



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

SLEDOVÁNÍ VLIVU SLOŽENÍ BETONU NA ODOLNOST PROTI ABRAZI

MONITORING THE INFLUENCE OF CONCRETE COMPOSITION ON ABRASION RESISTANCE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Hana Černá

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. LENKA BODNÁROVÁ, Ph.D.

BRNO 2019



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Hana Černá
Název	Sledování vlivu složení betonu na odolnost proti abrazi
Vedoucí práce	doc. Ing. Lenka Bodnárová, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2018
Datum odevzdání	11. 1. 2019

V Brně dne 31. 3. 2018

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Hela. R. Technologie betonu I, II. Studijní opory. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební.
Databáze internetových vědeckých časopisů Web of science, Scopus a další.
Zahraniční a tuzemské odborné časopisy a sborníky z vědeckých symposií.
České a zahraniční technické normy.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Moderní technologie betonu se prakticky neobejde bez používání různých druhů aktivních či pasivních příměsí, pomocí kterých lze modifikovat důležité vlastnosti betonu v jeho čerstvém i zatvrdlém stavu. Praxe potvrdila jejich nezastupitelnou roli taktéž při betonáži významných staveb, kde se na použité betony kladou přísné nároky. V tomto ohledu je to například i vysoká odolnost betonových povrchů proti abrazivnímu chování.

Z hlediska zlepšení odolnosti proti abrazi betonu zejména v jeho prefabrikované výrobě a u liniových staveb je běžná technologie dvouvrstvého betonu, kdy vrstva vystavená abrazivním podmínkám vykazuje zcela odlišné vlastnosti než vrstva jádrového betonu. V praxi však u většiny monolitických staveb není možné tuto technologii použít, a přesto je na ně kladen přísný požadavek z hlediska odolnosti proti abrazi. Jako příklad lze jmenovat povrchy betonů přicházející do styku s proudícími kapalinami nebo pevnými látkami.

V teoretické části diplomové sestavte rešerše z odborných publikací o využitelnosti nejrozličnějších druhů příměsí zejména z hlediska možnosti ovlivnění odolnosti betonu proti abrazi. Zaměřte se rovněž na možnosti ovlivnění odolnosti betonu proti abrazi pomocí použitého druhu kameniva a jeho skladby. Sumarizujte tyto poznatky s ohledem na výrobu betonů třídy XM.

V experimentální části diplomové práce navrhnete několik betonů třídy C30/37, S3. Pro návrh betonů použijte vždy kombinace jednoho druhu příměsí (například mikromletý vápenec, struska, vysokoteplotní popílek a mikrosilika) a odlišného druhu kameniva (drcený afibolit, drcený granodiorit a těžená sedimentární hornina). U všech vyrobených betonů sledujte vývoj vybraných mechanických parametrů po 28 a 90 dnech zrání. Mezi tyto parametry patří pevnost v tlaku, pevnost v tahu ohybem, pevnost v tahu povrchových vrstev betonu, vodotěsnost a nasákavost betonu a jeho odolnost proti obrusu metodou podle Böhma a metodou širokého brusného kola. Předpokládaný rozsah diplomové práce min. 80 stran.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).

2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

ABSTRAKT

Tato diplomová práce je zaměřena na odolnost betonů proti abrazi s ohledem na použité suroviny pro jejich výrobu. V teoretické části práce jsou popsány příměsi, různé druhy kameniva a skladby kameniva, které ovlivňují odolnost betonu proti abrazi. V experimentální části bylo navrženo 15 různých receptur betonů třídy C30/37, S4. Do receptur byly vždy použity odlišné druhy kameniva – živcový štěrkopísek (Žabčice), biotický granodiorit (Olbramovice) a amfibolit (Želešice). Jemně mletý vápenný prášek, mikrosilika, vysokoteplotní popílek a jemně mletá struska byly příměsi, které se přidávaly do navržených receptur. Byla stanovena konzistence metodou sednutí kužele a objemová hmotnost čerstvého betonu. V zatvrdlém stavu byla stanovena objemová hmotnost betonu, pevnost v tlaku, pevnost v tahu ohybem, pevnost v tahu povrchových vrstev, vodotěsnost, nasákavost betonu a odolnost proti obrusu metodou podle Böhma a metodou širokého kola. Vyrobena zkušební tělesa byla zkoušena po 7, 28 a 90 dnech zrání.

KLÍČOVÁ SLOVA

Beton, abraze, pevnost, trvanlivost, odolnost, vlastnosti, příměs, obrus, kamenivo.

ABSTRACT

This diploma thesis focuses on the resistance of concrete to abrasion with regard to the raw materials used for their production. In the theoretical part of the thesis are described admixtures, different types of aggregate and aggregate composition which influence the resistance of concrete to abrasion. In the experimental part, 15 different C30 / 37, S4 concrete formulations were proposed. Different types of aggregates - fecal gravel (Žabčice), biotic granodiorite (Olbramovice) and amphibolite (Želešice) have always been used in the recipes. Fine ground limestone, micro-silica, high-temperature fly ash and finely ground slag were ingredients that were added to the proposed recipes. Consistency was determined by the method of cone seating and the density of fresh concrete. In the hardened state, concrete density, compressive strength, bending tensile strength, tensile strength, watertightness, concrete absorption, and abrasion resistance were determined using the Böhm method and wide wheel method. The test specimens were tested after 7, 28, and 90 days of maturation.

KEYWORDS

Concrete, abrasion, strength, durability, resistance, properties, admixture, abrasive, aggregate.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Hana Černá *Sledování vlivu složení betonu na odolnost proti abrazi*. Brno, 2018. 92 s., 10 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce doc. Ing. Lenka Bodnárová, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Sledování vlivu složení betonu na odolnost proti abrazi* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 9. 1. 2019

Bc. Hana Černá

autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucí mé diplomové práce doc. Ing. Lence Bodnárové, Ph.D a Ing. Martinu Ťažkému za trpělivost, cenné rady a ochotu při zpracování mé diplomové práce. Poděkování patří také Vladimíru Klímovi za ochotu při zkoušení zkušebních těles a také ostatním zaměstnancům Ústavu technologie stavebních hmot a dílců, kteří mi byli při mé práci nápomocni.

OBSAH

I	ÚVOD	12
II	TEORETICKÁ ČÁST	13
1	Beton	13
1.1	Cement	13
1.2	Kamenivo	14
1.3	Voda	14
1.4	Přísady	15
1.5	Příměsi	15
1.5.1	Inertní příměsi	16
1.5.2	Latentně hydraulické příměsi a pucolány	16
1.5.2.1	Popílky	16
1.5.2.1.1	Granulometrie	17
1.5.2.1.2	Použití popílků do betonu	17
1.5.2.2	Struska	17
1.5.2.2.1	Chemické složení	17
1.5.2.2.2	Mineralogické složení	18
1.5.2.2.3	Hydraulicita strusky	18
1.5.2.2.4	Vliv strusky na beton	18
2	Abraze	18
2.1	Vznik abraze na povrchu betonu	20
2.2	Faktory ovlivňující odolnost betonu proti otěru	21
2.2.1	Vliv vodního součinitele	21
2.2.2	Vliv příměsí na abrazi betonu	23
2.2.2.1	Popílek	23
2.2.2.2	Struska	28
2.2.2.3	Mikrosilika	31
2.2.3	Vliv druhu kameniva na odolnost betonu proti abrazi	32
2.2.3.1	Hematit	33
2.2.3.2	Gabro, čedič, křemen, pískovec a vápenec	35
2.2.3.3	Pískovec, dolomitický pískovec, žula	36
2.2.4	Vliv skladby kameniva na odolnost betonu proti abrazi	37
2.2.4.1	Vliv velikosti kameniva 5, 13 a 25 mm na odolnost betonu proti abrazi	37
2.2.4.2	Vliv velikosti kameniva 5, 10, 20 a 40 mm na odolnost betonu proti abrazi	38

2.3	Způsob měření abraze	40
2.3.1	Stanovení odolnosti proti obrusu metodou Böhme – ČSN EN 13892 – 3	40
2.3.2	Stanovení obrusnosti betonu – ČSN 73 1324	41
2.3.3	Stanovení obrusnosti širokým kolem – ČSN EN 1338, ČSN EN 1339, ČSN EN 1340	42
2.3.4	ASTM metody pro stanovení obrusnosti betonu	43
2.3.4.1	Odolnost betonu proti otěru – pískováním (ASTM C418 2012)	43
2.3.4.2	Odolnost betonu proti otěru - vodorovné betonové povrchy(ASTM C779)	43
2.3.4.3	Odolnost proti otěru betonu - rotující brusné kotouče (ASTM C 944)	45
2.3.4.4	Odolnost proti otěru betonu - pod vodou (ASTM C1138)	45
III	CÍL PRÁCE	47
IV	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	48
3	Metodika práce	49
4	Vstupní suroviny	50
4.1	Cement	50
4.2	Kamenivo	50
4.2.1	Žabčice	50
4.2.2	Želešice	51
4.2.3	Olbramovice	51
4.3	Příměsi	52
4.3.1	Struska	52
4.3.2	Popílek	52
4.3.3	Vápenec	53
4.3.4	Mikrosilika	53
4.4	Superplastifikační přísada	53
5	Receptury	54
6	Výroba zkušebních vzorků	57
6.1	Míchání směsi	57
6.2	Zkušební tělesa	57
6.3	Výřezy	57
7	Provedené zkoušky a zkušební postupy	58
7.1	Kamenivo	58
7.2	Beton v čerstvém stavu	58
7.3	Beton v zatvrdlém stavu	58
8	Výsledky zkoušek	59

8.1	Sítový rozbor	59
8.2	Objemová hmotnost a tvarový index kameniva	60
8.3	Sednutí kužele a objemová hmotnost betonu	60
8.4	Pevnostní charakteristiky	63
8.5	Vodotěsnost, nasákavost a pevnost betonu v tahu povrchových vrstev	65
8.6	Obrusnost betonu	71
8.7	Stanovení obrusnosti širokým kolem	74
V	ZÁVĚR	78
VI	SEZNAM POUŽITÝCH ZROJŮ	82
VII	NORMATIVNÍ DOKUMENTY A PŘEDPISY	85
VIII	SEZNAM OBRÁZKŮ	87
IX	SEZNAM TABULEK	89
X	SEZNAM GRAFŮ	90
XI	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	91
XII	SEZNAM PŘÍLOH	92

I ÚVOD

Beton není ve stavebnictví novinkou. Cement jako nejdůležitější složka betonu byl objeven již v antickém Římě. Moderní beton, jak ho známe dnes, vznikl v první polovině 19. století. Ve stavitelství se beton běžně používá už od přelomu 19. a 20. století. Jednotlivé složky betonu i jeho vlastnosti, které charakterizují účel použití, prošly v průběhu staletí mnoha inovacemi.

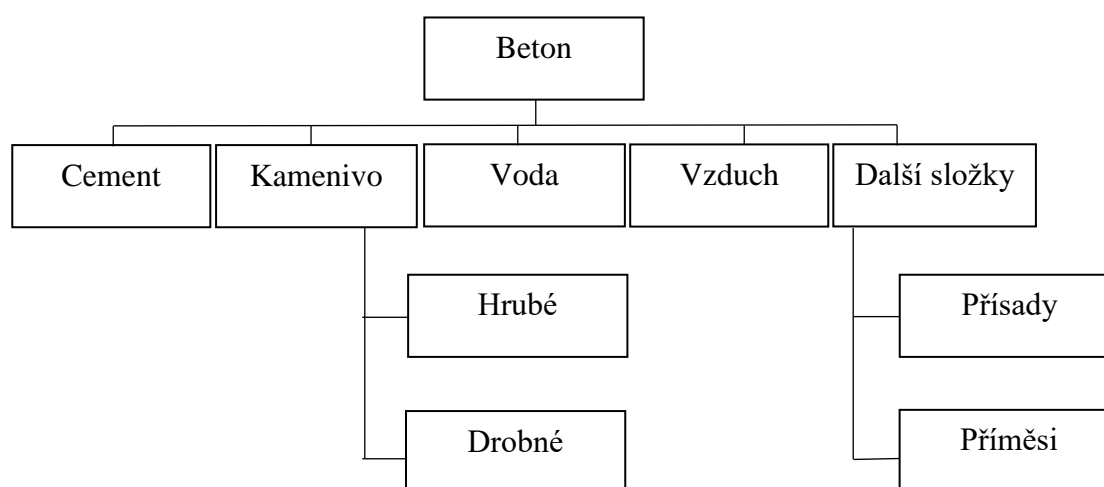
Beton je základní stavební materiál, který se používá po celém světě. Je to materiál, který je možné recyklovat a opravovat. Díky tomu, že je beton nehořlavý, trvanlivý a má vysokou pevnost v tlaku, je hojně využívaným materiálem pro výstavbu chodníků, komunikací, rodinných domů, přehrad, mrakodrapů atd. [1]

Tato práce pojednává o betonu, který je odolný proti abrazi. Tyto betony, hlavně jejich povrchy jsou často vystavovány proudícím kapalinám, kde dochází k obrusu a poškození povrchových vrstev. Jsou to betony, které se používají nejčastěji na výstavbu přehrad či povrchových vrstev komunikací.

II TEORETICKÁ ČÁST

1 Beton

Beton je kompozitní materiál, který se skládá z hrubého a drobného kameniva, vody, cementu a vzduchu. Kromě základních složek může obsahovat příměsi nebo přísady. Struktura betonové směsi je nehomogenní. Každá změna materiálu v betonové směsi má vliv na její konečné vlastnosti. Smícháním těchto základních složek získáme kompozitní materiál, který je pevný a trvanlivý. [2;3]



Obrázek 1 – Schéma složení betonu

1.1 Cement

Cement je základní materiál pro výrobu betonu, který patří mezi hydraulická pojiva. Je to anorganická látka, která po smíchání s vodou vytvoří kaši, která tuhne a tvrdne na vzduchu i pod vodou.

Cementy vznikají výpalem vápenců, jílu a dalších korigujících surovin při teplotách 1400-1500 °C. Tím se vyrobí slínek, který se po ochlazení a odležení rozemele. Ke slínku se často přidávají příměsi a přísady jako je sádrovec, struska či popílek. Tím nám vzniknou směsné cementy. Z mineralogického hlediska se cementy skládají z křemičitanů, hlinitanů a železohlinitanů vápenatých. Účinnými složkami v cementu jsou hydraulické oxidy – CaO, SiO₂, Al₂O₃ a Fe₂O₃. Množství těchto oxidů ovlivňuje vlastnosti cementů. [2;3;4]

1.2 Kamenivo

Kamenivo je převážně anorganická a zrnitá látka, určená pro stavební účely. Kamenivo se může používat jak drcené tak těžené. Těžené kamenivo je vhodnější než drcené, protože má menší mezerovitost, která je cca 30 %, lepší tvar i zrnitost než kamenivo drcené. Kamenivo zaujímá až 80 % objemu betonu. Má velmi důležitou funkci, protože vytváří pevnou kostru s minimální mezerovitostí. Kamenivo se většinou skládá ze tří frakcí, kterými jsou písek, jemný a hrubý štěrk. Pro přípravu betonů se obvykle používá kamenivo s maximálním zrnem 32 mm. [3;4;5]

Kamenivo, které se používá pro výrobu betonu, musí být bez organických látek a jiných nečistot, aby mělo dobrou soudržnost s cementovým tmelem. Nevhodné jsou také kameniva, která měknou ve vlhkém prostředí nebo obsahují větší množství síranů. Dále je nevhodné kamenivo, které je zdrojem zdravotních závad způsobovaných vyluhováním nebo odpařováním látek, jako jsou horniny, které vykazují radioaktivitu. Pro kvalitní beton se používají zrna kameniva různé velikosti, které mají velkou pevnost, odolnost proti mrazu, trvanlivost a minimální nasákavost. Pokud je pro výrobu cementového kompozitu použita směs s maximální frakcí 4 mm, tak se nejedná o beton, ale pouze o cementovou maltu. [3;4;5]

1.3 Voda

Voda do betonu je velmi důležitou složkou pro zpracovatelnost cementové směsi. V čerstvém betonu voda plní dvě základní funkce, a to hydratační a reologickou. Hydratační funkcí se rozumí to, že voda se podílí na hydrataci cementu. Při hydrataci cementu beton tuhne a tvrdne. Reologickou funkcí se rozumí to, že voda se podílí na tvorbě tvárného čerstvého betonu, kde kapilární síly zajišťují kohezi a plastičnost čerstvého betonu. Rozdělit ji můžeme z technologického hlediska na vodu záměsovou a ošetrovací.

Záměsová voda se dávkuje přímo do míchačky při výrobě. Množstvím této vody je ovlivňován hydratační proces betonu, ale také jeho zpracovatelnost. Pro hydrataci cementu se uvádí, že je potřeba 25 – 30 % vody z hmotnosti cementu. Pokud beton nemá dostatek vody, cement nezhydratuje celý a tím beton ztrácí pevnost. Naopak velké množství vody v betonu způsobuje vytváření mnoha pórů, které je způsobeno vypařováním této vody, a to vede také ke snížení pevnosti. [2;3]

Voda ošetřovací je dodávaná až po zatuhnutí betonu ve formě kropení či mlžení, aby chom udrželi beton ve vlhkém stavu při jeho hydrataci. [6]

Voda do betonové směsi by měla být neutrální a neměla by obsahovat větší množství škodlivých látek jako jsou sírany, chloridy, cukry nebo huminové látky. Pouze jeden druh vody, která se smí použít pro výrobu bez jakéhokoliv zkoušení, je voda pitná. Dále se může používat i voda užitková, podzemní či povrchová, pokud neobsahují škodlivé látky. Dovoleno je také používat vodu recyklovanou, která vzniká při čištění bunů autodomíchávačů či výplachu čerpadel. Při použití musí být vždy proveden chemický rozbor. Tyto vody nesmí obsahovat vyšší podíl cementového kalu, provzdušňovacích látek ani olejů. [6;7]

1.4 Přísady

Přísady jsou látky, které se přidávají do betonu za účelem zlepšení vlastností čerstvého i ztvrdlého betonu. Při použití některých přísad se redukuje potřebná dávka vody pro dosažení požadované zpracovatelnosti, což vede k pozitivnímu ovlivnění výsledných pevnostních parametrů betonu. Přísady bývají nejčastěji v kapalně formě, ale někdy se mohou vyskytnout i jako práškové. Přísady působí na cement, a proto jejich působení je závislé jak na druhu použitého cementu tak na jeho měrném povrchu. Účinnost přísad je vždy závislá jak na mineralogickém složení cementu tak i na koncentraci přísady. Dávka přísady do betonové směsi se pohybuje v relativně malých dávkách a určuje se z hmotnosti cementu. Maximální dávka, která je doporučena v normě je 5 % z hmotnosti cementu. Pokud by byla dávka vyšší jak 5 %, musí být prokázáno, že nedochází ke zhoršení vlastností betonu. Při použití většího množství přísady než 3 l/m³ betonu se musí brát v úvahu při stanovení vodního součinitele. Mezi základní přísady patří: plastifikační, superplastifikační, provzdušňující, urychlující, zpomalující, stabilizační, hydrofobní a těsnící přísady. [2;5;8]

1.5 Příměsi

Příměsi stejně jako přísady se dávají do betonové směsi za účelem zlepšení vlastností nebo k dosažení zvláštních vlastností betonu. Jsou to jemné anorganické nebo organické látky. Příměsi mohou částečně nahradit část cementu. Využívání příměsí do betonu výrazně vzrostlo, protože částečná náhrada cementu zlevňuje cenu betonů. Velikost částic u těchto složek je menší než 0,125 mm. [2;9;10]

Podle účasti při procesu hydratace cementu se příměsi dělí na dva druhy: [9;10]

- Inertní příměsi
- Latentně hydraulické příměsi a pucolány

1.5.1 Inertní příměsi

Jsou to látky, které netuhnou ani netvrdnou za přidavku budičů. Tyto příměsi se nejčastěji používají k dosažení hutnější struktury betonu a zlepšují reologické vlastnosti čerstvého betonu. Do těchto příměsí patří kamenná moučka, barevné pigmenty a částečně mikromletý vápenec. [9;10]

1.5.2 Latentně hydraulické příměsi a pucolány

Latentně hydraulické příměsi jsou látky, které přispívají k vývinu pevnosti cementového tmele. Nejvýznamnější latentně hydraulickou příměsí je vysokopecní mletá struska. Mezi pucolánové látky patří popílky a mikrosilika. Pucolánové látky nejsou latentně hydraulické, ale obsahují SiO_2 . To znamená, že reagují s $\text{Ca}(\text{OH})_2$ za vzniku C-S-H gelů. [9;10]

1.5.2.1 Popílky

Vysokoteplotní popílek je jemný prášek šedé až černé barvy, který se skládá z kulovitých sklovitých částic. Je to vedlejší produkt tepelných elektráren. Popílky vznikají spalováním tuhých paliv, především černého a hnědého uhlí, ligninu nebo antracitu. Popílky mají proměnlivé chemické, mineralogické i granulometrické složení, což závisí to na tom, jaké uhlí je spalováno, o jaký způsob spalování jde a při jaké teplotě se spaluje. Měrný povrch popílku se pohybuje v rozmezí 200 – 300 m^2/kg a sypná hmotnost je od 0,5 – 1,0 g/cm^3 . [11;12]

Základní rozdělení popílku je podle spalování: [11]

- Klasické spalování – vysokoteplotní (1100 – 1300 °C)
- Fluidní spalování – nízkoteplotní (850 °C)

Z těchto spalování získáváme dva druhy popílku, a to úletový a ložový. Z chemického hlediska se skládají ze tří hlavních složek. Jedná se o oxid křemičitý, oxid železitý a oxid hlinitý. Mimo to obsahují nerostné zbytky a zbytky paliv. Chemické složení popílku nám dává informace o složení původního uhlí, jehož spálením popílek vznikl.

1.5.2.1.1 Granulometrie

Granulometrie popílku je ovlivněna jemností mletí uhlí, rychlosti tvorby cenosfér a obsahem nespáleného podílu. Velikost zrn popílku se pohybuje v poměrně širokém intervalu od 0,1 až 100 μm . Z jedné uhelné částice vzniká až 30 částic popílku. Zrnitost vznikajících popílků je závislá na zrnitosti spalovaného uhlí. [11;12]

1.5.2.1.2 Použití popílků do betonu

- Popílek se může použít ve formě fileru pro zvětšení podílů jemných částic. Větší podíl jemných částic se používá pro lepší čerpatelnosti betonu, pro zlepšení zpracovatelnosti a soudržnosti betonu.
- Pokud má popílek prokázanou pucolánovou aktivitu, může v některých případech nahradit část dávky cementu.
- Popílek může zvyšovat odolnost betonu proti agresivnímu prostředí.
- Použití popílku do betonové směsi příznivě ovlivňuje hutnost cementového tmelu, a tím i těsnost povrchových vrstev ztvrdlého betonu proti působení tlakové vody. [11]

1.5.2.2 Struska

Pro stavebnictví se používá struska vysokopecní, která vzniká při výrobě surového železa. Vápenec a další látky se roztavují na povrchu železa s cílem na sebe navázat složky, které způsobují znečištění, a tím i ovlivňují kvalitu vyráběného železa. Strusková tavenina se vždy prudce ochlazuje, aby zatuhla ve skelném stavu, čím se u strusky zajišťují latentně hydraulické vlastnosti. Měrný povrch strusek je blízký hodnotě cementu a to 300 m^2/kg a vyšší. [13;14]

1.5.2.2.1 Chemické složení

Struska se v zásadě skládá se čtyř hlavních oxidů – CaO , SiO_2 , Al_2O_3 a MgO a dalších vedlejších složek. Procentuální zastoupení těchto oxidů závisí na druhu vyráběného železa, složení rudy a množství koksu. Orientační zastoupení se pohybuje CaO 30 – 50 %, SiO_2 28 – 38 %, Al_2O_3 8 – 24 % MgO 1 – 18 %. Další složky obsažené ve strusce jako jsou FeO , MnO , Na_2O , K_2O a TiO_2 jsou pouze ve velmi malém procentuálním zastoupení. Při posuzování jakosti strusky, podobně jako u cementu, je zásadní modul zásaditosti, který je vyjádřen poměrem mezi zásaditými a kyselými oxidy. Pokud je jeho hodnota nižší jak 1, tak je struska vhodná jako kamenivo do betonu. Je-li hodnota větší jak 1, používá se k cementářským účelům. [13]

1.5.2.2.2 Mineralogické složení

Mineralogické složení strusek je závislé především na procesu ochlazení a také na chemickém složení dané strusky. Strusku můžeme chladit vodou, vodní párou a vzduchem. Podle toho, jak chladíme, získáváme jinou formu strusky. Ve strusce se nejčastěji objevuje gehlenit, akermanit a melilit. Dále se může objevit wollastonit, pseudowollastonit, magnetit, hematit, larnit a další. [13;14]

1.5.2.2.3 Hydraulicita strusky

Struska má hydraulické vlastnosti, protože obsahuje sklovitou fázi a díky ní má struska dostatečnou vnitřní energii podmiňující reaktivitu. Dalším předpokladem je i vhodné chemické složení. Posouzení hydraulických schopností udává modul aktivity, který je vyjádřen poměrem $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$. Hodnota tohoto modulu pro výrobu cementů by neměla přesáhnout hodnotu 4. Aktivnost strusky lze zvýšit větším semletím na co nejvyšší jemnost. [14]

1.5.2.2.4 Vliv strusky na beton

- Struska může nahrazovat část cementu, a to v rozmezí 6 – 35 %.
- Zlepšuje odolnost proti působení chloridů a síranů.
- Struska v betonové směsi vykazuje pozvolnější nárůst pevností v tlaku a snižuje vývin hydratačního tepla.
- Zlepšuje zpracovatelnost čerstvého betonu.
- Pokud je dostatečně jemná, působí jako prevence proti bleedingu.
- Zvyšuje nepropustnost pórového systému a tím i trvanlivost betonu. [14]

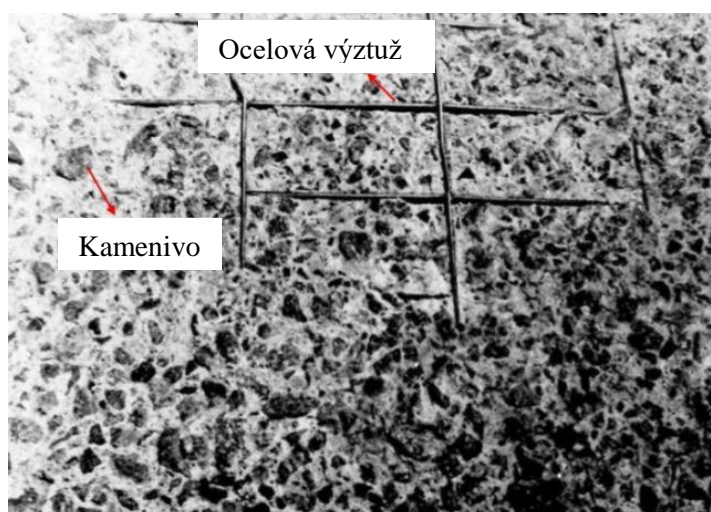
2 Abraze

Abrazi může vysvětlit jako mechanické opotřebování povrchu betonu. Beton jako nejrozšířenější stavební materiál, musí odolávat účinkům abraze hlavně u vodohospodářských staveb nebo komunikací. Abraze vzniká v důsledku proudících kapalin či pevných látek, které se pohybují po povrchu betonu. [15]

Stavby, které jsou ponořeny zcela nebo částečně do vody, jsou porušovány tokem vody. Hlavním problémem je to, že proud vody obsahuje pevné částice, jako je písek, štěrk a jiné nečistoty. Všechny tyto částice se pohybují kolem betonových povrchů, kde mohou způsobit

pouze malý otěr povrchu, který je zanedbatelný, nebo způsobují vážné poškození betonových konstrukcí. Poškození, které vzniká na povrchu betonu, má negativní vliv na životnost těchto staveb. Míra poškození závisí na tom, jaká je rychlost proudící vody, na velikosti, tvaru a tvrdosti částic, na úhlu nárazu na povrch a hustotě částic. To, jak bude povrch betonu odolávat otěru, je závislé především na tvrdosti, velikosti a druhu kameniva, na vodním součiniteli a použitých příměsích a přísadách. [15,17]

Porušení povrchu betonu je vstupní branou pro další poškození, jako je praskání povrchu, následné pronikání vody a vznik koroze oceli. Odolnosti betonu proti abrazi nebyla dříve věnována dostatečná pozornost. Nyní probíhají výzkumy zaměřené na tuto problematiku - zkoumají se materiály, které by umožnily zvýšit odolnost betonu proti otěru, a také postupy, jako je například povrchová úprava, která by zabránila povrchovému poškození betonu. Nejvíce ohrožené stavby jsou přehrady, mostní pilíře, koryta řek, nádrže a kanalizace.[15, 16]



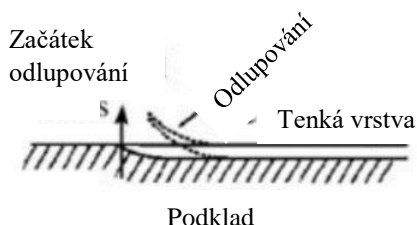
Obrázek 2 – Obroušený betonový povrch působením vody [18]

I u staveb, které nejsou ponořeny do vody, jako jsou komunikace, dochází k abrazi. Pokud je obrusná vrstva komunikace z betonu, dochází k poškozování vlivem otěru v důsledku dopravy – především od pneumatik, které se pohybují po povrchu. Na povrchu komunikací jsou tuhé částice, které při styku s pneumatikou otírají poježděný povrch. Tím, že hustota provozu je stále vyšší, tak se opotřebení povrchů stále zvyšuje. Proto se v dnešní době na povrchovou vrstvu vozovek kladou přísnější podmínky. [15, 16]

2.1 Vznik abraze na povrchu betonu

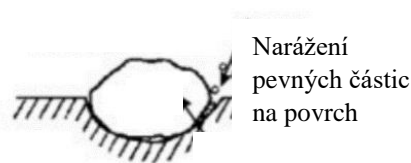
Abraze na povrchu betonu je rozdělena do tří fází.

V první fázi dochází k odlupování povrchu, díky molekulám vody, které se otírají o povrch betonu. [16]



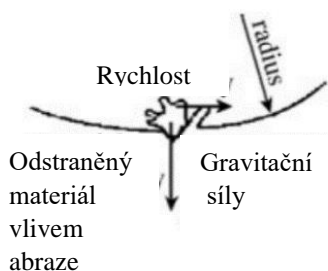
Obrázek 3 – Odlupování betonového povrchu [16]

Ve druhé fázi dochází k tomu, že pevné částice, které jsou ve vodě, narážejí na povrch betonu, kde se zachycují. Velikost nárazu na povrch závisí na velikosti a tvrdosti částic. [16]



Obrázek 4 – Zachycování pevných částic na povrchu [16]

V poslední fázi dochází k abrazi, která je spojená s kombinovaným účinkem tvrdosti a tvaru částic, rychlosti proudění kapaliny a pevnosti betonového materiálů. [16]



Obrázek 5 – Abrasivní opotřebení povrchu vlivem pevných částic [16]

2.2 Faktory ovlivňující odolnost betonu proti otěru

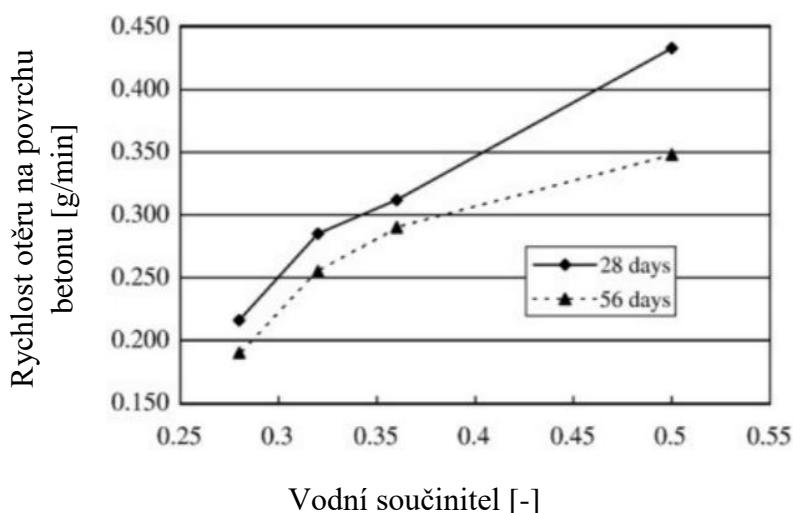
Existuje řada faktorů, které mají vliv na povrchový otěr betonu. Můžeme je rozdělit do dvou hlavních skupin. V první skupině se jedná o faktory, které souvisí s vlastnostmi materiálů pro výrobu betonu a ve druhé skupině jsou faktory, které se vztahují na okolní prostředí dané konstrukce. [16]

2.2.1 Vliv vodního součinitele

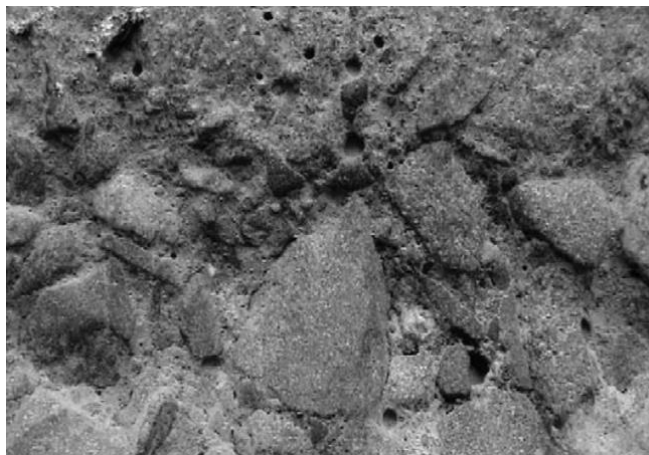
Vodní součinitel je jedním ze základních kritérií, které mají vliv na pevnost betonu. Beton, pro jehož výrobu byla použita nižší dávka vody, vykazuje nižší pórovitost, a to vede k vyšším pevnostem betonu. Čím je pevnost betonu vyšší, tím by měla být vyšší i odolnost proti obrusu na povrchu betonu. Nižší obsah vody v betonové směsi má za následek horší zpracovatelnost. Naopak betony, které mají vyšší dávku vody při výrobě, mají lepší zpracovatelnost, ale mají vyšší pórovitost. Čím vyšší pórovitost, tím se pevnost betonu snižuje. Byl zkoumán vliv hodnoty vodního součinitele na obrus povrchu betonu. [15;16]

Vědci Liu, Zen a Hsu v roce 2006 zkoumali, zda vodní součinitel 0,5; 0,36; 0,32 a 0,28 bude mít vliv na odolnost povrchu proti abrazi. Pro výrobu směsi použili portlandský cement CEM I a 30 % popílku. Odolnost proti abrazi stanovovali pomocí vodního paprsku s pískem. Vodní paprsek obsahoval 400 kg/m³ písku, byl stříkán rychlostí 8 m/s o tlaku 0,17 MPa po dobu 180 minut. Pokusy byly prováděny po 28 a 56 dnech zrání. [15,16;19]

Graf 1 – Vliv vodního součinitele na obrusnost betonové povrchu [16]



Obrázek 6 – Plocha pro zkoušce otěruvzdornosti na povrchu betonu s vodním součinitelem $w = 0,28$ [15]



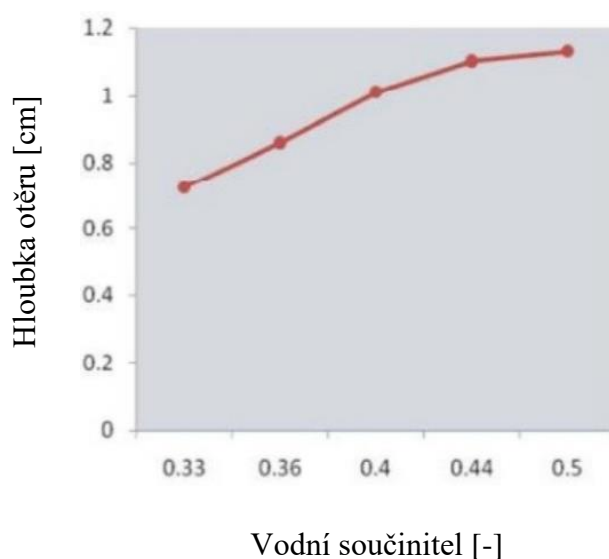
Obrázek 7 – Plocha pro zkoušce otěruvzdornosti na povrchu betonu s vodním součinitelem $w = 0,36$ [15]



Z grafu číslo 1 je vidět, že čím vyšší byl vodní součinitel, tím vyšší byla míra otěru na povrchu betonu. Obrázky ukazují povrchy betonu po zkoušce vodním paprsek. Beton, který měl vodní součinitel 0,28, měl hutnější cementovou matici a vykazoval menší otěr na povrchu betonu než beton s vodním součinitelem 0,36, který vykazoval vyšší ztrátu materiálu na povrchu betonu, a to až o 45 %. [15]

Další vědec, který zkoumal vztah poměru vody a cementu, byl Shamsai v roce 2012. Do směsi použil portlandský cement CEM I a kamenivo maximálně do velikosti 20 mm. Vztah vodního součinitele k otěru povrchu betonu zkoumal od 0,33 do 0,5. Odolnost proti otěru dělal pomocí vodního paprsku s pískem. [16]

Graf 2 – Vliv poměru vody a cementu k otěruvzdornosti povrchu betonu [16]



Z grafu číslo 2 je vidět podobný vztah, jako u Liu v roce 2006. Čím vyšší vodní součinitel byl, tím docházelo k větší hloubce otěru. Bylo prokázáno, že vodní součinitel působí na abrazi betonu, a to ve vyšších hodnotách negativně. [16]

2.2.2 Vliv příměsí na abrazi betonu

V dnešní době se provádí mnoho výzkumů, jak zlepšit odolnost betonu proti abrazi. Dříve tato vlastnost nebyla při návrhu betonové směsi příliš brána v úvahu, ale dnes se navrhuje stavby i s ohledem na obrusnost – XM. Popílek, struska a jiné příměsi se dávají do betonu, aby nahradily část cementu jak z ekonomického hlediska tak i pro získání lepších vlastností betonu. Proto se betonové směsi s příměsemi testují na odolnost proti abrazi.

2.2.2.1 Popílek

V knihách se často zkoumá vliv popílku proti abrazi, při nahrazení cementu popílkem v dávkách 0; 30; 35; 40; 45; a 50 %. Všechny směsi byly navrženy se stejným množstvím kameniva a vody, jen množství cementu se měnilo podle procentuálního zastoupení popílku. [20]

Tabulka 1 – Složení základní receptury [20]

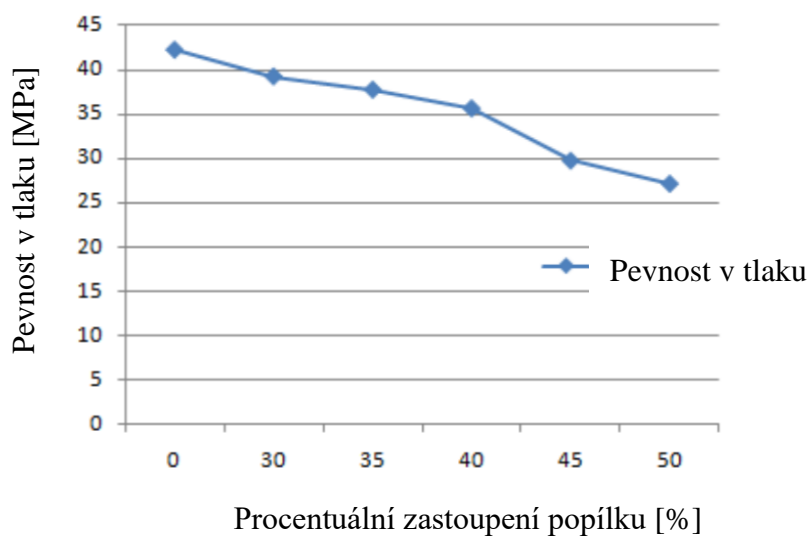
Cement	430 Kg
Jemné kamenivo	817 Kg
Hrubé kamenivo	1070 Kg
Voda	186 l
Vodní součinitel	0,43

Zkoušky byly prováděny po 28 dnech zrání. Zkoumaly se vlastnosti betonu, jako je pevnost v tlaku a odolnost proti abrazi. Zjišťovalo se taky, zda pevnost v tlaku má vliv na odolnost proti abrazi. Všechny výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulce. [20]

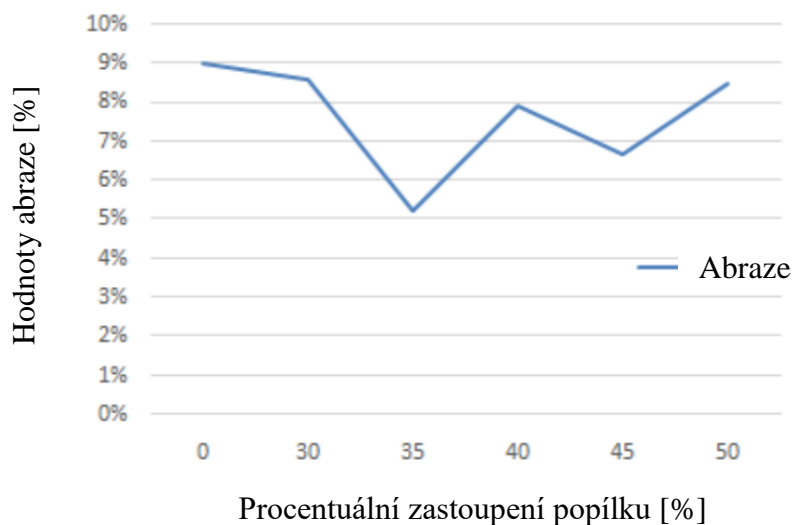
Tabulka 2 – Výsledné hodnoty po 28 dnech zrání: [20]

Množství popílku [%]	Pevnost v tlaku [MPa]	Abraze [%]
0	42,2	9,0
30	39,2	8,6
35	37,7	5,2
40	35,6	7,9
45	29,7	6,6
50	27,1	8,5

Graf 3 – Vliv popílku na pevnost betonu v tlaku [20]



Graf 4 – Vliv popílku na abrazi betonu [20]

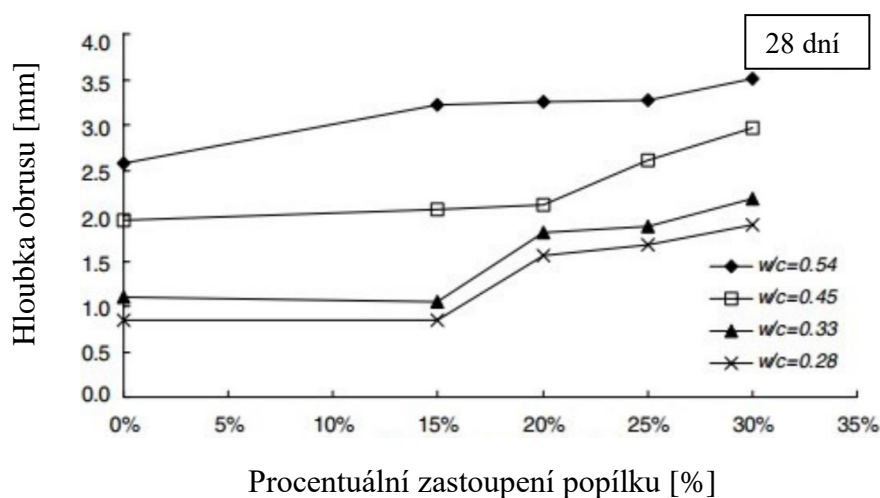


Závěr z tohoto zkoumání vlivu popílku na abrazi betonu byl následovný: [20]

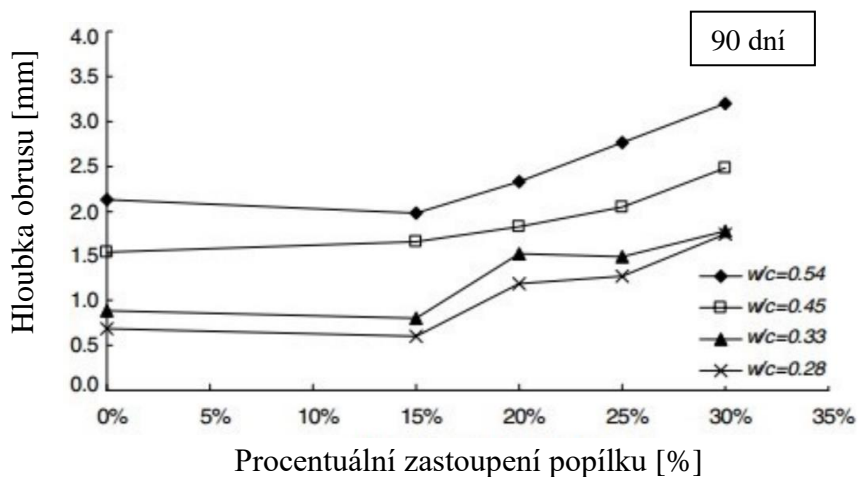
- Pevnosti betonu v tlaku s vyšším množstvím popílku klesaly.
- Odolnost proti abrazi byla s dávkou popílku nižší než bez popílku.
- Odolnost proti abrazi byla silně ovlivňována pevností v tlaku betonu, bez ohledu na to, zda obsahuje popílek.
- Nejvhodnější dávka popílku do betonu proti abrazi, se jevila ve 35 % náhrady.

Další výzkum vlivu popílku na abrazi betonu zkoumal v roce 2007 vědec Yen. Yen ve své studii použil náhradu cementu za popílek v hodnotách 0; 15; 20; 25 a 30 %. Zkoumal čtyři druhy směsí vždy s jiným vodním součinitelem. Zkušební vzorky byly zkoušeny podle normy ASTM C1138 po 28 a 91 dnech zrání. Zkouška byla provedena v ocelové válcové nádobě, která je opatřena míchací lopatkou. Zkušební vzorek byl dán do nádoby a na zkušební povrch vzorku byly nasypány ocelové kuličky různé velikosti. Nakonec byla nádoba napuštěna vodou. Následně byla spuštěna míchací lopatka. Voda v nádobě cirkulovala a pohybovala kuličkami, které se otíraly o zkoušený povrch vzorku. Celková doba zkoušky trvala 72 hodin. Výsledkem zkoušky byla hloubka obrusu měřená v milimetrech.[16]

Graf 5 – Vliv popílku na hloubku obrusu betonu po 28 dnech [16]



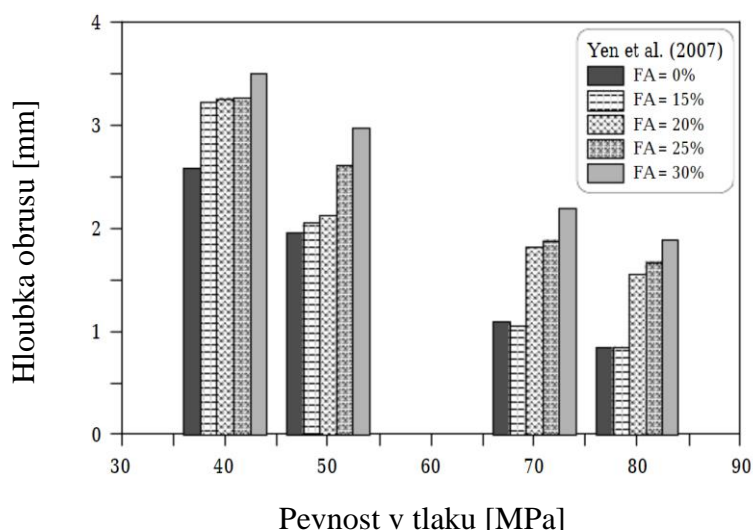
Graf 6 – Vliv popílku na hloubku obrusu betonu po 90 dnech [16]



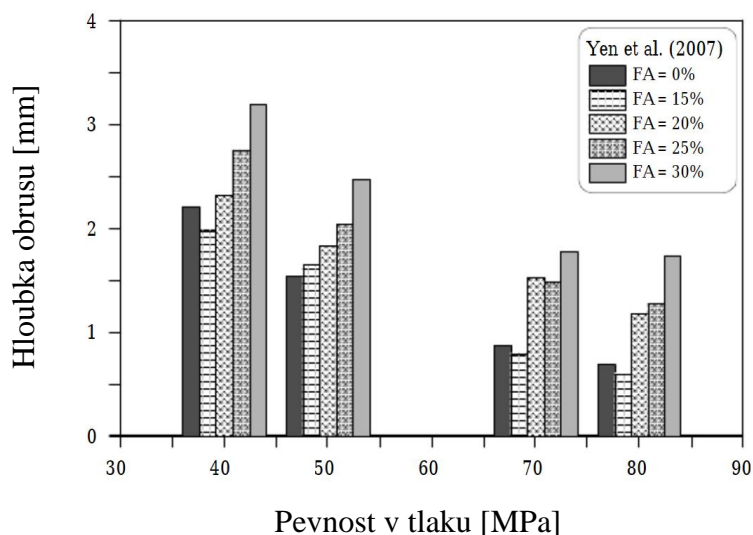
Z výsledků patrných na předešlých dvou grafech Yen zjistil, že čím menší bude vodní součinitel, a to jak po 28 a 91 dnech zrání, tím odolnost proti abrazi bude menší. Dále zjistil, že do obsahu 15 % popílku je odolnost proti abrazi stejná, jako kdyby popílek vůbec nepoužil. V dávkách větších jak 15 % zjistil, že hloubka obrusu mírně vzrostla. Ve druhém grafu naměřil, že po 91 dnech zrání, hloubka obrusu mírně klesla, a to u všech směsí. [16]

Dále se Yen zabýval tím, zda bude mít vliv na abrazi betonu i pevnost v tlaku. Yen si všechny své zkušební vzorky roztřídil do pevnostních skupin 40; 50; 70 a 80 MPa. V každé pevnostní skupině měl pět vzorků. Každý vzorek obsahoval jiné procentuální zastoupení popílku. Jednotlivé vzorky z danými pevnostmi zkoušel po 28 a 91 dnech zrání na obrusnost betonu, aby zjistil, zda pevnost v tlaku má vliv na obrusnost betonu. [21]

Graf 7 – Vliv pevnosti v tlaku na obrusnost betonu po 28 dnech [21]



Graf 8 – Vliv pevnosti v tlaku na obrusnost betonu po 90 dnech [21]



Yen na těchto dvou grafech zobrazuje hloubku obrusu betonu. Po zkoušce obrusnosti při stáří vzorků 28 dní zjistil, že čím větší je pevnost betonu v tlaku, tím hodnota obrusu je menší. Dále zjistil, že vzorky s obsahem 30 % popílku dosahují nejvyšších hodnot obrusu. Zatímco vzorky s obsahem 0 a 15 % popílku vykazovaly menší hodnoty obrusu. Při 80 MPa po 28 dnech zráni zjistil, že vzorky s 0 a 15 % popílku vykazovaly stejné opotřebení. [21]

Po 90 dnech zráni byly hodnoty obrusu všech vzorků menší než při 28 dnech. Dále zjistil, že vzorky po 90 dnech s 30 % popílku vykazovaly největší obrus. Zatímco vzorky, které byly v pevnosti skupině 40; 70 a 80 MPa a obsahovaly 15 % popílku, vykazovali ještě menší hloubku obrusu než bez přídavku popílku. [21]

Závěr z tohoto zkoumání vlivu popílku na abrazi betonu byl následovný: [21]

- Odolnost betonu proti abrazi byla silně ovlivňována pevností betonu v tlaku .
- Odolnost betonu proti abrazi je menší po 90 dnech zráni.
- Čím menší vodní součinitel, tím odolnost betonu proti abrazi je větší.
- Nejvhodnější dávka popílku do betonu odolném proti abrazi se jevila v 15 % náhrady z cementu.

2.2.2.2 Struska

Struska, jako příměs do betonu, se zkoumá, zda po jejím přidání do betonové směsi, bude docházet ke zlepšení odolnosti proti abrazi. Struska má vliv na zpracovatelnost betonu a při jejím použití dochází k nižšímu vývinu hydratačního tepla. [22]

Liu a Hsu jsou vědci, kteří v roce 2008 zkoumali vliv vysokopecní strusky na abrazi betonu. Ve své studii se zabývají odolností betonového povrchu proti abrazi při stejném poměru vody, ale různém obsahu strusky. Dále řeší odolnost proti abrazi na povrchu betonu při různém poměru vody a stejném obsahu strusky. [22;23]

Pro vyhotovení zkušebních těles použili portlandský cement CEM I, vodu, hrubé a jemné kamenivo, vysokopecní strusku a superplastifikační přísadu.

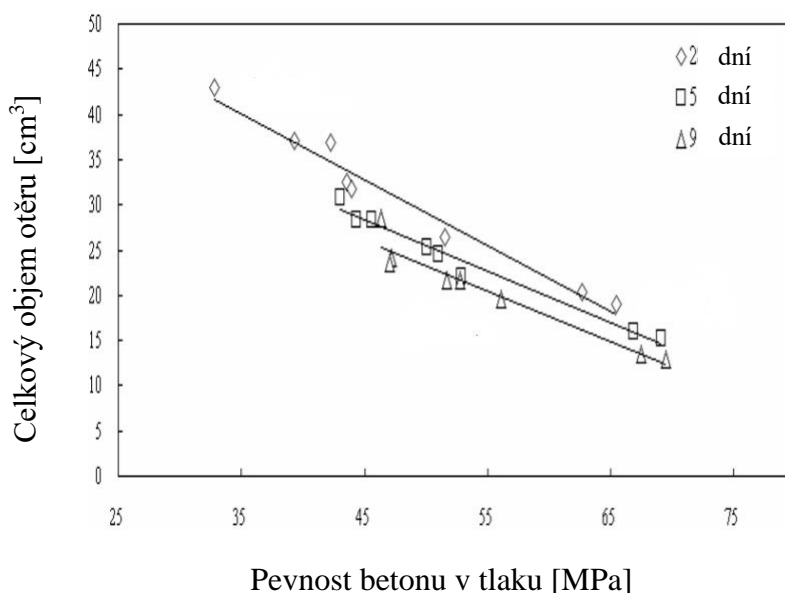
Tabulka 3 – Složení směsí podle Wu, Yen, Liu a Hsu [23]

Označení	Voda	Cement	Struska	Písek	Kamenivo	SP
S 42-45	170	229	188	664	1124	2.92
S 38-45	170	253	207	651	1099	3.22
S 35-00	170	500	0	658	1114	3.50
S 35-20	170	400	100	656	1111	3.50
S 35-45	170	275	225	637	1079	3.50
S 35-75	170	125	375	648	1097	3.50
S 31-45	170	320	254	620	1049	4.02
S 28-45	170	344	281	608	1029	4.38

Označení vzorků je děláno dle následujícího pravidla: první číslo vzorku znamená vodní součinitel a druhé číslo množství strusky.

Zkušební vzorky zkoušeli po 28, 56 a 91 dnech zrání. Struska byla dávkována v množství 0; 20; 45 a 75 % z množství cementu. Vodní součinitel byl v hodnotách 0,28; 0,31; 0,35; 0,38 a 0,42. Vzorky vystavené abrazi se zkoušeli pomocí vodního paprsku s pískem po dobu 3 hodin. Písek ve vodním paprsku byl do maximálního zrna 5 mm. [23]

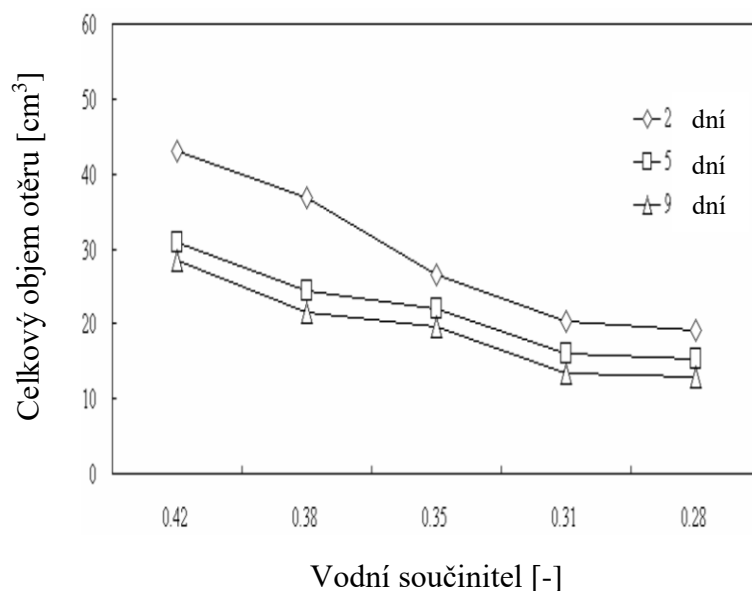
Graf 9 – Vliv pevnosti v tlaku na odolnost betonu proti abrazi [23]



V grafu číslo 9 znázornili vztah mezi objemem abraze na povrchu betonu a pevností v tlaku po tryskání vodního paprsku s pískem po dobu 3 hodin. Zde byly směsi vyrobeny se stejným

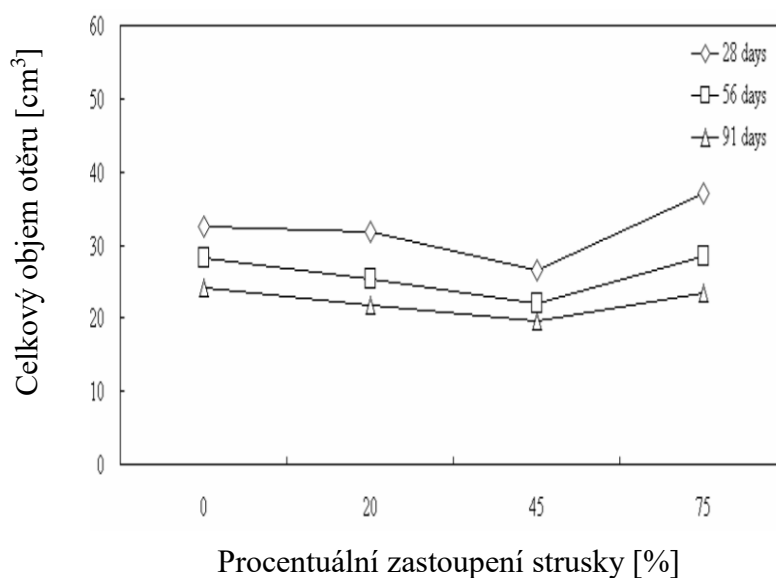
množstvím struky 45 %, ale jiným poměrem vody. Největší pevnost, až 70 MPa a nejmenší abrazi dosahovala směs s nejmenším vodním součinitelem 0,28 po 91 dnech. Také je vidět, že po 91 dnech je objem abraze menší, než při 28 dnech. Míra otěru poklesla, když se pevnost betonu v tlaku zvyšovala, a to jak po 28, 56 i 91 dnech zrání. [23]

Graf 10 – Vliv vodního součinitele na odolnost betonu proti abrazi [23]



V grafu číslo 10 je znázorněn vztah mezi vodním součinitelem a odolností proti abrazi. Zde se směsi skládaly z cementu CEM I a z množství struky 45 %, ale jiného množství vody. Z grafu je patrné, že u vodního součinitele 0,42 docházelo k největšímu otěru, zatímco po snížení vodního součinitele na 0,28 došlo k výraznému zmenšení, a to jak po 28, 56 i 91 dnech zrání. [23]

Graf 11 – Vliv vysokopepní struky na odolnost betonu proti abrazi [23]



Graf číslo 11 ukazuje vliv procentuálního zastoupení strusky na odolnost proti abrazi betonu. Zde se směsi skládaly vždy ze stejného množství vody, ale jiného množství strusky. Je zde zřejmé, že po přidání strusky do betonové směsi dochází ke změně odolnosti proti abrazi. Po přidavku 45 % strusky došlo k nejmenšímu otěru betonu, a to jak při 28, 56 i 91 dnech zrání. Po překročení 45 %, už docházelo k nárůstu. [23]

Závěr z tohoto zkoumání vlivu strusky na abrazi betonu byl následovný: [23]

- Pevnost betonu v tlaku má vliv na odolnost betonu proti abrazi.
- Zvýšení obsahu strusky vedlo k silnějšímu povrchu, což mělo za následek zmenšení otěru na povrchu betonu.
- Beton vyrobený s 45 % vysokopecní strusky měl nejlepší odolnost proti abrazi.

2.2.2.3 Mikrosilika

Mikrosilika je příměs, která se dává do betonů s cílem zlepšit vlastnosti betonu, jako jsou například zpracovatelnost, pevnost, odolnost proti prasklinám, propustnost a trvanlivost. Proto, když zlepšuje tolik vlastností, tak se zkoumá, zda bude mít vliv i na abrazi betonu. [24]

V roce 2006 Liu také zkoumal, zda příměs, jako je mikrosilika, bude mít vliv na abrazi betonu. Zkoušel tři betonové směsi, do kterých použili 0; 5 a 10 % mikrosiliky z hmotnosti cementu. Do směsi použil portlandský cement CEM I, jemné a hrubé kamenivo, vodu, mikrosiliku a superplastifikační přísadu. Maximální velikost drceného hrubého kameniva byla 20 mm. Odolnost proti abrazi byla zkoušena pomocí vodního paprsku s pískem po dobu 3 hodin. Vzorky byly zkoušeny po 28 dnech zrání. Po dobu 28 dní byly ve vlhkém prostředí. [25]

Graf 12 – Vliv mikrosiliky na odolnost betonu proti abrazi [25]



Na grafu je znázorněn vliv mikrosiliky na abrazi betonu po 28 dnech. Je viditelné, že čím větší byla dávka mikrosiliky, tím hodnota odolnosti proti abrazi byla menší. [25]

Závěr z tohoto zkoumání vlivu mikrosiliky na abrazi betonu byl následovný: [25]

- Mikrosilika zlepšuje odolnost proti abrazi.
- Z této studie se jevila jako nejlepší dávka 10 % z hmotnosti cementu.

Příměs, která by z těchto studií vyplynula jako nejlepší pro zlepšení odolnosti betonu proti abrazi, nelze jednoznačně říci. Každá příměs má svoje záporné i kladné vlastnosti. Při výrobě betonu vždy chceme dosáhnout toho, aby byl beton co nejlevnější a co nejvíce odolný proti abrazi. Proto jako nejvhodnější příměs z těchto zkoumaných se jeví struska. Struska zlepšuje odolnost betonu proti abrazi, a to i při nahrazení 45 % cementu struskou.

2.2.3 Vliv druhu kameniva na odolnost betonu proti abrazi

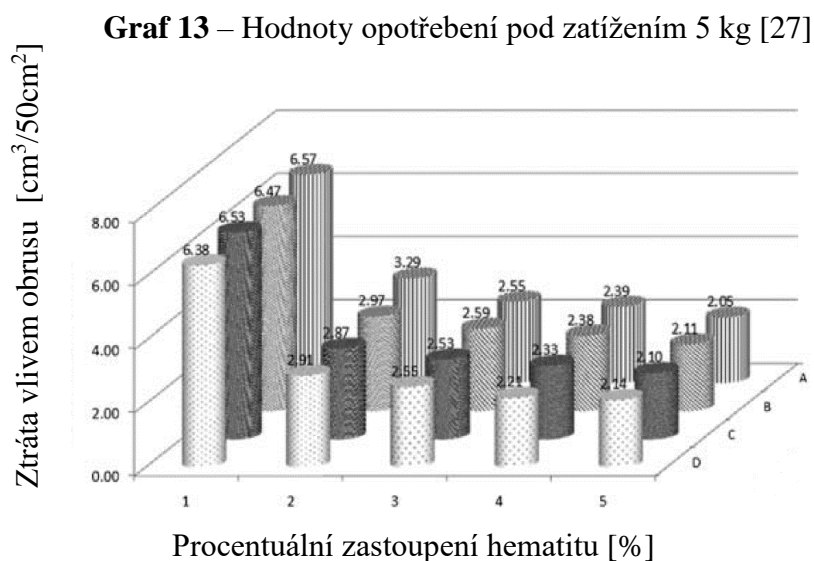
Kamenivo je velmi důležitou složkou pro výrobu betonu. V betonové směsi kamenivo zaujímá kolem 80 % z celkového objemu. Jelikož kamenivo zaujímá značnou část betonové směsi, je velmi důležité, jaký druh kameniva se použije. Použitý druh kameniva má vliv na vlastnosti betonu, jako je například pevnost, ale i na odolnost betonu proti abrazi. [26]

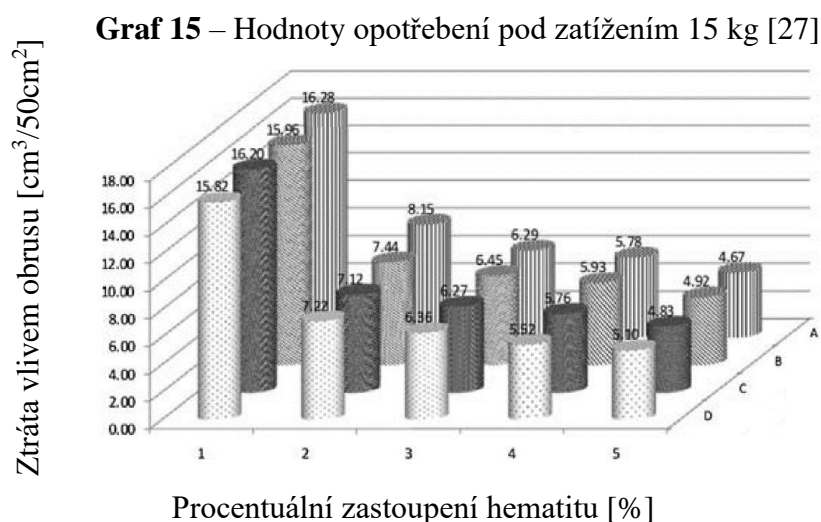
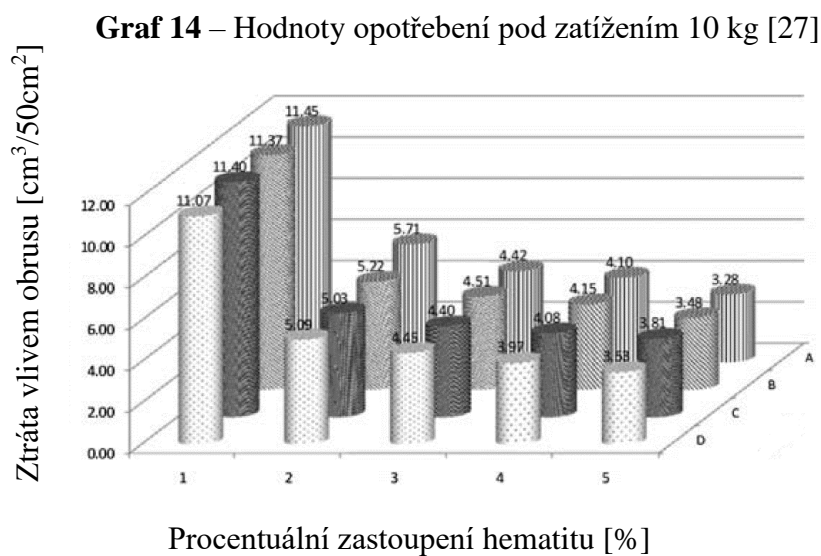
2.2.3.1 Hematit

V roce 2011 vědec Gencel a kol. sledovali vliv hematitu na obrusnost betonu. Zkoumali hematit, protože toto kamenivo nikdo jiný nezkoumal s vlivem na odolnost betonu proti abrazi. [27]

Vyrobili 5 druhů betonových směsí ,vždy s jiným poměrem hematitu a to 0; 15; 30; 45 a 60 % (1, 2, 3, 4, 5) z hmotnosti kameniva. Každá směs měla 4 zkušební vzorky, které obsahovaly jiné množství cementu (300 (A), 350 (B), 400 (C) a 450 (D) kg/m³). Vodní součinitel byl konstantní pro všechny směsi a to 0,4. Cement byl použit stejný pro všechny směsi CEM II/A-M (P - LL) 42,5N. Hematit je červená hornina obsahující oxid železitý. Toto kamenivo bylo pro směsi připraveno v laboratoři, kde se nadrtilo a přetřídilo. [27]

Otěruvzdornost byla zkoušena na brusném kole po 28 dnech zrání při otáčkách kola 30 cyklů za minutu. Jako abrazivo byl použit korund. Byly vyrobeny vždy tři stejné zkušební vzorky z každé směsi, kdy na každý vzorek působilo jiné zatížení, v hodnotách 5, 10 a 15 kg. [27]





Výsledky obrusu jsou zobrazeny v grafech číslo 13, 14 a 15. Na všech třech grafech je viditelné, že vzorky obsahující nejméně cementu 300 kg/m^3 (A) dosahovaly vyšších hodnot opotřebování než vzorky obsahující maximální dávku cementu 450 kg/m^3 (D). Dále je vidět, že po přidání hematitu došlo k výraznému snížení hodnot obrusu, oproti směsím bez přídavku hematitu. Dávka 15 % hematitu výrazně snížila hodnotu obrusu, ale ostatní dávky snižovaly obrus ještě více. Při dávce 60 % hematitu směsi dosahovaly nejmenších hodnot obrusu. [27]

Závěr z tohoto zkoumání vlivu hematitu na abrazi betonu byl následovný: [27]

- Hematit zlepšuje odolnost betonu proti abrazi.
- Z této studie se jeví jako nejlepší dávka 60 % hematitu z hmotnosti kameniva.

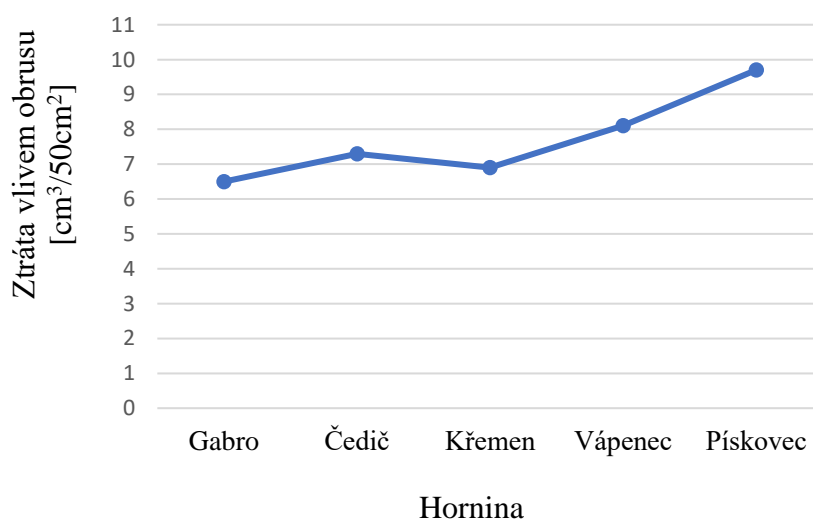
2.2.3.2 Gabro, čedič, křemen, pískovec a vápenec

V roce 2006 se Kilic a kol. věnovali pěti druhům kameniva s vlivem na odolnost proti abrazi. Bylo vytvořeno pět různých betonových směsí, do kterých použili gabro, čedič, křemen, pískovec a vápenec. Vodní součinitel zvolili pro všechny směsi stejný a to 0,35. Byla použita plastifikační přísada v množství 4 % z hmotnosti pojiva. Do všech směsí byl použit portlandský cement CEM I. Z těchto směsí byly připraveny vzorky na zkoušku obrusnosti podle Böhma. Každý zkušební vzorek byl obrušován na 4 stranách. Každá strana byla obrušována 22 otáčkami. Jako abrazivo pro broušení, byl použit korund. Odolnost proti abrazi na všech zkušebních vzorcích byla stanovena po 28 dnech zrání. [28]

Tabulka 4 – Výsledky obrusu pěti různých kameniv po 28 dnech zrání [28]

Hornina	Gabro	Čedič	Křemen	Vápenec	Pískovec
Ztráta vlivem obrusu [cm ³ /50cm ²]	6,5	7,3	6,9	8,1	9,7

Graf 16 – Vliv druhu pěti hornin na odolnost proti abrazi



V grafu číslo 16 jsou znázorněny použité druhy kameniva a jejich vliv na abrazi betonu. Z těchto pěti kameniv předpokládal Kilic a kol., že pískovec bude dosahovat nejvyšších hodnot, a to se také potvrdilo, protože pískovec jako hornina je velmi měkká. Zatímco u tvrdých hornin jako je gabro, čedič a křemen předpokládali, že hodnoty obrusu budou nižší, a to se také potvrdilo. Z této studie odolnosti kameniv proti abrazi, vyšla jako nejlepší

hornina gabro, ale i křemen se jeví jako dobrá hornina proti obrusu, protože jeho hodnota se od gabra výrazně nelišila. Jako nejhorší horninu proti abrazi betonu označili pískovec, který dosahoval nejvyšších hodnot. [28]

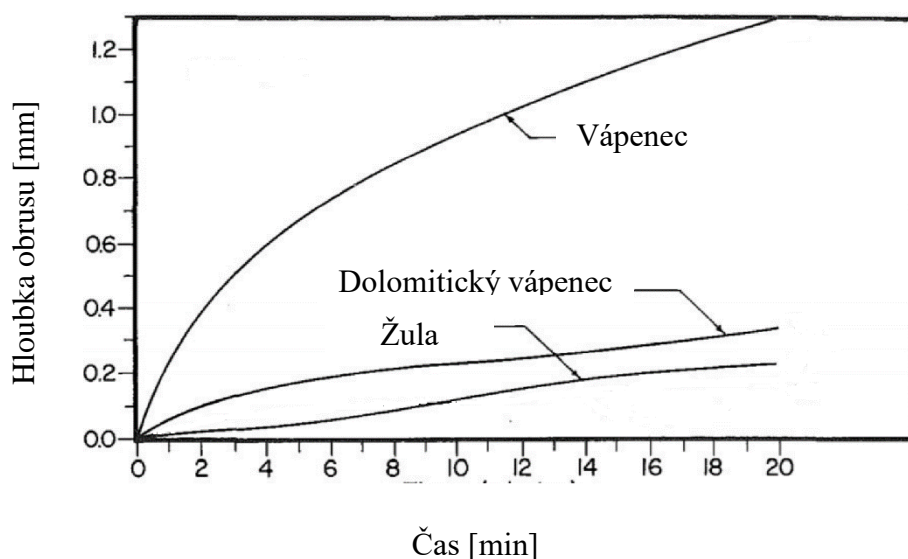
Závěr z tohoto zkoumání vlivu pěti druhů kameniv na abrazi betonu byl následovný: [28]

- Nejhorší hornina použitá do betonu na odolnost proti abrazi je pískovec.
- Nejlepší hornina použitá do betonu na odolnost proti abrazi je gabro.

2.2.3.3 Pískovec, dolomitický pískovec, žula

Laplante a kolektiv v roce 1991 testovali vliv různých hrubých kameniv na abrazi betonu. V jejich studii bylo použito jako kamenivo do betonu vápenec, dolomitický vápenec a žula. Všechny vyrobené betonové směsi měly podobné složení, pouze vždy použili jiný druh kameniva. Vodní součinitel byl pro všechny směsi 0,32. Ze všech směsí byly připraveny zkušební vzorky na zkoušku obrusnosti. Zkouška obrusnosti se prováděla na přístroji dle normy ASTM C779. Každý vzorek byl zkoušen po dobu 20 minut. [29]

Graf 17 – Vliv třech druhů kameniv na abrazi betonu [29]



V grafu číslo 17 jsou znázorněny druhy zkoušených kameniv s vlivem na abrazi betonu. Laplane předpokládal, že vápenec jako měkká hornina bude dosahovat nejvyšších hodnot, což také prokázal. Zatímco žula, která je z těchto zkoušených kameniv nejtvrďší, dosahovala nejnižších hodnot obrusu. [29]

Už z předchozí studie, kdy Kilic sledoval vliv několika druhů kameniva, můžeme říci, že vápenec ani pískovec není hornina vhodná do betonu proti abrazi, což potvrdil i Laplane.

Zatímco žula, gabro, hematit nebo křemen, je vhodná hornina do betonových směsí proti abrazi.

2.2.4 Vliv skladby kameniva na odolnost betonu proti abrazi

Velikost kameniva je velmi důležitý faktor pro odolnost betonu proti abrazi. V literatuře se často uvádí, že betony, které jsou vyrobeny z větších frakcí kameniva, mají větší odolnost proti obrusu.

2.2.4.1 Vliv velikosti kameniva 5, 13 a 25 mm na odolnost betonu proti abrazi

Liu, Yen a Hsu zkoumali vliv velikosti kameniva na odolnost betonu proti abrazi. Vytvořili tři různé betonové směsi, kdy každá směs obsahovala jinou velikost kameniva. Maximální velikost kameniva, kterou použili byla 5, 13 a 25 mm. Všechny směsi se skládaly z portlandského cementu CEM I a neobsahovaly žádnou příměs. Vodní součinitel pro všechny směsi byl 0,5. [30]

Ze směsí vytvořili zkušební desky, které zkoušeli na abrazi betonu. Abraze na deskách byla zkoušena pomocí vodního paprsku. Vodní paprsek obsahoval směs vody a písku, který měl velikost kolem 5 mm. Voda s pískem byla na desky stříkána v úhlu 45 °, aby simulovala proud vod. Desky se testovaly po dobu 3 hodin, při rychlosti tryskání vody s pískem 10 metrů za sekundu a teplotě vody 30 °C. Odolnost desek proti abrazi se zkoušela po 28 a 56 dnech. [30]

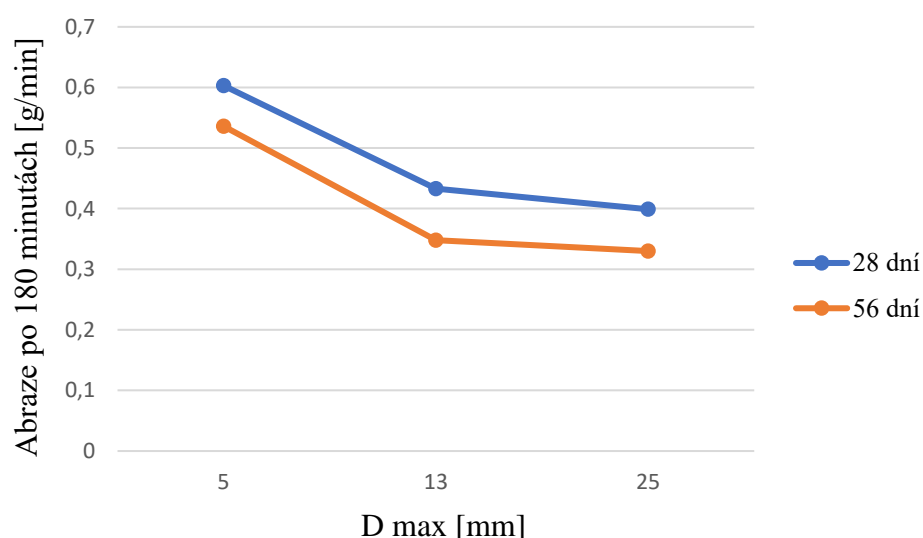
Tabulka 5 – Složení směsí [kg/m³] [30]

Směs	Voda	Cement	Hrubé kamenivo	Písek	D max [mm]
1	160	320	0	795	5
2	160	320	1073	795	13
3	160	320	1073	795	25

Tabulka 6 – Abraze betonu po 28 a 56 dnech [30]

Směs	D max [mm]	Abraze po 28 dnech po 180 minutách [g/min]	Abraze po 56 dnech po 180 minutách [g/min]
1	5	0,603	0,536
2	13	0,433	0,348
3	25	0,399	0,330

Graf 18 – Vliv velikosti kameniva na odolnost betonu proti abrazi [30]

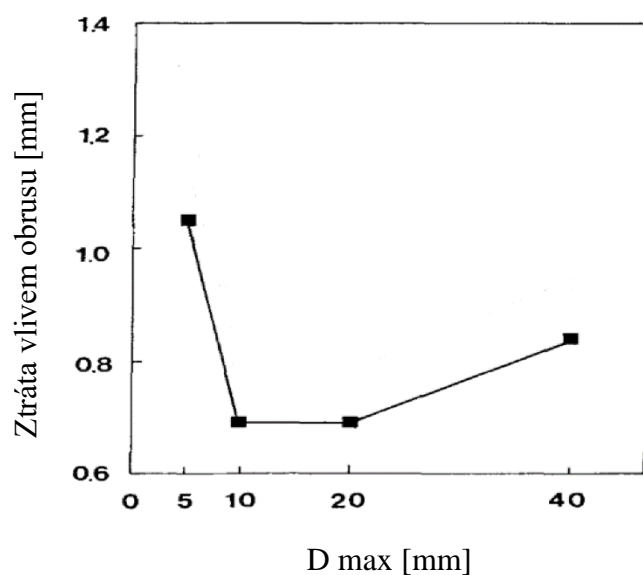


V grafu číslo 18 znázornili velikost kameniva a jeho vliv na odolnost betonu proti abrazi. V literatuře se uvádí, že s větší frakcí kameniva je abraze betonu menší, a to také chtěli potvrdit. Z grafu je viditelné, že abraze po 56 dnech byla menší než po 28 dnech, a to u všech velikostí kameniva. Při použití kameniva o velikosti 25 mm bylo dosaženo nejmenších hodnot abraze. Zatímco při použití kameniva o velikosti 5 mm byla abraze největší, a to jak po 28 tak i po 56 dnech zrání. To, co se píše v literatuře, Liu, Yen a Hsu potvrdili. [30]

2.2.4.2 Vliv velikosti kameniva 5, 10, 20 a 40 mm na odolnost betonu proti abrazi

Dhir a kol. v roce 1991 zkoumali, zda velikost kameniva má vliv na odolnost betonu proti abrazi. Vytvořili čtyři směsi, do kterých byly přidávány jiné velikosti kameniva, ale vodní součinitel byl pro všechny směsi stejný 0,5. Maximální velikost kameniva, kterou používali do směsí byla 5, 10, 20 a 40 mm. Ze směsí vytvořili zkušební desky, které byly testovány po 50 dnech zrání. [31]

Graf 19 – Vliv velikosti kameniva na obrusnost betonu [31]



V grafu číslo 19 Dhir a kolektiv znázornili vliv velikosti kameniva na abrazi betonu. Z grafu je patrné, že při použití kameniva o velikosti 5 mm docházelo k největšímu obrusu, zatímco při použití velikosti kameniva 10 a 20 mm došlo k výraznému poklesu. Při použití největšího kameniva 40 mm už obrus mírně vzrostl, ale byl stále menší než při užití velikosti kameniva 5 mm. Podle Dhira a kolektivu je vhodné pro snížení obrusu použít maximální velikost kameniva do 20 mm. [31]

Z těchto dvou zkoumaných studií vyplývá, že velikost kameniva ovlivňuje odolnost betonu proti abrazi. Shrnutím těchto výsledků je zřejmé, že velikost kameniva 10 – 20 mm zlepšují odolnost betonu proti abrazi. Kamenivo o velikosti 5 mm a 40 mm nejsou vhodná do betonu, protože zhoršují odolnost betonu proti abrazi. Z toho zkoumání se dá říci, že nejvhodnější velikost kameniva proti abrazi betonu, je 20 mm.

2.3 Způsob měření abraze

2.3.1 Stanovení odolnosti proti obrusu metodou Böhme – ČSN EN 13892 – 3

Podstatou zkoušky odolnosti proti obrusu, je zmenšení objemu tělesa, který se vypočítá z úbytku hmotnosti, nebo úbytku tloušťky zkušební tělesa. Zkušební tělesa jsou krychle o délce hrany $71 \pm 1,5$ mm.

Každé zkušební těleso se před zkouškou zváží a změří. Měří se šířka, délka a výška s přesností na 0,01 mm. Následně se zkušební těleso upne do přístroje a zatíží se silou 294 ± 3 N. Na brusnou dráhu přístroje se nasype 20 g brusiva (korund). Brusný kotouč se uvede do chodu a dbá se na to, aby brusivo bylo rovnoměrně rozloženo na brusné dráze. Po každém cyklu, který trvá 22 otáček, se musí brusný kotouč očistit od použitého brusiva. Zkušební těleso se otočí o 90° a na brusný kotouč se nasype nové brusivo. Měření výšky a hmotnosti zkušební tělesa, je po každých 4 cyklech. Měření po 4 cyklech nám dává informaci o průběhu obrusu. Tímto způsobem se zkušební těleso zkouší 16 cyklů. [33]

Odolnost proti obrusu metodou Böhme se stanoví: [33]

$$A = \Delta V = \frac{\Delta m}{\rho_R} = \Delta l \times 5 \quad [\text{cm}^3 / 50\text{cm}^3]$$

$$\Delta l = l_0 - l_{16}$$

A (ΔV) ... Odolnost proti obrusu metodou Böhme

Δm ... Úbytek hmotnosti po 16 (4, 8, 12) cyklech [g]

ρ_R ... Objemová hmotnost zkušební tělesa [g/m^3]

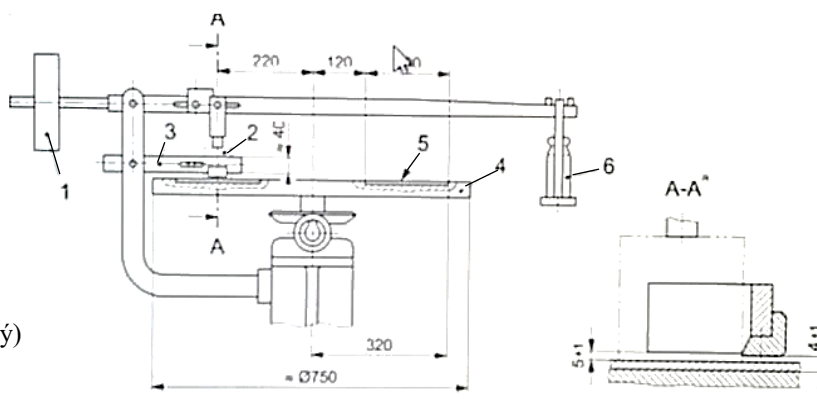
Δl ... Průměrný úbytek tloušťky po 16 (4, 8, 12) cyklech [mm]

l_0 ... Průměrná tloušťka zkušební tělesa před zkouškou [mm]

l_{16} ... Průměrná tloušťka zkušební tělesa po zkoušce [mm]

Legenda

1. Protizávaží
2. Zkušební těleso
3. Upínací zařízení
4. Brusný kotouč
5. Brusná dráha
6. Závaží
7. Řez A-A (zvětšený)



Obrázek 8 – Princip zkušebního přístroje Böhme [33]

2.3.2 Stanovení obrusnosti betonu – ČSN 73 1324

Podstatou zkoušky je zjištění úbytku hmotnosti zkušební tělesa po 20 cyklech. Zkušební tělesa mají tvar krychle o hraně 7,07 cm.

Každé zkušební těleso se před zkouškou vysuší při teplotě 105 – 110 °C do konstantní hmotnosti. Dále se zváží a změří. Pro zkoušku obrusnosti se používá Böhmov přístroj. Zkušební těleso se upne do přístroje a zatíží se silou 294 ± 3 N. Na brusný kotouč se nasype 20 g brusiva (korund). Brusný kotouč se uvede do chodu a dbá se na to, aby brusivo bylo rovnoměrně rozloženo na brusné dráze. Po každém cyklu, který trvá 22 otáček, se musí brusný kotouč očistit od použitého brusiva. Zkušební těleso se otočí o 90° a na brusný kotouč se nasype nové brusivo. Broušení zkušební tělesa je ukončeno po 20 cyklech (440 otáčkách). Po skončení obrusu se zkušební těleso zváží a změří. [34]

Odolnost proti obrusu betonu se stanoví: [34]

$$R_0 = \frac{\Delta m}{m_p} \cdot 100 = \frac{m_p - m_k}{m_p} \cdot 100 \quad [\%]$$

R_0 ... Obrusnost betonu [%]

Δm ... Úbytek hmotnosti betonu [g]

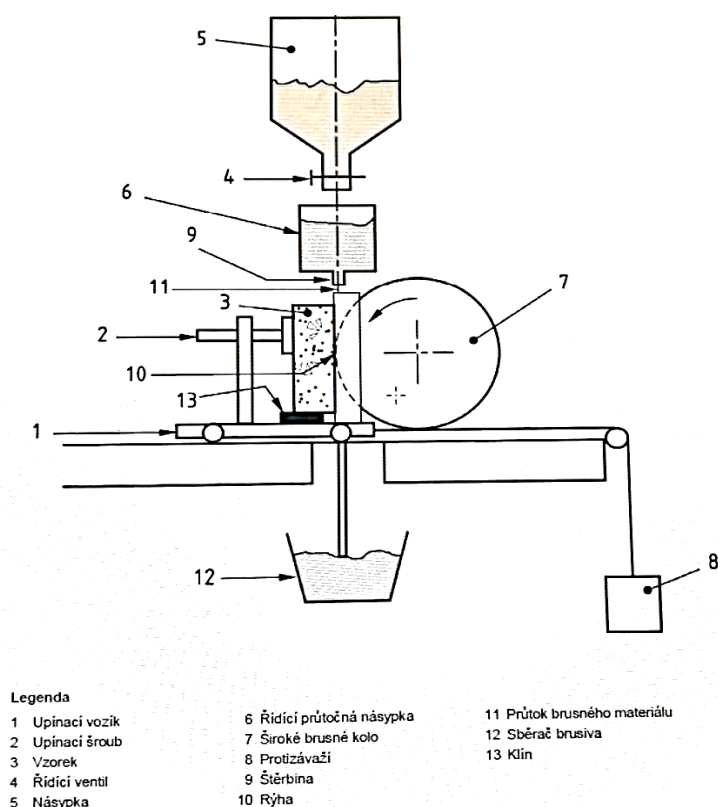
m_p ... Hmotnost tělesa před zkouškou [g]

m_k ... Hmotnost tělesa po zkoušce [g]

2.3.3 Stanovení obrusnosti širokým kolem – ČSN EN 1338, ČSN EN 1339, ČSN EN 1340

Podstatou zkoušky, je zjištění šířky rýhy, která vznikne při zkoušce obrusnosti širokým kolem. Zkušební těleso má rozměry 100 x 70 mm.

Před zkouškou se povrch zkušební tělesa očistí tuhým štětcem a pokryje se barvou, aby se usnadnilo měření rýhy. Jako brusivo, které se sype do násypky přístroje, je používán korund. Upínací vozík se odsune od brusného kola a vloží se zkušební těleso, které je následně ve styku s brusným kolem. Následně se otevře řídicí ventil násypky a současně se spustí motor přístroje. Zkušební těleso je obrušováno širokým brusným kolem po dobu 75 otáček. Po 75 otáčkách se zastaví brusné kolo a tok brusiva. Zkušební těleso se vyndá z upínacího vozíku a pomocí digitálního měřítka se změří třikrát tloušťka rýhy s přesností na 0,1 mm. Na každém straně zkušební tělesa, je možno provést dvě zkoušky. [35, 36, 37]



Obrázek 9 – Princip obrusu širokým kolem [35, 36, 37]

2.3.4 ASTM metody pro stanovení obrusnosti betonu

Existují čtyři základní metody ASTM pro měření odolnosti betonu proti otěru.

2.3.4.1 Odolnost betonu proti otěru – pískováním (ASTM C418 2012)

Tato metoda používá pro zkoušku otěruvzdornosti křemičitý písek, který je tryskán na betonový povrch. Je to metoda suchá, není u ní použita voda. Tato metoda může simulovat působení částic, jako je písek na dopravních plochách, které jsou pojížděny auty.

Před samotnou zkouškou, musí být betonový vzorek ponořen do vody na 24 hodin. Před provedením zkoušky se povrch otře hadříkem a nechá oschnout. Následně je písek pomocí trysky stříkán na betonový povrch ze vzdálenosti $75 \pm 2,5$ mm. Po zkoušce dojde k určité ztrátě betonové hmoty na povrchu betonu. Pro určení objemu obroušeného materiálu se používá jíl na bázi oleje. Tímto materiálem se pod malým tlakem zaplňují dutiny, který vznikly při pískování. Z hmotnosti a hustoty jílu se následně zjistí hmotnost obroušené části. [16]

2.3.4.2 Odolnost betonu proti otěru - vodorovné betonové povrchy (ASTM C779)

Vodorovné betonové povrchy se na otěr můžou zkoušet třemi různými postupy:

- **Ocelové otáčivé kotouče**

Při této metodě dochází k obrusu povrchu betonu, pomocí tří otočných ocelových kotoučů. Jako brusivo je používán karbid křemíku, který je na povrch betonu dodáván rychlostí 4 – 6 g za minutu. Betonové povrchy jsou zkoušeny po dobu 30 minut. Po 30 minutách je měřena hloubka obrusu. [16]

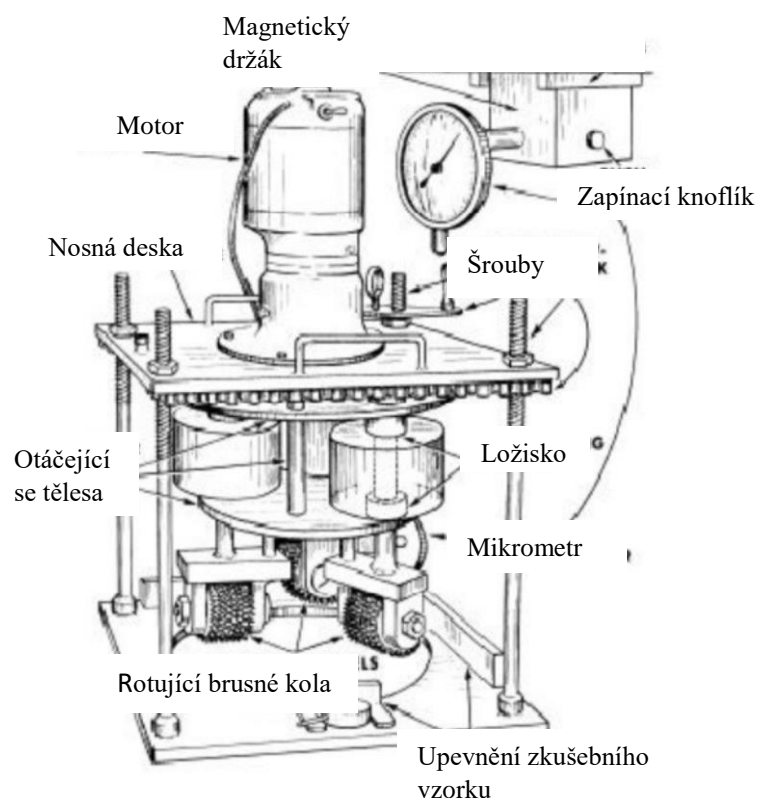
- **Rotující brusné kola**

Při této metodě dochází k obrusu povrchu betonu, pomocí tří rotujících brusných kol, které se otáčí. Tato metoda nepoužívá žádné abrazivní částice. Hloubka opotřebení u této metody je dvakrát větší než při použití otáčivých ocelových kotoučů. [16]

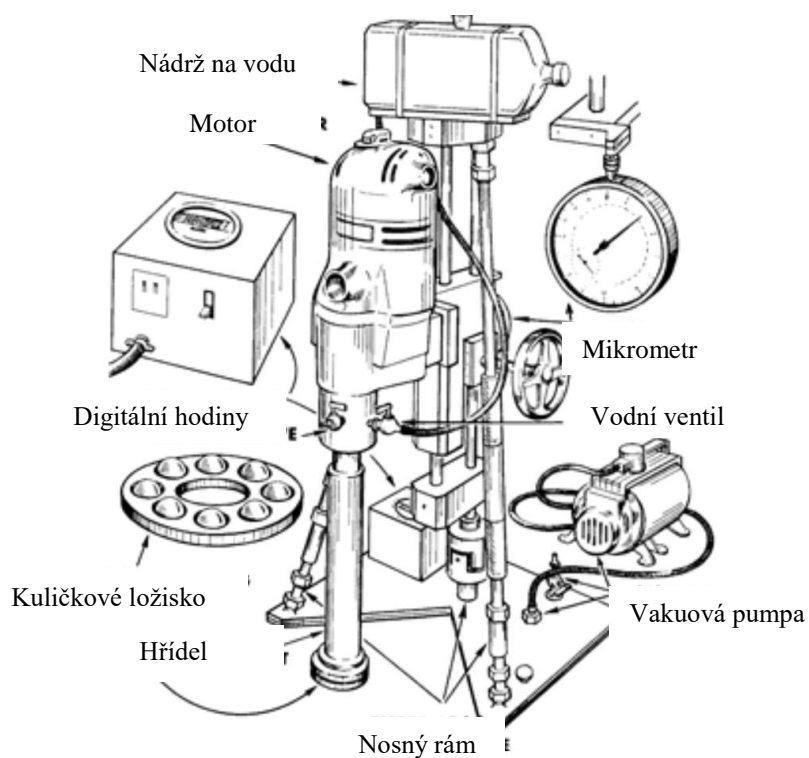
- **Kuličkové ložisko**

Při této metodě dochází k obrusu pomocí osmi kuliček, které se otáčí na povrchu betonu rychlostí 1000 otáček za minutu. Betonový povrch musí být při zkoušce mokrá. Jako brusivo se používá písek. Doba trvání obrusu je 20 minut. Hloubka obrusu je měřena každých 50

sekund mikrometrem, který je umístěn přímo na přístroji. Pokud hloubka obrusu dosáhne 3,0 mm zkouška se zastaví. [16]



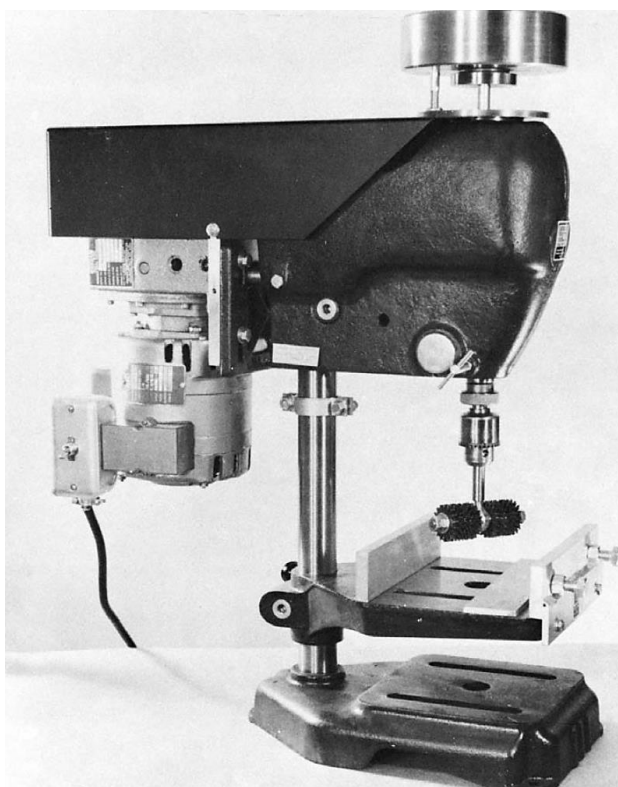
Obrázek 10 – Přístroj s vodorovnými rotačními koly na stanovení obrusnosti betonu [16]



Obrázek 11 – Přístroj s kolečkovým ložiskem na stanovení obrusnosti betonu [16]

2.3.4.3 Odolnost proti otěru betonu - rotující brusné kotouče (ASTM C 944)

Přístroj se skládá ze základové desky, rámu, motoru, hřídele a rotujících brusných kotoučů. Nejprve se zkušební vzorek zváží s přesností na 0,1 g. Dále je zkušební vzorek upevněn do základové desky. Na přístroj se upevní rotující brusné kotouče, které budou obrušovat zkušební plochu betonu. Zapne se motor a rotující brusné kotouče se spustí na plochu betonu. Otěr povrchu se zkouší 3 x 2 minuty. Po 2 minutách se vždy zkušební vzorek očistí a zaváží. [38]



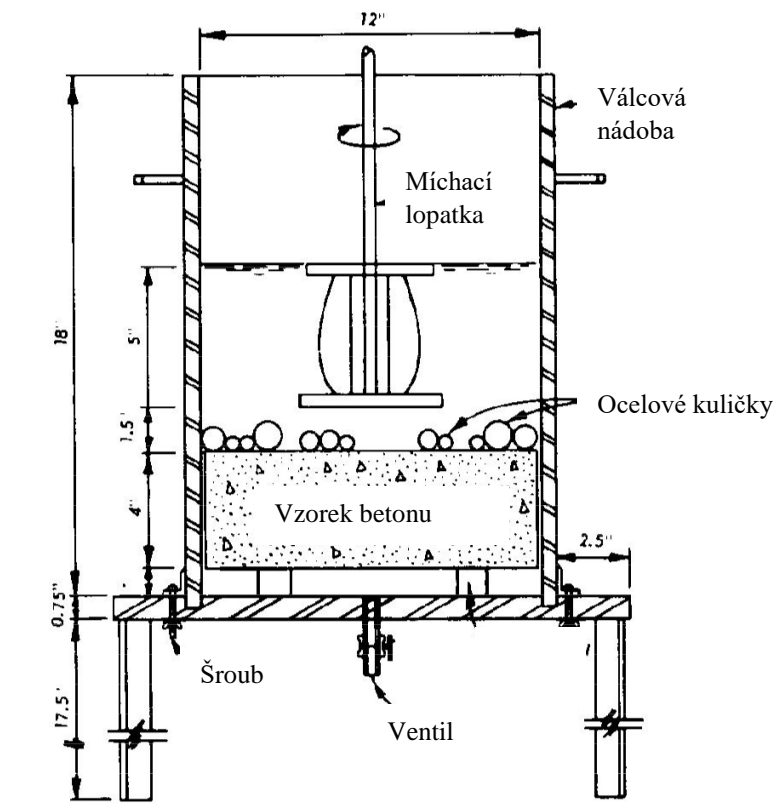
Obrázek 12 – Přístroj na zkoušku otěru betonové povrchu s rotujícími brusnými kotouči [38]

2.3.4.4 Odolnost proti otěru betonu - pod vodou (ASTM C1138)

Metoda slouží pro měření abraze betonových povrchů. Tato metoda simuluje působení proudící vody obsahující částice na betonový povrch.

Zkušební přístroj se skládá z míchací lopatky, válcové nádoby, 70 ocelových kuliček o různé velikosti a rotujícího zařízení.

Voda v nádobě je míchána lopatkou, která je poháněna rotujícím zařízením o rychlosti 1200 otáček za minutu. Voda, která cirkuluje v nádobě pohybuje kuličkami, které se otírají o zkoušený betonový povrch. Zkouška odolnosti proti obrusu trvá 72 hodin. [32]



Obrázek 13 – Příklad na zkoušku otěru betonového povrchu pod vodou [32]

III CÍL PRÁCE

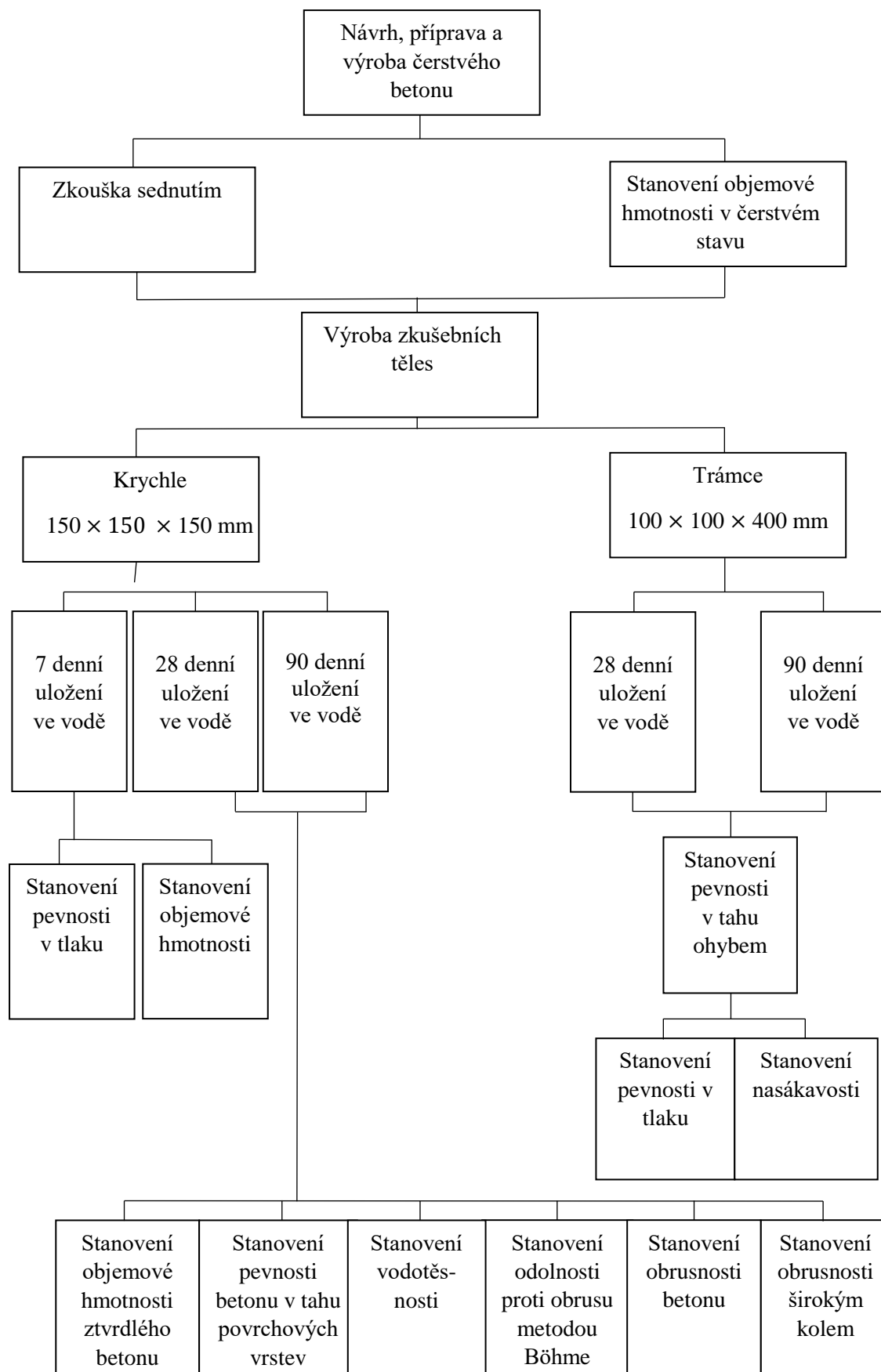
Cílem diplomové práce v teoretické části bylo popsání povrchové abraze betonu. Dále jsou zde popsány některé druhy příměsí (popílek, struska, mikrosilika), druhy kameniva a jeho skladba a vše je zaměřeno na odolnost betonu proti abrazi.

V experimentální části bylo cílem navrhnout několik druhů betonu třídy C30/37, S4, za použití různých příměsí a různých druhů kameniva. Důležité bylo zaměřit se na sledování odolnosti betonu proti ohrusu metodou dle Böhma a metodou širokého kola. Dále byla sledována pevnost betonu v tlaku, pevnost v tahu ohybem, pevnost v tahu povrchových vrstev, vodotěsnost, nasákavost a také objemové hmotnosti v čerstvém i ztvrdlém stavu. Po zohlednění požadavků normy ČSN 73 2404/Z1 na betony vystavené prostředí XM a po dohodě s vedoucím diplomové práce byly vyrobeny betony pevnostní třídy C35/45, což je minimální pevnostní třída betonů pro prostředí XM3 dle výše citované normy.

IV EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Experimentální část diplomové práce je věnována sledování odolnosti betonu proti abrazi pomocí metody podle Böhma a metody širokého kola. Byly stanoveny základní fyzikální a mechanické vlastnosti betonu. Celkově bylo odzkoušeno patnáct různých receptur, které se skládaly z různých druhů kameniv a příměsí. Vždy čtveřice receptur se skládala ze stejného druhu kameniva a měnila se pouze příměs. Poslední tři receptury byly referenční, neobsahovaly žádnou příměs. Pro výrobu každé receptury byla použita superplastifikační přísada.

3 Metodika práce



4 Vstupní suroviny

4.1 Cement

Pro výrobu všech patnácti receptur, byl použit cement – CEM I 42,5R z cementárny Mokrá. Všechny vlastnosti portlandského cementu byly převzaty z technického listu, který je součástí přílohy práce. Měrná hmotnost cementu je 3100 kg/m^3 .

4.2 Kamenivo

Pro každou recepturu, byly použity frakce kameniva 0/4, 4/8 a 8/16 mm různých druhů kameniv.

Základní fyzikální parametry jako jsou: síťový rozbor, objemová hmotnost a tvarový index kameniva byly stanoveny v rámci této diplomové práce a výsledky obsahuje 6.1 a 6.2 podkapitola práce.

4.2.1 Žabčice

Objemová hmotnost těženého kameniva Žabčice byla přesně stanovena pro každou frakci a průměrně dosahuje hodnoty 2520 kg/m^3 .



Obrázek 14 – Žabčice frakce 0/4 mm



Obrázek 15 – Žabčice frakce 8/16 mm

4.2.2 Želešice

Objemová hmotnost přírodního drceného kameniva byla přesně stanovena pro každou frakci a průměrně dosahuje hodnoty 2860 kg/m³.



Obrázek 16 – Želešice frakce 0/4 mm



Obrázek 17 – Želešice frakce 8/16 mm

4.2.3 Olbramovice

Objemová hmotnost přírodního drceného kameniva Olbramovice byla přesně stanovena pro každou frakci a průměrně dosahuje hodnoty 2640 kg/m³.



Obrázek 18 – Olbramovice 8/16 mm

4.3 Příměsi

Následující podkapitoly obsahují ilustrativní fotografie použitých příměsí a jejich měrnou hmotnost, která byla použita pro výpočet jednotlivých receptur. Podrobnější informace ke každé použití příměsí jsou obsaženy v přílohách práce.

4.3.1 Struska

Pro výrobu vybraných receptur, byla použita jemně mletá granulovaná vysokopecní struska z Dětmovic. Měrná hmotnost použité strusky je 2400 kg/m^3 .



Obrázek 19 – Struska z Dětmovic

4.3.2 Popílek

Pro výrobu vybraných receptur, byl použit vysokoteplotní úletový popílek z tepelné elektrárny Dětmovice. Měrná hmotnost popílku je 2300 kg/m^3 .



Obrázek 20 – Popílek z Dětmovic

4.3.3 Vápenec

Pro výrobu vybraných receptur, byl použit jemně mletý vápenec Zblovice. Měrná hmotnost vápence je 2700 kg/m^3 .



Obrázek 21 – Vápenec Zblovice

4.3.4 Mikrosilika

Pro výrobu vybraných receptur, byla použita mikrosilika z OFZ Istebné. Měrná hmotnost mikrosiliky je 2200 kg/m^3 .



Obrázek 22 – Mikrosilika z Istebné

4.4 Superplastifikační přísada

Do všech receptur, byla použita superplastifikační přísada MC BAUCHEMIE POWERFLOW 2695. Jedná se o plastifikační přísadu na polymerní bázi, které má rychlý účinek, dává vysokou počáteční pevnost a neobsahuje žádné složky, které by podporovaly vznik koroze

5 Receptury

Tabulka 7 – Složení receptur (1, 2, 3, 4 a 13) na 1 m³ v kg

Receptura	1V - ŽEL	2S - ŽEL	3P - ŽEL	4M - ŽEL	13 ŽEL
Třída betonu	C35/45	C35/45	C35/45	C35/45	C35/45
Konzistence	S4	S4	S4	S4	S4
Cement CEM I 42,5 R	320	290	305	305	335
Struska - Dětmarovice	-	90	-	-	-
Vápenec - Zblovice	70	-	-	-	-
Popílek - Dětmarovice	-	-	80	-	-
Mikrosilika - Istebné	-	-	-	30	-
Žabčice 0/4 mm	445	440	440	456	463
Želešice 0/4 mm	450	455	445	460	467
Žabčice 4/8 mm	-	-	-	-	-
Želešice 4/8 mm	240	240	238	245	250
Olbramovice 4/8 mm	-	-	-	-	-
Žabčice 8/16 mm	-	-	-	-	-
Želešice 8/16 mm	728	720	720	750	755
Olbramovice 8/16 mm	-	-	-	-	-
Voda	175	180	175	180	175
Vodní součinitel*	0,49	0,47	0,45	0,54	0,52
POWERFLOW 2695	3,7	3,6	3,6	3,8	3,7

***Poznámka:** Vodní součinitel receptury, byl počítán z hmotnosti všech pojivových složek bez ohledu na k-hodnotu dle ČSN EN 206+A1.

Všechny receptury byly navrženy se stejnou křivkou zrnitosti směsi kameniv, která byla navržena s ohledem na dosažení optimální křivky zrnitosti ze síťových rozborů stanovených pro jednotlivá kameniva. Díky tomu bylo možné porovnávat pouze vliv použité příměsi a druhu kameniva na odolnost proti abrazi a výsledky nebyly ovlivněny samotnou křivkou zrnitosti směsi kameniva.

Tabulka 8 – Složení receptur (5, 6, 7, 8 a 14) na 1 m³ v kg

Receptura	5V - OLB	6S - OLB	7P - OLB	8M - OLB	14 OLB
Třída betonu	C35/45	C35/45	C35/45	C35/45	C35/45
Konzistence	S4	S4	S4	S4	S4
Cement CEM I 42,5 R	320	290	305	305	335
Struska - Dětmarovice	-	90	-	-	-
Vápenec - Zblovice	70	-	-	-	-
Popílek - Dětmarovice	-	-	80	-	-
Mikrosilika - Istebné	-	-	-	30	-
Žabčice 0/4 mm	825	820	817	850	860
Želešice 0/4 mm	-	-	-	-	-
Žabčice 4/8 mm	-	-	-	-	-
Želešice 4/8 mm	-	-	--	-	-
Olbramovice 4/8 mm	200	195	195	200	205
Žabčice 8/16 mm	-	-	-	-	-
Želešice 8/16 mm	-	-	-	-	-
Olbramovice 8/16 mm	720	712	715	740	750
Voda	175	180	170	170	170
Vodní součinitel*	0,49	0,47	0,44	0,51	0,51
POWERFLOW 2695	3,7	3,6	3,6	3,5	3,4

***Poznámka:** Vodní součinitel receptury, byl počítán z hmotnosti všech pojivových složek bez ohledu na k-hodnotu dle ČSN EN 206+A1.

Všechny receptury byly navrženy se stejnou křivkou zrnitosti směsi kameniv, která byla navržena s ohledem na dosažení optimální křivky zrnitosti ze síťových rozborů stanovených pro jednotlivá kameniva. Díky tomu bylo možné porovnávat pouze vliv použité příměsi a druhu kameniva na odolnost proti abrazi a výsledky nebyly ovlivněny samotnou křivkou zrnitosti směsi kameniva.

Tabulka 9 – Složení receptur (9, 10, 11, 12 a 15) na 1 m³ v kg

Receptura	9V - ŽAB	10S - ŽAB	11P - ŽAB	12M - ŽAB	15 ŽAB
Třída betonu	C35/45	C35/45	C35/45	C35/45	C35/45
Konzistence	S4	S4	S4	S4	S4
Cement CEM I 42,5 R	320	290	305	305	335
Struska - Dětmorovice	-	90	-	-	-
Vápenec - Zblovice	70	-	-	-	-
Popílek - Dětmorovice	-	-	80	-	-
Mikrosilika - Istebné	-	-	-	30	-
Žabčice 0/4 mm	790	782	780	810	818
Želešice 0/4 mm	-	-	-	-	-
Žabčice 4/8 mm	232	230	230	235	240
Želešice 4/8 mm	-	-	-	-	-
Olbramovice 4/8 mm	-	-	-	-	-
Žabčice 8/16 mm	700	688	690	715	725
Želešice 8/16 mm	-	-	-	-	-
Olbramovice 8/16 mm	-	-	-	-	-
Voda	165	170	165	170	165
Vodní součinitel*	0,42	0,45	0,43	0,51	0,49
POWERFLOW 2695	3,2	3,1	3,1	3,3	2,9

***Poznámka:** Vodní součinitel receptury, byl počítán z hmotnosti všech pojivových složek bez ohledu na k-hodnotu dle ČSN EN 206+A1.

Všechny receptury byly navrženy se stejnou křivkou zrnitosti směsi kameniv, která byla navržena s ohledem na dosažení optimální křivky zrnitosti ze síťových rozborů stanovených pro jednotlivá kameniva. Díky tomu bylo možné porovnávat pouze vliv použité příměsi a druhu kameniva na odolnost proti abrazi a výsledky nebyly ovlivněny samotnou křivkou zrnitosti směsi kameniva.

6 Výroba zkušebních vzorků

6.1 Míchání směsi

Všechny směsi byly namíchány v laboratorní míchačce s nuceným oběhem horizontálního typu. Nejdříve se do míchačky nasypaly všechny frakce kameniva, cement, příměs a následně se přidala voda se superplastifikační přísadou. Každá směs, byla důkladně promíchána několik minut.

6.2 Zkušební tělesa

Z namíchaných směsí, byly vyrobeny krychle o velikosti 150 × 150 × 150 mm a trámce o velikosti 100 × 100 × 400 mm. Všechny zkušební vzorky zrály při laboratorní teplotě po dobu 24 hodin a následně byly odformovány. Vzorky byly po odformování uloženy do vodního prostředí po dobu 7, 28 a 90 dní.



Obrázek 23 – Uložení zkušebních vzorku do vody

6.3 Výřezy

Vzorky pro stanovení obrusnosti podle Böhma o rozměrech cca 71 × 71 mm a pro stanovení obrusnosti širokým kolem a rozměrech 100 × 71 mm byly připraveny jako výřezy z vyrobených krychlí vždy při stanoveném stáří vzorků.

7 Provedené zkoušky a zkušební postupy

7.1 Kamenivo

- Stanovení zrnitosti - Sítový rozbor - ČSN EN 933 – 1 [39]
- Stanovení tvaru zrn - Tvarový index - ČSN EN 933 – 4 [40]
- Stanovení objemové hmotnosti zrn - ČSN EN 1097 – 6 [41]

7.2 Beton v čerstvém stavu

- Stanovení konzistence zkouškou sednutí - ČSN EN 12350 – 2 [42]
- Stanovení objemové hmotnosti betonu - ČSN EN 12350 – 6 [43]

7.3 Beton v zatvrdlém stavu

- Stanovení objemové hmotnosti zatvrdlého betonu - ČSN EN 12390 – 7 [44]
- Stanovení pevnosti v tlaku zkušebních těles - ČSN EN 12390 – 3 [45]
- Stanovení pevnosti v tahu ohybem - ČSN EN 12390 – 5 [46]
- Stanovení nasákavosti - ČSN 73 1316 [47]
- Stanovení vodotěsnosti betonu (HV8) – Podle ŘVC TKP 1 [48]
- Stanovení pevnosti betonu v tahu povrchových vrstev - ČSN 73 1318 [49]
- Stanovení odolnosti proti obrusu metodou Böhme - ČSN EN 13892 – 3 [33]
- Stanovení obrusnosti betonu - ČSN 73 1324 [34]
- Stanovení obrusnosti širokým kolem - ČSN EN 1338, ČSN EN 1339, ČSN EN 1340 [35, 36, 37]

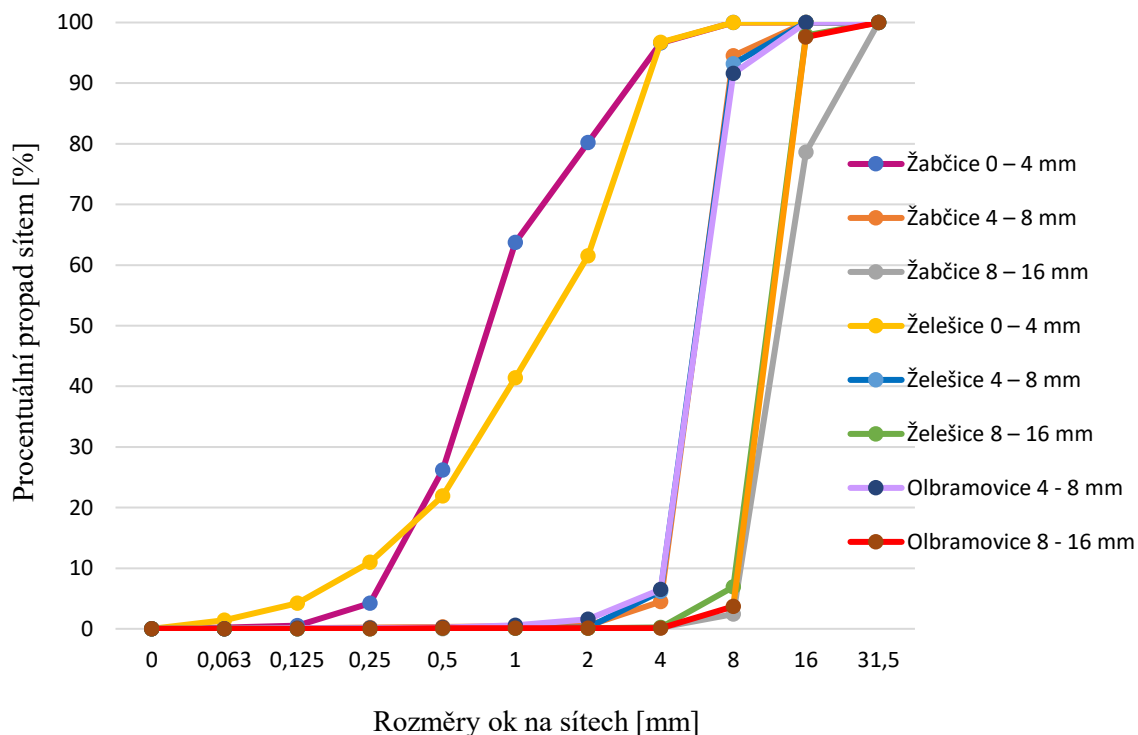
8 Výsledky zkoušek

8.1 Sítový rozbor

Tabulka 10 – Výsledné hodnoty sítového rozboru

Rozměry ok na sítech [mm]	Celkový propad sítím [%]							
	Žabčice 0 – 4 mm	Žabčice 4 – 8 mm	Žabčice 8 – 16 mm	Želešice 0 – 4 mm	Želešice 4 – 8 mm	Želešice 8 – 16 mm	Olbra- movice 4 - 8 mm	Olbra- movice 8 - 16 mm
31,5	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
16	100,0	100,0	78,6	100,0	100,0	97,9	100,0	97,6
8	100,0	94,5	2,4	100,0	93,2	6,9	91,6	3,7
4	96,6	4,5	0,2	96,7	6,2	0,2	6,5	0,1
2	80,2	0,5	0,1	61,5	0,2	0,1	1,6	0,1
1	63,7	0,4	0,1	41,4	0,1	0,1	0,6	0,1
0,5	26,2	0,3	0	21,9	0,1	0,1	0,2	0,1
0,25	4,2	0,2	0	11,0	0,1	0	0,1	0
0,125	0,5	0,1	0	4,2	0	0	0,1	0
0,063	0,2	0	0	1,4	0	0	0	0
Dno	0	0	0	0	0	0	0	0

Graf 20 – Grafické znázornění křivek zrnitosti kameniv



8.2 Objemová hmotnost a tvarový index kameniva

Tabulka 11 – Výsledné hodnoty objemových hmotností a tvarového indexu kameniva

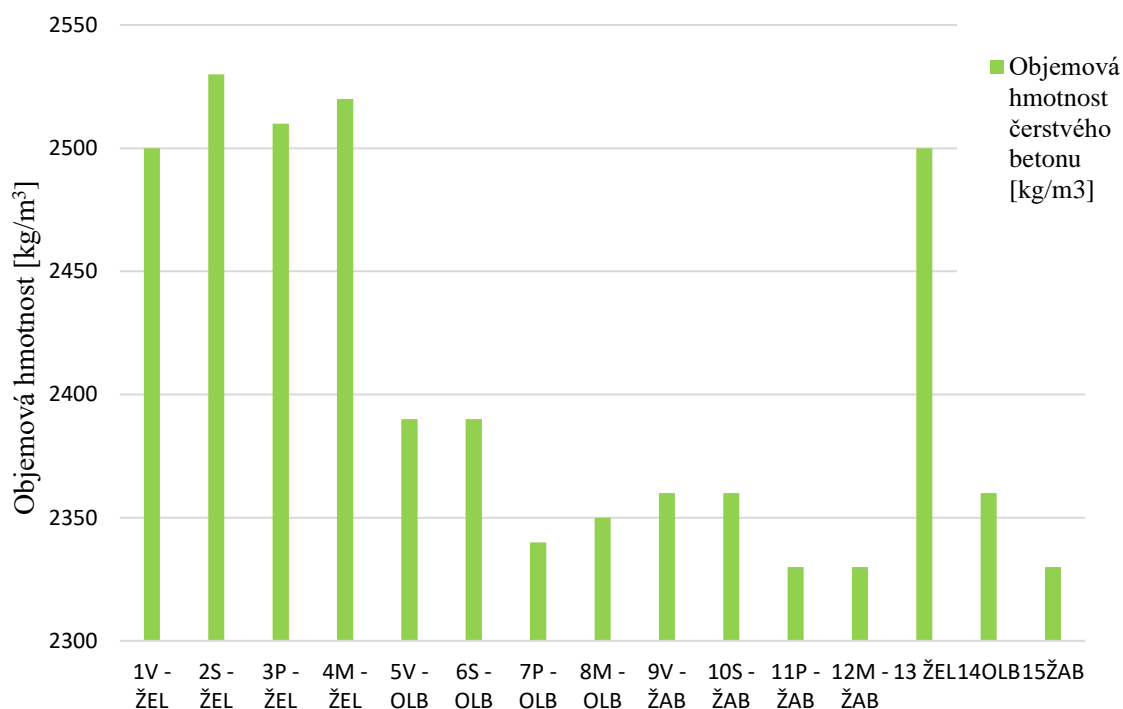
Druh kameniva	Frakce [mm]	Objemová hmotnost [kg/m ³]	Tvarový index [-]
Žabčice	0 - 4	2 520	-
	4 - 8	2 540	-
	8 - 16	2 500	18
Želešice	0 - 4	2 830	-
	4 - 8	2 860	-
	8 - 16	2 880	32
Olbramovice	4 - 8	2620	-
	8 - 16	2650	21

8.3 Sednutí kužele a objemová hmotnost betonu

Tabulka 12 – Výsledné hodnoty sednutí kužele a objemové hmotnosti betonu

Receptura	Sednutí kužele [mm]	Objemová hmotnost čerstvého betonu [kg/m ³]
1V - ŽEL	170	2500
2S - ŽEL	170	2530
3P - ŽEL	180	2510
4M - ŽEL	160	2520
5V - OLB	170	2390
6S - OLB	160	2390
7P - OLB	180	2340
8M - OLB	160	2350
9V - ŽAB	170	2360
10S - ŽAB	170	2360
11P - ŽAB	170	2330
12M - ŽAB	160	2330
13 ŽEL	130	2500
14 OLB	160	2360
15 ŽAB	170	2330

Graf 21 – Objemová hmotnost v čerstvém stavu



Receptury



Obrázek 24 – Stanovení konzistence – sednutí kužele

V tabulce číslo 12 jsou uvedeny výsledné hodnoty sednutí kužele a objemové hmotnosti betonu v čerstvém stavu. Největší objemová hmotnost v čerstvém stavu byla dosažena u receptur obsahující kamenivo z Želešic, naopak nejmenších hodnot bylo dosaženo u receptur obsahující kamenivo z Žabčic. Sednutí kužele se u čtrnácti receptur pohybovalo

v rozmezí 160 – 180 mm - S4 a u jedné receptury (13 Žel) vyšla hodnota sednutí pouze 130 mm – S3. Hodnota sednutí 130 mm byla zapříčiněna tím, že u všech receptur byla dodržena stejná křivka zrnitosti směsi kameniva a tato receptura neobsahuje žádnou příměs, tak obsahovala málo pojivové složky a jemných podílů pro dosažení dobré plastičnosti směsi. Pro výrobu této směsi bylo navíc užito pro dosažení dobré plastičnosti nevhodného ostrohranného drceného písku Želešice v poměru cca 1:1 objemově s kopaným pískem Žabčice. Jak je patrné z obrázku 25 sednutí kužele u této receptury není správné a beton z důvodu nedostatku jemných podílů trpěl krvácivostí. Lze tak soudit, že všechny výsledky u této receptury budou negativně ovlivněny.



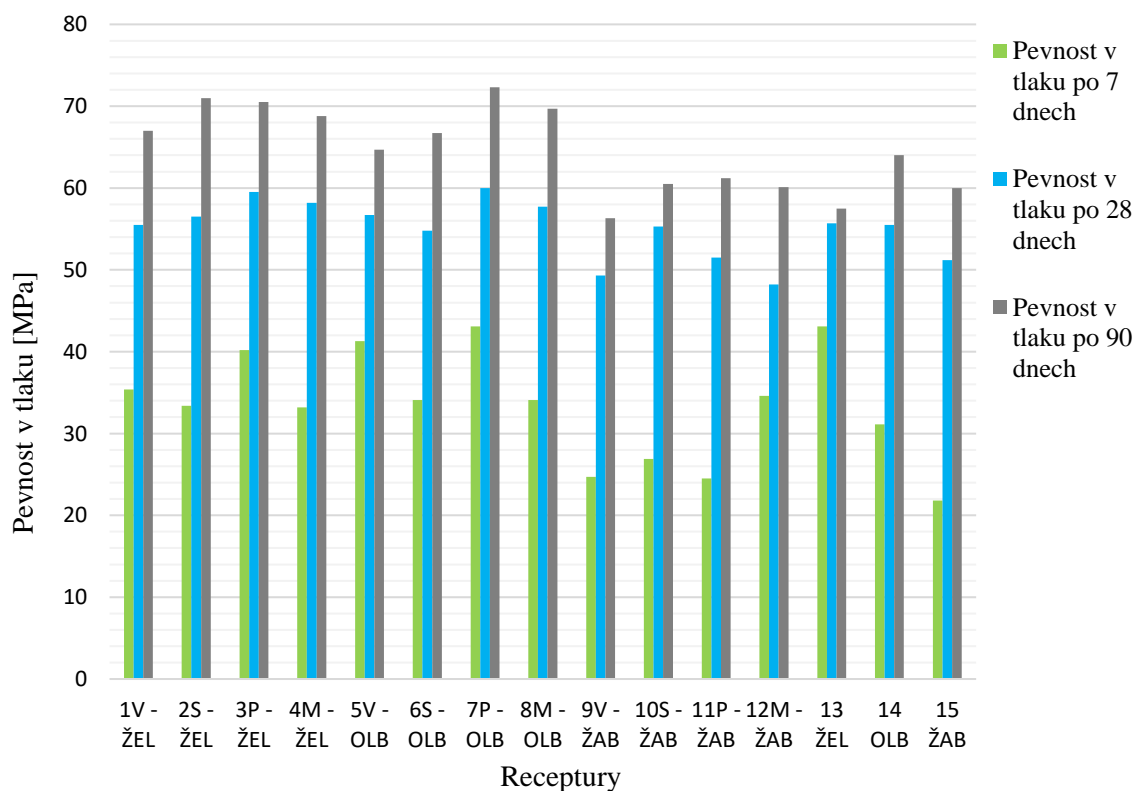
Obrázek 25 – Stanovení konzistence – sednutí kužele 130 mm

8.4 Pevnostní charakteristiky

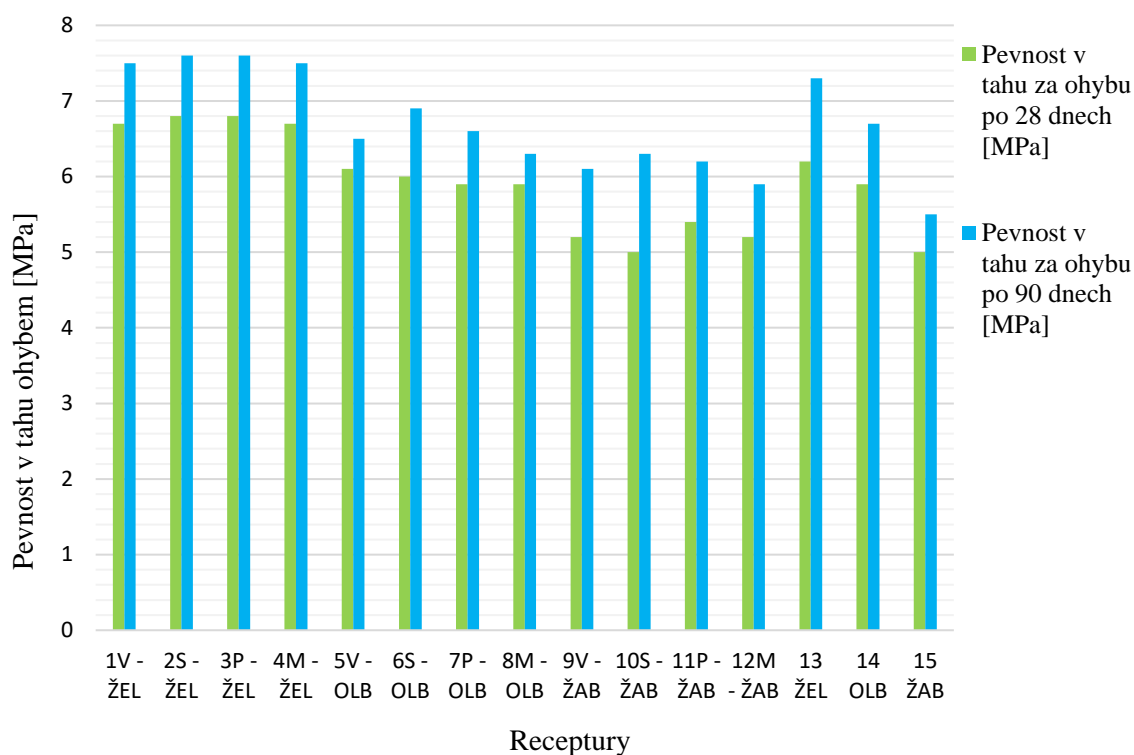
Tabulka 13 - Výsledné hodnoty pevností

Receptura	Pevnost v tlaku [MPa]			Pevnost v tahu ohybem [MPa]	
	7	28	90	28	90
Počet dnů					
1V - ŽEL	35,4	55,5	67,0	6,7	7,5
2S - ŽEL	33,4	56,5	71,0	6,8	7,6
3P - ŽEL	40,2	59,5	70,5	6,8	7,6
4M - ŽEL	33,2	58,2	68,8	6,7	7,5
5V - OLB	41,3	56,7	64,7	6,1	6,5
6S - OLB	34,1	54,8	66,7	6,0	6,9
7P - OLB	43,1	60,0	72,3	5,9	6,6
8M - OLB	34,1	57,7	69,7	5,9	6,3
9V - ŽAB	24,7	49,3	56,3	5,2	6,1
10S - ŽAB	26,9	55,3	60,5	5,0	6,3
11P - ŽAB	24,5	51,5	61,2	5,4	6,2
12M - ŽAB	34,6	48,2	60,1	5,2	5,9
13 ŽEL	43,1	55,7	57,5	6,2	7,3
14 OLB	31,1	55,5	64,0	5,9	6,7
15 ŽAB	21,8	51,2	60,0	5,0	5,5

Graf 22 – Pevnost v tlaku



Graf 23 – Pevnost v tahu ohybem



V tabulce číslo 13 jsou uvedeny výsledné hodnoty pevností v tlaku a pevností v tahu ohybem. Pevnosti v tlaku byly stanovovány po 7, 28 a 90 dnech zrání. U všech receptur pevnost v tlaku vyšla nejvyšší po 90 dnech zrání. Nejvyšších hodnot pevností v tlaku bylo dosaženo u receptury 7 (7P – OLB) a to jak po 28, tak po 90 dnech zrání. Nejmenších hodnot pevností v tlaku po 28 dnech zrání dosahovala receptura 12 (12M – ŽAB) – 48,2 MPa a po 90 dnech zrání receptura 9 (9V – ŽAB) – 56,3 MPa. Z grafu číslo 21 se dá říci, že vyšších pevností v tlaku bylo dosaženo u receptur, které obsahovaly kamenivo z Želešic a Olbramovic. Naopak nejnižších hodnot pevnosti v tlaku dosahovaly receptury obsahující kamenivo z Žabčic.

Na grafu číslo 22 je zobrazena pevnost v tahu ohybem, která byla zkoušena po 28 a 90 dnech zrání. Z těchto naměřených hodnot se dá říci, že nejvyšších hodnot pevností v tahu ohybem dosahovaly receptury obsahující kamenivo z Želešic, a naopak nejmenších pevností dosahovaly receptury obsahující kamenivo z Žabčic.

Vlastnosti, jako jsou pevnosti betonu v tlaku nebo v tahu ohybem mají významný vliv na abrazi betonu. Z předešlých grafů číslo 22 a 23 je viditelné, že u drcených kameniv (Želešice, Olbramovice) bylo dosaženo vyšších pevností, než u kameniva těženého

(Žabčice). Při zkoušce obrusnosti právě tyto receptury s dosaženými vyššími pevnostmi betonu dosahovaly nižších hodnot obrusu, jak bude podrobněji zobrazeny v dalších podkapitolách práce.

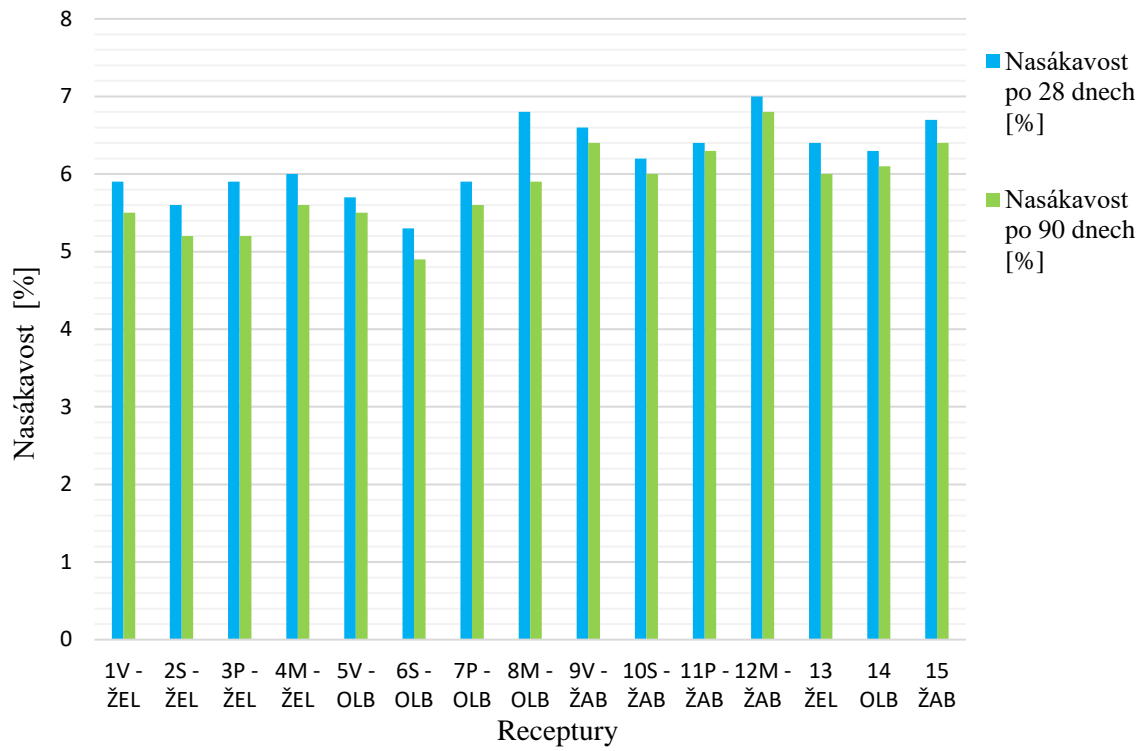
Obecně se většina doposud publikovaných výsledků shoduje, že drcené kamenivo obvykle dosahuje lepších pevnostních výsledků než kamenivo těžené. V případě pevnosti v tlaku je tato skutečnost dána zejména samotnými mechanickými parametry drcených kameniv, které často značně převyšují hodnoty kameniva těženého. Z pohledu pevnosti v tahu ohybem je navíc u drceného kameniva díky jeho povrchovému reliéfu a vysokému měrnému povrchu předpoklad k dokonalejšímu zakomponování do matrice betonu.

8.5 Vodotěsnost, nasákavost a pevnost betonu v tahu povrchových vrstev

Tabulka 14 – Výsledné hodnoty nasákavosti, vodotěsnosti a pevností povrchových vrstev

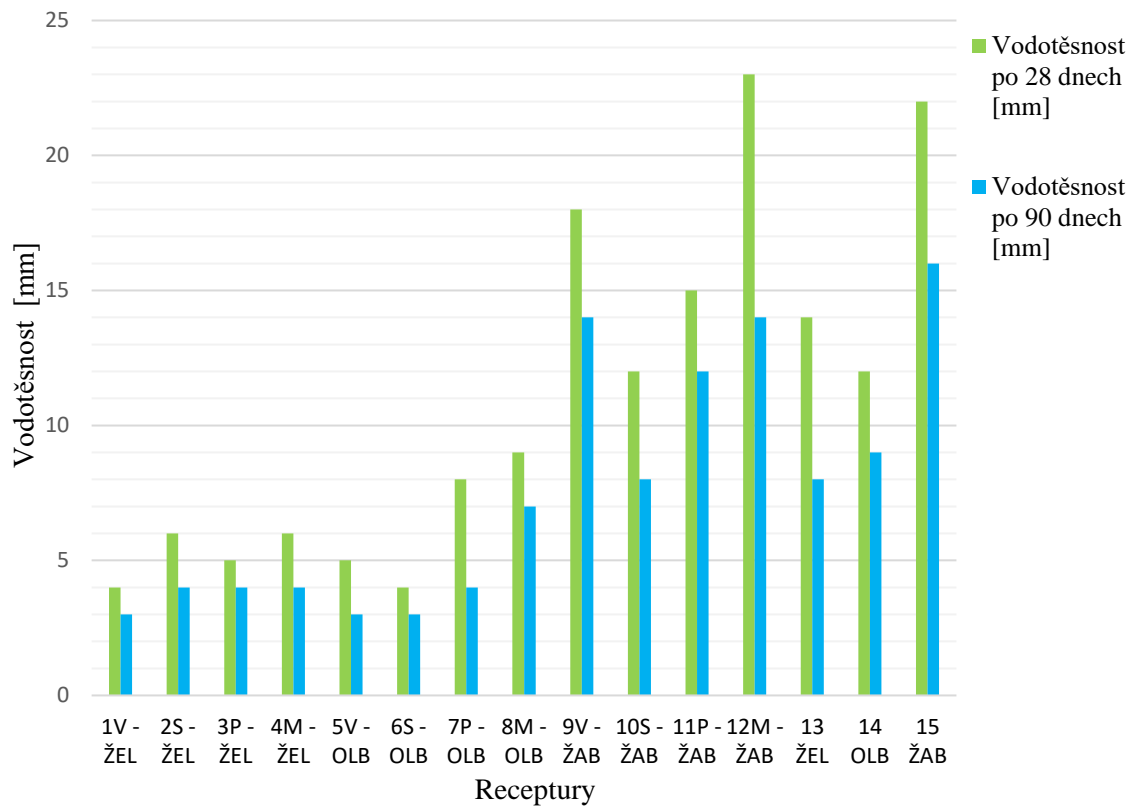
Receptura	Nasákavost [%]		Vodotěsnost HV 8 [mm]		Pevnost betonu v tahu povrchových vrstev [MPa]	
	28	90	28	90	28	90
Počet dnů	28	90	28	90	28	90
1V - ŽEL	5,9	5,5	4	3	2,05	2,67
2S - ŽEL	5,6	5,2	6	4	2,55	2,81
3P - ŽEL	5,9	5,2	5	4	2,53	2,70
4M - ŽEL	6,0	5,6	6	4	2,88	2,94
5V - OLB	5,7	5,5	5	3	2,03	3,19
6S - OLB	5,3	4,9	4	3	3,17	3,43
7P - OLB	5,9	5,6	8	4	2,94	3,26
8M - OLB	6,8	5,9	9	7	2,63	2,87
9V - ŽAB	6,6	6,4	18	14	2,75	2,83
10S - ŽAB	6,2	6,0	12	8	2,29	2,44
11P - ŽAB	6,4	6,3	15	12	2,22	2,30
12M - ŽAB	7,0	6,8	23	14	2,71	3,15
13 ŽEL	6,4	6,0	14	8	2,33	2,63
14 OLB	6,3	6,1	12	9	2,35	3,18
15 ŽAB	6,7	6,4	22	16	1,95	2,09

Graf 24 – Nasákavost betonu



Obrázek 26 – Část zkušebního trávce na zkoušku nasákavosti

Graf 25 – Vodotěšnost betonu

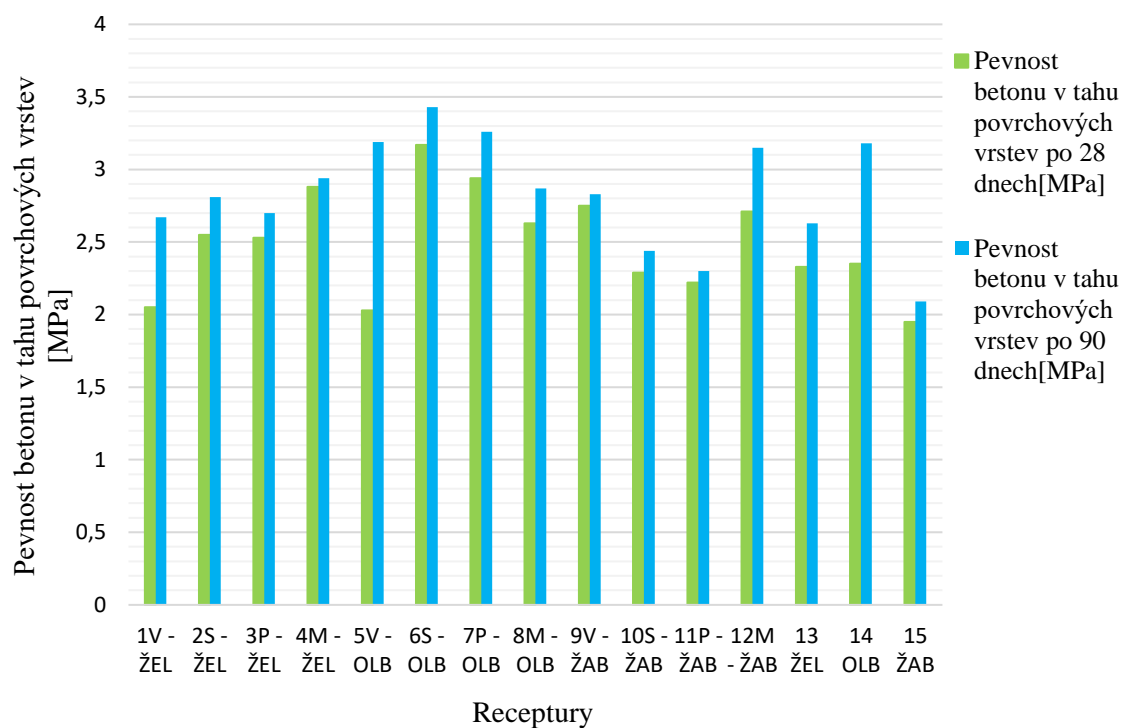


Obrázek 27 - Zkušební vzorek po zkoušce vodotěšnosti – 1 receptura



Obrázek 28 - Zkušební vzorek po zkoušce vodotěšnosti – 12 receptura

Graf 26 – Pevnost v tahu povrchových vrstev



Obrázek 29 – Zkušební vzorek s nalepeným terčem na zkoušku pevnosti v tahu povrchových vrstev



Obrázek 30 – Zkušební vzorek s odtrženým terčem po zkoušce pevnosti v tahu povrchových vrstev

Dalšími řešenými vlastnostmi byla vodotěsnost, nasákavost a pevnost v tahu povrchových vrstev betonu, a jejich výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulce číslo 14. Nasákavost betonu byla stanovována po 28 a 90 dnech zrání. U všech receptur bylo dosaženo nižší nasákavosti po 90 dnech zrání. Z grafu číslo 23 je patrné, že nejmenších hodnot nasákavosti bylo dosaženo u receptury 6 (6S – OLB) a to jak po 28, tak po 90 dnech zrání. Největší nasákavosti po 28 i 90 dnech zrání bylo dosaženo u receptury 12 (12M – ŽAB). Z grafu je viditelné, že receptury obsahující kamenivo z Žabčic dosahují největší nasákavosti. Dále můžeme říci, že u všech receptur, které obsahovaly příměs mikrosiliky, bylo vždy dosaženo největší nasákavosti. Naopak receptury obsahující strusku vykazovaly hodnoty nasákavosti nejmenší.

Vodotěsnost betonu byla stanovována po 28 a 90 dnech zrání. Nejmenších hodnot vodotěsnosti po 28 a 90 dnech zrání bylo dosaženo u receptur 1 (1V – ŽEL) a 6 (6S – OLB). Naopak nejvyšších hodnot po 28 dnech zrání bylo dosaženo u receptury 12 (12M – ŽAB) – 23 mm a po 90 dnech zrání u receptury 15 (15 – ŽAB) – 16 mm. Z grafu číslo 24 je patrné, že receptury obsahující kamenivo z Žabčic dosahovaly vyšších hodnot průsaků, tedy nižší odolnost proti působení tlakové vody, než receptury obsahující kamenivo z Želešic a Olbramovic.

Nejnižších hodnot vodotěsnosti a nasákavosti bylo vždy dosaženo při použití drceného kameniva (Želešice, Olbramovice).

Vlastnosti, jako je nasákavost a vodotěsnost, podle mých naměřených hodnot souvisí s odolností betonu proti abrazi. Z naměřených hodnot, které jsou zobrazeny v grafech číslo 24 a 25 je zřejmé, že receptury, které obsahovaly kamenivo Želešice, dosahovaly nejmenších hodnot vodotěsnosti a nasákavosti. Právě tyto receptury při zkoušce obrusnosti dosáhly nejmenších hodnot obrusu. Z pohledu nasákavosti a odolnosti proti působení tlakové vody hraje významnou roli již samotné vlastnosti použitých kameniv, kde na základě hodnot dodaných výrobcí použitých kameniv lze říci, že nejvyšší hodnotou nasákavosti disponuje právě těžené kamenivo Žabčice a nejnižší drcené amfibolitické kamenivo Želešice.

Pevnost v tahu povrchových vrstev byla zkoušena po 28 a 90 dnech zrání. Z grafu číslo 25 je patrné, že všechny receptury dosahovaly vyšších pevností po 90 dnech zrání. Dále je z grafu viditelné, že receptury obsahující kamenivo z Olbramovic dosahovaly vyšších pevností v tahu povrchových vrstev po 90 dnech zrání, než receptury s kamenivem z Želešic a Žabčic.

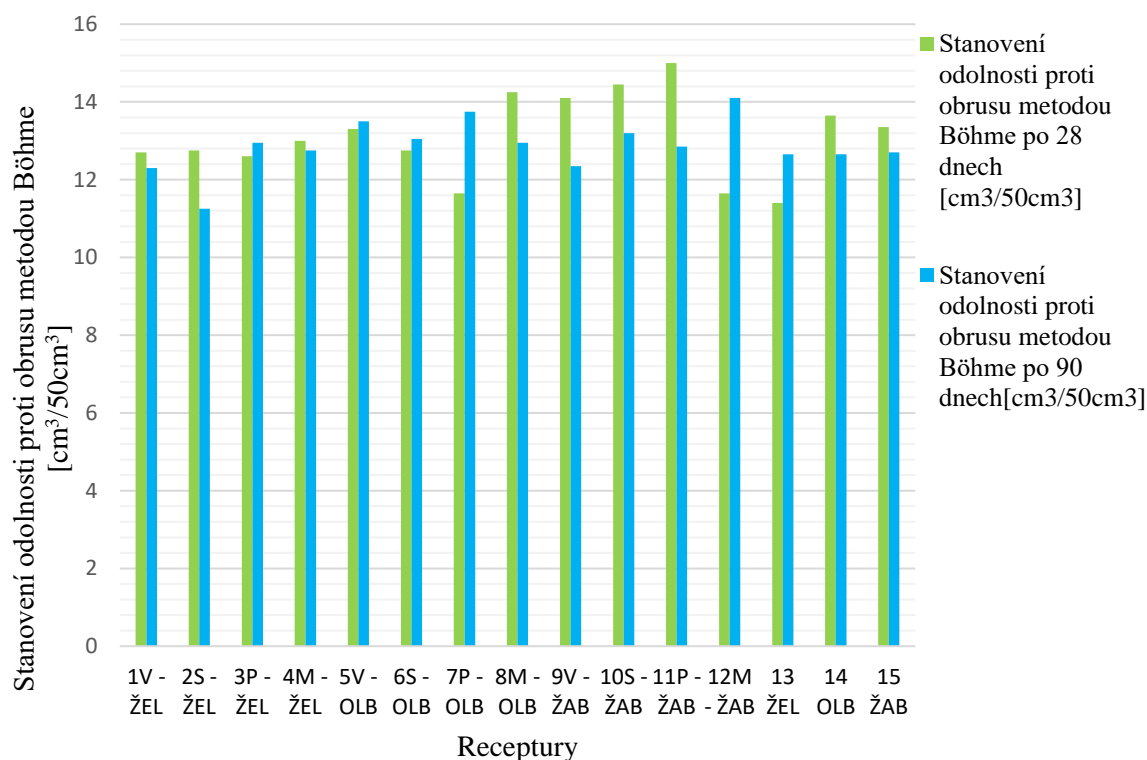
Pevnost v tahu povrchových vrstev nemá podle mých naměřených hodnot významný vliv na obrusnost betonu. Pevnosti v tahu za ohybu povrchových vrstev vyšly nejvyšší u receptur s kamenivem z Olbramovic. Při stanovení obrusnosti betonu tyto receptury dosahovaly vyšších hodnot obrusu než jiné receptury.

8.6 Obrusnost betonu

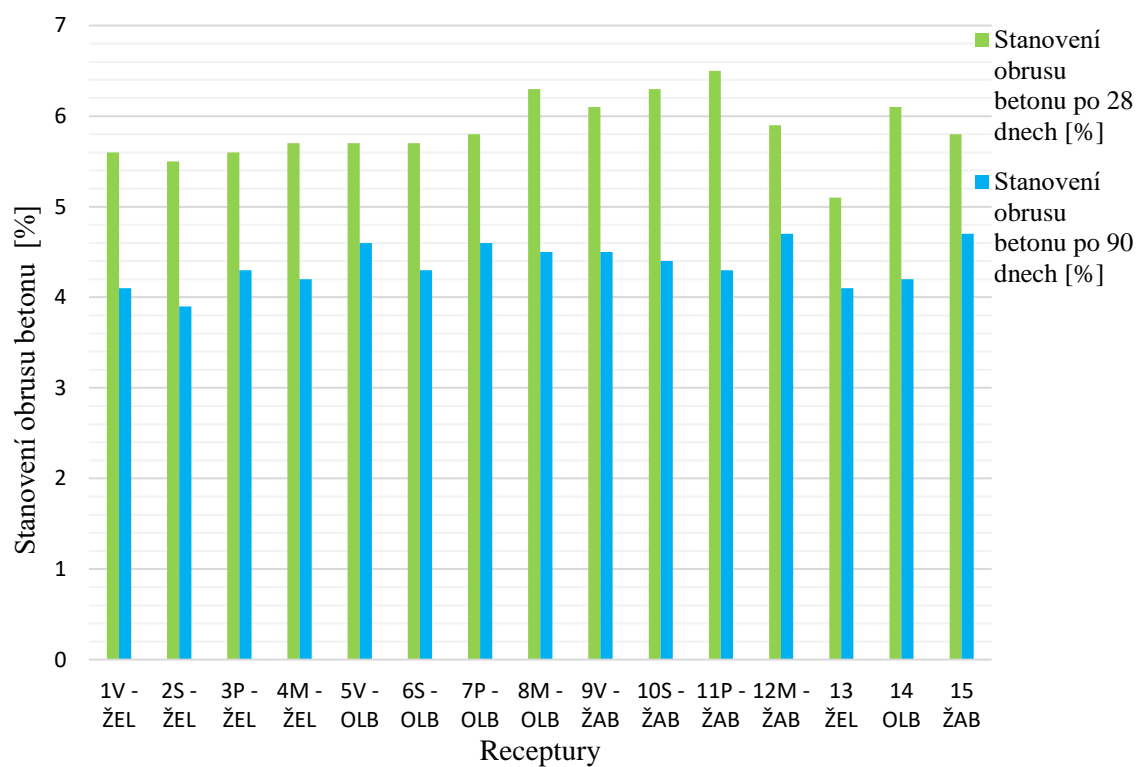
Tabulka 15 – Výsledné hodnoty odolnosti betonu proti obrusu

Receptura	Stanovení odolnosti proti obrusu metodou Böhme [cm ³ /50cm ³]		Stanovení obrusu betonu [%]	
	28	90	28	90
Počet dnů	28	90	28	90
1V - ŽEL	12,70	12,30	5,6	4,1
2S - ŽEL	12,75	11,25	5,5	3,9
3P - ŽEL	12,60	12,95	5,6	4,3
4M - ŽEL	13,00	12,75	5,7	4,2
5V - OLB	13,30	13,50	5,7	4,6
6S - OLB	12,75	13,05	5,7	4,3
7P - OLB	11,65	13,75	5,8	4,6
8M - OLB	14,25	12,95	6,3	4,5
9V - ŽAB	14,10	12,35	6,1	4,5
10S - ŽAB	14,45	13,20	6,3	4,4
11P - ŽAB	15,00	12,85	6,5	4,3
12M - ŽAB	11,65	14,10	5,9	4,7
13 ŽEL	11,40	12,65	5,1	4,1
14 OLB	13,65	12,65	6,1	4,2
15 ŽAB	13,35	12,70	5,8	4,7

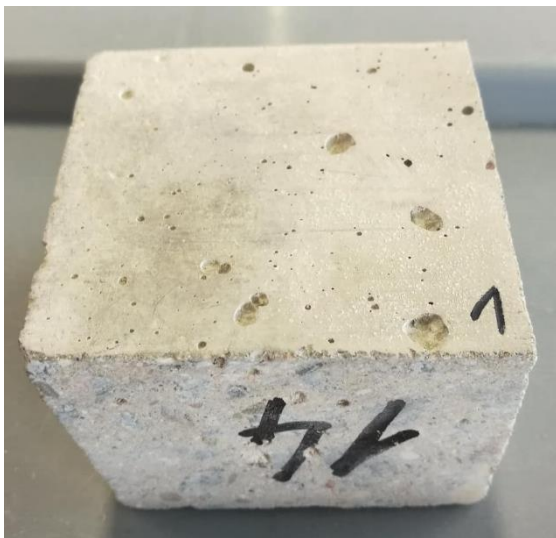
Graf 27 – Stanovení odolnosti proti obrusu metodou Böhme



Graf 28 – Stanovení obrusnosti betonu



Obrázek 31 – Zkušební vzorek připraven na zkoušku obrusnosti



Obrázek 32 – Zkušební vzorek před zkouškou obrusnosti



Obrázek 33 – Zkušební vzorek po zkoušce obrusnosti

Důležitými zkoušenými vlastnostmi betonu bylo stanovení odolnosti betonu proti obrusu metodou Böhme a stanovení obrusnosti betonu. V tabulce číslo 15 jsou uvedeny výsledné hodnoty. Obě zkoušky byly stanovovány po 28 a 90 dnech zrání.

Z grafu číslo 26 je vidět, že nejmenší hodnoty obrusu metodou Böhme bylo dosaženo u referenční receptury 13 (13 ŽEL) – $11,40 \text{ cm}^3/50\text{cm}^3$ a největší hodnoty u receptury 11 (11P – ŽAB) – $15,00 \text{ cm}^3/50\text{cm}^3$ po 28 dnech zrání. Po 90 dnech zrání byla hodnota obrusu podle Böhme nejmenší u receptury 2 (2S – ŽEL) – $11,25 \text{ cm}^3/50\text{cm}^3$ a nejvyšší u receptury 12 (12M – ŽAB) – $14,10 \text{ cm}^3/50\text{cm}^3$. Z grafu je patrné, že po 90 dnech zrání byly nejvíce odolné ty vzorky, které obsahovaly kamenivo z Želešic s příměsí vápence a strusky.

Z grafu číslo 27 je patrné, že hodnoty obrusnosti betonu byly po 90 dnech zrání výrazně menší, než po 28 dnech zrání. Dále je z grafu viditelné, že nejmenší hodnota obrusnosti betonu po 28 dnech zrání byla u receptury referenční 13 (13 ŽEL) – 5,1 % a po 90 dnech u receptury 2 (2S – ŽEL) – 3,9 %. Jak již bylo popsáno v podkapitole práce zabývající se výrobou vzorků a zkouškou sednutí kužele, tato receptura vykazovala po výrobě krvácivost a lze předpokládat, že právě výsledky obrusnosti mohou být ovlivněny segregací kameniva u této receptury při výrobě vzorků.

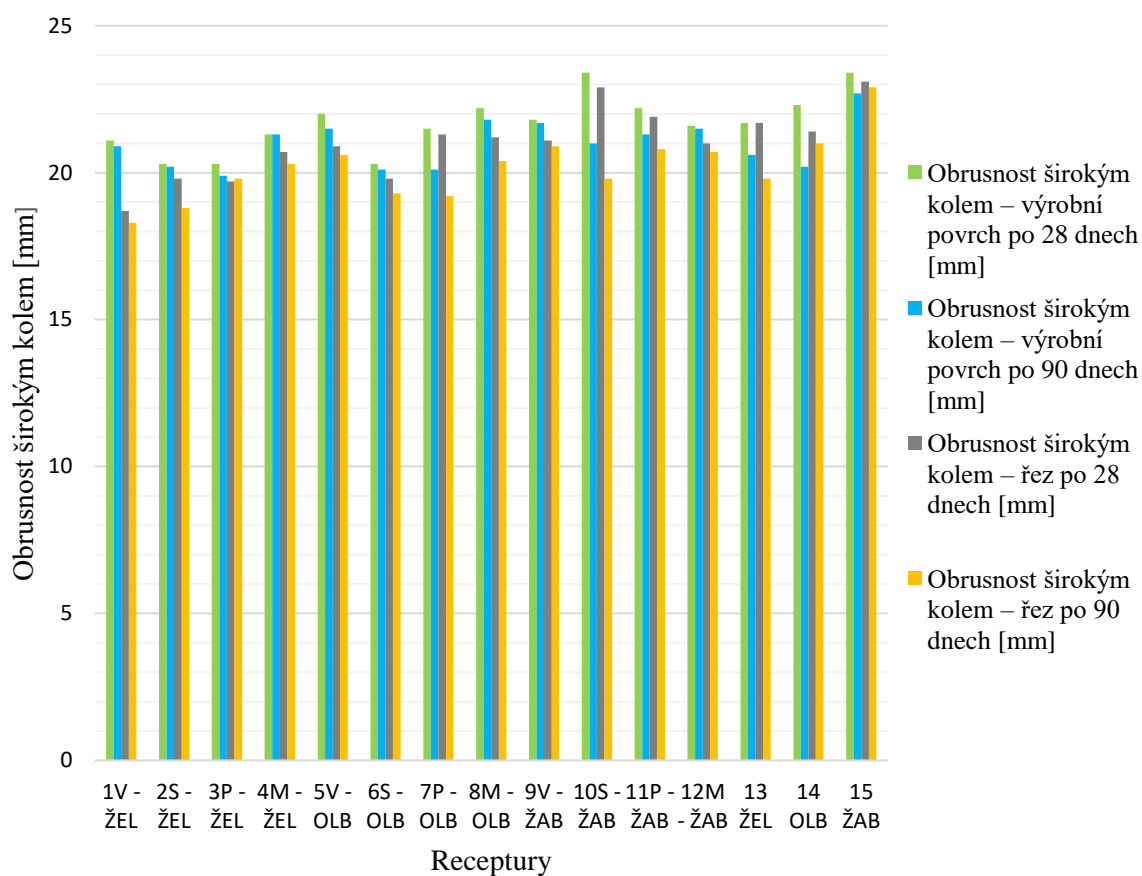
Z těchto stanovených výsledků je zřejmé, že nejhorší odolnost proti abrazi mají receptury, které obsahovaly kamenivo z Žabčic. U těžných kameniv stejného typu jako je kamenivo Žabčice je obecně pevnost betonu nižší než při použití kameniva drceného. Pevnost, ale také druh kameniva má významný vliv na abrazi betonu. Z předešlých stanovených hodnot bylo viditelné, že receptury obsahující kamenivo z Žabčic dosahují nejmenších hodnot pevností v tlaku, v tahu ohybem a dosahovaly nejmenší odolnosti proti působení tlakové vody a nasákavosti, proto bylo předpokládáno, že tyto receptury budou nejspíše dosahovat taktéž nejvyšších hodnot obrusu. Tento předpoklad se potvrdil.

8.7 Stanovení obrusnosti širokým kolem

Tabulka 16 – Výsledné hodnoty obrusnosti širokým kolem

Receptura	Obrusnost širokým kolem – výrobní povrch [mm]		Obrusnost širokým kolem – řez [mm]	
	28	90	28	90
Počet dnů	28	90	28	90
1V - ŽEL	21,1	20,9	18,7	18,3
2S - ŽEL	20,3	20,2	19,8	18,8
3P - ŽEL	20,3	19,9	19,7	19,8
4M - ŽEL	21,3	21,3	20,7	20,3
5V - OLB	22,0	21,5	20,9	20,6
6S - OLB	20,3	20,1	19,8	19,3
7P - OLB	21,5	20,1	21,3	19,2
8M - OLB	22,2	21,8	21,2	20,4
9V - ŽAB	21,8	21,7	21,1	20,9
10S - ŽAB	23,4	21,0	22,9	19,8
11P - ŽAB	22,2	21,3	21,9	20,8
12M - ŽAB	21,6	21,5	21,0	20,7
13 ŽEL	21,7	20,6	21,7	19,8
14 OLB	22,3	20,2	21,4	21,0
15 ŽAB	23,4	22,7	23,1	22,9

Graf 29 – Obrusnost širokým kolem – výrobní povrch a řez



Obrázek 34 – Zkušební přístroj na zkoušku obrusnosti širokým kolem



Obrázek 35 – Zkušební vzorek na zkoušku obrusnosti širokým kolem – výrobní povrch



Obrázek 36 – Zkušební vzorek po zkoušce obrusnosti širokým kolem – výrobní povrch



Obrázek 37 – Zkušební vzorek na zkoušku obrusnosti širokým kolem – řez



Obrázek 38 – Zkušební vzorek po zkoušce obrusnosti širokým kolem – řez

Další zkoušenou vlastností byla obrusnost betonu širokým kolem, která byla stanovována po 28 a 90 dnech zrání. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulce číslo 16. Každý vzorek byl zkoušen jak na ploše výrobní, tak na řezu.

Z grafu číslo 28 je viditelné, že nejmenší hodnota obrusnosti širokým kolem – výrobní povrch byla dosažena po 28 a 90 dnech zrání u receptury 3 (3P – ŽEL). Zatímco nejvyšší obrusnost vykazovala receptura 15 (15 ŽAB). Dále s grafu vyplývá, že receptury, které obsahovaly kamenivo z Želešic a příměsi dosahovaly menší obrusnosti širokým kolem na výrobním povrchu, než receptury obsahující kamenivo z Žabčic a Olbramovic.

Na grafu 29 jsou výsledné hodnoty obrusnosti širokým kolem - řez. Nejnižších hodnot obrusnosti širokým kolem - řez bylo dosaženo u receptury 1 (1V – ŽEL) a to jak po 28, tak po 90 dnech zrání. Naopak nejvyšších hodnot obrusnosti bylo dosaženo u receptury 15 (15 ŽAB) a to také po 28 a 90 dnech zrání. U všech receptur bylo dosaženo nižších hodnot obrusnosti širokým kolem – řez po 90 dnech zrání.

Z těchto grafů číslo 28 a 29 se dá říci, že hodnoty obrusnosti širokým kolem na řezu dosahují menších hodnot, než na straně výrobní.

Výsledky potvrzují obdobně jako u výsledků stanovení obrusnosti betonu metodou Böhme, že pevnost dané receptury, ale i druh použitého kameniva má vliv na obrusnost betonu širokým kolem.

V ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývala vlivem složení betonu na odolnost proti abrazi. V teoretické části diplomové práce byly popsány jednotlivé složky betonu, byla popsána abraze betonu a její vznik. Další velmi důležitá část práce byla zaměřena na popis faktorů, které ovlivňují odolnost betonu proti abrazi. Byly zkoumány faktory, jako je vliv vodního součinitele, vliv příměsí (popílek, struska, mikrosilika), vliv druhu použitého kameniva (hematit, čedič, gabro, křemen, vápenec...) a v neposlední řadě, také vliv skladby kameniva na odolnost betonu proti abrazi. Nakonec byly v teoretické části popsány způsoby měření abraze. Byly zde popsány zkoušky obrusnosti dle norem, které byly následně použity v experimentální části práce. Dále byly krátce popsány metody ASTM pro stanovení obrusnosti betonu, které nejsou v České republice běžné.

V experimentální části diplomové práce se posuzoval vliv použitého druhu kameniva a použitých příměsí na vlastnosti čerstvých a ztvrdlých betonů, zejména s ohledem na abrazi betonu.

V experimentální části bylo vyrobeno patnáct receptur. Do receptur byly vždy použity odlišné druhy kameniva a to živcový šterkopísek (Žabčice), biotický granodiorit (Olbramovice) a amfibolit (Želešice) a také se přidávaly různé druhy příměsí – jemně mletá struska, vysokoteplotní popílek, mikrosilika a jemně mletý vápenec. Do všech receptur byl použit cement CEM I 42,5R Mokrý a superplastifikační přísada MC BAUCHEMIE POWERFLOW 2695.

Na betonu v čerstvém stavu se stanovila konzistence – sednutí kužele a objemová hmotnost. Konzistence u čtrnácti receptur byla S4 a u jedné receptury (13 ŽEL) S3. Zapříčiněno to bylo tím, že u všech receptur byla dodržena stejná křivka zrnitosti, což se u receptury označené jako 13 ŽEL neukázalo jako vhodné, protože tato receptura neobsahovala žádnou příměs a obsahovala tak celkově málo pojivové složky a málo jemných podílů pro dosažení plastičnosti směsi. Pro výrobu této receptury bylo navíc užito drceného ostrohranného kameniva frakce 0-4 mm v poměru objemu 1:1 s kopaným pískem Žabčice. Největší objemová hmotnost v čerstvém stavu byla dosažena u receptur obsahující kamenivo Želešice a nejmenší u receptur s kamenivem Žabčice. Tyto výsledky mají přímou souvislost s objemovou hmotností samotného kameniva.

Na betonu ve ztvrdlém stavu byla stanovena pevnost v tlaku, pevnost v tahu ohybem, nasákavost, vodotěsnost, pevnost v tahu povrchových vrstev, obrusnost metodou Böhme a obrusnost širokým kolem.

Pevnosti v tlaku a pevnosti v tahu ohybem dosahovaly nejvyšších hodnot receptury obsahující kamenivo Želešice a nejmenších hodnot dosahovaly receptury s kamenivem z Žabčic. Vlastnost betonu, jako je pevnost, má po zhodnocení všech výsledků experimentální části této diplomové práce vliv na abrazi betonu. U receptur s nejvyššími pevnostmi docházelo k největší odolnosti proti abrazi.

Nasákavost a vodotěsnost betonu vyšla nejmenší, respektive v rámci odolnosti proti působení tlakové vody nejvyšší, u receptur s drceným kamenivem (Želešice, Olbramovice). Zatímco receptury obsahující těžené kamenivo z Žabčic dosahovaly vyšších hodnot a u vodotěsnosti se hodnoty pohybovaly i dvakrát vyšší. Nejmenší hodnota nasákavosti byla dosažena u receptury 6 (6S – OLB) – 4,9 %. Nejmenší vodotěsnost byla dosažena u více receptur – 3 mm. Podle naměřených hodnot má nasákavost a vodotěsnost betonu vliv na abrazi betonu, protože u receptur, které dosahovaly nižších hodnot, bylo dosaženo menších hodnot obrusnosti.

Pevnosti v tahu povrchových vrstev dosahovaly nejvyšších hodnot u receptur obsahující kamenivo z Olbramovic. Nejvyšší hodnota byla dosažena u receptury 6 (6S – OLB) – 3,43 MPa. Pevnost v tahu povrchových vrstev podle naměřených hodnot nemá zásadní vliv na abrazi betonu.

Důležitou vlastností bylo stanovení obrusnosti betonu. Nejmenší hodnoty byly dosaženy u receptur obsahující kamenivo Želešice. Z dosažených výsledků je patrné, že receptury obsahující kamenivo z Žabčic dosahují nejhorší odolnosti proti abrazi. Už z předešlých hodnot bylo zřejmé, že tyto receptury dosahovaly nejmenších pevností a nejvyšších hodnot nasákavosti a vodotěsnosti, proto se u nich očekávalo, že budou méně odolné proti abrazi. Protože výsledky experimentu prokázaly, že vlastnost jako je pevnost betonu má významný vliv na abrazi betonu.

Poslední stanovenou vlastností byla obrusnost širokým kolem. Při této zkoušce se vždy zkušební vzorek zkoušel na ploše výrobní a řezu. Z naměřených hodnot je patrné, že největší obrusnost byla u receptur obsahující opět kamenivo Žabčice, zatímco nejmenších hodnot bylo dosaženo u receptur s kamenivem z Želešic. Hodnoty obrusnosti širokým kolem dosahovaly nižších hodnot na straně řezu. Nejmenší hodnoty na výrobním povrchu

bylo dosaženo u receptury 3 (3P – ŽEL) – 19,9 mm a na straně řezu u receptury 1 (1V – ŽEL) – 18,3 mm.

Podle všech stanovených hodnot se jeví jako nejlepší proti abrazi receptury obsahující kamenivo z Želešic.

Do běžných betonových směsí se pro dosažení optimální křivky zrnitosti používá písek ve frakci 0 – 4 mm těžný, který neobsahuje ostrohranná zrna, tak vysoké podíly prachu a má rovnoměrnější zastoupení velikosti zrn. V rámci této diplomové práce byl u některých receptur smíchán objemově 1:1 písek těžný a drcený. Podle naměřených hodnot právě tyto receptury dosahovaly největší odolnosti proti abrazi. Výsledky tak prokazují, že při vhodné skladbě a smísením s běžným těžným pískem je možné vyrobit betony i stupně konzistence S4 a tyto betonové směsi obsahující navíc drcený amfibolitický písek Želešice vykazující velmi dobrou odolnost proti abrazi.

Z naměřených hodnot obrusnosti se jeví jako nejvhodnější příměs z hlediska odolnosti betonu proti abrazi jemně mletá granulovaná vysokopecní struska. Ačkoliv tato aktivní příměs nepatří z ekonomického hlediska mezi nejvýhodnější ze všech použitých v rámci experimentu, jedná se v praxi zřejmě o nepoužívanější příměs a její ekonomická náročnost je výrazně menší, než například u použité mikrosiliky. Struska je vedlejším produktem, která vzniká při výrobě surového železa. Už v teoretické části práce bylo zmíněno, že při náhradě cementu 45 % struskou docházelo k nejmenší obrusnosti betonu.

Výsledky odolnosti proti abrazi prokázaly zcela rozdílné chování jednotlivých druhů příměsí a druhu kameniv. Z pohledu použitých příměsí vykazují nejnižší odolnost proti abrazi betonové směsi obsahující inertní příměs v podobě jemně mletého vápence a vysokoteplotního popílku. U receptur obsahující popílek může být jejich nižší odolnost proti abrazi dána pomalým průběhem pucolánové reakce. Naopak v případě použití aktivní vysokopecní strusky je zřejmé, že její přídavek může pomoci ke zlepšení odolnosti proti abrazi, a to i v porovnání se směsí zcela bez příměsí.

Z výsledků experimentální části diplomové práce jednoznačně však vyplývá, že rozhodujícím parametrem u složení betonové směsi z pohledu její odolnosti proti abrazi je skladba a druh použitého kameniva. Vliv kameniva ztlačně převyšuje vliv použité příměsí pro výrobu betonu však pouze v prvotních dnech zrání směsi. Výsledky jednoznačně prokázaly, že s delším časovým úsekem se rozdíl v odolnosti proti abrazi mezi jednotlivými druhy kameniv smazávají. Tato skutečnost je velice příznivá pro praxi a je

prokázáno, že i betony z méně kvalitního kameniva mohou být po delším časovém úseku vysoce odolné proti abrazi. Tento delší časový úsek je zřejmě dán nutným vyvráním cementového kamene obklopujícího jednotlivá zrna kameniva a zkvalitněním tak tranzitní zóny. Zakomponování drceného kameniva v cementové matrice je zřejmě v prvotních dnech zrání směsi kvalitnější oproti kamenivu těženému, což může být dáno rozdílným měrným povrchem a tvarovým indexem těchto kameniv. Procesu vytvrzení a zkvalitnění tranzitní zóny mohou být dále nápomocny příměsi, jako je například vysokopecní granulovaná struska, což bylo rovněž prokázáno v rámci experimentu.

VI SEZNAM POUŽITÝCH ZROJŮ

- [1] *Co je to beton* [online]. Dostupné z: <http://www.zapa.cz/o-betonu/>
- [2] HELA, Rudolf. *Technologie betonu I*. Brno: VUT 2007, STUDIJNÍ OPORY
- [3] ROSECKÝ, Pavel. *Vliv krystalizačních přísad na vodotěsnost betonů*. Brno, 2017. Bakalářská práce. Ústav technologie stavebních hmot a dílců, Fakulta stavební. Vedoucí práce prof. Ing. Rudolf Hela, CSc.
- [4] DVOŘÁK, Jiří. KVÍTEK, Zdeněk. SLABÝ, Jiří. *Betonové konstrukce I*. 2.vydání. Praha: Sobotáles, 2001. 255s. ISBN 80-85920-20-4
- [5] KRYŠTOV, Martin. *Analýza vlivu vybraných přísad na vlastnosti čerstvého betonu*. Praha, 2017. Diplomová práce. Katedra betonových a zděných konstrukcí, Fakulta stavební. Vedoucí práce Ing. Hana Hanzlová, CSc.
- [6] BEZDĚK, Ondřej. *Vliv pH záměsové vody na hydrataci a mechanické vlastnosti cementových kompozitů*. Brno, 2015. Diplomová práce. Ústav chemie materiálů. Fakulta chemická. Vedoucí práce Ing. Pavel Šiler, PH.D.
- [7] JANÍČKOVÁ, Petra. *Systémy rychle tuhnoucích směsí na bázi portlandských cementů*. Brno, 2008. Diplomová práce. Ústav strojní technologie. Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce prof. Ing. Karel Rušín, DrSc.
- [8] KODEŠOVÁ, Monika. *Studium vlivu superplastifikačních a provzdušňovacích přísad na vlastnosti čerstvých a zatvrdlých betonů*. Brno, 2015. Bakalářská práce. Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Fakulta stavební. Vedoucí práce prof. Ing. Rudolf Hela, CSc.
- [9] *Beton: Technologie–Konstrukce–Sanace: Vliv přísad a příměsí na vlastnosti čerstvého a vyzrálého betonu*. Praha: Český normalizační institut, 2015, 2. ISSN 1213-3116
- [10] RADOUŠ, Michal. *Experimentální analýza ultra – vysokopevnostních betonů*. Pardubice, 2016. Diplomová práce. Katedra dopravního stavitelství. Fakulta dopravní Jana Pernera. Vedoucí práce Ing. Vladimír Suchánek
- [11] KUŠIAK, Petr. *Ověření trvanlivosti popílkových betonů v prostředí XF*. Brno, 2013. Diplomová práce. Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Fakulta stavební. Vedoucí práce prof. Ing. Rudolf Hela, CSc.

- [12] JUŘÍKOVÁ, Denisa. *Optimalizace složení betonu mikropříměsemi*. Brno, 2016. Bakalářská práce. Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Fakulta stavební. Vedoucí práce prof. Ing. Rudolf Hela, CSc.
- [13] HLAVINKOVÁ, Eva. *Potencionální náhrada vysokopecní strusky směsných portlandských cementech*. Brno, 2012. Bakalářská práce. Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Fakulta stavební. Vedoucí práce prof. Ing. Marcela Fridrichová, CSc.
- [14] HANZÁLEK, Michal. *Mechanické vlastnosti cementových malt s příměsí mikromleté strusky*. Praha, 2017. Diplomová práce. Katedra mechaniky. Fakulta stavební. Vedoucí práce Ing. Pavel Tesárek PhD.
- [15] SCOTT, D., Benjamin, SAFIDDIN, Md., *Abrasion Resistance of Concrete – Design, Construction and Case Study*. School of Architectural Studies and Angelo del Zotto School of Construction. Vol. 6, September 2015.
- [16] HASAN, Sabbir Mohammad. *Abrasion on Concrete Surfaces Caused by Hydraulic Loading with Water-Borne Sands*. Canada, 2015. A Thesis In The Department Of Building, Civil and Environmental Engineering
- [17] LIU., W., Y., CHO, W., S., HSU, H., T., *Impact abrasion of hydraulic structures concrete*. Journal of Marine Science and Technology, Vol. 20, No. 3
- [18] BAYAZIT, Y., Karakurt, C., Bakış, R. *Abrasion of Concrete on Hydraulic Structures with Underwater Method*. Vol. 7, Issue 3, March 2018. ISSN: 2319-8753
- [19] *Effect of Various Factors on Abrasion Resistance*, [online]. Dostupné z: <https://www.ccanz.org.nz/page/Abrasion-Resistance.aspx>
- [20] YASASVI.CHALLAPALLI M .TECH. *Strength And Abrasion Resistance Of High Volume Fly-Ash Concrete Pavements*. Volume 13, Issue 5 Ver. I (Sep. - Oct. 2016). ISSN: 2278-1684
- [21] ABID R. Sallal, HELLO N. Ali, DEAK H. Yasir. *Abrasion of concrete in hydraulic structures considering the effect of partial cemenet replacement by fly ash*. International Conference Energy & Engineering Conference 2016-UEMK 2016 Conference, At Gaziantep/TURKEY, Volume: 1
- [22] LAPLANTE, AITCIN, VEXINA. *Abrasion Resistance of Concret*. Journal of Material in Civil Engineering, Vol.3, No.1, February 1991.

- [23] *The abrasion erosion resistance of concrete containing blast furnace slag* . [online].
Dostupné z:
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.535.2214&rep=rep1&type=pdf>
- [24] SVIVASTAVA, V., HARISON, A., MEHTA, K. P., ATUL. KUMAR R. *Effect of Silica Fume in Concrete*. National Conference on Recent Advances in Civil Engineering. Volume 3, Special Issue 4, March 2014. ISSN 2319-8753
- [25] LIU, W., Y. *Improving the abrasion resistance of hydraulic-concrete containing surface crack by adding silica fume*. Elsevier, 2006. Dostupné z :
<https://vdocuments.mx/improving-the-abrasion-resistance-of-hydraulic-concrete-containing-surface.html>
- [26] LIU, W., Y., PARKER, F., KANDHA, K. *Aggregate toughness/ abrasion resistance and durability/soundness tests related to asphalt concrete performance in pavements*. Alabama. NCAT Report No. 98-4. January 1998.
- [27] GENCEL, O., GOK SABRI, M., BROSTOW, W. *Effect of metallic aggregate and cement content on abrasion resistance behaviour of concrete*. Vol. 15, No. 2, April 2011.
- [28] KILIC, A., ATIS, C.D., TEYMEN, A., KARAHAN, O., ZCAN, O. F., BILIM, C., ZDEMIR, O. M. *The influence of aggregate type on the strength and abrasion resistance of high strength concrete*. Turkey, 2007. Civil and Mining Engineering. Engineering and Architectural Faculty.
- [29] LAPLANTE, P., AITCIN, P.C., VEZINA, D., *AbrasionResistance of Concrete, Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 3, No. 1
- [30] LIU, W., Y., YEN, T., HSU, H., T., *Abrasion erosion of concrete by water-borne sand*. Taiwan, 2006. Dostupné z :
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008884606001682>
- [31] DHIR, K., R., HEWLETT, C., P., CHAN, N., Y., *Near-surface characteristics of concrete: abrasion resistance* . Materials and Structures. 1991. Dostupné z:
<https://rd.springer.com/article/10.1007/BF02472473>
- [32] KUMAR, SHARMA. *Standard Test Methods for Determination of Abrasion Resistance of Concrete*. International Journal of Civil Engineering Research. Volume 5, Number 2(2014). ISSN 2278-3652

VII NORMATIVNÍ DOKUMENTY A PŘEDPISY

[33] ČSN EN 13892 – 3. *Zkušební metody potěrových materiálů - Část 3: Odolnost proti obrusu metodou Böhme*. Květen, 2015.

[34] ČSN 73 1324. *Stanovení obrusnosti betonu*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření.

[35] ČSN EN 1338. *Betonové dlažební bloky – Požadavky a zkušební metody. Příloha G: Měření odolnosti proti obrusu*. Prosinec, 2004.

[36] ČSN EN 1339. *Betonové dlažební desky – Požadavky a zkušební metody. Příloha G: Měření odolnosti proti obrusu*. Prosinec, 2004.

[37] ČSN EN 1340. *Betonové obrubníky – Požadavky a zkušební metody. Příloha G: Měření odolnosti proti obrusu*. Prosinec, 2004.

[38] Designation: C 944 – 99: *Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter Method*. Dostupné z:

<ftp://ftp.ecn.purdue.edu/olek/PTanikela/To%20Prof.%20Olek/ASTM%20standards/abrasion%20resistance%20C944.pdf>

[39] ČSN EN 933 – 1. *Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor*. Červen, 2012.

[40] ČSN EN 933 – 4. *Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 4: Stanovení tvaru zrn – Tvarový index*. Říjen, 2008.

[41] ČSN EN 1097 – 6. *Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti zrn a nasákavosti*. Únor, 2014.

[42] ČSN EN 12350 – 2. *Zkoušení čerstvého betonu – Část 2: Zkouška sednutím*. Říjen, 2009.

[43] ČSN EN 12350 – 6. *Zkoušení čerstvého betonu – Část 6: Objemová hmotnost*. Červenec, 2000.

[44] ČSN EN 12390 – 7. *Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 7: Objemová hmotnost ztvrdlého betonu*. Květen, 2001.

[45] ČSN EN 12390 – 3. *Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles*. Říjen, 2009.

- [46] ČSN EN 12390 – 5. *Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 5: Pevnost v tahu ohybem zkušebních těles.* Říjen, 2009.
- [47] ČSN 731316. *Stanovení vlhkosti, nasákavosti a vzlinavosti betonu.* Leden, 1989.
- [48] Ředitelství vodních cest ČR. *Technické kvalitativní podmínky staveb ŘVC ČR. Kapitola I: Provádění betonových a železobetonových konstrukcí.* Praha, 2009.
- [49] ČSN 731318. *Stanovení pevnosti betonu v tahu.* Červen, 1986.

VIII SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 – Schéma složení betonu	13
Obrázek 2 – Obroušený betonový povrch působením vody	19
Obrázek 3 – Odlupování betonového povrchu	20
Obrázek 4 – Zachycování pevných částic na povrchu	20
Obrázek 5 – Abrasivní opotřebení povrchu vlivem pevných částic	20
Obrázek 6 – Plocha pro zkoušku otěruvzdornosti na povrchu betonu s vodním součinitelem $w = 0,28$	22
Obrázek 7 – Plocha pro zkoušku otěruvzdornosti na povrchu betonu s vodním součinitelem $w = 0,36$	22
Obrázek 8 – Princip zkušebního přístroje Böhme	41
Obrázek 9 – Princip obrusu širokým kolem	42
Obrázek 10 – Přístroj s vodorovnými rotačními koly na stanovení obrusnosti betonu	44
Obrázek 11 – Přístroj s kolečkovým ložiskem na stanovení obrusnosti betonu	44
Obrázek 12 – Přístroj na zkoušku otěru betonové povrchu s rotujícími brusnými kotouči	45
Obrázek 13 – Přístroj na zkoušku otěru betonového povrchu pod vodou	46
Obrázek 14 – Žabčice frakce 0/4 mm	50
Obrázek 15 – Žabčice frakce 8/16 mm	50
Obrázek 16 – Želešice frakce 0/4 mm	51
Obrázek 17 – Želešice frakce 8/16 mm	51
Obrázek 18 – Olbramovice 8/16 mm	51
Obrázek 19 – Struska z Dětmarovic	52
Obrázek 20 – Popílek z Dětmarovic	52
Obrázek 21 – Vápenec Zblovice	53
Obrázek 22 – Mikrosilika z Istebné	53
Obrázek 23 – Uložení zkušebních vzorku do vody	57
Obrázek 24 – Stanovení konzistence – sednutí kužele	61
Obrázek 25 – Stanovení konzistence – sednutí kužele 130 mm	62
Obrázek 26 – Část zkušebního trámce na zkoušku nasákavosti	66
Obrázek 27 – Zkušební vzorek po zkoušce vodotěsnoti - 1 receptura	67
Obrázek 28 – Zkušební vzorek po zkoušce vodotěsnoti - 12 receptura	67

Obrázek 29 – Zkušební vzorek s nalepeným terčem na zkoušku pevnosti v tahu povrchových vrstev	68
Obrázek 30 – Zkušební vzorek s odtrženým terčem po zkoušce pevnosti v tahu povrchových vrstev	69
Obrázek 31 – Zkušební vzorek připraven na zkoušku obrusnosti	72
Obrázek 32 – Zkušební vzorek před zkouškou obrusnosti	73
Obrázek 33 – Zkušební vzorek po zkoušce obrusnosti	73
Obrázek 34 – Zkušební přístroj na zkoušku obrusnosti širokým kolem	75
Obrázek 35 – Zkušební vzorek na zkoušku obrusnosti širokým kolem– výrobní povrch	76
Obrázek 36 – Zkušební vzorek po zkoušce obrusnosti širokým kolem– výrobní povrch	76
Obrázek 37 – Zkušební vzorek na zkoušku obrusnosti širokým kolem - řez	76
Obrázek 38 – Zkušební vzorek po zkoušce obrusnosti širokým kolem – řez	76

IX SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 – Složení základní receptury	24
Tabulka 2 – Výsledné hodnoty po 28 dnech zrání	24
Tabulka 3 – Složení směsí podle Wu, Yen, Liu a Hsu	29
Tabulka 4 – Výsledky obrusu pěti různých kameniv po 28 dnech zrání	35
Tabulka 5 – Složení směsí [kg/m ³]	37
Tabulka 6 – Abraze betonu po 28 a 56 dnech	38
Tabulka 7 – Složení receptur (1, 2, 3, 4 a 13) na 1 m ³ v kg	54
Tabulka 8 – Složení receptur (5, 6, 7, 8 a 14) na 1 m ³ v kg	55
Tabulka 9 – Složení receptur (9, 10, 11, 12 a 15) na 1 m ³ v kg	56
Tabulka 10 – Výsledné hodnoty síťového rozboru	59
Tabulka 11 – Výsledné hodnoty objemových hmotností a tvarového indexu kameniva	60
Tabulka 12 – Výsledné hodnoty sednutí kužele a objemové hmotnosti betonu	60
Tabulka 13 – Výsledné hodnoty pevností	63
Tabulka 14 – Výsledné hodnoty nasákavosti, vodotěsnosti a pevností povrchových vrstev	65
Tabulka 15 – Výsledné hodnoty odolnosti betonu proti obrusu	71
Tabulka 16 – Výsledné hodnoty obrusnosti širokým kolem	74

X SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 – Vliv vodního součinitele na ohrusnost betonové povrchu	21
Graf 2 – Vliv poměru vody a cementu k otěruvzdornosti povrchu betonu	23
Graf 3 – Vliv popílku na pevnost betonu v tlaku	25
Graf 4 – Vliv popílku na abrazi betonu	25
Graf 5 – Vliv popílku na hloubku obrusu betonu po 28 dnech	26
Graf 6 – Vliv popílku na hloubku obrusu betonu po 90 dnech	26
Graf 7 – Vliv pevnosti v tlaku na ohrusnost betonu po 28 dnech	27
Graf 8 – Vliv pevnosti v tlaku na ohrusnost betonu po 90 dnech	27
Graf 9 – Vliv pevnosti v tlaku na odolnost betonu proti abrazi	29
Graf 10 – Vliv vodního součinitele na odolnost betonu proti abrazi	30
Graf 11 – Vliv vysokopeční strusky na odolnost betonu proti abrazi	30
Graf 12 – Vliv mikrosiliky na odolnost betonu proti abrazi	32
Graf 13 – Hodnoty opotřebení pod zatížením 5 kg	33
Graf 14 – Hodnoty opotřebení pod zatížením 10 kg	34
Graf 15 – Hodnoty opotřebení pod zatížením 15 kg	34
Graf 16 – Vliv druhu pěti hornin na odolnost proti abrazi	35
Graf 17 – Vliv třech druhů kameniv na abrazi betonu	36
Graf 18 – Vliv velikosti kameniva na odolnost betonu proti abrazi	38
Graf 19 – Vliv velikosti kameniva na ohrusnost betonu	39
Graf 20 – Grafické znázornění křivek zrnitosti kameniv	59
Graf 21 – Objemová hmotnost v čerstvém stavu	61
Graf 22 – Pevnost v tlaku	63
Graf 23 – Pevnost v tahu za ohybu	64
Graf 24 – Nasákavost betonu	66
Graf 25 – Vodotěsnost betonu	67
Graf 26 – Pevnost v tahu povrchových vrstev	68
Graf 27 – Stanovení odolnosti proti obrusu metodou Böhme	71
Graf 28 – Stanovení ohrusnosti betonu	72
Graf 29 – Ohrusnost širokým kolem – výrobní povrch a řez	75

XI SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

CaO – Oxid vápenatý

SiO₂ – Oxid křemičitý

Al₂O₃ – Oxid hlinitý

Fe₂O₃ – Oxid železitý

Ca(OH)₂ – Hydroxid vápenatý

MgO – Oxid hořečnatý

FeO – Oxid železnatý

MnO – Oxid manganatý

Na₂O – Oxid sodný

K₂O – Oxid draselný

TiO₂ – Oxid titaničitý

C-S-H – Kalciumhydrosilikát

W – Vodní součinitel

CEM I – Portlandský cement

CEM II/A-M (P-LL) – Portlandský směsný cement obsahující celkové množství přírodních pucolánů a vápence mezi 6 – 20 % hmotnosti

XM – Odolnost betonu proti namáhání pohyblivým mechanickým zatížením (obrusem)

ŘVC – Ředitelství vodních cest

ČSN – Česká státní norma

EN – Evropská norma

XII SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Technický list cementu CEM I 42,5 R Mokrý	93
Příloha 2 – Technický list superplastifikační přísady MC – PowerFlow 2695	94
Příloha 3 – Technický list mikrosiliky z Istebné	96
Příloha 4 – Technický list vysokopecní strusky Dětmárovice	99
Příloha 5 – Technický list jemně mletého popílku Dětmárovice	100
Příloha 6 – Technický list jemně mletého vápence Zblovice	102

Příloha 1 – Technický list cementu CEM I 42,5 R Mokrá

CEM I 42,5 R
Portlandský cement
EN 197-1

Výrobce: Českomoravský cement, a.s. – Závod Mokrá

Technický list
 červen 2016

Fyzikální a mechanické vlastnosti				Chemické vlastnosti			
Parametr	Průměrná hodnota	Metoda / poznámka		Parametr	Průměrná hodnota	Metoda / poznámka	
Pevnost v tlaku [MPa]	1 den	14	EN 196-1	CaO	64,2	EN 196-2	
	2 dny	29	EN 196-1	SiO ₂	19,5	EN 196-2	
	7 dní	51	EN 196-1	Al ₂ O ₃	4,7	EN 196-2	
	28 dní	61	EN 196-1	Fe ₂ O ₃	3,2	EN 196-2	
	56 dní	66	EN 196-1	MgO	1,3	EN 196-2	
	90 dní	67	EN 196-1	SO ₃	3,2	EN 196-2	
Pevnost v tahu za ohybu [MPa]	1 den	4	EN 196-1	Cl ⁻	0,047	EN 196-2	
	2 dny	6	EN 196-1	K ₂ O	0,78	EN 196-2	
	7 dní	8	EN 196-1	Na ₂ O	0,09	EN 196-2	
	28 dní	9	EN 196-1	Na ₂ O ekvivalent [%]	0,6	EN 196-2	
	56 dní	9	EN 196-1	Nerozpuštěný zbytek [%]	0,7	EN 196-2	
	90 dní	9	EN 196-1	Ztráta žíháním [%]	3,3	EN 196-2	
Normální konzistence [%]	27,7	EN 196-3					
Počátek tuhnutí [min]	201	EN 196-3					
Konec tuhnutí [min]	264	EN 196-3					
Objemová stálost [mm]	0,8	EN 196-3, Le Chatelier					
Měrný povrch [m ² .kg ⁻¹]	381	EN 196-6, Blaine					
Hydratační teplo [J.g ⁻¹]	7 dní	310	EN 196-8				

Obsah složek		
Hlavní složka	Portlandský síínek	95-100 %
Doplňující složka		0-5 %

Druh, množství a kvalita hlavních i doplňujících složek se odvíjí od požadavků technické normy EN 197-1. Mezi složky nepatří síran vápenatý, který se přidává jako regulátor tuhnutí, ani případné přísady usnadňující výrobu nebo upravující vlastnosti cementu.

Použití cementu dle stupňů vlivu prostředí podle ČSN P 73 2404																	
Bez rizika	Koroze způsobená karbonáty				Působení chloridů (ne z mořské vody)			Střídavé působení mrazu a rozmrazování				Chemicky agresivní prostředí			Obrus		
	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3	XM1	XM2	XM3
X0	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

a) Při chemické síranové agresivitě se stupněm vlivu prostředí vyšším než XA1 - koncentrace síranových iontů SO₄²⁻ vyšší než 600 mg/litr v podzemní vodě nebo 3000 mg/kg (v případě kapilárního sání 2000 mg/kg) v rostlé zemi - se musí použít síranovzdorný cement SR. Při obsahu SO₄²⁻ - do 1500 mg/litr je možné použít CEM I s dostatečnou dávkou pucovanové příměsi (například alespoň 20 % popílku).



MC-PowerFlow 2695

High-Performance Superplasticizer of the new MC-Generation

Product Properties

- Minimal adhesiveness
- High-quality concrete surfaces
- Short mixing-time
- Above average water-saving
- Economic dosage
- Long slump retention
- High initial strength
- Free of corrosion promoting components

Areas of Application

- Ready-mixed concrete
- Pre-cast elements
- Fair-faced concrete
- Concrete with high flowability
- High-performance concrete
 - High-strength concrete
 - Self-compacting concrete (SCC)
 - Concrete with high resistance against aggressive agents

Application Notes

MC-PowerFlow 2695 is a superplasticizer based on the newest MC-Polycarboxylatether-technology. A strong plastification results from a high adsorption rate.

Despite a well sustained consistence a special reaction mechanism enhances the development of high initial strength. Therefore MC-Powerflow 2695 is suitable for the pre-cast concrete production and the ready-mixed- concrete production as well.

MC-PowerFlow 2695 is added to the concrete during mixing. It is most effective when added after the addition water. It is also possible to dose it with the added water.

The specific functioning-mechanism allows to produce concrete with extremely low water contents and high-performance concrete with excellent processing properties at economic dosages. The mixing-time is reduced noticeable.

With an unchanged water content the consistency can be increased by several consistency classes.

MC-PowerFlow 2695 allows to produce high-tech concrete without increasing the adhesiveness. So the placing is easier and faster.

The special combination of the active agent permits to produce homogenous concrete without segregation. Thereby MC-PowerFlow 2695 can achieve high quality fair-faced concrete.

MC-PowerFlow 2695 can be used in combination with other MC admixtures. In individual cases please contact our concrete technology department for advice.

Please note the "General Information on the Use of Concrete Admixtures".

①



Technical Data for MC-PowerFlow 2695

Characteristic	Unit	Value	Comments
Density	kg/dm ³	approx. 1,06	+/- 0,02 kg/dm ³
Recommended Dosage	g	2 - 50	per kg of cement
Max. chloride content	% per weight	< 0,10	
Max. alkali content	% per weight	< 2,0	

Product characteristics for MC-PowerFlow 2695

Type of Admixture	Superplasticizer EN 934-2:T 3.1/3.2 (Concrete plasticizer EN 934-2: T 2)
Name of Admixture	MC-PowerFlow 2695
Colour	Yellow/brown
Consistency	Liquid
Certificate of conformity of the factory production control	0754-CPR
Notified Authority	MPA, Karlsruhe
Internal Production Supervision in accordance with DIN EN ISO 9001 / DIN EN 934-2/6	
Colour Code	grey / yellow
Form of Delivery	200 kg barrels Containers

Property specifications are based on laboratory tests and may vary in practical application. To determine the individual technical suitability, preliminary suitability tests should be carried out under the application conditions.

Note: The information on this data sheet is based on our experiences and correct to the best of our knowledge. It is, however, not binding. It has to be adjusted to the individual structure, application purpose and especially to local conditions. Our data refers to the accepted engineering rules, which have to be observed during application. This provided we are liable for the correctness of this data within the scope of our terms and conditions of sale-delivery-and-service. Recommendations of our employees which differ from the data contained in our information sheets are only binding if given in written form. The accepted engineering rules must be observed at all times.

Edition 02/16. Some technical changes have been made to this print medium. Older editions are invalid and may not be used anymore. If a technically revised new edition is issued, this edition becomes invalid.



MC-Bauchemie • Am Kruppwald 1-8 • 46238 Bottrop • Tel. +49 (0) 20 41-101 50 • Fax: +49 (0) 20 41-101 588
info@mc-bauchemie.de • www.mc-bauchemie.de

Příloha 3 – Technický list mikrosiliky z Istebné

OFZ a.s.

T E C H N I C K Ý L I S T

MIKROSILICA – SIOXID

Evidenčné číslo TL-OFZ-5/03

Dátum platnosti: 01. 11. 2008

Nahrádza: TL-OFZ-5/03 r. 0

Schválil: Ing. Michal Suroviak výrobný riaditeľ	Spracoval: Ing. Miroslav Brnoliak asistent	
Dátum: 01. 11. 2008	Dátum: 01. 11. 2008	
Č. výtlačku:	Znak hodnoty/lehota uloženia: A/10	Účinnosť od: 01. 11. 2008

1. Všeobecne

Mikrosilica – Sioxid je jemne disperzný práškový materiál sivej farby. Skladá sa z veľmi jemných častíc amorfného oxidu kremičitého guľového tvaru s hladkým povrchom, ktorých veľkosť je menšia ako 10^{-6} m a je preto vysoko puzolanický.

2. Výroba

Vyrába sa ako vedľajší produkt pri výrobe ferosilicia v elektrickej oblúkovej peci. Jemnozrnné kondenzované výpary oxidu kremičitého sa zachytávajú na tkaninových filtroch v odprašovacích jednotkách.

3. Technické parametre

3.1 Chemické zloženie Mikrosilica – Sioxid, v hmot. %

Typické		Garantované	
SiO ₂	91,0 %	SiO ₂	88 – 93 %
Al ₂ O ₃	0,30 %	Al ₂ O ₃	2 % max.
CaO + MgO	1,50 %	CaO + MgO	4 % max.
Na ₂ O	0,50 %	K ₂ O + Na ₂ O	4 % max.
K ₂ O	1,50 %		
Straty žihaním	1,3 %	Straty žihaním	3 % max.

3.2 Granulometrické zloženie

Veľkosť častíc sa pohybuje v submikroskopickej oblasti. Priemer zŕn je v rozmedzí 0,1 – 0,2 µm, 90 % pod 0,2 µm.

3.3 Sypná hmotnosť

Sypná hmotnosť suchého Mikrosilica – Sioxid v pôvodnej nezhutnenej forme je 0,15 – 0,35 t/m³. V prípade požiadavky odberateľa je možná jeho úprava peletizáciou, čím dochádza ku zvýšeniu hodnoty sypnej objemovej hmotnosti spravidla na 0,4 – 0,5 t/m³, resp. 0,55 – 0,65 t/m³.

4. Hygienická a zdravotná nezávadnosť

Hygienická nezávadnosť výrobku bola posudzovaná Ústavom preventívnej a klinickej medicíny v Bratislave. Stanovisko je, že Mikrosilica – Sioxid nemá fibrogénne účinky, nakoľko vzniká kondenzáciou. Vzhľadom na vysokú dizperzicitu (90 % častíc je menších ako 2 µm) je potrebné pri manipulácii používať respirátory.

Hygienická a zdravotná nezávadnosť Mikrosilica – Sioxid popisuje karta bezpečnostných údajov „Mikrosilica – Sioxid“ OFZ a. s., vydaná 01.11.2008.

5. Kontrola

Systém kontroly výroby si zabezpečuje výrobca. Rozhodujúce vlastnosti Mikrosilica – Sioxid ako charakteristické hodnoty sú stanovené v STN EN 13263-1 - kremičitý úlet do betónu. Odber vzoriek sa riadi zásadami STN P EN 196-7.

5.1 Vlastnosti, skúšobné metódy a minimálna početnosť skúšok vnútro podnikovej kontroly: tab. č. 2.:

Vlastnosť	Dodávky, ktoré treba skúšať	Skúšobné metódy	Minimálna početnosť	
			Bežná situácia	Počiatkové obdobie
Oxid kremičitý	všetky	EN 196-2	1/týždeň	2/týždeň
Elementárny Si	všetky	ISO 9286	1/mesiac	2/mesiac
Voľný CaO	všetky	EN 451-1	1/týždeň	2/týždeň
Sírany	všetky	EN 196-2	1/týždeň	2/týždeň
Obsah alkálií celk.	všetky	EN 196-2	1/mesiac	2/mesiac
Chlorid	všetky	EN 196-2	1/týždeň	2/týždeň
Srata žihanim	všetky	EN 196-2	1/týždeň	2/týždeň
Merný povrch	všetky	ISO 9277	1/mesiac	2/mesiac-externe
Obsah sušiny	suspenzie	5.3.2	1/týždeň	2/týždeň
Index aktivity	všetky	5.3.3	1/mesiac	2/mesiac-externe

5.2 Detailný popis kontroly kremičitého úletu, ako odber vzoriek, rozsah, frekvencia kontroly je popísaný v PŠ 17/2001 a OTK-21/2004.

6. Skladovanie

Výrobok sa skladuje v uzavretých obaloch (big-bagy, vrecia, sudy, silá) a v krytých suchých skladoch. Zamedziť navlhnutiu materiálu. Maximálna vlhkosť suchého prachového Mikrosilica – Sioxiidu nesmie prekročiť hodnotu 1%.

7. Spôsob dodávania a balenia

Dodáva sa v prírodnom stave v pôvodnej forme balený do obalov (big-bagy, vrecia, sudy) s možnosťou nakládky na motorové vozidlá, resp. k preprave voľne loženého sa využívajú autocisterny. V prípade požiadavky zákazníka je možné dodanie Mikrosilica – Sioxiidu zabezpečiť i v jeho upravenej forme peletizáciou.

8. Označenie

Identifikačné čísla: EINECS 273-761-1
CAS 69012-64-2

Súčasťou každej dodávky výrobku je jeho označenie v rámci dodacieho listu, resp. označenia na použitom obale, ktoré musí obsahovať:

- druh materiálu,
- spôsob dodania (prírodný stav, peletizovaný),
- čísla a rok výroby,
- hmotnostné množstvo,
- meno a obchodná značka výrobcu,
- miesto a lokalita výroby,
- pečiatka a podpis výstupnej kontroly.

9. Oblasť použitia

Aplikácia Mikrosilica – Sioxiidu je možná v týchto oblastiach:

- výroba prefabrikovaných zmesí určených k sanácii a reprofiliácii betónových a železobetónových konštrukcií, hmotnostné zastúpenie Mikrosilica – Sioxiidu 2,5 – 10 % z hmotnosti spojiva,

TL – OFZ – 5/03
Revízia č. 1

- výroba betónov osobitných vlastností, množstvo Mikrosilica – Sioxiidu, ako prímеси, sa volí v rozmedzí 5 – 15 % z hmotnosti cementu,
- výroba cementov v súlade s požiadavkami STN P ENV 197-1,
- v gumárenskom a drevospracujúcom priemysle ako i v odvetviach nestavebnej výroby.

Technický list nahrádza „TL-OFZ-5/03 r. 0 Mikrosilica – Sioxid“, vydaný 1. 9. 2003

Příloha 4 – Technický list vysokopecní strusky Dětmarovice



PROHLÁŠENÍ O VLASTNOSTECH

č.04/2013

Výrobek:	Mletá Granulovaná Vysokopecní Struska dle požadavků EN 15167-1:2006
Typové označení:	MGVS
Zamyšlené 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., Siemensova 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: 

Příloha 5 – Technický list jemně mletého popílku Dětmorovice

LABTECH s.r.o., zkušební laboratoře č. 1147 akreditované ČIA dle ČSN EN ISO/IEC 17025:2005



Zkušební laboratoř Brno
Polní 23/340, 639 00 Brno



L 1147

PROTOKOL O ZKOUŠCE č. 18435/2018

Strana: 1
Stran celkem: 1

Zákazník: VUT v Brně fakulta stavební
Ústav technologie stavebních hmot a dílců
Veveří 95
602 00 Brno

Analyzovaný materiál: popílek
Datum a čas příjmu: 6.9.2018 14:21
Datum analýzy: 6.9.2018 - 14.9.2018
Odběr provedl: Zákazník

Č. vzorku	Označení vzorku				
25626	Vysokoteplotní popílek Dětmorovice				
Parametr	jednotka	č.vzorku: 25626	NM	Identifikace zkušební metody	Akr
Sířičitany	mg/kg	<1		Fotometrie	(4) N
Sušina	%	99,94	10%	GRA 03A:ČSN 720102, ČSN EN 14346	(1) A
Chloridy	mg/kg suš.	<100		VOL 10B:ČSN EN 1015-17, ČSN EN 196-2	(1) A
Sírany	mg/kg suš.	7570	20%	SIL 16:ČSN 720117, ČSN EN 196-2, ČSN EN 1744-1	(1) A
Oxid vápenatý	% suš.	3,80	10%	ICP 05:ČSN EN ISO 11885, ČSN 720101	(1) A
CaO volný	% suš.	0,14	20%	SIL 24:ČSN 451-1	(1) A
Oxid hořečnatý	% suš.	2,56	10%	ICP 05:ČSN EN ISO 11885, ČSN 720101	(1) A
Oxid draselný	% suš.	2,74	10%	ICP 05:ČSN EN ISO 11885, ČSN 720101	(1) A
Oxid hlinitý	% suš.	22,2	10%	ICP 05:ČSN EN ISO 11885, ČSN 720101	(1) A
Oxid železitý	% suš.	7,46	10%	ICP 05:ČSN EN ISO 11885, ČSN 720101	(1) A
Oxid sodný	% suš.	0,502	10%	ICP 05:ČSN EN ISO 11885, ČSN 720101	(1) A
Oxid křemičitý	% suš.	58,1	10%	ICP 05:ČSN EN ISO 11885, ČSN 720101	(1) A
Oxid titaničitý	% suš.	1,06	10%	ICP 05:ČSN EN ISO 11885, ČSN 720101	(1) A

Poznámka:

Vzorek byl pro stanovení oxidů kovů vytaven s LiBO2.

Číslice u označení zkušební metody označuje pracoviště, na kterém byl parametr stanoven: 1-Labtech Brno, Polní 23/340, 639 00 Brno;

2-Labtech Paskov, Rudé armády 637,739 21 Paskov; 4-Hygienické laboratoře Klatovy, Pod Nemocnicí 683,339 01 Klatovy;

4a-Labtech Sušice, Pražská 1087,342 01 Sušice

Nejistota měření (NM) je definována jako rozšířená nejistota měření na hladině významnosti 95% s koeficientem rozšíření $k=2$ a nezahrnuje nejistotu odběru. Nejistota je vyjádřena v souladu s EA-4/16. K hodnotám výsledků pod spodní a nad horní mezi stanovitelnosti se nejistota nevztahuje.

Informace "Akr" rozlišuje akreditované (A) a neakreditované (N) standardní operační postupy (SOP). Zkoušky s uděleným flexibilním rozsahem akreditace jsou označeny FRA. Akreditované zkoušky provedené v jiné laboratoři jako subdodávky jsou označeny SA.

Výsledky zkoušek se týkají pouze zkoušených předmětů uvedených výše.

Protokol nenahrazuje jiné dokumenty, např. správního charakteru a státního odborného dozoru.

Tento protokol může být reprodukován pouze celý, jinak jen s písemným souhlasem laboratoře.

Protokol vystaven:
21.9.2018

Ing. Pavel Hradil
vedoucí Zkušební laboratoře Brno





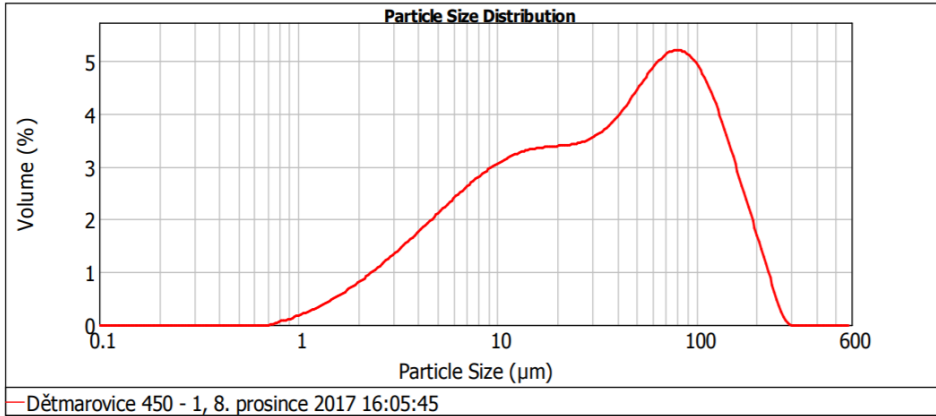
Result Analysis Report

Sample Name: Dětmarovice 450 - 1
SOP Name: popílek
Measured: 8. prosince 2017 16:05:45
Sample Source & type: Tažký
Measured by: oem
Analysed: 8. prosince 2017 16:05:47
Sample bulk lot ref:
Result Source: Measurement

Particle Name: Fly ash 2558
Accessory Name: Scirocco 2000
Analysis model: General purpose (fine)
Sensitivity: Normal
Particle RI: 1.510
Absorption: 0
Size range: 0.020 to 2000.000 um
Obscuration: 4.10 %
Dispersant Name:
Dispersant RI: 1.000
Weighted Residual: 0.185 %
Result Emulation: Off

Concentration: 0.0015 %Vol
Span : 3.610
Uniformity: 1.14
Result units: Volume
Specific Surface Area: 0.2 m₂/g
Surface Weighted Mean D[3,2]: 12.382 um
Vol. Weighted Mean D[4,3]: 53.050 um

d(0.1): 4.723 um d(0.5): 34.670 um d(0.9): 129.868 um



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.16	7.096	2.04	50.238	3.45	355.656	0.00
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.22	7.962	2.16	56.368	3.65	399.052	0.00
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.29	8.934	2.26	63.246	3.81	447.744	0.00
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.37	10.024	2.35	70.963	3.90	502.377	0.00
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.46	11.247	2.42	79.621	3.91	563.677	0.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.55	12.619	2.47	89.337	3.81	632.456	0.00
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.66	14.159	2.51	100.237	3.60	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	0.76	15.887	2.53	112.468	3.29	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	0.88	17.825	2.54	126.191	2.91	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	1.00	20.000	2.56	141.589	2.46	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	1.13	22.440	2.57	158.866	2.00	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.00	3.557	1.26	25.179	2.61	178.250	1.54	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	1.39	28.251	2.66	200.000	1.08	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	1.52	31.698	2.76	224.404	0.61	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.01	5.024	1.66	35.566	2.88	251.785	0.17	1782.502	0.00
0.112	0.00	0.796	0.06	5.637	1.79	39.905	3.05	282.508	0.00	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.11	6.325	1.92	44.774	3.24	316.979	0.00		
0.142	0.00	1.002		7.096		50.238		355.656			

Operator notes:

Příloha č. 6 – Technický list jemně mletého vápence Zblovice

1. VÝSLEDKY ZKOUŠEK

1.1. STANOVENÍ MĚRNÉ HMOTNOSTI

Tab. 1: Stanovení měrné hmotnosti vápence Zblovice

Označení vzorků	Datum zkoušky	Měrná hmotnost
		[g.cm ⁻³]
Vápenec Zblovice – Červen 2017 - Půlroční	31. 8. 2017	2,705
		2,696
Průměr		2,701

Tab. 2: Stanovení měrné hmotnosti vápence Zblovice

Označení vzorků	Datum zkoušky	Měrná hmotnost
		[g.cm ⁻³]
Vápenec Zblovice – Prosinec 2017 - Roční	12. 1. 2018	2,774
		2,772
Průměr		2,773

1.2. STANOVENÍ JEMNOSTI MLETÍ

Tab. 3: Stanovení jemnosti mletí vápence Zblovice

Označení vzorků	Datum zkoušky	Jemnost mletí
		[cm ⁻² .g ⁻¹]
Vápenec Zblovice – Červen 2017 - Půlroční	31. 8. 2017	2440
		2500
Průměr		2470

Tab. 4: Stanovení jemnosti mletí vápence Zblovice

Označení vzorků	Datum zkoušky	Jemnost mletí
		[cm ⁻² .g ⁻¹]
Vápenec Zblovice – Prosinec 2017 - Roční	12. 1. 2018	2180
		2230
Průměr		2210

V Brně 20. 2. 2018