. Ukázalo se, že drátky mají vliv i na pevnost v tlaku, avšak její nárůst není tak strmý jako u pevnosti v tahu ohybem. Vpravo je možné vidět téměř identickou zpracovatelnost čerstvého betonu a také nárůst pevnosti v tlaku i tahu ohybem jako u předešlého betonu.

Homogenita rozptýlené výztuže

Při použití drátků je důležité brát v úvahu homogenitu rozptýlené výztuže, která může mít výrazný vliv na výsledné vlastnosti kompozitního materiálu. Homogenitu lze zjišťovat u čerstvého i ztvrdlého betonu. U čerstvého betonu ji můžeme zjišťovat například pomocí přístroje označovaného jako dosometer, který pracuje na principu magnetu. Touto metodou však nedosáhneme rozdělení výztuže po výšce průřezu. U ztvrdlého betonu můžeme použít jak destruktivní, tak i nedestruktivní zkoušky, například ultrazvukový přístroj a magnetické resonance. Destruktivní zkoušení můžeme provádět pomocí sond, které jsou popsány normou ČSN EN 14488-7. Dalším z možných způsobů je využití mikroskopického snímání řezné plochy v oblasti makrotrhliny. Podle příspěvku ve sborníku [11] bylo zjištěno, že homogenita vláken je spolu s homogenitou matrice rozhodujícím faktorem konečné mechanicko-fyzikální vlast-

nosti jemnozrného cementového vláknového materiálu. U obyčejné krychle byl zaznamenán i dvojnásobný rozdíl četnosti mezi vrstvou na povrchu a vrstvou u dna formy. To lze významně ovlivnit návrhem receptury. Naopak vliv míry hutnění nemusí mít zásadní vliv na segregaci vláken. [11,12]



Obrázek 3 Drátky do UHPC [6]

1.3.6. Polypropylénová vlákna

Jsou dalším z možných způsobů rozptýlené výztuže, avšak nemají výraznější vliv na pevnost v tahu ohybem. Používání těchto vláken se uplatňuje především v počátečním období hydratace cementu. Polypropylénová vlákna mají za následek vyloučení smršťovacích trhlin v konstrukci v době před prořezáním dilatačních spár. Velmi příznivě ovlivňují požární odolnost betonových konstrukcí. [10]

1.4. Reaktivní jemnozrný beton

Reaktivní jemnozrný beton (RPC) je beton ultravysokých pevností na bázi jemnozrných složek, u kterého dochází ke zvýšení homogenity materiálů použitím jemnozrných složek o maximální velikosti 300 μm . [13] Tento beton je tvořený cementem, pískem, křemičitým úletem a moučkou, přísadami a vodou. Obsahuje velké množství ocelových nebo organických vláken. Někdy je označován také jako Ductal. Vlastnosti Ductalu jsou unikátní a umožňují projektantům navrhovat inovační mostní konstrukce, které jsou konstrukčně efektivní a zároveň zaručují vynikající odolnost vůči průniku agresivních látek. Pevnost v tlaku u tohoto betonu se pohybuje okolo 200 MPa. Ductal je tepelně upravován, což má pozitivní vliv na mechanické vlastnosti a trvanlivost. Podstatně se tím snižuje dotvarování a zcela vyloučí následné smršťování. Níže na obrázku 4 můžeme vidět srovnání makrostruktury běžného betonu

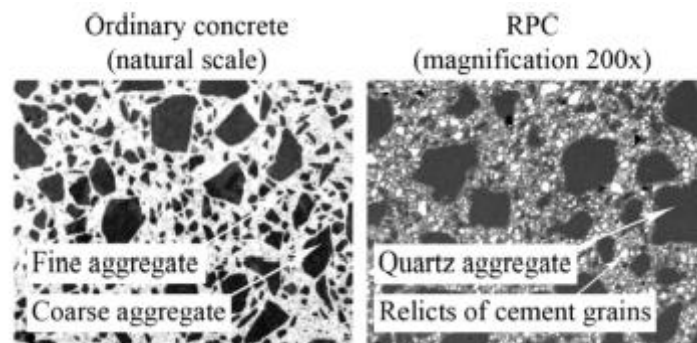
a mikrostruktury materiálu RPC. Velmi vysokých pevností a trvanlivosti dosahujeme u Ductalu následujícími činnostmi:

Minimalizací kompozitní pórovitosti

Minimální pórovitosti můžeme dosáhnout následujícími opatřeními: vhodným rozložením velikosti zrn, snížením spotřeby vody k pojivu použitím superplastifikátorů, aplikací vakuového procesu mícháním nebo tuhnutím pod tlakem.

Modifikace mikrostruktury podle způsobu použití vhodného tepelného ošetření, které přináší zvýšení mechanických vlastností

První z možných způsobů ošetřování je vytvrzování při nízkotlakové páře o 90 °C. Urychluje proces hydratace cementu a zvyšuje pucolánovou aktivitu dalších složek. Zvýšená teplota vede ke zvýšení rozpustnosti SiO₂ bez ohledu na jeho formu (amorfní - křemičitého úletu nebo krystalického - mletého křemene). Vzestup teploty během hydratace cementu je výhodný z hlediska snížení smršťování, a to zejména v případě, že obsahuje obrovské množství pojiva. Druhý typ tepelného zpracování, který se aplikuje na RPC materiály, je autoklávovací proces, který je často prováděn při teplotách 250 °C. Tyto podmínky způsobují vznik krystalických forem hydratovaných křemičitanů vápenatých. Krystalizace hydrátů křemičitanu vápenatého ve volných prostorech materiálu (póry a mikrotrhliny) snižují poréznost, a tím zlepšují jeho strukturu [7,13,14].



Obrázek 4 Makrostruktura běžného betonu a mikrostruktura RPC [7]

1.5. Návrh UHPC betonu

V zásadě existují dva přístupy k aplikacím UHPC. První přístup využívá konvenčně prodáváný produkt Ductal, vyráběný firmou Lafarge. Druhý přístup spočívá v návrhu složení UHPC z lokálních surovin. Při druhém postupu musíme brát v úvahu pečlivý výběr vstupních surovin, protože tento beton je velice citlivý na vlastnosti jednotlivých složek, a výrobní postup

při míchání. UHPC, vyvinutý v ČR společností TBG Metrostav s. r. o., je určen jak pro monolitické, tak i prefabrikované konstrukce. Tento beton byl použit v roce 2013 na výstavbu lávky přes Labe v Čelákovících. UHPC vyvinula také společnost Skanska a. s. a úspěšně ho použila na ztracené bednění při rekonstrukci mostu v Benátkách nad Jizerou. [5]

1.6. Výroba betonu

Při míchání UHPFRC je velmi důležité dosažení dobré zpracovatelnosti, distribuce částic a hustoty. Ve srovnání s betonem normální pevnosti obsahuje UHPFRC více složek a má větší podíl jemných částic. Některé výzkumy doporučují smíchat všechny jemné části před přidáním vody a superplastifikátoru, protože malé částice mají tendenci ke shlukování a je snazší rozrušit tyto shluky, dokud jsou částice suché. [15]

Například podle příspěvku ve sborníku [15] probíhalo míchání následovně:

0:00 kamenivo (jemný písek) a mikrosilika

5:00 cement a sklený prach

10:00 voda a superplastifikátor, který byl dávkován postupně spolu s vodou

Čerstvý beton nabyl plné zpracovatelnosti po dalších pěti minutách. Rovná ocelová vlákna byla v případě UHPFRC přidávána do tekutého čerstvého betonu postupně během posledních pěti minut míchání, aby byl minimalizován i vznik jejich shluků. Vlákna pomohla rozbít všechny shluky částic, a tím zlepšit zpracovatelnost.

1.7. Zkoušení čerstvého betonu

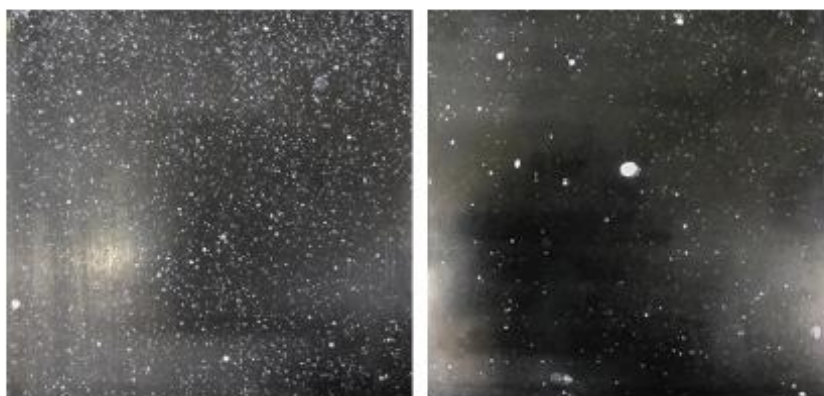
Vlastnosti čerstvého UHPC se kontrolují ihned po jeho vyrobení, a to z důvodu zpracovatelnosti. Dalším důvodem je, že při kontrole jeho vlastností můžeme odhalit jeho případné nedostatky, které by mohly mít vliv na jeho výslednou pevnost. Vzhledem k tomu, že se tento beton ve většině případů vyrábí jako samozhutnitelný, používáme tedy pro zkoušky čerstvého betonu zkoušky aplikované na SCC betony. Je důležité provádět především zkoušku obsahu vzduchu, jelikož tato hodnota má výrazný vliv na jeho výsledné mechanické vlastnosti. Další neméně důležitou zkouškou je zkouška, které nám zajistí vhodnou zpracovatelnost betonu. Pro UHPC ve samozhutnitelné formě můžeme využít zkoušku sednutí-rozlítím pro SCC. [35]

1.7.1. Zkouška obsahu vzduchu

Vyšší obsah vzduchu má vliv na větší odolnost proti namrzání, ale zároveň s rostoucím obsahem vzduchu klesá pevnost betonu. Zkouška je prováděna dle ČSN EN 12 350 – 7 – Zkoušení čerstvého betonu – Část 7: Obsah vzduchu – Tlakové metody.

V UHPC je v mnohých případech vysoký obsah vzduchu. To je dáno méně zpracovatelným čerstvým betonem, který uzavírá zachycený vzduch, jenž nemůže uniknout z betonu pod jeho vlastní tíhou v důsledku poměrně velké viskozity.

Článek v časopise [16] dokládá, že v konečné fázi míchání bylo použito tzv. vakuového míchání. Vakuové míchání může vést k velmi nízkému obsahu vzduchu, který zlepšuje mechanické vlastnosti UHPC. V tomto výzkumu byl tlak vzduchu snížen z atmosférického tlaku 1013 kPa na plné vakuum 50 kPa. Tento tlak se udržuje v průběhu 270 vteřin posledního procesu míchání. Ve všech vyrobených betonech bylo zaznamenáno snížení obsahu vzduchu. Nejvýraznější snížení vzduchu proběhlo ze 4 % na 0,5 %.



Obrázek 5 Snížení vzduchových dutin tlakem (vlevo: 1013 kPa, vpravo: 50 kPa) [16]

1.8. Ukládání betonu

UHPC je používán převážně na prefabrikované konstrukce, proto jeho ukládání probíhá ihned po namíchání. Lze však navrhnout i beton se zpracovatelností 90 minut. Beton je navrhován ve samozhutnitelné podobě, proto není třeba žádného hutnění.

Jako příklad můžeme uvést výstavbu lávky u Čelákovic. Výroba betonu probíhala v betonárně v Praze - Troji a následně byl dopravován jako transportbeton do výroby prefabrikovaných segmentů v Brandýse nad Labem. [1]

1.9. Ošetřování betonu

Ošetřování betonu provádíme z hlediska zajištění požadovaných parametrů ztvrdlého betonu, jako jsou pevnost a trvanlivost. Mělo by nastat co nejdříve po uložení betonu do forem. Ošetřováním zajišťujeme hydrataci betonu na jeho povrchu. Pokud se nebudeme provádět ošetřování, bude to mít nepříznivý vliv na pevnost, smršťování a vznikající deformace, které mají za následek snížení trvanlivosti betonu.

Rozdělení smrštění betonu dle typu

- Plastické (odpařování vody z povrchu čerstvého betonu)
- Autogenní (důsledek hydratace cementu)
- Odpařování (odpařování záměsové vody ze zatvrdlého betonu)
- Termální (pokles teploty betonu)
- Vlivem karbonatace

Rovnice celkového smrštění:

$$\epsilon_{tot} = \epsilon_{teplotní} + \epsilon_{autogenní} + \epsilon_{odpařování}$$

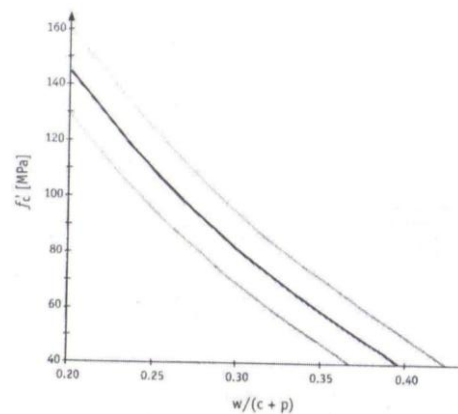
Teplotní smrštění je kladné, pokud je beton ochlazován, a naopak záporné při růstu teploty. Autogennímu smrštění, které vzniká důsledkem hydratace, můžeme zabránit, pokud bude beton zrán pod vodou. Smrštění odpařováním se většinou brání nepropustnými filmy, které nanese na beton, aby z něho nemohly unikát molekuly vody. Samozřejmě v praxi je nemožné, aby beton zrál pod vodou, takže probíhá pouze kropení vodou. Ošetřování by mělo začít ihned po hydratování cementu a mělo by ho celou dobu doprovázet. Pokud není znám celý průběh hydratace, je lepší beton déle ošetřovat. U UHPC je nejpodstatnější autogenní smrštění v důsledku nižšího vodního součinitele. Není zde tak hrubý kapilární systém jako je tomu u běžného betonu s vysokým vodním součinitelem. Závěrem je možné říci, že čím delší a lepší ošetřování bude, tím menší budou následky z důvodu smrštění. [13]

Ošetřování může probíhat různými způsoby, jak už bylo naznačeno v RPC betonech. V příspěvku ve sborníku [18] můžeme vidět vliv proteplování betonu na jeho mechanické vlastnosti (pevnost v tlaku, pevnost v tlaku ohybem). Vyrobené vzorky byly vyndány z forem po 32 hodinách. Jejich následné ošetřování probíhalo u každého jiným způsobem. Jako referenční beton byl použit ten první, který se hned po vyjmutí z forem uložil do vodní lázně. Proteplení zkušebních těles bylo realizováno ve vodní lázni, a to tak, že tělesa byla vždy vložena do vody o teplotě 20 °C, která byla na teplotu 50 °C, resp. 70 °C ohřáta za 60 min, resp.

90 min. Po ukončení proteplení byla zkušební tělesa ponechána ve vodě o dané teplotě (50 °C, resp. 70 °C) k postupnému vychladnutí na teplotu cca 20 °C (doba chladnutí cca 6 hod.). Největší nárůst pevnosti v tlaku byl zaznamenán u betonu s následujícím způsobem ošetřování: 16hod. vodní uložení, 24hod. proteplení při 70 °C a poté vodní uložení. Tento nárůst znamenal zvýšení pevnosti v tlaku o 10 % oproti referenčnímu betonu. Pro pevnost v tahu ohybem vyšlo nejlépe následující ošetřování: 48hod. proteplení při 70 °C a následné vodní uložení. Nárůst 10 % byl také zaznamenán u pevnosti v tahu ohybem.

1.10. Zkoušení ztvrdlého betonu

Pro zkoušení UHPC používáme zkoušky již dříve aplikované na běžný beton, ovšem jsou zde i výjimky. Zkoušky, jakými jsou pevnost v tlaku, pevnost v tahu ohybem, modul pružnosti, pevnost v příčném tahu, jsou aplikovány na UHPC. Jelikož UHPC vykazuje velmi vysokou odolnost proti vlivu prostředí a značnou trvanlivost, zkoušíme tyto betony také na odolnost proti CHRL a hloubku průsaku vody. Pozor si musíme dát při zkoušení pevností, a to především z pohledu maximálního zatížení, jaké může lis vyvinout. Dále se provádějí zkoušky smrštění, dotvarování. Vzhledem k vysokým dávkám cementu v UHPC je nejvýznamnější autogenní smrštění, které vzniká v důsledku hydratace cementu.



Obrázek 6 Doporučená závislost mezi vodním součinitelem a pevností v tlaku [13]

1.10.1. Pevnost v tlaku

Pevnost v tlaku můžeme zkoušet na různých tělesech. V úvodu byly definovány požadované pevnosti na válcích a krychlích. Vzhledem k těmto vysokým pevnostem musíme dbát zvýšené opatrnosti s ohledem na vhodnost použitého zkušebního lisu. Můžeme se však také setkat s různými úpravami těles, jako například v příspěvku ve sborníku [18], kde byly vyráběny trámce o rozměrech 40 x 40 x 160 mm. Na nich byla zkoušena pevnost v tahu ohybem a poté na úlomcích provedena pevnost v tlaku.

1.10.2. Pevnost v tahu ohybem

Může být využíván trojbodový nebo čtyřbodový ohyb. UHPC vykazuje vysoké pevnosti v tahu ohybem oproti běžnému betonu. Jak bylo uvedeno v úvodu, tento beton musí mít pevnosti v tahu ohybem minimálně 15 MPa. Pevnost je ovlivněna především rozptýlenou výztuží, která se v betonu nachází. Je nutné zajistit homogenitu výztuže po výšce průřezu.

1.10.3. Modul pružnosti

Stanovení modulu pružnosti probíhá podle ČSN EN 12390-13: Stanovení sečnového modulu pružnosti v tlaku. Modul pružnosti betonu E vyjadřuje závislost mezi přetvořením ε a napětím σ ztvrdlého betonu. Na betonu s vyšším modulem pružnosti se při stejném zatížení projeví menší deformace. UHPC má modul pružnosti přibližně 45 GPa.

V příspěvku ve sborníku [34] můžeme vidět porovnání různých typů betonů. Pro účely srovnání byly vyrobeny celkem 4 různé betony. První dva typy referenčních betonů byly navrženy jako běžný beton (NSC) a drátkobeton (FRC). Další beton byl vysokohodnotný (HPC) a nakonec byl navržen ultra-vysokopevnostní beton označován jako UHPFRC. V tabulce 2 níže můžeme vidět složení jednotlivých betonů.

Tabulka 2 Složení jednotlivých betonů [34]

Složky	NSC	FRC	HPC	UHPFRC
Cement CEM I 42,5 R	320	370	----	----
Cement CEM I 52,5 R	----	----	800	800
Voda	155	175	176	176
Plastifikátor	1,45	3,5	----	----
Superplastifikátor	----	----	40	40
Kamenivo 0/4 mm	850	1 130	----	----
Kamenivo 4/8 mm	800	750	----	----
Jemný písek 0,1/0,6 mm	----	----	336	336
Jemný písek 0,3/0,8 mm	----	----	800	640
Mikrosilika	----	----	200	200
Skelný prášek	----	----	200	200
Drátky (13 x 0,15 mm)	----	----	----	160
Drátky (32 x 0,55 mm)	----	50	----	----

Postup míchání byl následující. Nejdříve byl vložen do míchačky písek a křemičitý úlet. Následně po 5 minutách byl přidán cement a skelný prášek a po další 5 minutách byla přidána voda se superplastifikátorem. Drátky byly vloženy do míchačky po 15 minutách od začátku míchání a po 20 minutách bylo míchání ukončeno. HPC beton se míchal tedy pouze jen 15 minut, jelikož neobsahoval drátky.

V tabulce 3 můžeme vidět výsledky zkoumání takto vyrobených betonů. Zajímavostí je, že pevnost v tahu ohybem byla pro UHPFRC více než 2x větší než u HPC bez rozptýlené výztuže. Pevnost v tlaku a sečný modul pružnosti byly měřeny na válci o průměru 100 mm a výšce 200 mm. Pevnost v tahu ohybem byla zkoušena tříbodovým zatížením na hranolech o rozměrech 100 x 100 x 400 mm. Pro zkoušku pevnosti v přímém tahu měla střední část průřez 30 x 30 x 80 mm. Nakonec byla zkoušena lomová energie, která byla zkoušena tříbodově na hranolech 100 x 100 x 400 mm. Uprostřed hranolů byl udělán zářez o výšce 30 mm a šířce 5 mm.

Tabulka 3 Mechanické vlastnosti porovnávaných betonů [34]

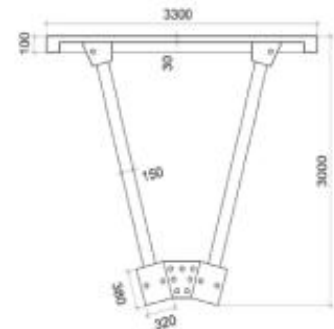
Vlastnost	NSC	FRC	HPC	UHPFRC
Pevnost v tlaku [MPa]	42,8	37,4	132,4	151,7
Sečný modul pružnosti [GPa]	35,5	29,8	41,1	47,5
Pevnost v tahu ohybem [MPa]	6,2	7,1	13,9	29,7
Průhyb při zatížení [mm]	0,16	0,29	0,31	1,36
Pevnost v přímém tahu [MPa]	----	----	6,6	10,3
Lomová energie [J/m ²]	165	3 955	347	19 847

1.11. Použití v praxi

1.11.1. Lávka v Sherbrooku

Lávka v Sherbrooku je první stavba, která byla postavena s využitím RPC technologie. Lávka se nachází v Kanadě a byla postavena v roce 1997. Konstrukce má rozpětí 60 metrů a je široká 3,3 metrů o výšce průřezu 3 metry. Skládá se z šesti prefabrikovaných segmentů o délce 10 metrů spojených 12 předpínacími kabely. Jak můžeme vidět na obrázku 7, horní deska má tloušťku 30 mm. V příčném směru je deska ztužena dodatečně předpínanými žebry o tloušťce 70 mm. Dva hlavní nosníky jsou vyrobeny z RPC materiálu. Materiál byl podroben ošetřování nízkotlakovému propařování po dobu 48 hodin při 90 °C. Tímto postupem bylo dosaženo pevnosti v tlaku 200 MPa a v tahu za ohybu 25 MPa. Diagonály jsou rovněž vyrobené z RPC, který tvoří výplň ocelových trubek o průměru 150 mm a o tloušťce stěny 2 mm, což zlepšuje

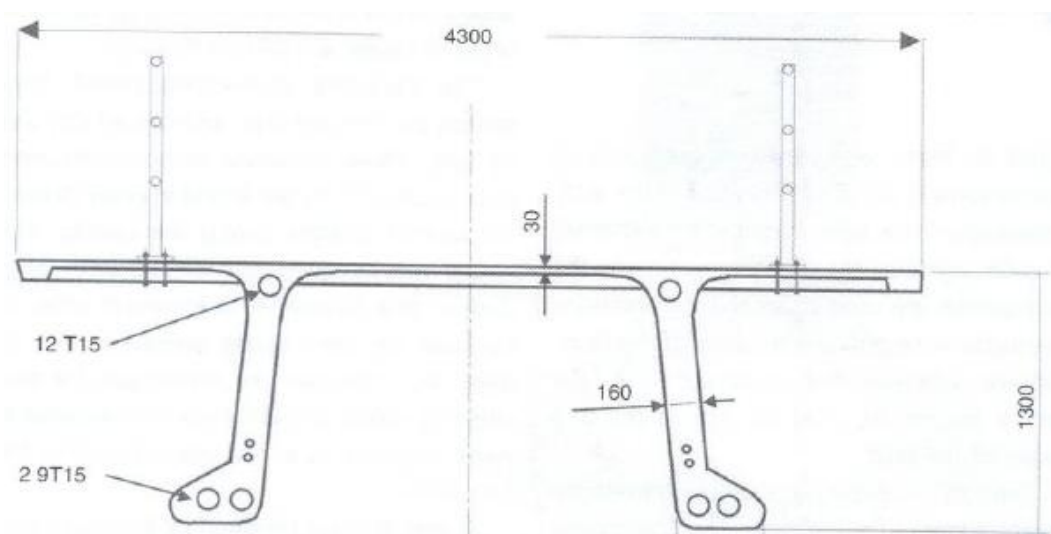
duktilitu diagonál, a proto u nich předpokládáme pevnost v tlaku 300 MPa. Celková hmotnost konstrukce je okolo 50 tun. [7,16]



Obrázek 7 Pohled a schematický příčný řez lávky [7]

1.11.2. Lávka v Soulu

Lávka v Soulu spojuje ostrov Sunyudo na řece Han s hlavním městem. Lávka má dva ocelové přístupy, mezi kterými se uprostřed nachází oblouk ze samohutnitelného Ductalu. Rozpětí oblouku je 120 metrů a je široký 4,3 metrů. Střední část oblouku v délce 60 metrů je aktivně využívaná chodci. Ductal použitý na výstavbu oblouku má pevnost v tlaku 200 MPa. Konstrukce se skládá z tenké 30 mm desky, která je podporovaná příčnými žebry ve vzdálenosti 1,225 metrů. Žebrová deska je uložena ve dvou 160 mm silných a předepjatých podélných výtuh. Oblouk je zkonstruován z 6 dodatečně předepnutých segmentů. Segmenty o délce 20 - 22 metrů jsou zakřivené. Sklony na koncích mají větší než 8 %. Nejprve došlo k vytvrzování segmentu při teplotě 35 °C po dobu 48 hodin a následně k dalšímu ošetřování v podobě propařování v tepelné komoře při 90 °C po dalších 48 hodin. [19]



Obrázek 8 Průřez lávky v Soulu [19]

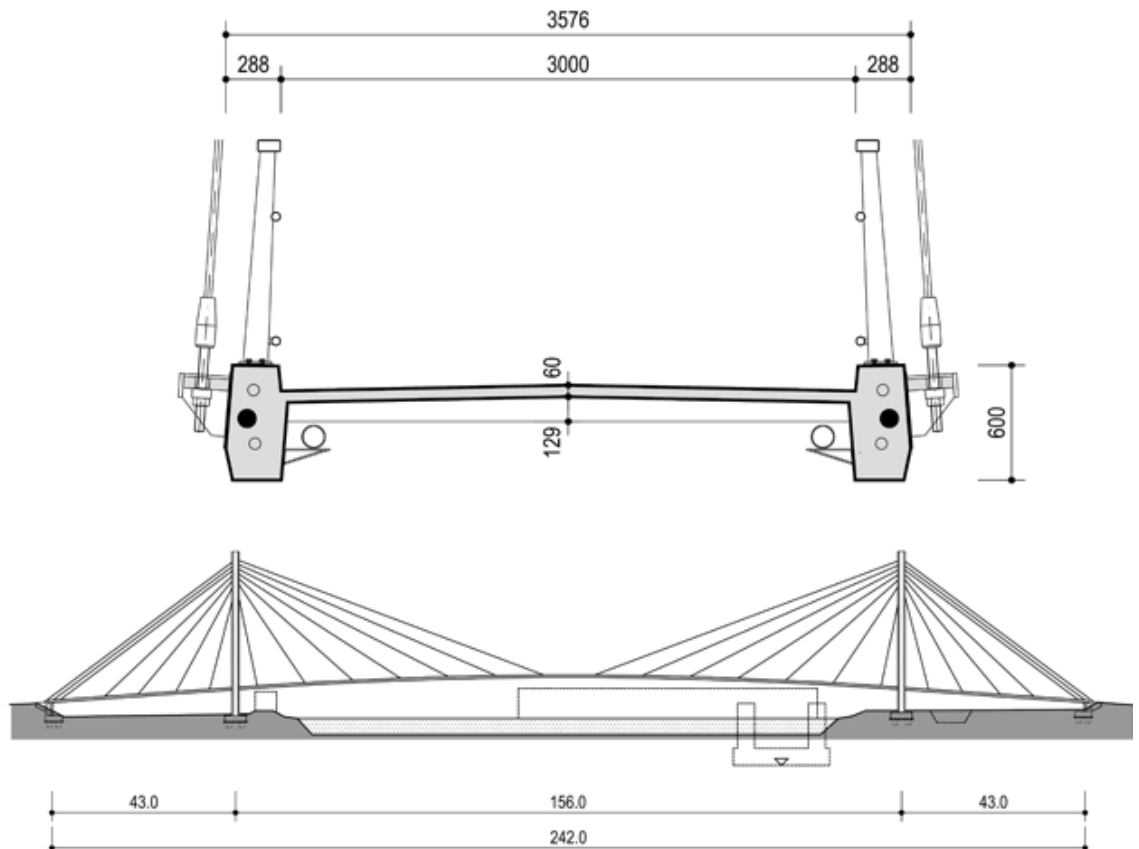


Obrázek 9 Pohled na lávku v Soulu [21]

1.11.3. Lávka v Čelákovcích

Jde o první využití UHPC na území České republiky, i když byl beton zařazen do pevnostní třídy C 110/130. Jedná se o zavěšenou konstrukci o třech polích. Hlavní pole, které překračuje řeku, má délku 156 metrů, krajní pole měří 43 metrů. Mostovka má šířku 3 metry a umožňuje případný přejezd užitkového vozidla do 3,5 tun. Mostovka je vyrobena z prefabrikovaných segmentů UHPC o délce 11,3 metru, které jsou zavěšeny na ocelových pylonech. Tloušťka desky mostovky je 60 milimetrů a je vyztužena příčně i podélně. Podélné vyztužení je ze dvou krajních trámů s konstrukční betonářskou výztuží a ty jsou podélně předepnuté dvěma tyčemi a patnáctilánovým kabelem.

Míchání betonu probíhalo v betonárně v Praze - Tróji. Míchací proces jedné záměsi o velikosti 1 m³ trval 12 minut. K výrobě jednoho prefabrikátu bylo potřeba 4 m³ betonu. UHPC byl vyráběn ve samozhutnitelné konzistenci. Po naplnění formy se beton ohříval na teplotu 60 °C, aby se dosáhlo urychlení tvrdnutí a umožnilo se tím odbednění už po 7 až 8 hodinách. Dále byl beton ošetřován klasickým způsobem. Došlo k přikrytí segmentů geotextílií a vlhčení po dobu dalších 24 hodin. [1,20]



Obrázek 10 Schematický podélný a příčný řez [17]

1.11.4. Benátky nad Jizerou

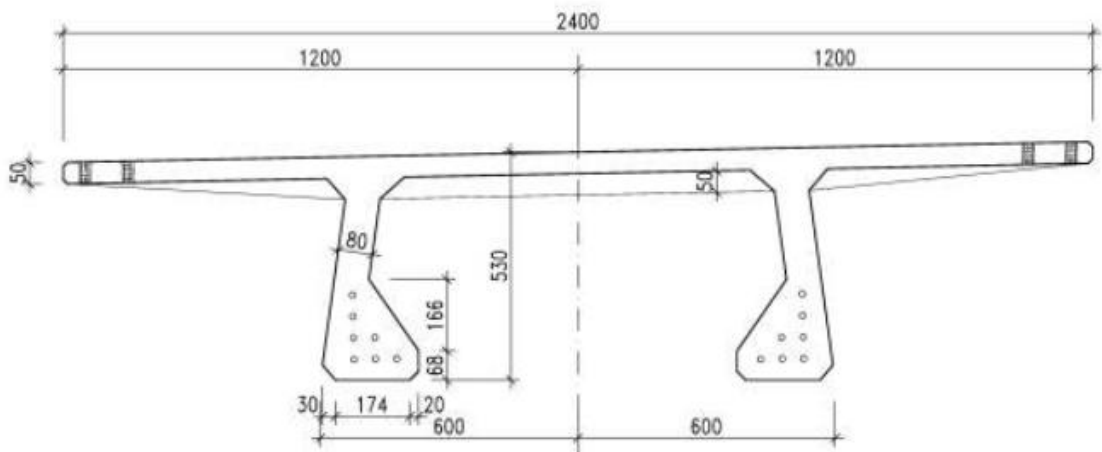
Rekonstrukce mostu evidenčního čísla 272-008 na silnici II. třídy v Benátkách nad Jizerou je dalším příkladem použití UHPC v ČR. Jedná se o desky ztraceného bednění, které nahradily lešení pod mostovkou rekonstruovaného mostu a ušetřily spoustu pomocného materiálu. Desky mají žebra uprostřed i po obvodu. Půdorysný rozměr desky je 1 x 1,6 metrů. Tloušťka desky je 20 mm a výška desky včetně žebra je 60 mm. Během sériové výroby desek byly odebírány vzorky betonu a provedeny průkazní zkoušky betonu. Průměrná válcová pevnost v tlaku byla 120 MPa. Desky vykazovaly také vysokou odolnost proti CHRL a hloubce průsaku tlakovou vodou. Naměřený odpad při zkoušení metodou C po 125 cyklech byl 18 g/mm^2 a hloubka průsaku činila 0,5 mm. [22]



Obrázek 11 Tvar žebrové desky [22]

1.11.5. Lávka pro pěší přes Opatovický kanál

Jedná se o lávku z UHPC navrženou firmou Pontex s. r. o. Konstrukce má tvar dvojitého "T" z předem předpjatého betonu C 110/130 XF4. Původní návrh obsahoval monolitickou jedno-trámovou konstrukci s konzolami o rozpětí 15,3 m z betonu C35/45 - XC4, XF3. Byla navržena jako dodatečně přepjatá. Nový návrh lávky z UHPC vyžaduje o 2/3 méně objemu betonu. Konstrukce je předepnuta 14 lany o průměru 15,7 mm. Tloušťka konzol je 50 mm a žeber 80 mm. Z důvodu zachování tuhosti konstrukce je horní deska vždy po 1 m vyztužena žebry výšky 50 mm s postupným zmenšováním výšky ke kraji konzol. Prefabrikovaná lávka má jednostranný sklon, a proto byla při výrobě betonována v pootočené formě. Beton byl navržen jako samozhutnitelný. Ukládání tedy probíhalo kontinuálně bez hutnění a povrch byl zarovnan latí. Poté došlo k postříku prostředkem proti odpařování vody a hlazení ocelovým hladítkem, dokud se na povrchu nepřestaly vytvářet vzduchové bubliny. Laboratorní zkoušky byly provedeny na různých tělesech. Byly vyrobeny a odzkoušeny trávce o velikosti 40 x 40 x 160 mm, 100 x 100 x 400 mm a krychle o velikosti hrany 100 a 150 mm. [31]



Obrázek 12 Průřez předem předpjatého nosníku lávky [31]

Pro tuto konstrukci vznikla nová výplň zábradlí. Zábradelní panel, který lze vidět na obrázku 13, je tvořen z UHPC jako nosná konstrukce lávky. Žebra jsou vyztužena výztužnými sítěmi. Zábradelní panel je opatřen upínacími otvory, což umožňuje snadné uchycení do ocelového rámu pomocí šroubů. Panel je probarven anorganickými pigmenty. [32]



Obrázek 13 Zábradelní panel u UHPC [32]

2. Experimentální část

Na výrobu betonu bylo použito přírodní drcené diabasové kamenivo frakcí 0/4, 4/8, které bylo dovezeno z lomu Chrtníky od společnosti Eurovia CS, a. s. V příloze jsou zveřejněny technické listy ke kamenivu a prohlášení o shodě. Na základě toho byly použity hodnoty pro toto kamenivo. Diabas (někdy nazýván jako dolerit nebo mikrogabro) je obvykle žilná vyvřelá hornina bazaltického složení. [30] Diabas byl vybrán pro předpokládanou vysokou pevnost v tlaku a také pro svoji výraznou objemovou hmotnost, která by mohla pomoci betonu v dosažení hutné struktury.

Vzhledem k dostupnosti byl pro zkušební záměsi použit jako pojivo portlandský cement CEM I 42,5 R, který zaručuje rychlost počátečního tvrdnutí. Následně bude pro nejlepší záměs tento cement nahrazen portlandským cementem CEM I 52,5 R, který dosahuje větších pevností. Technické listy od jednotlivých cementů můžeme nalézt v přílohách.

Jako příměsi bylo postupně využito granulované vysokopeční strusky, mikrosiliky a vápence. Granulovaná vysokopeční struska byla použita od firmy Cemex s. r. o. Nejdříve byla použita mikrosilika Rheomac SF 120, ovšem vzhledem k menším dostupným možnostem došlo poté k záměně za Elkem 920 - D. Obě tyto mikrosiliky pocházejí od firmy BASF s. r. o. Použitý vápenc byl od výrobce Carneuse s. r. o.

Jedinou použitou přísadou byl superplastifikátor přidávaný do betonu pro ztekucení čerstvého betonu a zajištění dobré zpracovatelnosti z důvodu velmi nízkého vodního součinitele. Použitý superplastifikátor byl Glenuim ACE 430 od firmy BASF s. r. o. na doporučení pana Pavla Kozla, jednoho z oblastních ředitelů přísad do betonu této firmy.

Dalším a posledním použitým materiálem pro výrobu UHPC byly drátky Masterfiber 482 od firmy BASF s. r. o., jejichž technický list je uveden v příloze.

2.1. Měřicí přístroje

2.1.1. Váha Matest

Na vážení těles byla použita váha Matest. Může vážit hmotnost tělesa položeného na horní desce nebo tělesa ponořeného ve vodě na spodním úchyty. Váží s přesností na celé gramy.



Obrázek 14 Váha Matest

2.1.2. Sušička

Pro zkoušku stanovení vlhkosti v sušičce bylo použito zařízení typu Venticell 111 od firmy Brněnská Medicínská Technika a. s. Toto zařízení může pracovat v maximální teplotě 250 °C, ale pro zkoušku stanovení vlhkosti je potřeba pouze teplota dosahující 110 °C s dovolenou odchylkou +/- 5 °C.



Obrázek 15 Sušička Venticell 111

2.1.3. Zatěžovací lis pro pevnost v tlaku

Pro pevnost v tlaku na zkušebních krychlich byl použit zatěžovací lis s řídicí jednotkou Servotronic od firmy Matest. Toto zařízení je schopno vyvolat maximální zatěžovací sílu 3 000 kN a zkušební krychle se do něho umísťuje kolmo na směr ukládání.

2.1.4. Zatěžovací lis pro pevnost v tahu ohybem

Při zjišťování pevnosti v tahu ohybem na zkušebních hranolech byl použit také přístroj s řídicí jednotkou Servotronic od firmy Matest. Maximální zatěžovací síla pro tento lis je 150 kN a zkušební hranoly se umísťují kolmo na směr ukládání jako v případě zkušebních krychlí.



Obrázek 16 Zatěžovací lis pro pevnost v tlaku a pevnost v tahu ohybem

2.1.5. Míchačka MSH 70

Na míchání čerstvého betonu byla využita míchačka MSH 70 s nuceným oběhem zapůjčená z laboratoře Cemex s. r. o.



Obrázek 17 Použitá míchačka MSH 70 pro výrobu betonu

2.1.6. Teplotní datalogger

Na obrázku 18 vpravo je zobrazen teplotní datalogger pro záznam vývinu hydratačního tepla. Tento přístroj umožňuje připojení až čtyř kanálů. Záznam teplot je ukládán na paměťovou kartu. Přístroj je napájen pomocí baterií.



Obrázek 18 Teplotní datalogger

2.2. Stanovení vlhkosti kameniva

Stanovení vlhkosti kameniva probíhalo v sušárně v laboratoři VVCD. Byla zjištěna vlhkost kameniva pro případnou redukci vody nebo doplnění vody pro potřebu nasákavosti kameniva. Sušení probíhá podle technické normy [23] do ustálené hmotnosti naváženého kameniva. Plně

vysušené kamenivo je takové, u kterého se nemění hmotnost navážky po jedné hodině v sušičce o více jak 0,1 %.

m_1 = hmotnost kameniva připravené k sušení [kg]

m_2 = hmotnost vysušeného kameniva [kg]

w = vlhkost [%]

$$w = \frac{(m_1 - m_2)}{m_2} * 100$$

Tabulka 4 Stanovení vlhkosti kameniva

	m_1 [kg]	m_2 [kg]	w [%]
Diabas 0/4 mm	4,40 kg	4,40 kg	0
Diabas 4/8 mm	4,14 kg	4,14 kg	0

Bylo dokázáno, že kamenivo je plně vysušené. Z toho důvodu došlo ke korekci vody vstupující do záměsi.

2.3. Zkušební záměsi

2.4. Zkoušení čerstvého betonu zkušebních záměsí

2.4.1. Stanovení obsahu vzduchu

Stanovení obsahu vzduchu v betonu probíhalo v tlakovém hrnci podle technické normy [26], který je součástí vybavení VVCD.

Tabulka 5 Stanovení obsahu vzduchu zkušebních záměsí

záměs	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3
obsah vzduchu	4,1 %	3,9 %	4,4 %	5,0 %	3,6 %	1,9 %	3,9 %	-----	0,5 %

Podle výsledků v tabulce je zde obsah vzduchu značně velký, což by mohlo mít výrazný vliv na mechanické vlastnosti ztvrdlého betonu. Vysoké množství vzduchu je zřejmě způsobené nižším vodním součinitelem. To má za následek menší množství záměsové vody, což vedlo ke špatnému míchání. V průběhu míchání došlo ke značnému uvíznutí vzduchu uvnitř čerstvého betonu, který se nemohl pod vlastní tíhou betonu uvolnit. U záměsí 3.2 nemohlo dojít k vykonání této zkoušky způsobené poruchou tlakového hrnce. Nejmenší obsah vzduchu obsahovala záměs 3.3, která měla výrazně tekutou konzistenci.

2.4.2. Stanovení objemové hmotnosti čerstvého betonu

Stanovení objemové hmotnosti probíhalo podle technické normy [27].

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{V}$$

ρ ... objemová hmotnost čerstvého betonu [kg/m^3]

m_2 ... hmotnost betonu s nádobou [kg]

m_1 ... hmotnost nádoby [kg]

V ... objem nádoby [m^3]

Tabulka 6 Stanovení objemové hmotnosti čerstvého betonu zkušebních záměsí

druh záměsí	m_2 [kg]	m_1 [kg]	V [m^3]	ρ [kg/m^3]
1.1.	23,92	4,06	$7,947 \times 10^{-3}$	2 500
1.2.	24,28	4,20	$7,947 \times 10^{-3}$	2 530
1.3.	23,86	4,16	$7,947 \times 10^{-3}$	2 480
2.1.	23,84	4,12	$7,947 \times 10^{-3}$	2 480
2.2.	23,98	4,22	$7,947 \times 10^{-3}$	2 490
2.3.	24,02	4,25	$7,947 \times 10^{-3}$	2 490
3.1.	22,63	4,05	$7,947 \times 10^{-3}$	2 350
3.2.	22,99	4,09	$7,947 \times 10^{-3}$	2 380
3.3.	23,16	4,15	$7,947 \times 10^{-3}$	2 390

Můžeme vidět téměř stejné hodnoty u záměsí 1.1 až 2.3. Hodnoty blíží se $2\,500 \text{ kg/m}^3$ jsou dobrým předpokladem k dosažení hutné struktury betonu.

2.4.3. Klasifikace konzistence podle sednutí kužele

Zkouška sednutím kužele probíhala podle příslušné normy na zkoušení čerstvého betonu [28].

Tabulka 7 Sednutí kužele zkušebních záměsí

druh záměsí	sednutí kužele [mm]	klasifikace
1.1.	210	S4
1.2.	60	S2
1.3.	60	S2
2.1.	20	S1
2.2.	240	S5
2.3.	210	S4
3.1.	265	S5 (SF1)
3.2.	265	S5 (SF1)
3.3.	----	----

V tabulce 7 můžeme vidět výsledky jednotlivých zkoušek sednutí kužele pro každou záměs. U poslední záměsi 3.3 byla zkouška sednutí kužele nahrazena zkouškou rozlitím Haegermanova kuželíku. Hodnota rozlití činila 290 x 290 mm, což je vidět na obrázku 27. Uprostřed můžeme vidět, že došlo k segregaci materiálu. Nejhorší konzistenci měla záměs 2.1, které byla klasifikována do skupiny S1. U záměsí 1.2 a 1.3 lze vidět napojení jednotlivých vrstev při postupu zkoušení. Beton nebyl dostatečně tekutý, aby se jednotlivé vrstvy spojily, viz obrázek 25 a 26. Záměs 2.2 měla hodnotu sednutí 240 mm a po zvednutí kužele dosáhla svým rozlitím hranice kružnice o průměru 500 mm v čase $T = 27$ s. Celkové rozlití bylo 520 x 525 mm. Záměsi 3.1 a 3.2 se svým vzhledem nejvíce podobaly konzistenci SCC, která by se dala klasifikovat jako SF1. Tyto záměsi měly stejnou hodnotu sednutí kužele a také velkou hodnotu rozlití po nadzdvihnutí kužele. To bylo způsobeno velkým množstvím příměsí a dávkou superplastifikátoru. Záměs 3.1 dosáhla kružnice v čase 7 s a končené rozlití měla 610 x 620 mm. Záměs 3.2 byla o něco pomalejší. Její potřebný čas na dotknutí se hranice kružnice byl 9 s. Rozlití se nakonec zastavilo na rozměrech 595 x 560 mm. Všechny vyrobené čerstvé betony vykazovaly výraznou míru lepidlosti vlivem větší dávky chemie.



Obrázek 19 Sednutí záměsi 1.1



Obrázek 20 Sednutí záměsi 1.2



Obrázek 21 Sednutí záměsi 1.3



Obrázek 22 Sednutí záměsi 2.1



Obrázek 23 Sednutí záměsi 2.2



Obrázek 24 Sednutí záměsi 2.3



Obrázek 25 Sednutí záměsi 3.1



Obrázek 26 Sednutí záměsi 3.2



Obrázek 27 Rozlití Haegermannova kužele záměsí 3.3

2.5. Zkoušení ztvrdlého betonu zkušebních záměsí

2.5.1. Objemová hmotnost ztvrdlého betonu

Objemová hmotnost ztvrdlého betonu byla zjišťována měřením rozměrů tělesa posuvným měřítkem.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

m... hmotnost tělesa [kg]

V... objem tělesa [m³]

d₁, d₂... rozměry příčného řezu tělesa [m]

v... výška krychle [m]

ρ... objemová hmotnost betonu [kg/m³]

Tabulka 8 Objemová hmotnost ztvrdlého betonu zkušebních záměsí

záměs		d ₁ [m]	d ₂ [m]	v [m]	m [kg]	ρ [kg/m ³]
1.1	krychle č. 10	0,097	0,100	0,100	2,415	2 490,0
	krychle č. 11	0,097	0,101	0,100	2,412	2 460,0
	krychle č. 12	0,097	0,101	0,100	2,395	2 440,0
	průměr =					2 460,0
1.2	krychle č. 10	0,099	0,101	0,100	2,513	2 510,0
	krychle č. 11	0,096	0,100	0,100	2,438	2 540,0
	krychle č. 12	0,096	0,099	0,099	2,399	2 550,0
	průměr =					2 530,0
1.3	krychle č. 10	0,098	0,101	0,100	2,484	2 510,0
	krychle č. 11	0,095	0,101	0,100	2,381	2 480,0

	krychle č. 12	0,097	0,101	0,100	2,423	2 470,0
	průměr =					2 490,0
2.1	krychle č. 7	0,094	0,101	0,100	2,433	2 560,0
	krychle č. 8	0,097	0,101	0,100	2,531	2 580,0
	krychle č. 9	0,095	0,101	0,100	2,439	2 540,0
	průměr =					2 560,0
2.2	krychle č. 7	0,095	0,100	0,099	2,421	2 570,0
	krychle č. 8	0,094	0,101	0,099	2,387	2 540,0
	krychle č. 9	0,096	0,101	0,099	2,448	2 550,0
	průměr =					2 550,0
2.3	krychle č. 7	0,095	0,101	0,100	2,392	2 490,0
	krychle č. 8	0,095	0,101	0,100	2,414	2 520,0
	krychle č. 9	0,095	0,101	0,099	2,367	2 490,0
	průměr =					2 500,0
3.1	krychle č. 7	0,095	0,101	0,100	2,288	2 380,0
	krychle č. 8	0,098	0, 101	0,100	2,358	2 380,0
	krychle č. 9	0,097	0,099	0,100	2,279	2 370,0
	průměr =					2 380,0
3.2	krychle č. 7	0,094	0,101	0,100	2,336	2 460,0
	krychle č. 8	0,096	0,099	0,100	2,338	2 460,0
	krychle č. 9	0,096	0,099	0,100	2,340	2 460,0
	průměr =					2 460,0
3.3	krychle č. 10	0,098	0,101	0,101	2,492	2 490,0
	krychle č. 11	0,095	0,101	0,101	2,442	2 520,0
	krychle č. 12	0,095	0,101	0,101	2,452	2 530,0
	průměr =					2 510,0

2.5.2. Pevnost v tlaku

$$f_c = \frac{F}{A_c}$$

f_c ... krychelná pevnost v tlaku na [MPa]

F ... maximální zatížení při porušení [N]

A_c ... průřezová plocha zkušebního tělesa, na kterou působí zatížení v tlaku [mm²]

d_1, d_2 ... rozměry příčného řezu tělesa [mm]

Tabulka 9 Hodnoty pevností krychlí zkušebních záměsí po 3 dnech

záměs		d_1 [mm]	d_2 [mm]	F [N]	f_c [MPa]
1.1	krychle č. 1	98	98	806 665	84,0
	krychle č. 2	93	100	750 671	80,7
	krychle č. 3	96	100	782 811	81,5
	průměr =				82,1
1.2	krychle č. 1	97	99	712 465	74,2
	krychle č. 2	94	100	699 566	74,4
	krychle č. 3	94	100	725 711	77,2
	průměr =				75,3
1.3	krychle č. 1	96	101	483 220	49,8*
	krychle č. 2	93	101	660 176	70,3
	krychle č. 3	96	101	682 555	70,4
	průměr =				70,3
2.1	krychle č. 1	98	100	735 262	75,0
	krychle č. 2	97	100	699 357	72,1
	krychle č. 3	96	101	756 248	78,0
	průměr =				75,0
2.2	krychle č. 1	95	101	674 530	70,3
	krychle č. 2	97	101	670 813	68,5
	krychle č. 3	95	101	660 136	68,8
	průměr =				69,2
2.3	krychle č. 1	98	101	619 615	62,6
	krychle č. 2	97	101	558 429	57,0
	krychle č. 3	96	101	596 304	61,5
	průměr =				59,3

3.3	krychle č. 1	98	100	683 879	69,8
	krychle č. 2	96	100	674 816	70,3
	krychle č. 3	94	100	637 865	67,9
	průměr =				69,3

* Krychle č. 1 u záměsí 1.3 byla vyloučena z důvodu velmi špatných výsledků. Nejspíše došlo ke špatnému zhutnění na kraji hranolu.

U záměsí 3.1 a 3.2 nebylo možné z technických důvodů splnit požadavek normy určení pevnosti betonu ve stáří 3 dnů.

Tabulka 10 Hodnoty pevností krychlí zkušebních záměsí po 7 dnech

záměs		d ₁ [mm]	d ₂ [mm]	F [N]	f _c [MPa]
1.1	krychle č. 4	95	101	925 119	96,4
	krychle č. 5	97	101	964 583	98,5
	krychle č. 6	99	101	971 600	97,2
	průměr =				97,3
1.2	krychle č. 4	97	100	912 197	94,0
	krychle č. 5	95	100	903 424	95,1
	krychle č. 6	95	100	883 973	93,0
	průměr =				94,1
1.3	krychle č. 4	95	100	765 700	80,9
	krychle č. 5	94	101	766 166	80,7
	krychle č. 6	97	101	719 100	73,4
	průměr =				78,3
3.1	krychle č. 1	96	99	951 350	100,1
	krychle č. 2	97	99	954 538	99,4
	krychle č. 3	96	99	938 995	98,8
	průměr =				99,4
3.2	krychle č. 1	96	100	905 794	94,4
	krychle č. 2	95	99	915 107	97,3
	krychle č. 3	97	99	872 913	90,9
	průměr =				94,2
3.3	krychle č. 4	98	101	742 583	75,0

	krychle č. 5	98	100	768 936	78,5
	krychle č. 6	100	100	746 348	74,6
	průměr =				76,0

U záměsí 2.1, 2.2 a 2.3 nebylo možné z technických důvodů splnit požadavek normy určení pevnosti betonu ve stáří 7 dnů.

Tabulka 11 Hodnoty pevností krychlí zkušebních záměsí po 10 dnech

záměs		d ₁ [mm]	d ₂ [mm]	F [N]	f _c [MPa]
1.1	krychle č. 7	94	100	905 795	96,4
	krychle č. 8	97	101	976 811	99,7
	krychle č. 9	96	101	977 158	100,8
	průměr =				98,9
1.2	krychle č. 7	96	100	917 408	94,6
	krychle č. 8	96	99	926 371	97,5
	krychle č. 9	96	99	933 943	98,3
	průměr =				96,8
1.3	krychle č. 7	98	101	828 463	83,7
	krychle č. 8	97	101	866 264	88,4
	krychle č. 9	94	101	873 655	92,0
	průměr =				90,2
2.1	krychle č. 4	97	101	965 205	98,5
	krychle č. 5	98	101	927 443	93,7
	krychle č. 6	95	101	885 619	92,3
	průměr =				94,8
2.2	krychle č. 4	97	101	862 867	88,1
	krychle č. 5	96	101	856 294	88,3
	krychle č. 6	96	100	827 570	86,2
	průměr =				87,5
2.3	krychle č. 4	98	101	828 463	83,7
	krychle č. 5	97	101	898 892	91,8
	krychle č. 6	95	101	872 120	90,9
	průměr =				88,8
3.1	krychle č. 4	97	99	984 308	102,5

	krychle č. 5	97	99	1 015 037	105,7
	krychle č. 6	95	99	948 965	100,9
	průměr =				103,0
3.2	krychle č. 4	97	99	1 040 102	108,3
	krychle č. 5	97	100	970 834	100,1
	krychle č. 6	98	101	956 147	96,6
	průměr =				101,7
3.3	krychle č. 7	92	100	733 380	79,7
	krychle č. 8	99	100	720 063	72,7
	krychle č. 9	98	101	840 259	84,9
	průměr =				79,1

Tabulka 12 Hodnoty pevností krychlí zkušebních záměsí po 28 dnech

záměs		d ₁ [mm]	d ₂ [mm]	F [N]	f _c [MPa]
1.1	krychle č. 10	97	100	1 080 400	111,4
	krychle č. 11	97	101	1 045 384	106,7
	krychle č. 12	97	101	1 081 929	110,4
	průměr =				109,5
1.2	krychle č. 10	99	101	990 081	99,0
	krychle č. 11	96	100	1 088 600	113,4
	krychle č. 12	96	99	970 358	102,1
	průměr =				104,8
1.3	krychle č. 10	98	101	944 782	95,5
	krychle č. 11	95	101	1 011 340	105,4
	krychle č. 12	97	101	785 321	80,2
	průměr =				92,8
2.1	krychle č. 7	94	101	992 123	104,5
	krychle č. 8	97	101	1 042 401	106,4
	krychle č. 9	95	101	923 999	96,3
	průměr =				102,4
2.2	krychle č. 7	95	100	976 044	102,7
	krychle č. 8	94	101	997 721	105,1

	krychle č. 9	96	101	1 017 037	104,9
	průměr =				104,2
2.3	krychle č. 7	95	101	952 769	99,3
	krychle č. 8	95	101	967 846	100,9
	krychle č. 9	95	101	883 554	92,1
	průměr =				97,4
3.1*	krychle č. 7	95	101	977 412	101,9
	krychle č. 8	98	101	1 108 186	112,0
	krychle č. 9	97	99	1 098 583	114,4
	průměr =				109,4
3.2*	krychle č. 7	94	101	1 167 728	123,0
	krychle č. 8	96	99	1 201 562	126,4
	krychle č. 9	96	99	1 216 311	128,0
	průměr =				125,8
3.3**	krychle č. 10	98	101	826 733	83,5
	krychle č. 11	95	101	788 041	82,1
	krychle č. 12	95	101	856 712	89,3
	průměr =				85,0

* Pevnost zkoušena na krychlích ve stáří 41 dnů.

** Pevnost zkoušena na krychlích ve stáří 31 dnů.

Z technických důvodů nebylo možné splnit požadavek normy určení pevnosti betonu ve stáří 28 dnů.

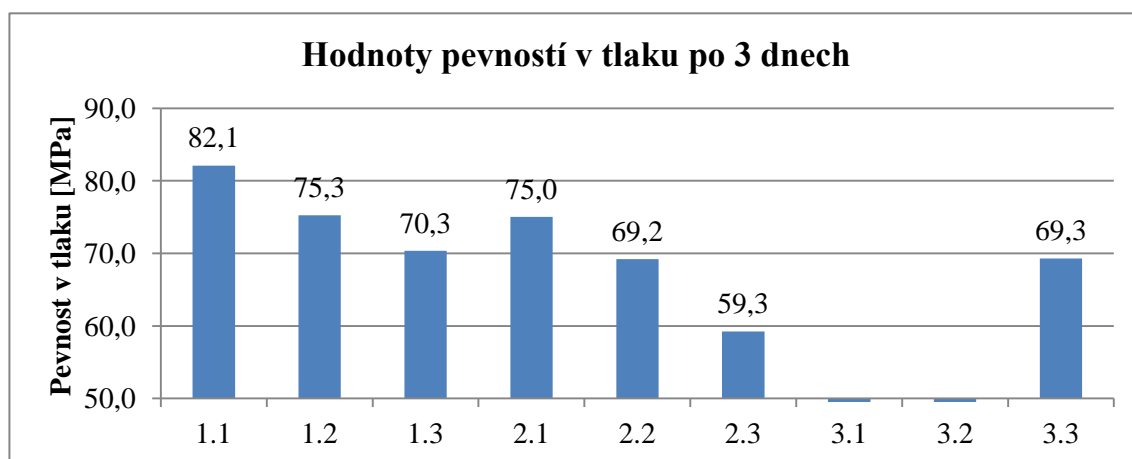
Tabulka 13 Hodnoty pevností krychlí zkušebních záměsí po 58 a 62 dnech

záměs		d ₁ [mm]	d ₂ [mm]	F [N]	f _c [MPa]
2.1*	krychle č. 10	94	101	983 753	103,6
	krychle č. 11	97	101	975 484	99,6
	krychle č. 12	98	101	1 119 858	113,1
	průměr =				105,4
2.2*	krychle č. 10	96	100	1 006 750	104,9
	krychle č. 11	97	100	1 046 976	107,9
	krychle č. 12	98	100	1 049 687	107,1
	průměr =				106,6

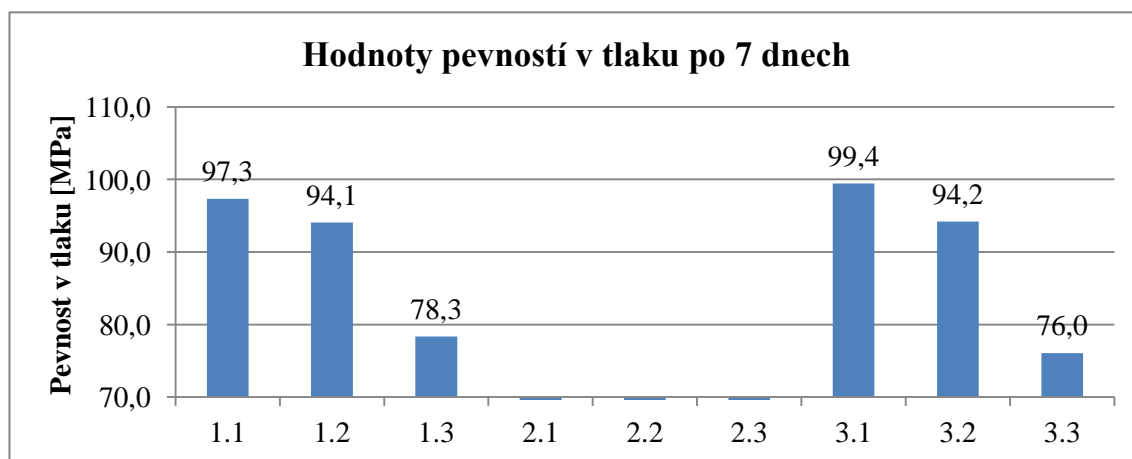
2.3*	krychle č. 10	94	101	1 094 707	115,3
	krychle č. 11	98	101	1 122 513	113,4
	krychle č. 12	96	101	925 601	95,5
	průměr =				108,1
3.1**	krychle č. 10	99	101	1 174 883	117,5
	krychle č. 11	92	100	1 070 182	116,3
	krychle č. 12	91	100	1 134 935	124,7
	průměr =				119,5
3.2**	krychle č. 10	97	101	1 295 865	132,3
	krychle č. 11	101	101	1 321 349	129,5
	krychle č. 12	97	101	1 280 432	130,7
	průměr =				130,8

* Pevnost zkoušena na krychlích ve stáří 62 dnů.

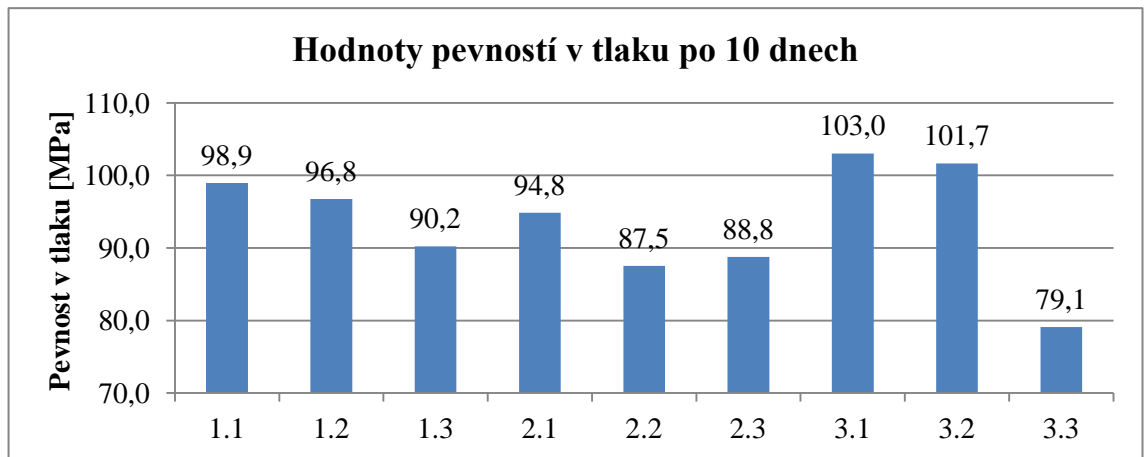
** Pevnost zkoušena na krychlích ve stáří 58 dnů.



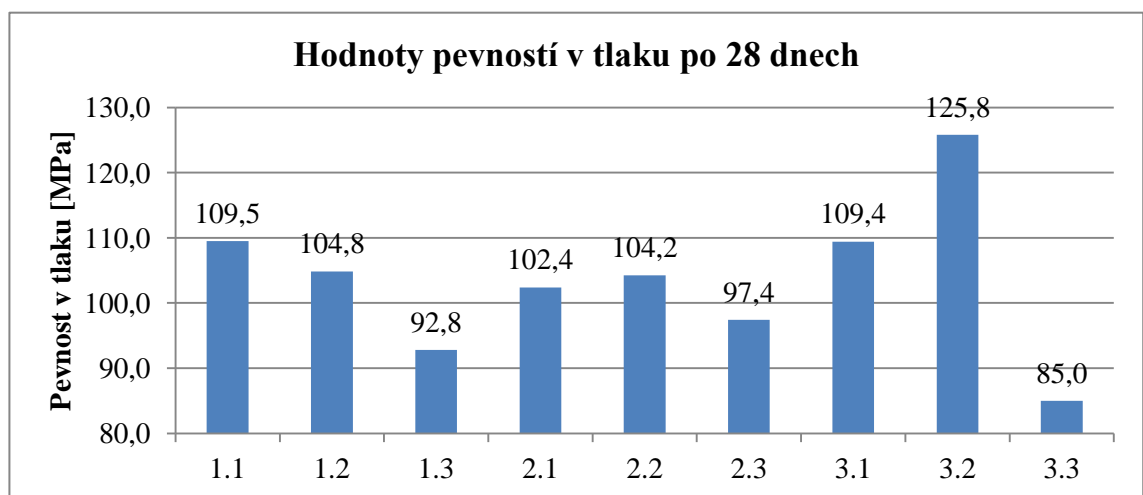
Obrázek 28 Hodnoty pevností v tlaku zkušebních záměsí po 3 dnech



Obrázek 29 Hodnoty pevností v tlaku zkušebních záměsí po 7 dnech



Obrázek 30 Hodnoty pevností v tlaku zkušebních záměsí po 10 dnech



Obrázek 31 Hodnoty pevností v tlaku zkušebních záměsí po 28 dnech

Na grafech výše můžeme vidět hodnoty pevností v tlaku ve stáří 3, 7, 10 a 28 dní. Nejvyšších pevností dosáhla záměs 3.1 a hned za ní s minimálním rozdílem je záměs 3.2 a 1.1. Bylo tedy rozhodnuto, že pro další zkoumání se bude pracovat se záměsími 3.1 a 3.2. Z grafu je zřejmé, že šest záměsí má průměrnou pevnost v tlaku vyšší než 100 MPa, avšak nedosahuje to předpokládaných pevností, které jsou pro UHPC běžné. Jedním z důvodů, proč tomu tak je, může být větší množství zachyceného vzduchu. Nejvyšší pevnost můžeme pozorovat u záměsí 3.2, která má největší množství aktivních příměsí. Její pevnost 125,8 MPa je zdaleka nejlepší v porovnání s ostatními. Zajímavostí také je, že po přidání vody v průběhu míchání vzrostl vodní součinitel z 0,22 na 0,26.

2.6. Výroba finálních čerstvých betonů

Pro závěrečné zkoumání byla vybrána záměs 3.2, která dosáhla druhé nejvyšší pevnosti po 28 dnech, a její vodní součinitel nakonec dosáhl hodnoty 0,26. Vzhledem k nedostatku granulované vysokopecní strusky muselo dojít k menší úpravě. Pro strusku byla zvolena dávka 130 kg/m³. Zbývajících 70 kg/m³ bylo nahrazeno křemičitým úletem, proto dávka mikrosiliky vzrostla z 250 na 320 kg/m³. Vodní součinitel byl pro úvod stanoven na 0,24. Graf křivky zrnitosti byl totožný se záměsí 3.2 (obrázek 20). V závěrečném míchání došlo k vybetonování třech tenkých desek, šesti hranolů a dvou válců. Míchání bylo rozděleno na 4 záměsi, během kterých došlo k vybetonování níže zmíněných forem.

Tabulka 14 Seznam vyrobených těles

	počet kusů	rozměr [mm]	objem 1 kusu [m ³]	objem [m ³]
hranol	6	100x100x400	4x10 ⁻³	0,0240
válec	2	150x300	5,30x10 ⁻³	0,0106
deska	3	492x492x30	7,26x10 ⁻³	0,0218
			celkem =	0,0564

Ekvivalentní vodní součinitel viz první zkušební záměsí:

$$w = \frac{m_w}{m_c + k * m_{ms} + k * m_{str}}$$

$$m_v = w_k * (m_c + k * m_c * 0,11 + k * m_{str})$$

$$m_v = 0,24 * (550 + 2 * 550 * 0,11 + 0,6 * 130) = 179,76 \text{ kg/m}^3$$

Tabulka 15 Složení záměsí

	kg/m ³	převod na objem [m ³]
cement	XY	XY
voda	XY	XY
mikrosilika	XY	XY
struska	XY	XY
frakce 0/4	XY	XY
frakce 4/8	XY	XY
superplastifikátor	XY	XY
drátky	XY	XY
vzduch	XY	XY
celkem	-	XY

V první záměsi bylo mícháno 13,5 litru betonu. Z toho došlo k vybetonování tří hranolů, které byly později nařezány na zkušební krychle pro pevnost v tlaku. U každé záměsi došlo k úpravě vstupující vody podle nasákavosti kameniva, viz záměsi výše. Bylo postupováno podle následující tabulky pracovních úkonů.

Tabulka 16 Postup pracovních úkonů v čase u 1. záměsi

čas	pracovní úkon
0:00	vloženo do míchačky hrubé a jemné kamenivo
1:00	přidání mikrosiliky, strusky a cementu
3:30	vložení 2/3 záměsové vody
4:00	přidání superplastifikátoru (6 %) se zbylou 1/3 záměsové vody
6:00	přidání 200g
7:00	přidání 100g
8:00	přidání 100g
10:00	vložení drátků
12:30	ukončení míchání

Jak můžeme vidět v tabulce 16 výše, vzhledem k velkému množství mikrosiliky došlo v průběhu míchání k přidání dalších 400 g vody pro lepší promíchání čerstvého betonu. Hodnota vodního součinitele vzrostla na hodnotu 0,28, proto při dalším průběhu míchání bylo přidáno 200 g vody hned v počátku míchání a později došlo k jejímu navýšení dvakrát po 100 g vody. Druhá záměs se míchala na objem 19 litrů, třetí na 16 litrů a poslední čtvrtá na 14 litrů. Z druhé záměsi došlo k vybetonování 3 hranolů na pevnost v tahu ohybem a jednoho válce. Ze třetí záměsi se vytvořily 2 desky a z poslední došlo k vybetonování jedné desky a válce.

Tabulka 17 Postup pracovních úkonů u 2., 3. a 4. záměsi

čas	pracovní úkon
0:00	vloženo do míchačky hrubé a jemné kamenivo
1:00	přidání mikrosiliky, strusky a cementu
3:30	vložení 2/3 záměsové vody + 200 g vody
4:00	přidání superplastifikátoru (6 %) se zbylou 1/3 záměsové vody
7:00	přidání 100g
8:00	přidání 100g
10:00	vložení drátků
12:30	ukončení míchání

Tabulka 18 Celkové složení záměsi

	kg/m ³
cement	XY
voda	XY
mikrosilika	XY
struska	XY
frakce 0/4	XY
frakce 4/8	XY
superplastifikátor	XY
drátky	XY
vzduch	XY
celkem	-

2.7. Zkoušky finálního čerstvého betonu

2.7.1. Stanovení obsahu vzduchu

Tabulka 19 Stanovení obsahu vzduchu záměsí

druh záměsi	1.	2.	3.	4.
obsah vzduchu	3,7 %	3,9 %	4,1 %	4,0 %

V tabulce můžeme vidět pouze nepatrný rozdíl (0,4%) obsahu vzduchu jednotlivých záměsí. Ovšem stanovené procento obsahu vzduchu je poměrně vysoké, což může mít nepříznivý vliv na jeho mechanické vlastnosti, které jsou od betonu tohoto typu vyžadovány.

2.7.2. Stanovení objemové hmotnosti čerstvého betonu

Stanovení objemové hmotnosti probíhalo podle technické normy [27].

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{V}$$

ρ ... objemová hmotnost čerstvého betonu [kg/m³]

m_2 ... hmotnost betonu s nádobou [kg]

m_1 ... hmotnost nádoby [kg]

V ... objem nádoby [m³]

Tabulka 20 Stanovení objemové hmotnosti čerstvého betonu

druh záměsí	1.	2.	3.	4.
hmotnost betonu m_2 [kg]	23,014	22,678	22,835	23,014
hmotnost nádoby m_1 [kg]	4,225	4,271	4,335	4,460
objem nádoby V [m ³]	$7,947 \times 10^{-3}$	$7,947 \times 10^{-3}$	$7,947 \times 10^{-3}$	$7,947 \times 10^{-3}$
objemová hmotnost [kg/m ³]	2 360	2 320	2 330	2 330

2.7.3. Zkouška sednutím kužele

Zkouška sednutím kužele probíhala podle příslušné normy na zkoušení čerstvého betonu [28].

Tabulka 21 Zkouška sednutím jednotlivých záměsí

druh záměsí	1.	2.	3.	4.
sednutí kužele	250 mm	240 mm	245 mm	250 mm
klasifikace	S5	S5	S5	S5 (SF1)

Tabulka 22 Rozlití Haegermannova kužele

druh záměsí	1.	2.	3.	4.
rozlití kužele	150 x 150 mm	105 x 105 mm	150 x 140 mm	150 x 170 mm

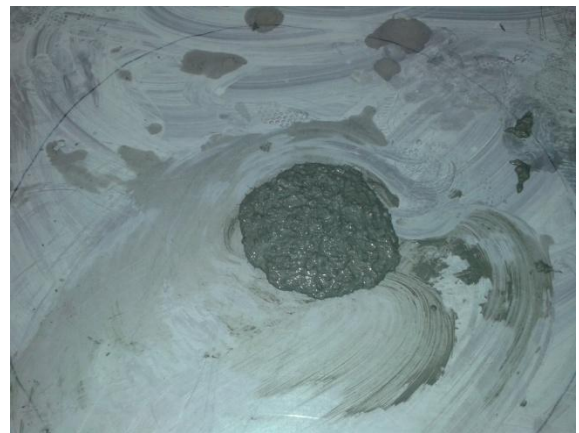
Ve všech čtyřech provedených záměsích můžeme vidět sednutí kužele v klasifikaci S5. To je způsobeno dobrou konzistencí betonu a jeho následnou lepší zpracovatelností. První záměs měla rozlití kužele 580 x 480 mm a čas potřebný k dosažení kružnice o průměru 500 mm byl 10 s. Druhá záměs byla trochu tužší vzhledem k většímu množství všech složek v záměsí. Rozlití kužele se zastavilo v rozměrech 450 x 400 mm a protnutí kružnice v čase 33 s. Třetí záměs měla hodnotu rozlití 520 x 470 mm a stejný čas dosažení kružnice jako první záměs. Poslední záměs byla nejrychlejší co do dosažení kružnice. Tento potřebný čas byl 8 s. Hodnota rozlití byla 580 x 525 mm. To znamená průměrnou hodnotu 552,5 mm, a proto klasifikaci SF1 pro SCC. Byla také provedena zkouška rozlitím Haegermannova kužele, která je typickou zkouškou pro UHPC. Můžeme vidět, že pro hodnoty sednutí 250 mm odpovídají hodnoty rozlití pomocí kuželíku nad 150 mm. U třetí záměsí při sednutí 245 mm, byla změřena hodnota rozlití Haegermannova kužele 145 mm. Ovšem u druhé záměsí je hodnota rozlití Haegermannova kužele pouze 105 mm při hodnotě sednutí 240 mm. Z toho nelze vyvodit jednoznačný závěr pro vzájemnou korelaci těchto provedených zkoušek.



Obrázek 32 Zkouška sednutím 1. záměsi



Obrázek 33 Zkouška sednutím 3. záměsi



Obrázek 34 Rozliti Haegermannova kužele 3. záměsi

2.8. Zkoušení finálního ztvrdlého betonu

2.8.1. Objemová hmotnost ztvrdlého betonu

Objemová hmotnost ztvrdlého betonu byla zjišťována měřením rozměrů tělesa posuvným měřítkem.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

m... hmotnost tělesa [kg]

V... objem tělesa [m³]

d₁, d₂... rozměry příčného řezu tělesa [m]

v... výška krychle [m]

ρ... objemová hmotnost betonu [kg/m³]

Tabulka 23 Objemová hmotnost ztvrdlého betonu

	d ₁ [m]	d ₂ [m]	v [m]	m [kg]	ρ [kg/m ³]
krychle č. 10	0,095	0,099	0,099	2,248	2 410
krychle č. 11	0,100	0,099	0,099	2,352	2 400
krychle č. 12	0,101	0,099	0,100	2,397	2 400

Průměrná objemová hmotnost je **2 400** kg/m³.

2.8.2. Pevnost v tlaku

$$f_c = \frac{F}{A_c}$$

f_c... krychlená pevnost v tlaku [MPa]

F... maximální zatížení při porušení [N]

A_c... průřezová plocha zkušební tělesa, na kterou působí zatížení v tlaku [mm²]

d₁,d₂... rozměry příčného řezu tělesa [mm]

Tabulka 24 Pevnost v tlaku po 3 dnech

	d ₁ [mm]	d ₂ [mm]	F [N]	f _c [MPa]
krychle č. 1	96	101	695 871	71,8
krychle č. 2	95	101	696 429	72,6
krychle č. 3	96	100	680 951	70,9

Průměrná pevnost v tlaku ve stáří 3 dny je **71,8** MPa.

Tabulka 25 Pevnost v tlaku po 7 dnech

	d ₁ [mm]	d ₂ [mm]	F [N]	f _c [MPa]
krychle č. 4	99	100	818 506	82,7
krychle č. 5	97	99	873 724	91,0
krychle č. 6	92	99	783 996	86,1

Průměrná pevnost v tlaku ve stáří 7 dnů je **86,6** MPa.

Tabulka 26 Pevnost v tlaku po 10 dnech

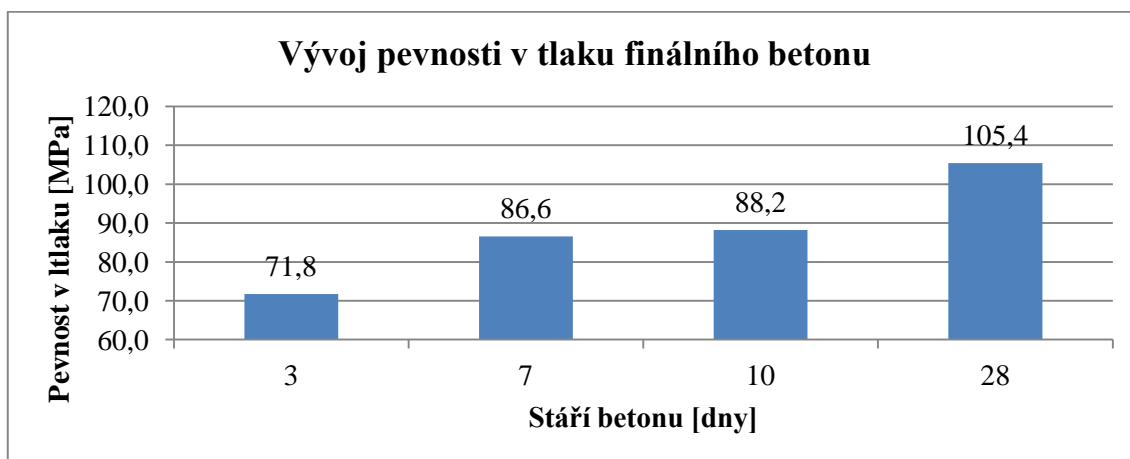
	d ₁ [mm]	d ₂ [mm]	F [N]	f _c [MPa]
krychle č. 7	94	99	802 122	86,2
krychle č. 8	92	99	804 075	88,3
krychle č. 9	97	100	875 048	90,2

Průměrná pevnost v tlaku ve stáří 10 dnů je **88,2** MPa.

Tabulka 27 Pevnost v tlaku po 28 dnech

	d ₁ [mm]	d ₂ [mm]	F [N]	f _c [MPa]
krychle č. 10	95	99	978 519	104,0
krychle č. 11	100	99	1 033 150	104,4
krychle č. 12	101	99	1 078 450	107,9

Průměrná pevnost v tlaku ve stáří 28 dnů je **105,4** MPa.



Obrázek 35 Vývoj pevnosti v tlaku finálního betonu

Oproti zkušební záměsi je zde výrazné snížení pevnosti v tlaku. To je způsobené odebráním strusky a jejím nahrazením mikrosilikou. Dávka mikrosiliky stoupla z 25 % na 32 %. Tato záměs už je nejspíše zcela přesycena mikrosilikou, navíc je velmi náročná na množství vody. Nejspíše došlo k překročení její optimální dávky.

2.8.3. Pevnost v tahu ohybem

Pevnost v tahu ohybem byla provedena pomocí čtyřbodového zatěžovacího lisu, který je umístěn ve VVCD.

$$f_{cf} = \frac{F * l}{d_1 * d_2^2}$$

f_{cf}... pevnost v tahu ohybem [MPa]

F... maximální zatížení při porušení [N]

l... vzdálenost mezi podpěrnými válečky, pro tento případ 300 mm

d₁, d₂... rozměry příčného řezu tělesa [mm]

Tabulka 28 Hodnoty pevností v tahu ohybem

	d_1 [mm]	d_2 [mm]	F [N]	f_{cf} [MPa]
hranol č. 1	100	101	55 889	16,4
hranol č. 2	100	100	53 748	16,1
hranol č. 3	101	99	60 601	18,4

Průměrná pevnost v tahu ohybem byla **17,0 MPa**. Při této zkoušce došlo ke křehkému lomu, při kterém byly vytrženy drátky v místě lomu tělesa. Výsledná hodnota odpovídá kritériím pro betony UHPC. Jak už bylo zmíněno, ve většině zemí je požadovaná hranice pevnosti v tahu ohybem 15,0 MPa.

2.8.4. Zkoušení desek na průraz

Na obrázku 36 můžeme vidět upevnění zařízení pro průraz desky umístěné v lapačce pro zkoušení pevnosti v tahu ohybem. Tato zkouška vycházela z normy na stříkané betony ČSN EN 14488 - 5, avšak musela být trochu upravena pro naše podmínky. Došlo ke zmenšení rozměrů horního a dolního přípravku o 18 % méně než v dané normě. To znamená, že světlost spodního přípravku se zmenšila z 500 mm na 410 mm. Spodní přípravek je tvořen profilem U 120, viz příloha 5.1. Horní přípravek (tlačná deska) byl zmenšen o něco méně, než uvádí daný poměr z důvodu finančních nákladů. V normě je uvedena hodnota 100 mm, pro náš případ je to pouze 80 mm o tloušťce 20 mm, viz příloha 5.2. Pro rychlost zatěžování byla zvolena hodnota 1 kN/s.



Obrázek 36 Zkoušení desek v lapačce

Tabulka 29 Rozměry a síla potřebná pro průraz desek

	d_1 [mm]	d_2 [mm]	t [mm]	F [N]
deska č. 1	492	492	30	17 242
deska č. 2	491	492	30	17 942
deska č. 3	492	491	30	17 291

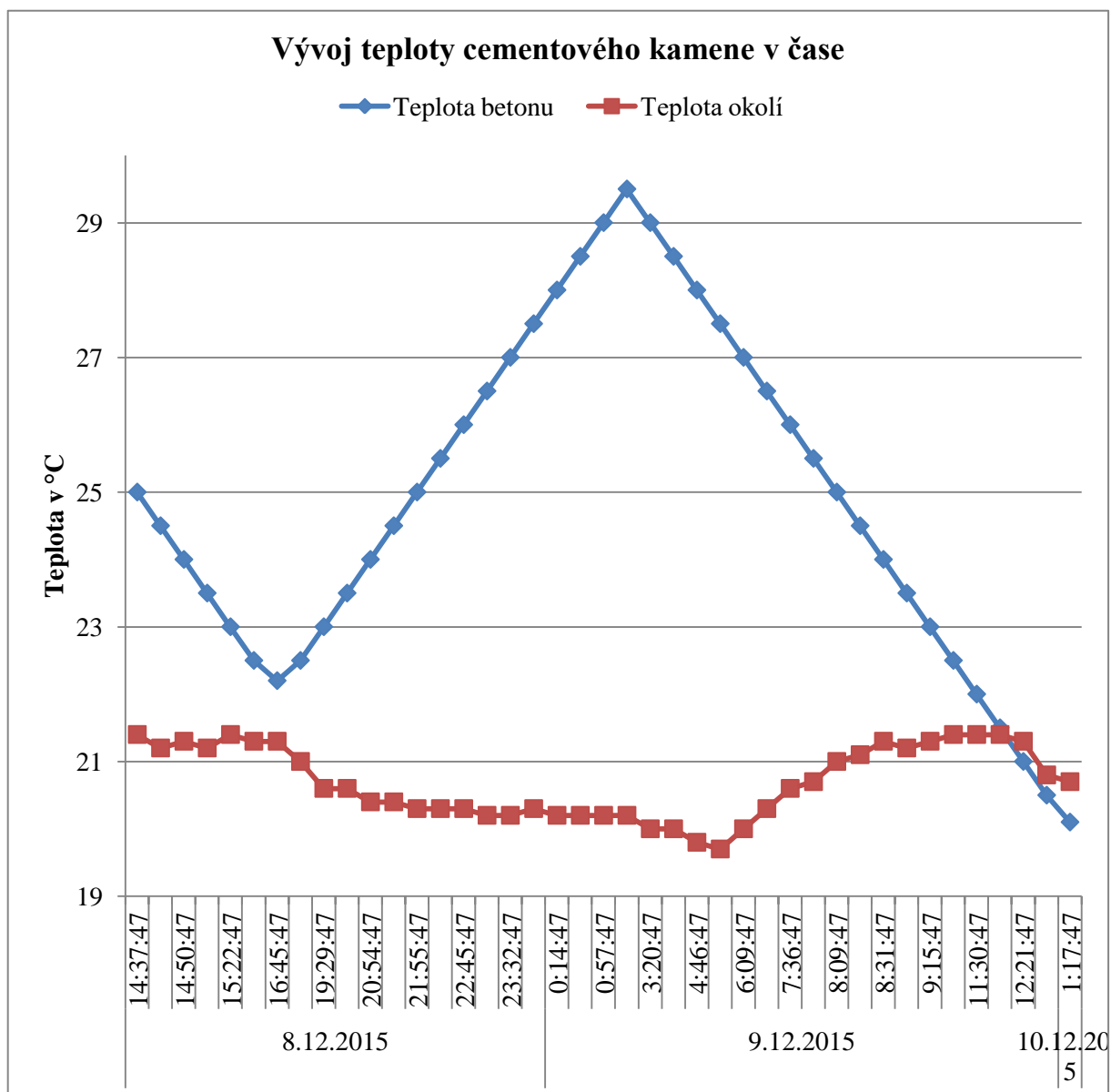
V tabulce 29 můžeme sledovat, že síla potřebná pro zlomení desky je přibližně stejná ve všech třech případech. Průměrná hodnota je 17 492 N. Síla potřebná ke kolapsu desky odpovídá přibližně 1,78 tun na ploše 80 x 80 mm. Na obrázku 37 můžeme vidět, že největší rozvřená trhлина vznikla pod horním zatěžovacím přípravkem.



Obrázek 37 Spodní pohled na zkoušenou desku

2.9. Vývin hydratačního tepla finálního betonu

Pro záznam teploty uvnitř betonu byl použit přístroj z vybavení VVCD. Přístroj současně zaznamenával teplotu v betonu a okolí. Záznam byl měřen kontinuálně od počátku umístění drátku do betonu až po vybití baterií. Záznam byl veden od 14:37:47 z 8. 12. 2015 do 1:17:47 dne 10. 12. 2015. Nejvyšší přístrojem zaznamenaná teplota byla 29,5 °C dne 9. 12. 2015 v 1:39:47 a trvala 57 minut, než začala klesat. Na začátku byla naměřena teplota 25,0 °C, to mohlo být způsobeno manipulací s měřícím drátkem. V době vypnutí přístroje byla teplota v betonu 20,1 °C. Zvyšující se teplota cementového kamene zrychluje proces hydratace. Při teplotách pod 20 °C nastává zpomalování hydratace. Naopak při teplotách nad 20 °C se proces hydratace urychluje. [36]



Obrázek 38 Graf záznamu teploty v cementovém kameni

2.10. Porovnání betonu s drátky a bez drátků

Pro další zkoumání byla také vybrána záměs 3.1, která měla 10denní pevnost v tlaku 103,0 MPa. Pro tuto záměs byly vyrobeny další 2 hranoly. Ty byly zkoušeny na pevnost v tahu ohybem a její následné úlomky byly nařezány a na nich byla odzkoušena pevnost v tlaku na krychlích. Ze stejné záměsi došlo také k vytvoření další 2 hranolů s absencí drátků. Následně byla vyzkoušena křehkost tohoto materiálu a porovnány betony s drátky a bez drátků.

Tabulka 30 Složení záměsi s drátky a bez drátků

	záměs s drátky [kg/m ³]	záměs bez drátků [kg/m ³]
cement	XY	XY
voda	XY	XY
mikrosilika	XY	XY
frakce 0/4	XY	XY
frakce 4/8	XY	XY
superplastifikátor	XY	XY
drátky	XY	-----

Tabulka 31 Postup pracovních úkonů záměsi s drátky

čas	pracovní úkon
0:00	vloženo do míchačky hrubé a jemné kamenivo
1:00	přidání mikrosiliky a cementu
3:00	vložení 2/3 záměsové vody
3:30	přidání superplastifikátoru (6 %) se zbylou 1/3 záměsové vody
5:00	vložení drátků
8:00	ukončení míchání

Tabulka 32 Postup pracovních úkonů záměsi bez drátků

čas	pracovní úkon
0:00	vloženo do míchačky hrubé a jemné kamenivo
1:00	přidání mikrosiliky a cementu
3:00	vložení 2/3 záměsové vody
3:30	přidání superplastifikátoru (6 %) se zbylou 1/3 záměsové vody
6:00	ukončení míchání

2.11. Zkoušení čerstvého betonu

2.11.1. Stanovení obsahu vzduchu

Tabulka 33 Stanovení obsahu vzduchu záměsi s drátky a bez drátků

druh záměsi	s drátky	bez drátků
obsah vzduchu	2,7 %	2,6 %

Můžeme vidět menší procento obsahu vzduchu než u předchozího míchání této záměsi. To mohlo být způsobeno pozdějším přidáním drátků v průběhu míchání. Záměs tak patrně dosáhla větší zpracovatelnosti, protože vlivem drátků jejich zpracovatelnost klesá. Téměř identické procento vzduchu bylo obsaženo také v záměsi bez drátků.

2.11.2. Stanovení objemové hmotnosti čerstvého betonu

Stanovení objemové hmotnosti probíhalo podle technické normy [27].

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{V}$$

ρ ... objemová hmotnost betonu [kg/m^3]

m_2 ... hmotnost betonu s nádobou [kg]

m_1 ... hmotnost nádoby [kg]

V ... objem nádoby [m^3]

Tabulka 34 Stanovení objemové hmotnosti čerstvého betonu

druh záměsi	s drátky	bez drátků
hmotnost betonu m_2 [kg]	22,878	22,889
hmotnost nádoby m_1 [kg]	4,306	4,300
objem nádoby V [m^3]	$7,947 \times 10^{-3}$	$7,947 \times 10^{-3}$
objemová hmotnost [kg/m^3]	2 340	2 340

Pro zkoušku konzistence čerstvého betonu nebyla tentokrát použita zkouška sednutím-rozlítím, nýbrž pouze zkouška rozlítím Haegermannovým kuželem. Zkouška sednutím-rozlítím byla vynechána z důvodu velké tekutosti čerstvého betonu. Po naplnění Abramsova kužele a jeho následném zvednutí by mohlo dojít k rozlítí i mimo podkladní desku.

Tabulka 35 Rozlítí Haegermannova kužele

druh záměsi	s drátky	bez drátků
rozlítí kužele	210 x 220 mm	225 x 235 mm

2.12. Zkoušení ztvrdlého betonu

2.12.1. Objemová hmotnost ztvrdlého betonu

Objemová hmotnost ztvrdlého betonu byla zjišťována měřením rozměrů tělesa posuvným měřítkem.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

m... hmotnost tělesa [kg]

V... objem tělesa [m³]

d₁, d₂... rozměry příčného řezu tělesa [m]

l... délka hranolu [m]

ρ... objemová hmotnost betonu [kg/m³]

Tabulka 36 Objemová hmotnost ztvrdlého betonu záměsi s drátky

	d ₁ [m]	d ₂ [m]	l [m]	m [kg]	ρ [kg/m ³]
hranol č. 1	0,099	0,101	0,400	9,577	2 390
hranol č. 2	0,099	0,100	0,399	9,575	2 420

Průměrná objemová hmotnost záměsi s drátky je **2 410 kg/m³**.

Tabulka 37 Objemová hmotnost ztvrdlého betonu záměsi bez drátků

	d ₁ [m]	d ₂ [m]	l [m]	m [kg]	ρ [kg/m ³]
hranol č. 1	0,099	0,100	0,400	9,297	2 350
hranol č. 2	0,100	0,101	0,400	9,448	2 340

Průměrná objemová hmotnost záměsi bez drátků je **2 350 kg/m³**.

Ačkoliv objemové hmotnosti čerstvého betonu byly identické, objemové hmotnosti ztvrdlého jsou rozdílné, což je způsobeno absencí drátků u jedné záměsi. Díky tomu je její objemová hmotnost menší.

2.12.2. Pevnost v tahu ohybem

Pevnost v tahu ohybem byla provedena pomocí čtyřbodového zatěžovacího lisu, který je umístěn ve VVCD.

$$f_{cf} = \frac{F * l}{d_1 * d_2^2}$$

f_{cf} ... pevnost v tahu ohybem [MPa]

F ... maximální zatížení při porušení [N]

l ... vzdálenost mezi podpěrnými válečky, pro tento případ 300 mm

d_1, d_2 ... rozměry příčného řezu tělesa [mm]

Tabulka 38 Hodnoty pevností v tahu ohybem hranolů záměsi s drátky

	d_1 [mm]	d_2 [mm]	F [N]	f_{cf} [MPa]
hranol č. 1	99	101	49 298	14,6
hranol č. 2	99	100	50 484	15,3

Průměrná pevnost v tahu ohybem byla **15,0 MPa**.

Tabulka 39 Hodnoty pevností v tahu ohybem hranolů záměsi bez drátků

	d_1 [mm]	d_2 [mm]	F [N]	f_{cf} [MPa]
hranol č. 3	99	100	46 376	14,1
hranol č. 4	100	101	41 307	12,1

Průměrná pevnost v tahu ohybem byla **13,1 MPa**.

Můžeme vidět, že rozdíly mezi pevnostmi v tahu ohybem jsou necelé 2 MPa. Tento rozdíl není moc velký, ale v průběhu zkoušky byla možnost pozorovat základní rozdíl chování mezi záměsmi s drátky a bez drátků. U záměsi obsahující drátky došlo k poruše hranolu, ale hranol zůstal stále v horní části spojen drátky. V horní části nedošlo k vytržení drátků z matrice, zatímco záměs bez drátků měla chování křehkého materiálu. Po výskytu trhliny v tažené části průřezu došlo k rychlému šíření po výšce průřezu až do rozdělení hranolu na dva kusy.



Obrázek 39 Porušení hranolu bez drátků



Obrázek 40 Porušení hranolu s drátkou

2.12.3. Pevnost v tlaku

Pevnost v tlaku byla pro porovnání provedena na úlomcích ze zkoušky pevnosti v tahu ohybem. Došlo k nařezání úlomků na malé krychle o velikosti strany 100 mm.

$$f_c = \frac{F}{A_c}$$

f_c ... krychlená pevnost v tlaku [MPa]

F ... maximální zatížení při porušení [N]

A_c ... průřezová plocha zkušebního tělesa, na kterou působí zatížení v tlaku [mm²]

d_1, d_2 ... rozměry příčného řezu tělesa [mm]

Tabulka 40 Pevnost v tlaku s drátkou po 28 dnech

	d_1 [mm]	d_2 [mm]	F [N]	f_c [MPa]
krychle č. 1	98	101	1 139 243	115,1
krychle č. 2	98	100	1 119 165	114,2
krychle č. 3	99	101	1 197 882	119,2
krychle č. 4	99	100	1 167 382	117,9

Průměrná pevnost v tlaku je **116,8 MPa**.

Tabulka 41 Pevnost v tlaku bez drátků po 28 dnech

	d ₁ [mm]	d ₂ [mm]	F [N]	f _c [MPa]
krychle č. 1	99	101	1 203 857	120,4
krychle č. 2	100	101	1 130 350	110,2
krychle č. 3	99	99	1 139 660	116,3
krychle č. 4	98	100	1 109 854	113,3
krychle č. 5	99	101	1 152 374	115,2

Průměrná pevnost v tlaku je **115,2 MPa**.

Jak můžeme vidět v tabulkách výše, pevnosti v tlaku s drátky a bez drátků jsou 116,8 resp. 115,2 MPa. Rozdíly mezi nimi jsou nepatrné. Pevnosti s drátky dosáhly hodnoty přibližně o 1,5 % více než bez drátků. Vliv drátků na pevnost nebyl tedy zaznamenán, kromě rozdílu v chování. Při zkoušce pevnosti v tlaku se krychle bez drátků štěpily, jak můžeme vidět na obrázku 41 dole, zatímco krychle s drátky zůstaly při poruše v jednom kuse.



Obrázek 41 Porušení krychlí bez drátků



Obrázek 42 Porušení krychlí s drátky

2.13. Finanční porovnání vyrobených betonů

Na základě získaných nákupních cen jednotlivých složek od výrobců byla provedena kalkulace vyrobených betonů.

portlandský cement CEM I 52,5 R	5,2 Kč/kg	(odhad dle pytlované 42,5 R)
mikrosilika Elkem 920 D	46,0 Kč/kg	(25 kg pytel)
mletá granulovaná vysokopecní struska	500,0 Kč/t	
voda	81,0 Kč/m ³	
superplastifikátor Glenium ACE 430	79,0 Kč/kg	(20 l kanistr)
diabas fr. 0/4	254,1 Kč/t	
diabas fr. 4/8	447,7 Kč/t	
drátky Masterfiber 482	163,0 Kč/kg	(20 kg krabice)

Tabulka 42 Finanční porovnání vyrobených betonů

	záměs pro desky [kg/m ³]	[Kč/m ³]	záměs 3.1 [kg/m ³]	[Kč/m ³]	záměs 3.1 bez drátků [kg/m ³]	[Kč/m ³]
Cement 52,5 R	550,00	2 860,0	800,00	4 160,0	800,00	4 160,0
Mikrosilika	320,00	14 720,0	200,00	9 200,0	200,00	9 200,0
Struska	130,00	65,0	0,00	0,0	0,00	0,0
Voda	179,76	14,6	214,72	17,4	214,72	17,4
Superplastifikátor	33,00	2 607,0	48,00	3 792,0	48,00	3 792,0
Diabas fr. 0/4	824,29	209,5	767,31	195,0	795,94	202,2
Diabas fr. 4/8	341,61	152,9	317,99	142,4	329,86	147,7
Drátky	110,00	17 968,5	110,00	17 968,5	0,00	0,0
Celkem		38 597,5		35 475,2		17 519,3

Můžeme vidět, že cena těchto vyrobených betonů není z finančního hlediska vůbec levnou záležitostí. Ceny mikrosiliky, superplastifikátoru a drátků jsou stanoveny dodavatelem, od kterého jsme dané materiály pořizovali. Cena cementu je odhadnuta na základě ceny pro pytlovaný cement CEM I 42,5 R, který byl pořízen za cenu 125 Kč/pytel o váze 25 kg. Dále také bylo zjištěno, že pytlovaný portlandský cement bílý 52,5 R stojí 425 Kč. Nejdražší složkou těchto vyrobených betonů byly drátky, které byly přidávány za účelem zvýšení únosnosti v tahu. Při zkoušení byly zjištěny jen nepatrné odchylky hodnot pevnosti v tahu ohybem a pevnosti v tlaku. Rozdíl pevnosti v tahu ohybem byl pouze 1,9 MPa, ale pořizovací cena je téměř dvojnásobná. Záměs, ze které byly vyráběny desky, by byla levnější, pokud by nemuse-la být nahrazena část strusky mikrosilikou.

3. Závěr

3.1. Čerstvý beton

Pro zkoušení čerstvého betonu se používala především zkouška sednutím kužele, avšak v některých případech se tato zkouška ukázala jako neadekvátní. Z tohoto důvodu byla prováděna také zkouška rozlitím Haegermannova kuželíku, která je pro tyto betony lepší a v praxi častěji používaná, ačkoliv její vyhodnocení není zakotvené nikde v normě nebo směrnících. Pro UHPC jsou obvyklé hodnoty rozlití kuželíku okolo 300 mm. V našem případě byla nejbližší záměs 3.3, která ovšem neměla vhodnou konzistenci, jelikož došlo k segregaci materiálu. Záměs působila spíše jako tekutina než čerstvý beton. Další záměsí, která tomu byla nejbližší, je beton pro porovnání ohybové pevnosti v tahu s drátky a bez nich. Bez drátků měla záměs hodnotu 230 mm a s drátky hodnotu 215 mm. Z toho vyplývá jistý vliv drátků na konzistenci čerstvého betonu. Zkouška Haegermannovým kuželíkem byla provedena také pro všechny čtyři záměsi při výrobě finálního betonu. Zde však hodnoty rozlití nebyly tak velké, protože byla tato zkouška vykonávána až jako poslední v řadě, kdy už došlo k částečnému ochabnutí tekutosti čerstvého betonu.

Při zkoušce sednutím kužele je vidět postupné zvyšování dávky superplastifikátoru za účelem ztekucení čerstvého betonu. Na počátku se vycházelo z dávky 1 % hmotnosti cementu, což je doporučováno výrobcem jako optimální dávkování. Potvrdil se předpoklad, že pro tyto betony neplatí všechny přijaté zásady, které platí pro obyčejné a vysokopevnostní betony. U prvních záměsí bylo použito 3 až 4 % dávkování superplastifikátoru z hmotnosti cementu, ale mohli jsme vidět, že u záměsí 1.2 a 1.3, které obsahovaly menší množství cementu, to na dokonalé ztekucení nestačilo. Naopak záměs 1.1 obsahující větší množství cementu a dávkování 3 % superplastifikátoru měla poměrně dobrou konzistenci (hodnota sednutí 210 mm). Při míchání druhých záměsí bylo tedy dávkování superplastifikátoru ještě zvýšeno, pro záměsi 2.1, 2.2 a 2.3 to bylo konkrétně 5 %, 7 % a 10 % hmotnosti cementu. Druhé záměsi vycházely z menšího množství cementu než je pro UHPC obvyklé. Navíc zde bylo větší množství příměsí, což se promítlo do obsažené vody v záměsí. Množství vody bylo poměrně malé, proto se přistoupilo k větším dávkám superplastifikátoru, který naopak zvýšil lepivost záměsí. Ovšem vodní součinitel zůstal nezměněn. Záměs 2.1 s 5 % superplastifikátoru měla hodnotu sednutí pouze 20 mm, avšak nebylo zde patrné napojení jednotlivých vrstev při hutnění jako v případech 1.2 a 1.3. Tato záměs měla zdaleka nejvyšší procento zachyceného vzduchu vlivem své konzistence. Množství obsahu vzduchu bylo nakonec 5 %. Nejvyšší procentuální zastoupení měla záměs 2.3, která obsahovala 10 % superplastifikátoru. Záměs byla příliš lepivá při běžném

používání. Tak velké dávkování mělo nejspíše vliv na obsah vzduchu. V tomto případě zde totiž bylo pouze 1,9 % vzduchu. První záměsí, která začala vykazovat líné tečení čerstvého betonu, byla 2.2. Po nadzdvihnutí Abramsova kužele jako první záměs překonala kružnici o průměru 500 mm, i když tento potřebný čas byl 27 s. Při míchání třetích zkušebních záměsí už byl aplikován pozměněný způsob míchání jednotlivých složek. Drátky se začaly přidávat až po vodě a chemii. Tento způsob se u těchto zkušebních záměsí velice osvědčil. Záměs 3.1 a 3.2 bez problémů překročily hranici kružnice, a to v konkrétních časech 7 a 9 s. Jejich hodnota sednutí byla 265 mm, což je klasifikováno stupněm S5. Tento čerstvý beton by se dal hodnotit jako SCC beton. Pro míchání finálního betonu se vycházelo ze záměsí 3.2 s menším pozměněným množstvím strusky. Na konzistenci to nemělo takový dopad jako na pevnosti v tlaku. Míchání bylo rozděleno na čtyři záměsí s průměrnou hodnotou sednutí okolo 245 mm a kromě jedné ze záměsí i čas potřebný k dosažení kružnice byl do 10 s. Množství zachyceného vzduchu činilo okolo 4 % pro všechny čtyři záměsí. Nakonec ještě došlo k míchání hranolů na porovnání pevnosti v tahu ohybem. Vycházelo se ze zkušební záměsí 3.1 a bylo mícháno po dvou hranolech s drátky a bez nich. Procento zachyceného vzduchu zde bylo podstatně menší než ve zkušební záměsí. Zřejmě na to mělo vliv pozdější přidání drátků do míchačky.

3.2. Ztvrdlý beton

Při zkoušení devíti záměsí, jich celkem šest mělo pevnost v tlaku nad 100 MPa, ale jak už bylo zmíněno, pevnost v tlaku by měla být minimálně 150 MPa na válcích a 180 MPa na krychlích. Na základě tohoto zjištění můžeme prohlásit, že UHPC z hlediska pevnosti v tlaku se nepovedlo vyrobit. Nejvyšší dosažená pevnost v tlaku byla zjištěna u záměsí 3.2. Její pevnost po 41 dnech byla 125,8 MPa. Ovšem tato záměs obsahovala 200 kg/m³ strusky, a to by mohlo v pozdější fázi zrání betonu znamenat další nárůst pevnosti. Její vodní součinitel nakonec vzrostl na hodnotu 0,26. Z této záměsí vycházel konečný návrh pro míchání. Ta s menší úpravou vstupních surovin měla hodnotu v tlaku pouze 105,4 MPa. Jak už bylo zmíněno výše, tato úprava znamenala přidání většího množství mikrosiliky, a to se podepsalo na pevnosti v tlaku.

Při pevnosti v tahu ohybem jsme dosáhli u finálního betonu hodnoty 17,0 MPa. Podle nepsaných pravidel je UHPC označován jako beton s pevnostmi v tahu ohybem nad 15,0 MPa. Z tohoto pohledu se podařilo dosáhnout požadovaných pevností v tahu ohybem.

Při zkoušení desek na průraz vyšla průměrná hodnota 17 492 N při kolapsu desky. To znamená tíha o hmotnosti přibližně 1,78 tun na ploše 80 x 80 mm. Desky se nechovaly příliš pružně. Při zatížení jsme mohli sledovat mírný pokles uprostřed pod zatěžovací deskou, avšak tento

pokles mohl být o velikosti cca 1,5 cm. Poté došlo k poruše vlivem rozšíření trhlin, jak jsme mohli vidět na obrázku.

Zkoušení pevností s drátky a bez drátků

Při zkoušení pevnosti v tahu s drátky a bez nich byla zjištěna hodnota 15,0 MPa s drátky a 13,1 MPa bez drátků. Můžeme pozorovat odchylku pouze 1,9 MPa, což není sice tak velký rozdíl z hlediska pevnosti jako z hlediska finančního, když uvážíme, že drátky jsou nejnákladnější surovinou UHPC. Ovšem jak už bylo popsáno, jejich chování při zatěžování bylo odlišné.

Na úlomcích po zkoušení pevnosti v tahu ohybem s drátky a bez nich byla zjištěna pevnost v tlaku 116,8 MPa s drátky a 115,2 MPa bez nich. Jak jsme mohli vidět, vycházelo se ze zámeši 3.1, která měla pevnost v tlaku 109,4 MPa po 41 dnech. Bylo možné pozorovat, že při zmenšeném obsahu vzduchu (z 3,9 % na 2,7 %) a při stejném složení bylo dosaženo o něco vyšší pevnosti než v předchozím případě.

3.3. Použití v praxi

Využití těchto betonů v praxi by mělo být zaměřeno především na prefabrikované prvky, při kterých odpadá vzdálenější přeprava transportbeton. Beton by díky své tekuté konzistenci a lepidlosti mohl působit při dopravě nemalé problémy. Po namíchání měly betony tendenci rychle tuhnout, ale při dalším promíchání v míchačce byla jejich konzistence obnovena. Proto bych zde volil použití prefabrikátů, kde je beton po vyrobení ihned uložen do bednění s minimální dopravou. Dále by bylo možné využití například pro betonové sloupy, u kterých by mohlo být dosaženo velmi subtilních konstrukcí vzhledem k pevnostem betonu. U těchto betonů má také velký význam jejich trvanlivost. V současné době probíhá v cyklovacím zařízení zkouška odolnosti povrchu proti CHRL metodou C. Předpokládá se, že díky velkým dávkám mikrosiliky bude navržený beton výrazně odolnější než vysokohodnotné betony. Mikrosilika zaručuje odolnost vůči působení agresivních činitelů vnějšího prostředí. Dále snižuje rychlost karbonatace povrchových vrstev betonu. [40] Samozřejmě důležitou roli zde hraje také cena betonu. V porovnání s betony běžného typu je tento několikanásobně dražší, a to by mohlo odradit jeho víceúčelové použití. I když jeho vliv na úsporu materiálu by mohl být značný, jako tomu bylo například u Lávký přes Opatovický kanál, kde došlo vlivem použití betonu pevnostní třídy C 110/130 XF4 místo C 35/45 - XC4, XF3 k ušetření 10 m³. Původní návrh počítal s 14 m³ a nový návrh s použitím UHPC jen 4 m³. Vzhledem k použití velkého množství cementu můžeme očekávat vysoký podíl alkálií, které by nemuselo vyhovovat stanoveným limitům na stavbách financovaných ŘSD.

Směr dalšího výzkumu

Pro další výzkumné činnosti bych doporučil zaměřit se na obsah vzduchu. Hodnota okolo 4 % u finální záměsi je stále poměrně vysoká. To by se ještě mohlo vyladit technologickým postupem při vkládání složek při míchání. Další z možných směrů výzkumů by mohla být optimalizace navržené receptury 3.2, která dosáhla pevnosti v tlaku 125,8 MPa. Pokud by se nedařilo dojít k předpokládané pevnosti v tlaku z běžně dostupných materiálů, navrhol bych použití křemičitých písků a dalších pevných jemných částic.

Zaměřit by se také dalo na chování desek při zatěžování a porovnat, jak se budou chovat desky bez drátků. Vliv drátků na pevnosti v tlaku a v tahu ohybem nebyl příliš výrazný.

Pokud se jedná o finanční náročnost těchto betonů, stálo by za úvahu zkusit snížit dávku ocelových vláken a porovnat jejich vliv na pevnost v tahu ohybem. Tím bychom mohli docílit výroby betonu s menšími náklady a třeba s ne příliš odlišnými pevnostmi.

4. Seznam použité literatury a internetových zdrojů

- [1] COUFAL, Robert, Jan L. VÍTEK a Alena PROCHÁZKOVÁ. Praktická zkušenost s výrobou a dopravou UHPC. *Beton: Technologie, konstrukce, sanace*. 2015, 15.(2), 28-36. ISSN 12133116
- [2] SCHMIDT, Michael a Thomas TEICHMANN. Ultra vysokohodnotný beton: základna udržitelných konstrukcí. *Beton: Technologie, konstrukce, sanace*. 2008, 8.(2), 12-14. ISSN 12133116
- [3] HELA, Rudolf, Lenka BODNÁROVÁ a Jana MARŠÁLOVÁ. Nové materiály - nové druhy a technologie betonu. *Beton: Technologie, konstrukce, sanace*. 2003, 3.(2), 58-60. ISSN 12133116
- [4] SEM/EDS analýza. *Materiálový průzkum uměleckých děl* [online]. 2015 [cit. 2015-11-05]. Dostupné z: <http://pruzkumumeni.cz/metody-pruzkumu/sem-eds-analyza/>
- [5] VÍTEK, Jan L., Robert COUFAL a Jiří KOLÍSKO. UHPC - Experimenty a výroba prvků. In: *20. Betonářské dny*. Praha: ČBS Servis, s. r. o., 2013, s. 276-281. ISBN 978-80-87158-34-0
- [6] MASTERFIBER® 482: Vlákna z vysokouhlíkové oceli pro vyztužení vysoce a ultra vysoce odolného betonu (HPC & UHPC). *Basf s. r. o.* [online]. 2008, 2015 [cit. 2015-11-05]. Dostupné z: http://www.basf-cc.cz/cs/produkty/prisadybetonu/primesiapraskoverisady/vlakna/MASTERFIBER%C2%AE482/Documents/tl_masterfiber_482.pdf
- [7] ZDEB, T. Ultra-high performance concrete – properties and technology. *Bulletin of the polish academy of sciences: Technical sciences*. Krakov: Pałac Kultury i Nauki, 2013, (1), 183-193. DOI: 10.2478/bpasts-2013-0017. ISSN 0239-7528
- [8] TICHÝ, Jan, Alain ŠTĚRBA, Vladislav TREFIL a Ivo ŽALOUDEK. Ultravysokopevnostní beton v prefabrikaci. *Beton: Technologie, konstrukce, sanace*. 2010, 10.(5), 46-49. ISSN 12133116
- [9] HELA, Rudolf. Příměsi do betonu. *Beton: Technologie, konstrukce, sanace*. 2015, 15.(2), 4-10. ISSN 12133116.
- [10] *Technické podmínky TP 226: Vysokohodnotné betony pro mosty PK*. Ministerstvo dopravy ČR, Odbor silniční infrastruktury. Praha, 2010
- [11] RYDVAL, Milan, Jiří KOLÍSKO a Petr HUŇKA. Optimalizace receptury UHPC s ohledem na homogenitu matrice a rozptýlení vláken. In: *19. betonářské dny 2012: 19th Czech Concrete Day 2012 : conference proceedings : sborník ke konferenci [s mezinárodní účastí] :*

Hradec Králové, Kongresové centrum ALDIS, 23. a 24. listopadu 2012 /.. Praha: ČBS Servis, s. r. o., 2012, s. 313-317. ISBN 978-80-87158-32-6

[12] RYDVAL, Milan, Jiří KOLÍSKO, Petr HUŇKA a Jan TICHÝ. Závislost únosnosti prvků vyrobených z UHPFRC na distribuci vláken. In: 20. *Betonářské dny*. Praha: ČBS Servis, s. r. o., 2013, s. 246-251. ISBN 978-80-87158-34-0

[13] AÏTCIN, Pierre-Claude. *Vysokohodnotný beton*. 1. české vyd. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) a Českou betonářskou společnost vydalo Informační centrum ČKAIT, 2005, 320 s. Betonové stavitelství. ISBN 80-867-6939-9

[14] REBENTROST, Mark a Pavel SMÍŠEK. Reaktivní jemnozrnný beton Ductal. *Beton: Technologie, konstrukce, sanace*. 2007, 7.(5), 22-23. ISSN 12133116

[15] VAVŘINÍK, Tomáš, Petr MÁCA, Radoslav SOVJÁK, Jan ZATLOUKAL a Petr KONVALINKA. Beton kosou neprostřelíš. In: 20. *Betonářské dny*. Praha: ČBS Servis, s. r. o., 2013, s. 197-202. ISBN 978-80-87158-34-0

[16] DILS, J., V. BOEL a G. De SCHUTTER. Influence of cement type and mixing pressure on air content, rheology and mechanical properties of UHPC. In: *Construction and Building Materials*. 2013, s. 455-463. ISBN 0950-0618.

[17] Lávka přes Labe u Čelákovíc. *Skupina SHP* [online]. Brno: Stráský, Hustý a partneři s. r. o. [cit. 2015-11-05]. Dostupné z: <http://www.shp.eu/strasky-husty-a-partneri/projekty/mosty/lavky-pro-pesi/zavesene-konstrukce/lavka-pres-labe-u-celakovic/>

[18] HUŇKA, Petr, Jiří KOLÍSKO a Stanislav ŘEHÁČEK. Vliv proteplení na pevnosti UHPC betonů. In: 20. *Betonářské dny*. Praha: ČBS Servis, s. r. o., 2013, s. 367-372. ISBN 978-80-87158-34-0

[19] Ductal Seonyu Footbridge. *Ductal Seonyu Footbridge* [online]. 2003 [cit. 2015-11-05]. Dostupné z: http://www.ductal.com/05_2003_seonyu_footbridge_fr.pdf

[20] KALNÝ, Milan, Jan KOMANEC, Václav KVASNIČKA, Jan L. VÍTEK, Robert BROŽ, Petr KOUKOLÍK a Robert COUFAL. Lávka přes Labe v Čelákovících - první nosná konstrukce z UHPC v ČR. *Beton: Technologie, konstrukce, sanace*. 2014, 14.(4), 10-18. ISSN 12133116

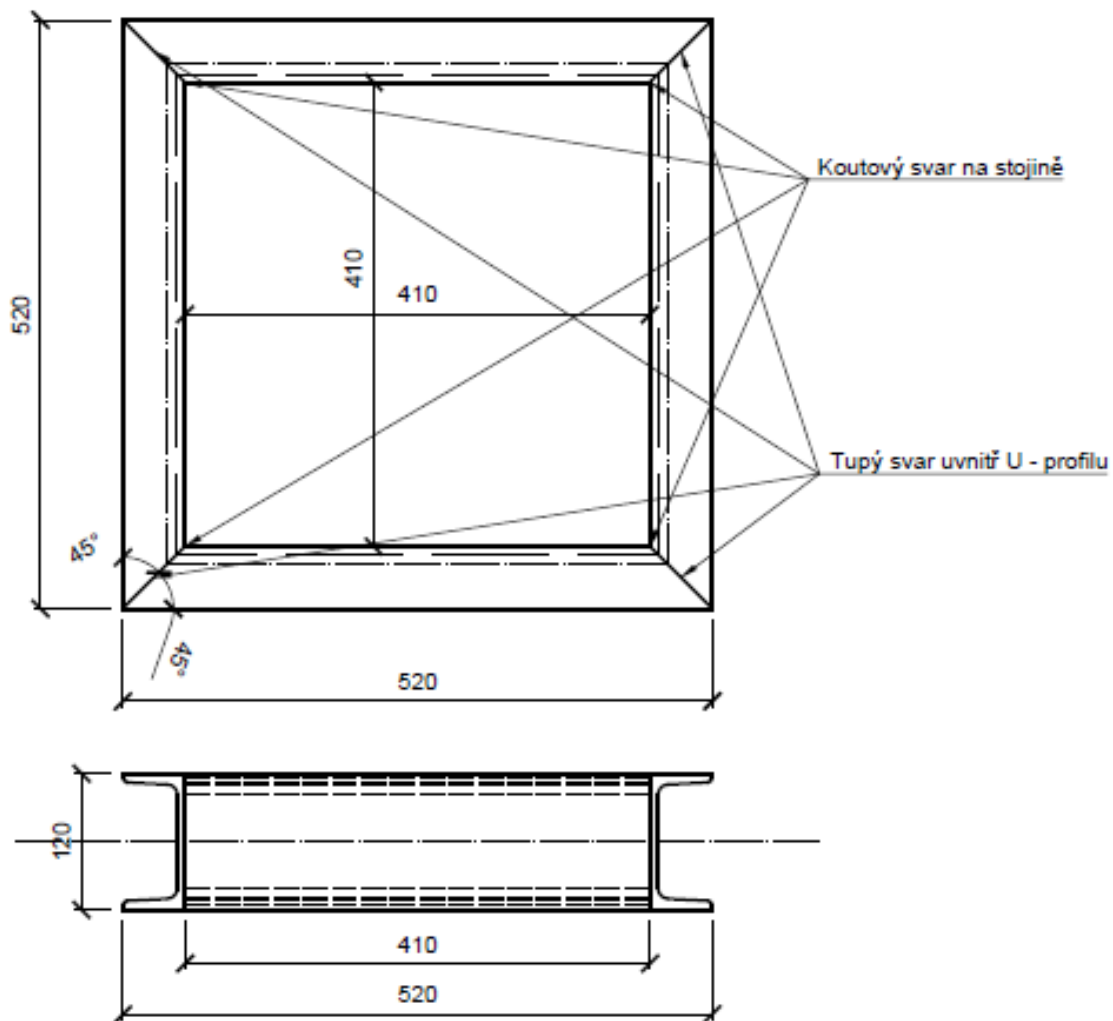
[21] Ductal. *Ductal* [online]. [cit. 2015-11-05]. Dostupné z: http://www.ductal.com/wps/portal/ductal/2_3_1Detail?WCM_GLOBAL_CONTEXT=%20/wps/wcm/connectlib_ductal/Site_ductal/English_version/Page.Navigation.Structural.Footbridges/KeyProjectDuctal%20%20Page/KeyProjectDuctal_1278713313528


- [22] KOLÍSKO, Jiří, Jan KOLÁŘ, Petr HUŇKA, Milan KALNÝ a Jan TICHÝ. Zkoušky desek z UHPC aplikovaných na mostní konstrukci v Benátkách nad Jizerou. In: *19. Betonářské dny*. Praha: ČBS Servis, s. r. o., 2012, s. 318-323. ISBN 978-80-87158-32-6
- [23] ČSN EN 1097 – 5 *Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva: Část 5: Stanovení vlhkosti sušením v sušárně*. Praha: Český normalizační institut, 2008
- [24] ČSN EN 12 390 – 2 *Zkoušení ztvrdlého betonu: Část 2: Výroba a ošetřování zkušebních těles pro zkoušky pevnosti*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009
- [25] ČSN EN 206 *Beton: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*. Praha: Český normalizační institut, 2014
- [26] ČSN EN 12 350 – 7 *Zkoušení čerstvého betonu: Část 7: Obsah vzduchu – Tlakové metody*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009
- [27] ČSN EN 12 350 – 6 *Zkoušení čerstvého betonu: Část 6: Objemová hmotnost*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009
- [28] ČSN EN 12 350 – 2 *Zkoušení čerstvého betonu: Část 2: Zkouška sednutím*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009
- [29] Pevnost v tlaku a hustota hlavních skupin hornin. *Geologická encyklopedie* [online]. [cit. 2015-12-02]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?t=9>
- [30] Diabas. *Encyklopedie* [online]. [cit. 2015-12-02]. Dostupné z: <https://leporelo.info/diabas>
- [31] TICHÝ, Jan, Jan KOMANEC, Bohuslav SLÁNSKÝ, David ČÍTEK, Miroslav HUBKA a Jiří KOLÍSKO. Lávka pro pěší z UHPC přes Opatovický kanál. In: *22. Betonářské dny*. Praha: ČBS Servis, s. r. o., 2015, s. 1-8. ISBN 978-80-906097-0-9
- [32] TICHÝ, Jan, Bohuslav SLÁNSKÝ, Bohuslav SLÁNSKÝ ML. a Stanislav ŠEVČÍK. Výroba a zkoušky zábradelních panelů z UHPC. In: *12. KONFERENCE SPECIÁLNÍ BETONY: BETONY V EXTRÉMNÍCH PODMÍNKÁCH VYSOKOHODNOTNÉ BETONY OSTATNÍ SPECIÁLNÍ BETONY*. Praha: SEKURKON s. r. o., 2015, s. 5-11. ISBN 978-80-86604-67-1
- [33] RYDVAL, Milan, Petr HUŇKA, Tomáš MANDLÍK a Jiří KOLÍSKO. Vliv drátků na zpracovatelnost a vlastnosti UHPC. In: *22. Betonářské dny*. Praha: ČBS Servis s. r. o., 2015, s. 1-6. ISBN 978-80-906097-0-9
- [34] MÁCA, Petr, Radoslav SOVJÁK a Tomáš VAVŘINÍK. Experimental Investigation of Mechanical Properties of UHPFRC. In: *CONCRETE AND CONCRETE STRUCTURES 2013 - 6th International Conference, Slovakia*. Slovakia: Procedia Engineering, 2013, s. 14-19. ISSN 1877-7058.

- [35] ČSN EN 12 350 - 8 *Zkoušení čerstvého betonu - Část 8: Samozhutnitelný beton - Zkouška sednutí-rozlitím*. Praha: Český normalizační institut, 2010
- [36] PYTLÍK, Petr. *Technologie betonu*. 2. vyd. Brno: VUTIUM, 2000, 390 s. Učebnice (VUTIUM). ISBN 80-214-1647-5
- [37] FENG, Su Li a Peng ZHAO. Study on the compressive strength and mixing of ultra-high performance concrete. In: *Applied Mechanics and Materials: Architecture, Building Materials and Engineering Management*. Trans Tech Publications, 2013, s. 825-828. DOI: doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.357-360.825. ISSN 1662-7482
- [38] YU, R., P. SPIESZ a H. J. H. BROUWERS. Development of an eco-friendly Ultra-High Performance Concrete (UHPC) with efficient cement and mineral admixtures uses. In: *Cement & Concrete Composites*. Netherlands: Elsevier, 2014, s. 383-394. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.09.024>. ISSN 0958-9465
- [39] REDA, M. M., N. G. SHRIVE a J. E. GILLOTT. Microstructural investigation of innovative UHPC. In: *Cement and Concrete Research: An International Journal*. 29. Ethics Resource Kit, 1999, s. 323-329. ISSN 0008-8846
- [40] SVOBODA, Luboš a KOLEKTIV. *Stavební hmoty* [online]. 3. vydání. Praha, 2013 [cit. 2016-01-18]. ISBN 978-80-260-4972-2. Dostupné z: <http://people.fsv.cvut.cz/~svobodah/sh/>

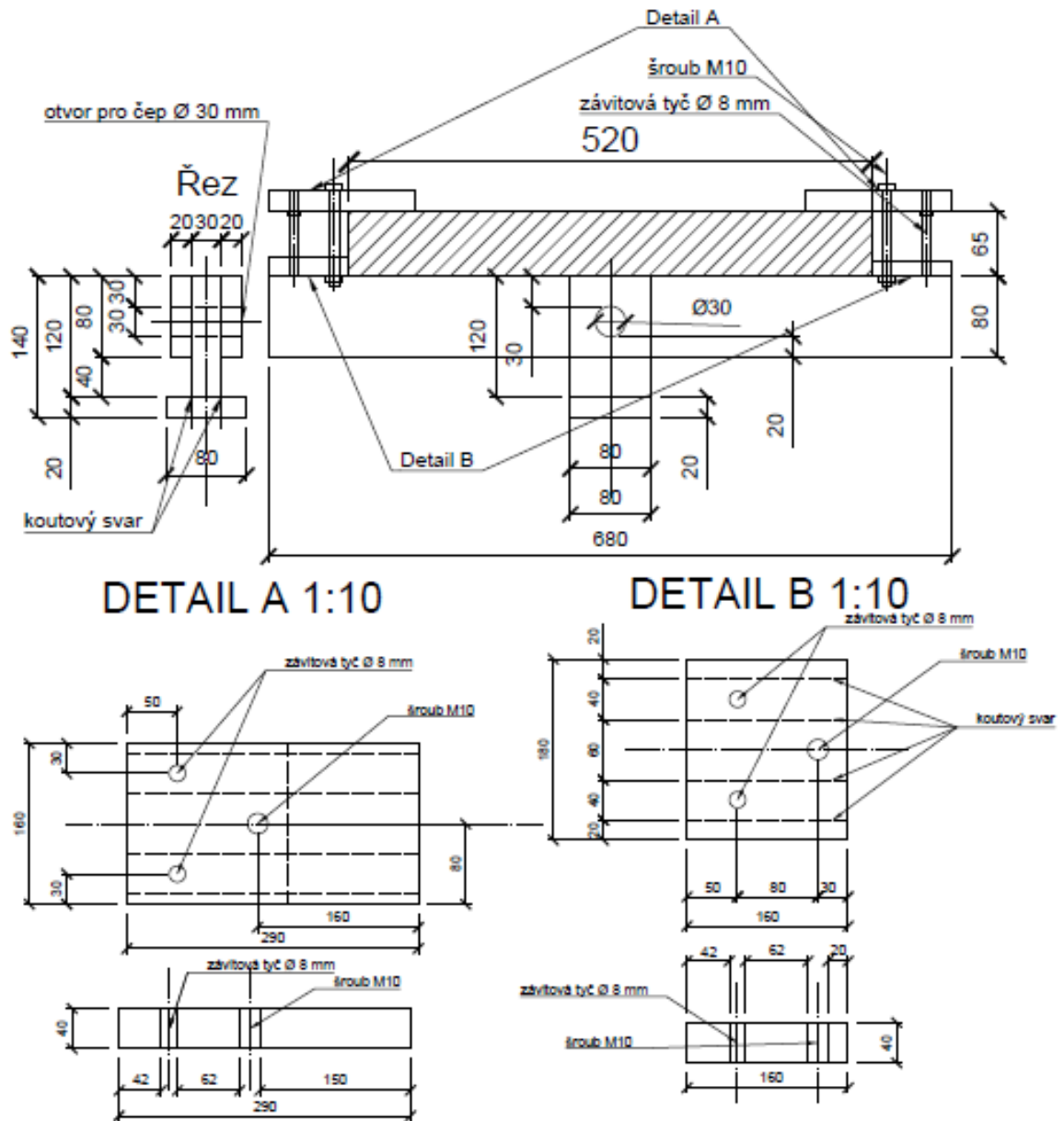
5. Přílohy


5.1. Spodní zatěžovací přípravek pro zkoušení desek



vpracoval:		 University of Jyväskylä Faculty of Education and Behavioral Sciences
Dr. Michal Radouš		
DIPLOMOVÁ PRÁCE		
přihot:	Spodní zatěžovací přípravek na průraz desek	formát: 1 x A4 měřítko: 1:5

5.2. Horní zatěžovací přípravek pro zkoušení desek



vyraboval: Bc. Michal Radouš	 Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera
DIPLOMOVÁ PRÁCE	
přihl.: Horní zatěžovací přípravek na průřez desek	
	formát: 1 x A4 měřítko: 1:5

5.3. Technický list Masterfiber 482



The Chemical Company

MasterFiber 482

Dříve MFIBER 482

Vlákna z vysokouhlikové oceli pro vyztužení vysoce a ultra vysoce odolného betonu (HPC & UHPC).

PŮSOBENÍ

- MasterFiber 482 jsou ocelová vlákna s vysokou pevností v tahu vyrobená z drátů z tvrdé oceli potažených mosazí a jsou určena pro vyztužení vysoce a ultra vysoce odolných betonů.
- Jejich tvar a velikost umožňuje použít velké množství vláken na m³, aniž by se snížila schopnost míchání betonu.
- Díky vysoké pevnosti v tahu a možnosti použít vlákna ve velkém množství dokáže MasterFiber 482 účinně redukovat trhliny a pomáhat betonu s popraskanou strukturou přenést větší zátěž a zajistit, že konstrukce bude mít pružné vlastnosti.
- Tato vlákna jsou vhodná pro zásaditá prostředí.

POUŽITÍ

MasterFiber 482 lze používat v následujících oblastech:

- Sloupy
- Předpjaté nosníkové trámy
- Tažené trouby
- Konstruktivní výtzuhy
- A mnoho dalších stavebních prefabrikovaných prvků pro lávky pro pěší, stěny, schodiště...

Vlákna se přidávají do míchačky betonu po přidání záměsové vody a přísad. Směs se musí míchat nejméně 5 minut, aby bylo zajištěno rovnoměrné rozložení vláken v betonu. Vlákna MasterFiber 482 se mohou používat v kombinaci se všemi přísadami společnosti BASF Stavební hmoty Česká republika s.r.o.

TECHNICKÉ ÚDAJE

materiál	mosazí potažené ocelové dráty
provedení	monofilní
ekvivalentní průměr	0,20 mm (0,18–0,22 mm)
délka	13 mm (11,8–14,4 mm)
poměr délky a průměru	65
konečná pevnost v tahu	≥ 2200 MPa
absorpce vody	nízká
odolnost vůči zásadám	Vysoká
Uvedené technické údaje jsou výsledkem statistických zjišťování a nepředstavují garantované minimální hodnoty. Pokud bude potřeba pracovat s kontrolovanými údaji, je možné je zajistit na vyžádání ve specifikacích objednávky podané technickému oddělení naší společnosti.	



DÁVKOVÁNÍ

- Dávkování tohoto ocelového vlákna s vysokou pevností v tahu se může pohybovat od 60 do více než 150 kg na m³ v závislosti na konkrétních charakteristikách, které daný vlákno vyztužený beton má mít.
- Použití MasterFiber 482 jako náhrady za primární ocelovou výztuž je možné jen po předchozích projektových kalkulacích.
- Vlákna poskytují nekorodující řešení, které je tenčí a lehčí než tradiční přístupy a které je pro uživatele snadnější a méně náročné na zařízení, čímž snižuje náklady na práci a materiál.

DŮLEŽITÉ UPOZORNĚNÍ

- Před použitím produktu se doporučuje provést výchozí zkoušky.
- Nepoužívejte nižší ani vyšší dávkování, než které je doporučeno, aniž byste se předem poradili s technickým oddělením naší společnosti.

BALENÍ

- Vlákna jsou balena volně v krabicích o hmotnosti 20 kg.

SKLADOVÁNÍ

- Materiál je velmi stabilní bez jakýchkoli přepokládaných rizik.
- Chraňte před požárem.

MASTER®
BUILDERS
SOLUTIONS



The Chemical Company

MasterFiber 482

Dříve MFIBER 482

Vláčna z vysokouhlikové oceli pro vyztužení vysoce a ultra vysoce odolného betonu (HPC & UHPC).

BEZPEČNOSTNÍ PŘEDPISY

Likvidace produktu a jeho obalů je odpovědností koncového uživatele a musí být provedena v souladu s požadavky aktuální legislativy. Další podrobné údaje jsou uvedeny v bezpečnostním listu, který zasíláme na vyžádání.

POZNÁMKA

Asistence na místě stavby, pokud je poskytována, neznamená převzetí dozorové odpovědnosti.

Podrobnější informace můžete získat u místního zastoupení společnosti BASF Stavební hmoty Česká republika s.r.o. Společnost si vyhrazuje právo určit pravou příčinu v případě jakýchkoli potíží pomocí schválených zkušebních metod.

TECHNICKÁ PODPORA

Příslušný spolupracovník firmy BASF Stavební hmoty Česká republika s.r.o. je Vám s dalšími informacemi a technickou podporou rád k dispozici

Zde poskytnuté informace jsou pravdivé, představují naše nejlepší znalosti a jsou založeny nejen na laboratorních pracích, ale i na zkušenostech z terénu. Z důvodu mnoha faktorů ovlivňujících výsledky, tyto informace poskytujeme bez záruk nebo patentové odpovědnosti. Pro další informace prosím kontaktujte příslušného místního zástupce.

BASF Stavební hmoty Česká republika s.r.o.
F. V. Veselého 2760/7, 193 00 Praha 9
Hala D2
tel.: +420 226 212 050
e-mail: info.cz@basf.com
www.basf-sh.cz
www.master-builders-solutions.cz

Zákaznický servis (přijem objednávek)
tel.: +420 469 607 160
fax: +420 469 607 161
e-mail: objednavky.cz@basf.com

Sídlo společnosti:
K Májovu 1244, 537 01 Chrudim
tel.: +420 469 607 111
fax: +420 469 607 112

Divize Admixture systems
(Informace k produktům)
Mobil: +420 724 755 574

Pracovní podmínky a rozsah použití produktů jsou rozdílné. V technickém listu jsou uvedeny všeobecné pokyny ke zpracování materiálu. Zpracovatel je povinen přezkoušet vhodnost a možnost použití produktu pro zamýšlený účel. V případě požadavků nad rámec všeobecných pokynů je třeba si vyžádat poradenství odborných a technických poradců prodávajícího, které je poskytováno na základě žádosti kupujícího v rámci servisu zákazníkům a řídí se platnými všeobecnými podmínkami prodávajícího. Proávající neodpovídá za škodu, odchytlí se kupující při aplikaci a zabudování výrobků do stavby od technických podmínek, skladovacích podmínek, pokynů výrobce a dob jejich použitelnosti. Aktuální informace o produktech firmy, stejně jako všeobecné obchodní podmínky, jsou dostupné na adrese www.basf-sh.cz.
Vydáno: červen 2014. Novým vydáním nahrazuje staré platnost.

MASTER®
BUILDERS
SOLUTIONS

5.4. Technický list Rheomac SF 120



The Chemical Company

Rheomac SF 120

Příměs do stěrek, malt a betonu z jemného, amorfního siliciumdioxidového prášku SiO_2 . Hlavní pole použití jsou proto betony náročné na pevnost, odolnost proti chemickým vlivům a trvanlivost.

Použití

- Ke zlepšení vlastností suché směsi malt, lepidel, stěrek atd. na cementové nebo vápenné bázi.
- Uplatnění však nachází i při výrobě vysoce trvanlivého betonu.

Působení

- Rheomac SF 120 působí při optimálním rozptýlení ve směsi jako účinné plnivo (vyplněny jsou i klíny mezi cementovými zrnky).
- Vzhledem ke značnému měrnému povrchu mikrosiliky cca $20 \text{ m}^2/\text{g}$ a sklovitému charakteru probíhá velmi intenzivně reakce s $\text{Ca}(\text{OH})_2$ vzniklého z hydratace cementu, a to při běžných teplotách nejvíce v prvních 7 dnech.
- Prokazatelně zlepšuje hutnost, pevnost a odolnost betonu/malty proti působení chemických a mechanických vlivů.
- V čerstvém betonu zvyšuje přidání Rheomac SF 120 soudržnost směsi a snižuje segregaci záměsové vody a zjednodušuje tak zahlazeni.

Technické údaje

Sypná hmotnost (při +20 °C)	0,25–0,35 kg/litr
Vzhled	šedě zbarvený prášek, nekompaktovaný
Obsah chloridů	< 0,1 % z hmotnosti

Dávkování

Účinné dávkování obecně je mezi 2–15 % k cementu.

Konkrétní dávkování je závislé na požadovaných vlastnostech betonu.

Před použitím nutně provést průkazní zkoušku dle ČSN ENV 206. Bez těchto zkoušek považujte max. dávkování 10 % k cementu.

Zpracování

Optimální způsob přidání je v betonárně po dávkování kameniva před zamícháním cementu nebo až po přidání záměsové vody (k zamezení tvorby „žmolků“).

Při nasazení je nutné misici jádro s nuceným mícháním a minimální doba míchání 3 minuty. Vzhledem ke své vysoké jemnosti má mikrosilika tendenci k aglomeraci. To je vizuálně znatelné na tzv. „mikrosilika žmolcích“ (velikost: od několika milimetrů až po cca 1 cm) k čemuž přispívají i dlouhé skladování, časté transporty -a komprese (spodní vrstva pytlů na paletě). Tyto aglomeráty jsou během míchání zpravidla znovu rychle rozmíchány. V případě použití práškové mikrosiliky při výrobě suché malty doporučuje se mikrosiliky cca 1 minutu míchat nasucho s kamenivem. Tim dojde k účinnému rozmíchání aglomerátů. Teprve potom je možné přidat jemné složky. Potřebná konzistence se zajistí superplastifikátorem Glenium.

Skladování

Chraňte před vlhkem a znečištěním!
Při obvyklém skladování (uzavřená nádoba, +20 °C) výrobce zaručuje neomezenou trvanlivost.

Bezpečnostní pokyny

Běžná opatření pro práci s hydraulickými pojivy (alkalický roztok ve vodě).

Při kontaktu s očima: pod tekoucí vodou několik minut vyplachovat a při přetrvávajících potížích vyhledat lékaře.

Při kontaktu s kůží: odstranit potřísněný oděv a pokožku důkladně omýt vodou a mýdlem.

Používejte vhodné ochranné rukavice a ochranné brýle nebo obličejový štít.

Další podrobné údaje jsou uvedeny v bezpečnostním listu, který zasiláme na vyžádání.

Balení

- pytel 14 kg
- big bag 300–500 kg
- cisterna

5.5. Technický list Elkem 920 D



The Chemical Company

ELKEM MICROSILICA 920 D

Příměs do stěrek, malt a betonu z jemného, amorfního křemičitého prášku SiO_2 . Hlavní pole použití jsou proto betony náročné na pevnost, odolnost proti chemickým vlivům a trvanlivost.

Popis

ELKEM MICROSILICA 920 D se používá ke zlepšení vlastností suché směsi malt, lepidel, stěrek atd. na cementové nebo vápenné bázi.

ELKEM MICROSILICA 920 D se používá i při výrobě vysoko-hodnotného betonu.

Působení

ELKEM MICROSILICA 920 D působí při optimálním rozptýlení ve směsi jako účinné plnivo (vyplněny jsou i klíny mezi cementovými zrnky).

Vzhledem ke značnému měměmu povrchu mikrosiliky cca $20 \text{ m}^2/\text{g}$ a sklovitému charakteru probíhá velmi intenzivně reakce s $\text{Ca}(\text{OH})_2$ vzniklého z hydratace cementu.

ELKEM MICROSILICA 920 D prokazatelně zlepšuje hutnost, pevnost a odolnost betonu/malty proti působení chemických a mechanických vlivů.

V čerstvém betonu zvyšuje přidání ELKEM MICROSILICA 920 D soudržnost směsi a snižuje segregaci záměsové vody.

Technické údaje

vzhled	šedý prášek, kompaktný
sytná hmotnost	500–700 kg/m^3
obsah chloridů max.	< 0,3 % hm
obsah alkálií	< 1,0 %

Zpracování

Optimální způsob přidání je po dávkování kameniva před zamícháním cementu nebo až po přidání záměsové vody.

Při nasazení je nutné misici jádro s nuceným mícháním a minimální doba míchání 3 minuty. Pořebná konzistence se zajistí superplastifikátorem Glenium.

Dávkování

Doporučené dávkování obecně je mezi 2–15 % hmotnosti cementu.

Konkrétní dávkování je závislé na požadovaných vlastnostech betonu.

Před použitím nutně provést průkazní zkoušku dle GSN EN 206.

Skldování

Chraňte před vlhkem a znečištěním.

Při obvyklém skladování (uzavřená nádoba, $+20 \text{ }^\circ\text{C}$) výrobce zajišťuje neomezenou trvanlivost.

Bezpečnostní pokyny

Přípravek nemá charakter nebezpečné látky ve smyslu zákona č. 356/2003 Sb., v platném znění.

Při manipulaci s chemikálií dodržujte běžná bezpečnostní opatření.

Používejte vhodné ochranné rukavice a ochranné brýle.

Pokyny pro první pomoc, bezpečnostní pokyny a pokyny pro odstraňování látky a obalů jsou uvedeny v bezpečnostním listu, který zasíláme na vyžádání.

Balení

- big bag 1 200 kg
- pytel 25 kg
- cisterna

Technická podpora

Příslušný spolupracovník firmy BASF Stavební hmoty Česká republika s.r.o. je Vám s dalšími informacemi a technickou podporou rád k dispozici.

5.6. Technický list MasterGlenium ACE 430



The Chemical Company

MasterGlenium® ACE 430

(Glenium ACE 430)

Высоководоредуцирующая/суперпластифицирующая добавка на основе эфира поликарбоксилата для производства сборных железобетонных изделий и конструкций.

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

MasterGlenium ACE 430 применим при производстве любых видов сборных железобетонных изделий и конструкций. Позволяет изготавливать бетонные смеси любой подвижности от жестких до высокоподвижных, в том числе самоуплотняющиеся. Применим для производства товарных бетонных смесей с низким водоцементным отношением, в тех случаях, когда не требуется длительное время сохранения (более 2 ч) подвижности бетонной смеси.

ПРЕИМУЩЕСТВА

- Получение бетонных смесей с высокой подвижностью, прочностью и плотностью при снижении водоцементного отношения, что позволяет снизить расход цемента;
- Сокращение продолжительности и (или) температуры тепловой обработки, что приводит к экономии энергоресурсов и значительно снижает затраты на тепловую обработку изделий (в теплое время года возможен полный отказ от ТО), а также увеличению оборачиваемости форм и количества выпускаемой продукции;
- Эффективно работает со всеми типами цемента;
- Позволяет сократить время вибрационной обработки бетонной смеси при формировании изделий, либо полностью отказаться от нее, что обеспечивает сокращение энергозатрат на данный процесс, а также снижение шумового и вибрационного воздействия;
- Применим для изготовления бетонных смесей, предназначенных для предварительно напряженных конструкций;

- Высокое качество поверхности изделий

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ

Нельзя добавлять в сухую смесь! Следует вводить добавку вместе с водой затворения (предпочтительно с последней третью воды). Наилучший эффект наблюдается, когда добавка вводится в бетонную смесь после добавления всей воды. В любом случае необходимо обеспечивать достаточное время перемешивания после введения добавки.

ДОЗИРОВКА

Рекомендуемая дозировка 0,2-2,0% от массы цемента. Точное количество добавки следует подбирать в лаборатории путем проведения пробных замесов.

СОВМЕСТИМОСТЬ

MasterGlenium ACE 430 совместим с воздухововлекающими добавками серии MasterAir, модификаторами вязкости MasterMatrix 100, водной суспензией микрокремнезема MasterLife 500 S. Возможно применение в комплексе с ускорителем твердения Master X-SEED 100. Не рекомендуется при приготовлении бетонной смеси совмещать с суперпластификаторами на основе нафталинов, т.к. это приводит к снижению пластифицирующего действия и увеличению дозировки добавки. При использовании других добавок необходимо проверить их совместимость с MasterGlenium ACE 430

MASTER®
» BUILDERS
SOLUTIONS



The Chemical Company

MasterGlenium® ACE 430

(Glenium ACE 430)

Показатель	Значение показателя
Внешний вид	Однородная жидкость оранжевого или светло-коричневого цвета
Плотность при 20 °С, г/см ³	1,06 ± 0,02
Водородный показатель, pH	4-7
Содержание Cl- иона, в масс. %, не более	0,1

УПАКОВКА

MasterGlenium ACE 430 поставляется в 25 кг канистрах, 220 кг бочках, в 1000 кг контейнерах.

СРОК ГОДНОСТИ

Минимальный срок годности – 12 месяцев при хранении в соответствии с инструкцией производителя в закрытой оригинальной упаковке.

УСЛОВИЯ ХРАНЕНИЯ

Хранить при температуре не ниже +5°C. Избегать попадания прямых солнечных лучей, защищать от высоких температур. Несоответствие рекомендуемым условиям хранения может привести к изменению свойств продукта.

МЕРЫ ПРЕДОСТОРОЖНОСТИ И ТРАНСПОРТИРОВКА

При работе рекомендуется использовать защитные перчатки и очки. В случае попадания на кожу промыть водой. Не допускать попадания на слизистые оболочки, при попадании промыть обильным количеством воды. MasterGlenium ACE 430 невоспламеняющийся и нетоксичный продукт, поэтому не существует специальных рекомендаций для транспортировки.

Условия производства и особенности применения нашей продукции в каждом случае различны. В технических описаниях мы можем предоставить лишь общие указания по применению. Эти указания соответствуют нашему сегодняшнему уровню осведомленности и опыту. Потребитель самостоятельно несет ответственность за неправильное применение материала. Для получения дополнительной информации следует обращаться за рекомендациями к специалистам ООО «БАСФ Строительные системы».

ООО «БАСФ Строительные системы»
Офис в Москве: +7 495 225 6436
Офис в Санкт-Петербурге: +7 812 332 0412
Офис в Казани: +7 843 212 5506
Офис в Минске: +375 17 202 2471
Офис в Киеве: BASF T.O.V. +380 44 5915595
E-mail: stroysist@basf.com
www.master-builders-solutions.basf.ru
март 2014 г.
8D

® – Зарегистрированная торговая марка BASF-Group во многих странах мира.

MASTER®
» BUILDERS
SOLUTIONS

5.7. Prohlášení o vlastnostech mleté granulované vysokopecní strusky



PROHLÁŠENÍ O VLASTNOSTECH

č.04/2013

Výrobek:	Mletá Granulovaná Vysokopecní Struska dle požadavků EN 15167-1:2006
Typové označení:	MGVS
Zamýšlené použití:	MGVS určená jako hydraulická složka pro výrobu cementů, složka pro přípravu betonů, malt pro zdění, omítání a torkretování
Výrobce:	CEMEX Czech Republic, s.r.o., Siemsenova 2716/2, Praha 5, 155 00 Pracoviště : Areál EDĚ 1216, Dětmarovice, 735 71 IČ : 27892638
Zplnomocněný zástupce:	Nebyl jmenován
Systém posuzování a ověřování vlastností	1+
Oznámený subjekt	TZÚS Praha, s.p., Prosecká 811/76a, 190 00, Praha 9, č. NB 1020 vydal Certifikát ES Certifikát shody č. 1020 – CPD – 040 040904

Vlastnosti uvedené v prohlášení

Základní charakteristiky	Vlastnost	Harmonizované technické specifikace	
Měrný povrch	$\geq 2\,750\text{ cm}^2/\text{g}$	EN 15167-1:2006	
Index účinnosti	7 dní	$> 45\%$	EN 15167-1:2006
	28 dní	$> 70\%$	EN 15167-1:2006
Počátek tuhnutí	Ref. cement	$\geq 60\text{ min}$	EN 15167-1:2006
	MGVS	< 2 násobek ref. cementu	EN 15167-1:2006
Vlhkost	$\leq 1,0\%$	EN 15167-1:2006	
Obsah MgO	$\leq 18\%$	EN 15167-1:2006	
Obsah Cl	$\leq 0,1\%$	EN 15167-1:2006	
Obsah SO ₃	$\leq 2,5\%$	EN 15167-1:2006	
Obsah Sulfidů	$\leq 2,0\%$	EN 15167-1:2006	
Ztráta žíháním	$\leq 3,0\%$	EN 15167-1:2006	
Obsah CaO+MgO+SiO ₂	$\geq 66,7\%$	EN 15167-1:2006	
Obsah (CaO+MgO) / SiO ₂	$> 1,0\%$	EN 15167-1:2006	
Sklovitá fáze	$\geq 66,7\%$	EN 15167-1:2006	

Vlastnosti výrobku jsou ve shodě s vlastnostmi uvedenými v tabulce.

Toto prohlášení o vlastnostech se vydává na výhradní odpovědnost výrobce.

Jménem výrobce:

Jiří Duda, manažer kvality

Dětmarovice, dne 28.6.2013

Podpis: 

5.8. Certifikát k vápenci od firmy Carmeuse s. r. o.



TECHNICKÝ A ZKUŠEBNÍ ÚSTAV STAVEBNÍ PRAHA, s.p.
Technical and Test Institute for Construction Prague
Akreditovaná zkušební laboratoř, Autorizovaná osoba, Certifikační orgán, Notifikovaná osoba, Inspekční orgán
Accredited Test Laboratory, Authorized Body, Certification Body, Notified Body, Inspection Body
Prosecká 811/76a, 190 00 Praha 9, Czech Republic

CERTIFIKÁT SYSTÉMU ŘÍZENÍ VÝROBY

č. 1020 – CPD – 060025608

V souladu se směrnicí 89/106/EHS Rady Evropských společenství ze dne 21. prosince 1988 o sblížení právních a správních předpisů členských států týkajících se stavebních výrobků (směrnice o stavebních výrobcích – CPD), ve znění směrnice 93/68/EHS Rady Evropských společenství ze dne 22. července 1993, se potvrzuje, že stavební výrobek:

Filer jako kamenivo do betonu dle ČSN EN 12620

vyrobený výrobcem:

CARMEUSE CZECH REPUBLIC s.r.o.

IČ: 25340905
Adresa: Mokrá 359
664 04 Mokrá

v místě výroby:

CARMEUSE CZECH REPUBLIC s.r.o.

Adresa: Mokrá 359
664 04 Mokrá

je u výrobce podrobován počátečním zkouškám typu výrobku a řízení výroby a dalším zkouškám vzorků odebraným v místě výroby předepsaným způsobem a že notifikovaná osoba

Technický a zkušební ústav stavební Praha, s.p.

provedla počáteční inspekci v místě výroby a systému řízení výroby a vykonává průběžný dohled, posuzování a schvalování systému řízení výroby.

Tento certifikát prokazuje, že byla uplatněna všechna ustanovení týkající se posuzování systému řízení výroby popsaného v příloze ZA normy

EN 12620:2004 + A1:2008

Tento certifikát byl poprvé vydán 14. 2. 2007 a zůstává v platnosti, pokud se podmínky stanovené v harmonizované technické specifikaci, na niž byl uveden odkaz, nebo výrobní podmínky v místě výroby či systém řízení výroby sám výrazně nezmění.

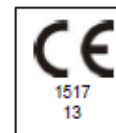
Brno, 3.dubna 2009




Ing. Miroslav Procházka
zástupce vedoucího notifikované osoby

5.9. Prohlášení o vlastnostech diabas frakce 0/4

Prohlášení o vlastnostech č.: 198U/1
podle nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 305/2011



- Identifikační kód výrobku: 121A2000031 CHRTNÍKY
- Druh stavebního výrobku: Přírodní drocené kamenivo – frakce 0/4
- Zamýšlená použití stavebního výrobku:
Kamenivo pro asfaltové směsi a povrchové vrstvy pozemních komunikací, letištních a jiných dopravních ploch
Kamenivo pro nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy pro inženýrské stavby a pozemní komunikace
- Výrobce: EUROVIA Kamenolomy, a.s., Londýnská ul. 637/79a, 460 01 Liberec XI – Růžodol I., IČ: 27 09 66 70
- Zplnomocněný zástupce: -
- Systém posuzování a ověřování stálosti vlastností stavebního výrobku: 2+
- Oznámený subjekt: Stavcoert, s. r.o., U Výstaviště 3, 170 00 Praha 7, oznámený subjekt č. 1517
provedl počáteční inspekci ve výrobním závodě a systému řízení výroby, provádí průběžný dozor, posuzování a hodnocení systému řízení výroby, a vydal Osvědčení o shodě řízení výroby (Certifikát SŘV) č.: 1517-CPR-110116.
- Evropské technické posouzení: nebylo vydáno
- Vlastnosti uvedené v prohlášení: viz tabulka

Základní charakteristiky	Vlastnosti (vztahující se na použití podle):		Harmonizované technické specifikace
	EN 13043	EN 13242	
Tvar zrn, frakce a objemová hmotnost			U základních charakteristik a vlastností uvedených ve sloupci: EN 13043 platí odkaz na: EN 13043:2002 EN 13242 platí odkaz na: EN 13242:2002+A1:2007
- Zrnitost	G _x 90	G _y 85	
- Tolerance pro zrnitost DK a směsi	G _{T,20}	G _{T,20}	
- Tvar zrn hrubého kameniva – tvarový index	NPD	NPD	
- Tvar zrn hrubého kameniva – index plochosti	NPD	NPD	
- Procentní podíl drocených a lámavých zrn v HK	NPD	NPD	
- Objemová hmotnost	2.896 Mg/m ³	2.896 Mg/m ³	
Čistota			
- Obsah sochránek živočichů v HK	-	-	
- Obsah jemných částic	f ₁₀	f ₁₀	
- Kvalita jemných částic	MB ₁₀	MB ₁₀	
Odolnost proti drocení			
- Odolnost proti drocení metodou LA	NPD	NPD	
- Odolnost proti drocení rázem	NPD	NPD	
Odolnost proti otěru/ohladitelnosti/obrusu			
- Odolnost proti otěru HK (mikro-Deval)	NPD	NPD	
- Odolnost proti ohladitelnosti	NPD	-	
- Odolnost proti povrchovému obrusu	NPD	-	
- Odolnost proti obrusu pneumatikami s hroty	NPD	-	
- Odolnost vůči tepelným šokům	NPD	-	
Složky/Obsah			
- Složky hrubého recyklovaného kameniva	-	NPD	
- Chloridy	-	-	
- Síraný rozpustný v kyselině	-	AS _{0,2}	
- Celková síra	-	S ₁	
- Obsah vodou rozpustných síranů v recykl. kamenivu	-	NPD	
- Potenciální přítomnost humusu	-	Vyhovuje	
- Obsah lehkých znečišťujících částic	m _{LC} 0,5	-	
- Obsah oxidu uhličitého v drobném kamenivu	-	-	
Objemová stálost			
- Objemová stálost-smršťování vysycháním	-	-	
- Rozpad křemičitanu vápenatého ve VCHVS	NPD	NPD	
- Rozpad železa ve VCHVS	NPD	NPD	
- Objemová stálost kameniva z ocelářské strusky	NPD	NPD	
Nasákavost			
- Nasákavost	-	WA ₂₄ 2	
Nebezpečné látky			
- Obsah přírodních radionuklidů	Ra 226 ≤ 100 Bq/kg; Index ≤ 1,0	-	
- Úvolňování jiných nebezpečných látek	NPD	NPD	
Trvanlivost proti zmrazování a rozmrazování			
- Odolnost proti zmrazování a rozmrazování	NPD	NPD	
- Zkouška síranem hořčnatým	NPD	NPD	
Odolnost proti rozpadavosti čediče			
- Trvanlivost proti alkalicko-křemičité reakci	NPD	NPD	
- Odolnost proti alkalicko-křemičité reakci (ČSN 721179)	-	-	
Petrografický druh kameniva		diabas	

10. Vlastnosti výrobku jsou ve shodě s vlastnostmi uvedenými v bodě 9.

Toto prohlášení o vlastnostech se vydává na výhradní odpovědnost výrobce uvedeného v bodě 4. Podepsáno za výrobce a jeho jménem:

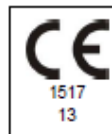
V Liberci, 1. 1. 2015	Jméno a funkce	Ing. Zuzana Sazimová, vedoucí technolog	Podpis
-----------------------	----------------	---	--------

Ing. Zuzana Sazimová

5.10. Prohlášení o vlastnostech diabas frakce 4/8

Prohlášení o vlastnostech č. 198U/16

podle nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 305/2011



- Identifikační kód výrobku: **121A2000021 CHRTNÍKY**
- Typové označení výrobku: **Přírodní drcené kamenivo – frakce 4/8**
- Zamýšlená použití stavebního výrobku:
Kamenivo pro přípravu betonu pro pozemní stavby, pozemní komunikace a jiné inženýrské stavby
Kamenivo pro asfaltové směsi a povrchové vrstvy pozemních komunikací, letištních a jiných dopravních ploch
Kamenivo pro nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy pro inženýrské stavby a pozemní komunikace
- Výrobce: **EUROVIA Kamenolomy, a.s., Londýnská ul. 637/79a, 460 01 Liberec XI – Růžodol I., IČ: 27 09 66 70**
- Zplnomocněný zástupce: -
- Systém posuzování a ověřování stálosti vlastností stavebního výrobku: **2+**
- Oznámený subjekt: **Stavcert, s. r.o., U Výstaviště 3, 170 00 Praha 7, oznámený subjekt č. 1517**
provedl počáteční inspekci ve výrobním závodě a systému řízení výroby, provádí průběžný dozor, posuzování a hodnocení systému řízení výroby, a vydal Osvědčení o shodě řízení výroby (Certifikát SRV) č.: 1517-CPR-110116.
- Evropské technické posouzení: nebylo vydáno
- Vlastnosti uvedené v prohlášení: viz tabulka

Základní charakteristiky	Vlastnosti (vztahující se na použití podle):			Harmonizované technické specifikace
	EN 12620	EN 13043	EN 13242	
Tvar zrn, frakce a objemová hmotnost				U základních charakteristik a vlastností uvedených ve sloupci: EN 12620 platí odkaz na: EN 12620:2002+A1:2008 EN 13043 platí odkaz na: EN 13043:2002 EN 13242 platí odkaz na: EN 13242:2002+A1:2007 Poznámka: Pokud se základní charakteristika nebo vlastnost nevztahuje k harmonizované technické specifikaci, řádek je v příslušném sloupci proškrtnut.
- Zrnitost	G _C 85/20	G _C 90/15	G _C 85/15	
- Tolerance pro zrnitost HK s D/d ≥ 2	G ₁ 15	G _{25/15}	GT _C 25/15	
- Tvar zrn hrubého kameniva – tvarový index	S ₁₀	S ₁₀	S ₁₀	
- Tvar zrn hrubého kameniva – index plochosti	NPD	NPD	NPD	
- Procentní podíl drcených a lámavých zrn v HK	-	C ₁₀₀₀	C ₉₀₀	
- Objemová hmotnost	2,876 Mg/m ³	2,876 Mg/m ³	2,876 Mg/m ³	
Cistota				
- Obsah schránek živočichů v HK	NPD	-	-	
- Obsah jemných částic	f _{1,5}	f ₁	f ₄	
- Kvalita jemných částic	-	NPD	NPD	
Odolnost proti drcení				
- Odolnost proti drcení metodou LA	LA ₁₀	LA ₁₀	LA ₁₀	
- Odolnost proti drcení rázem	NPD	NPD	NPD	
Odolnost proti otěru/ohladitelnosti/obrusu				
- Odolnost proti otěru HK (mikro-Deval)	NPD	NPD	NPD	
- Odolnost proti ohladitelnosti	PSV ₅₀ (deklarovaná)	PSV ₅₀ (deklarovaná)	-	
- Odolnost proti povrchovému obrusu	NPD	NPD	-	
- Odolnost proti obrusu pneumatikami s hroty	NPD	NPD	-	
- Odolnost vůči tepelným šokům	-	NPD	-	
Složky/obsah				
- Složky hrubého recyklovaného kameniva	NPD	-	NPD	
- Chlorydy	≤ 0,01 % hm.	-	-	
- Sírany rozpustné v kyselině	AS _{0,2}	-	AS _{0,2}	
- Celková síra	Vyhovuje	-	S ₁	
- Obsah vodou rozpustných síranů v recykl. kamenivu	SS _{0,2}	-	SS _{0,2}	
- Potenciální přítomnost humusu	Vyhovuje	-	NPD	
- Obsah lehkých znečišťujících částic	≤ 0,05 % hm.	m _{1,0} ≤ 0,1	-	
- Obsah oxidu uhličitého v drobném kamenivu	NPD	-	-	
Objemová stálost				
- Objemová stálost-smršťování vysycháním	NPD	-	-	
- Rozpad křemičitanu vápenatého ve VCHVS	NPD	NPD	NPD	
- Rozpad železa ve VCHVS	NPD	NPD	NPD	
- Objemová stálost kameniva z ocelářské strusky	-	NPD	NPD	
Nasákavost	WA ₂₄ ≤ 1%	-	WA ₂₄ 1	
Nebezpečné látky				
- Obsah přírodních radionuklidů	Ra 226 ≤ 100 Bq/kg / Index ≤ 1,0			
- Uvolňování jiných nebezpečných látek	NPD	NPD	NPD	
Trvanlivost proti zmrazování a rozmrazování				
- Odolnost proti zmrazování a rozmrazování	F ₁	F ₁	F ₁	
- Zkouška síranem hořčnatým	MS ₁₈	MS ₁₈	MS ₁₈	
Odolnost proti rozpadavosti čediče				
- Ztráta hmotnosti po vaření	-	NPD	NPD	
- Zvýšení součinitele LA po vaření	-	NPD	NPD	
Trvanlivost proti alkalicko-křemičité reakci				
- Alkalicko-křemičité reakce	< 0,07 %	-	-	
Petrografický druh kameniva		diabas		

10. Vlastnosti výrobku jsou ve shodě s vlastnostmi uvedenými v bodě 9.

Toto prohlášení o vlastnostech se vydává na výhradní odpovědnost výrobce uvedeného v bodě 4. Podepsáno za výrobce a jeho jménem:

V Liberci, 1. 1. 2015	Jméno a funkce	Ing. Zuzana Sazimová, vedoucí technolog	Podpis
-----------------------	----------------	---	--------

Ing. Zuzana Sazimová

5.11. Křivka zrnitosti diabasu frakce 0/4

Zkušebna kamene a kameniva, s.r.o. Zkušební laboratoř č. 1046 akreditovaná ČIA Příloha číslo : 2/1
Husova 675, 508 01 Hořice

PŘEHLED VÝSLEDKŮ ZKOUŠEK KAMENIVA POČÁTEČNÍ ZKOUŠKY TYPU (ITT) DRCENÉ KAMENIVO

Frakce (d/D) 0 / 4

Zakázka čis. : 2999/11 Místo odběru : Zásobník Vzorek číslo : 8584/11
Provozovna : CHR TNÍKY Datum odběru : 21.10.2011
Hornina : Diabas Odběr provedl za ZL : J. Ptáček Zástupce objednatele : D. Lachmanová

Zrnitost kameniva	Zkušební metoda	Jednotky	Hodnota propadu	Poznámka
Propad síťovými otvory (mm)				
2D 8	ČSN EN 933-1	% hm.	100,0	
1,4D 5,6	ČSN EN 933-1	% hm.	100,0	
D 4	ČSN EN 933-1	% hm.	98,8	
D/2 2	ČSN EN 933-1	% hm.	54,7	
D/4 1	ČSN EN 933-1	% hm.	27,0	
0,5 0,5	ČSN EN 933-1	% hm.	14,1	
0,25 0,25	ČSN EN 933-1	% hm.	7,3	
0,125 0,125	ČSN EN 933-1	% hm.	4,8	
0,063 0,063	ČSN EN 933-1	% hm.	3,9	

Vlastnost	Zkušební metoda	Jednotky	Hodnota	Poznámka
Obsah jemných částic	ČSN EN 933-1	% hm.	3,9	
Jakost jemných částic				
Zkouška methylenovou modří MB _F	ČSN EN 933-9	g/kg	2,33	
Zkouška ekvivalentu písku	ČSN EN 933-8	-	80	
Mez plasticity W _F	ČSN CEN ISO/TS 17892-12	% hm.	-	
Mez tekutosti W _L		% hm.	-	
Index plasticity I _p		% hm.	-	
Humusovitost	ČSN EN 1744-1, kap. 15.1	-	Negativní zkouška	
Obsah chloridových solí	ČSN EN 1744-1, kap. 8	% hm.	0,0001	
Obsah síranů rozpustných v kyselině	ČSN EN 1744-1, kap. 12	% hm.	0,019	
Obsah celkové síry	ČSN EN 1744-1, kap. 11	% hm.	0,029	
Obsah ve vodě rozpustných síranů	ČSN EN 1744-1, kap. 10	% hm.	0,003	
Nasákavost	ČSN EN 1097-6	% hm.	1,1	
Trvanlivost zkouškou síranem hořečnatým - úbytek po 5 cyklech	ČSN EN 1367-2	% hm.	-	
Odolnost proti zmrazování a rozmrazování - úbytek po 10 cyklech	ČSN EN 1367-1	% hm.	-	
Lehké znečišťující částice	ČSN EN 1744-1, kap. 14.2	% hm.	0,0	
Rozličné částice (nečistoty)	ČSN 72 1180	% hm.	-	
Hmotnost kameniva				
Objemová hmotnost	ČSN EN 1097-6	Mg/m ³	2,896	
Sypná hmotnost volně sypaného kameniva	ČSN EN 1097-3	Mg/m ³	1,482	
Sypná hmotnost setřeseného kameniva	ČSN EN 1097-3	Mg/m ³	1,776	
Mezerovitost volně sypaná	ČSN EN 1097-3	% hm.	48,8	
Mezerovitost setřesená	ČSN EN 1097-3	% hm.	38,7	

Za správnost odpovídá



Jaroslava Soukupová
zástupce vedoucího zkušební laboratoře

ITT/DK04/00

ZRNITOSTNÍ ROZBOR KAMENIVA POČÁTEČNÍ ZKOUŠKY TYPU (ITT)

DK frakce 0/4

podle ČSN EN 933-1, Změna A1

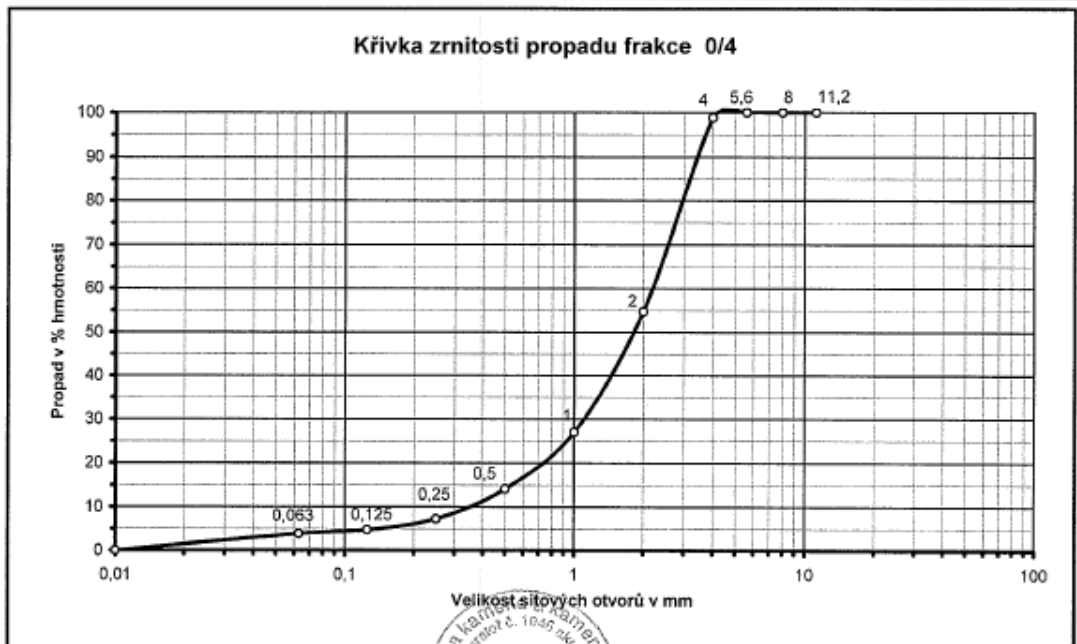
Zakázka č. : 2999/11
Provozovna : CHRŤNÍKY
Hornina : Diabas

Vzorek č. : 8584/11
Provedl : L. Bubelínová
Datum : 30.11.2011

Kontrola : J. Soukupová
Datum : 30.11.2011

Použitá metoda: Praní a prosévání

Frakce mm	Podíl zrnitosti			Propad sítím				
	1. stanovení		2. stanovení		Průměr	Velikost sit. otvorů	Hodnota	
	g	% hm.	g	% hm.	% hm.	mm	% hm.	
						-	16	100,0
11 / 16	0,0	0,0			0,0	11,2	100,0	
8 / 11	0,0	0,0			0,0	2D	8	100,0
5,6 / 8	0,0	0,0			0,0	1,4D	5,6	100,0
4 / 5,6	12,4	1,2			1,2	D	4	98,8
2 / 4	424,0	44,1			44,1	D/2	2	54,7
1 / 2	266,2	27,7			27,7	D/4	1	27,0
0,5 / 1	123,3	12,9			12,9		0,5	14,1
0,25 / 0,5	65,2	6,8			6,8		0,25	7,3
0,125 / 0,25	24,1	2,5			2,5		0,125	4,8
0,063 / 0,125	9,1	0,9			0,9		0,063	3,9
0 / 0,063 (P)	1,3							
0 / 0,063 (M ₁ -M ₂)	36,8	3,9			3,9		0	0,0
Celkem	962,4	100,0			100,0			



5.12. Křivka zrnitosti diabasu frakce 4/8

Zkušebna kamene a kameniva, s.r.o.
Husova 675, 508 01 Hořice

Zkušební laboratoř č. 1046 akreditovaná ČIA

Příloha číslo : 2/3

PŘEHLED VÝSLEDKŮ ZKOUŠEK KAMENIVA POČÁTEČNÍ ZKOUŠKY TYPU (ITT) HRUBÉ DRCENÉ KAMENIVO

Frakce (d/D) 4 / 8

Zakázka čís. : 2999/11
Provozovna : CHR TNÍKY
Hornina : Diabas

Místo odběru : Zásobník
Datum odběru : 21.10.2011
Odběr provedl za ZL : J. Ptáček

Vzorek číslo : 8586/11
Zástupce objednatele : D. Lachmanová

Zrnitost kameniva		Zkušební metoda	Jednotky	Hodnota propadu	Poznámka
Propad síťovými otvory (mm)					
2D	16	ČSN EN 933-1	% hm.	100,0	
1,4D	11,2	ČSN EN 933-1	% hm.	100,0	
D	8	ČSN EN 933-1	% hm.	98,1	
D/1,4	5,6	ČSN EN 933-1	% hm.	36,2	
d	4	ČSN EN 933-1	% hm.	2,6	
d/2	2	ČSN EN 933-1	% hm.	0,6	

Vlastnost	Zkušební metoda	Jednotky	Hodnota	Poznámka
Obsah jemných částic	ČSN EN 933-1	% hm.	0,4	
Tvar zrn - tvarový index > 3	ČSN EN 933-4	% hm.	16,2	
Podíl zrn ostrohranných	ČSN EN 933-5	% hm.	100	
Odolnost proti drcení - součinitel LA ¹⁾	ČSN EN 1097-2, kap. 5	-	12,0	
Nasákavost	ČSN EN 1097-6	% hm.	0,5	
Trvanlivost zkouškou síranem hořečnatým - úbytek po 5 cyklech	ČSN EN 1367-2	% hm.	-	
Odolnost proti zmrazování a rozmrazování ¹⁾ - úbytek po 10 cyklech	ČSN EN 1367-1	% hm.	0,1	
Obsah chloridových solí	ČSN EN 1744-1, kap. 8	% hm.	0,0001	
Obsah síranů rozpustných v kyselině	ČSN EN 1744-1, kap. 12	% hm.	0,019	
Obsah celkové síry	ČSN EN 1744-1, kap. 11	% hm.	0,029	
Obsah ve vodě rozpustných síranů	ČSN EN 1744-1, kap. 10	% hm.	0,003	
Lehké znečišťující částice	ČSN EN 1744-1, kap. 14.2	% hm.	0,0	
Hmotnost kameniva				
Objemová hmotnost	ČSN EN 1097-6	Mg/m ³	2,876	
Sypná hmotnost volně sypaného kameniva	ČSN EN 1097-3	Mg/m ³	1,334	
Sypná hmotnost setřeseného kameniva	ČSN EN 1097-3	Mg/m ³	1,585	
Mezerovitost volně sypaná	ČSN EN 1097-3	% hm.	53,6	
Mezerovitost setřesená	ČSN EN 1097-3	% hm.	44,9	

¹⁾ Zkouška byla provedena na frakci 10/14.

Za správnost odpovídá :



Jaroslava Soukupová

zástupce vedoucího zkušební laboratoře

41

ZRNITOSTNÍ ROZBOR KAMENIVA POČÁTEČNÍ ZKOUŠKY TYPU (ITT) HDK frakce 4/8

podle ČSN EN 933-1, Změna A1

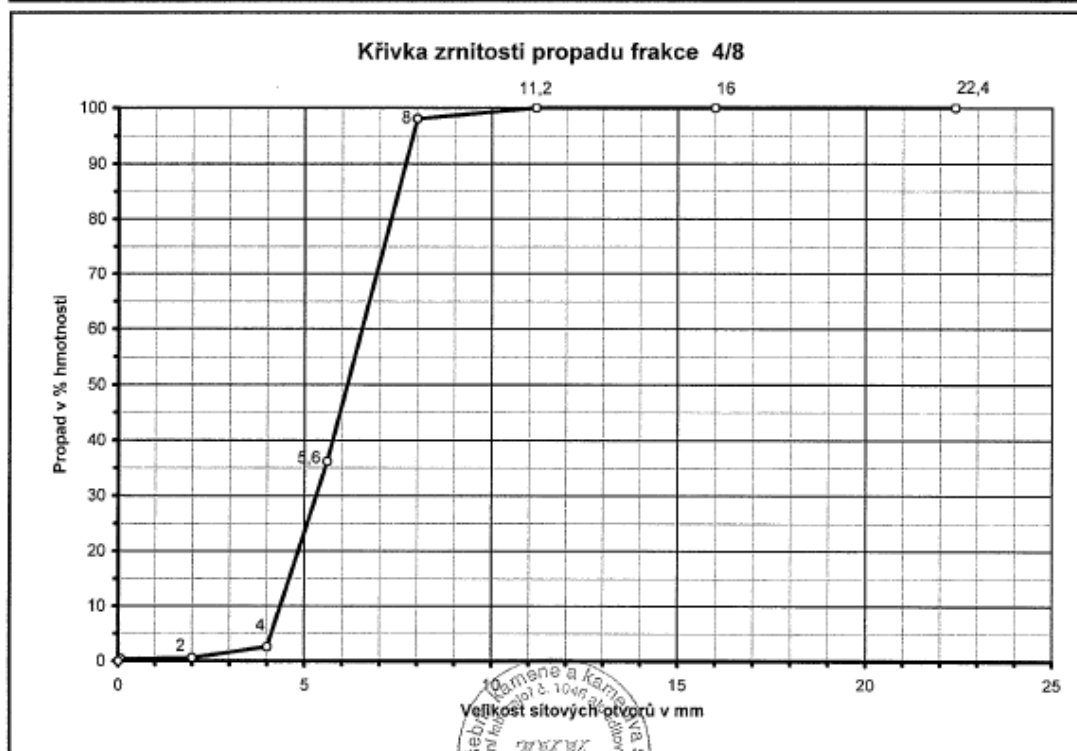
Zakázka č. : 2999/11
Provozovna : CHR TNÍKY
Hornina : Diabas

Vzorek č. : 8586/11
Provedl : L. Bubelínová
Datum : 30.11.2011

Kontrola : J. Soukupová
Datum : 30.11.2011

Použitá metoda: Praní a prosévání

Frakce	Podíl zrnitosti					Propad sítím		
	1. stanovení		2. stanovení		Průměr	Velikost sít. otvorů		Hodnota
mm	g	% hm.	g	% hm.	% hm.	-	mm	% hm.
							22,4	100,0
16 22,4	0,0	0,0			0,0	2D	16	100,0
11,2 / 16	0,0	0,0			0,0	1,4D	11,2	100,0
8 / 11,2	128,0	1,9			1,9	D	8	98,1
5,6 / 8	3 984,0	61,9			61,9	D/1,4	5,6	36,2
4 / 5,6	2 159,0	33,6			33,6	d	4	2,6
2 / 4	124,0	2,0			2,0	d/2	2	0,6
0,063 / 2	10,0	0,2			0,2	-	0,063	0,4
0 / 0,063 (P)	3,0				0,4	-	0	0,0
0 / 0,063 (M ₁ -M ₂)	30,0	0,4						
Celkem	6 438,0	100,0			100,0			



5.13. Prohlášení o vlastnostech granit frakce 0/4

PROHLÁŠENÍ O VLASTNOSTECH

Podle nařízení evropského parlamentu a rady EU č. 305/2011 a zákona č. 22/1997 Sb. v platném znění



1020

Výrobce

Granita s.r.o. V. Svobody 695
539 73 Skuteč, IČO 45270741
Systém posuzování a ověřování vlastností : 2+

13

1020-CPD-050012124

EN 12620 : 2002+A1 : 2008
Kamenivo do betonu

Provozovna : LITICKÁ	Druh kameniva : Přírodní kamenivo drcené
----------------------	--

Článek ČSN EN	Základní charakteristika	Vyjádření	Kategorie, hodnota
4.2	Frakce kameniva	Označení d/D	0/4
4.3	Zrnitost	Tolerance/Kategorie	G _r 85
4.3.2	Tolerance pro deklar. typickou zrnitost DK	Kategorie	tab. 4
4.4	Tvar zrn hrubého kameniva	Kategorie	NPD
4.5	Obsah schránek živočichů	Kategorie	NPD
4.6	Obsah jemných částic	Kategorie	f ₁₆
5.2	Odolnost proti drcení HK	Kategorie	NPD
5.3	Odolnost proti otěru HK	Kategorie	NPD
5.4.1	Odolnost proti ohladitelnosti HK	Kategorie	NPD
5.4.2	Odolnost proti povrchovému obrusu	Kategorie	NPD
5.4.3	Odolnost proti obrusu pneumatí s hroty	Kategorie	NPD
5.5	Objemová hmotnost	Deklarovaná hodnota	2,68 Mg/m ³
5.5	Nasákavost	Deklarovaná hodnota	NPD
5.6	Sypná hmotnost	Deklarovaná hodnota	1,58 Mg/m ³
5.7.1	Odolnost kameniva proti zmrazování a roz.	Kategorie	F ₁
5.7.2	Objem. stálost- smršťování při vysychání	Vyhovuje/nevhovuje	NPD
5.7.3	Alkalicko křemičitá reakce	Deklarovaná hodnota	rozpínavost < 0,03%
6.2	Chloridy	Deklarovaná hodnota	≤ 0,0001%
6.3.1	Sírany rozpustné v kyselině	Kategorie	AS ₃₂
6.3.2	Celková síra	Vyhovuje/nevhovuje	Vyhovuje
6.4.1	Obsah lehkých znečišťujících částic	Deklarovaná hodnota	≤ 0,05%
6.4.1	Obsah humusovitých částic DK	Vyhovuje/nevhovuje	Vyhovuje
6.5	Obsah oxidu uhličitého v DK	Deklarovaná hodnota	NPD
8.1	Druh kameniva	Petrografický název	Granodiorit
H.3.3	Obsah přírodních radionuklidů	Vyhovuje/nevhovuje	Vyhovuje

Ve Skutči dne 1.července 2013

GRANITA s.r.o.

Vilibalda Svobody 695
539 73 SKUTEČ ©
DIČ: CZ45270741

Ing. František Fildr
jedenatel společnosti

5.14. Křivka zrnitosti granitu frakce 0/4

GRANITA s.r.o.
V. Svobody 695, 539 73 Skuteč

Tel / fax : 469 350 720, 469 350 721
DIČ : CZ 452 70 741

PROTOKOL O ZKOUŠCE č. 99/1/13

Stanovení zrnitosti a obsahu jemných částic drobného kameniva podle ČSN EN 933-1

Výrobna : LITICKÁ
Druh a deklarované zrnění : kamenivo **drcené frakce 0/4**
Datum odběru vzorků : 26.8.2013
Místo odběru : ze zásobníku
Vzorek odebral : Menc

Zkušební zařízení metrologicky ošetřeno dle „metrologického zabezpečení“ firmy.

Výsledky zkoušek :

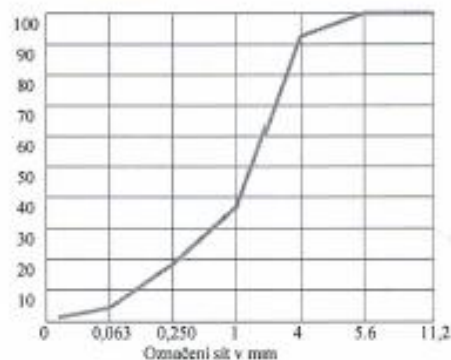
propady v % hmotnosti :

Nadsitné 1,4 D	0,0 %
Nadsitné D	6,2 %
Podsítiné d	0,0 %
Jemné částice f ¹⁾	4,1 %
Objemová hmotnost	2,68 Mg/m ³
Nasákavost WA ₂₄	1,58 Mg/m ³
Neobsahuje humusovité částice	

11,2	100,0
5,6	100,0
4	93,8
1	37,2
0,250	18,6
0,063	4,1

1) Použitá metoda : prosévání

Křivka zrnitosti
(Propad v % hmotnosti)



Závěr: kamenivo vyhovuje ve zkoušených vlastnostech požadavkům ČSN EN 13242 +A1
Kamenivo pro nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy pro
inženýrské stavby a pozemní komunikace a je zařazeno do **třídy C**.

Budislav 6.9.2013

GRANITA s.r.o.
Vilibaldův Svoboda 695
539 73 SKUTEČ
DIČ: CZ45270741
útvář řízení jakosti

Zkoušky provedl Menc
Pozorov. Úřku Granita s.r.o.