



**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

**VÝVOJ BETONŮ ODOLNÝCH VŮČI ABRAZI A METOD  
TESTOVÁNÍ**

DEVELOPMENT OF ABRASION-RESISTANT CONCRETE AND TESTING METHODS

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

DIPLOMA THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. David Procházka**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**prof. Ing. RUDOLF HELA, CSc.**

**BRNO 2020**



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Bc. David Procházka
<b>Název</b>	Vývoj betonů odolných vůči abrazi a metod testování
<b>Vedoucí práce</b>	prof. Ing. Rudolf Hela, CSc.
<b>Datum zadání</b>	31. 3. 2019
<b>Datum odevzdání</b>	10. 1. 2020

V Brně dne 31. 3. 2019

---

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr.h.c.  
Vedoucí ústavu

---

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

## PODKLADY A LITERATURA

Databáze internetových vědeckých časopisů Web of science, Scopus a další.  
Zahraniční a tuzemské odborné časopisy a sborníky z vědeckých symposií.  
Diplomové a disertační práce publikované na FAST VUT v Brně.

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

V praxi se často vyskytují případy, kdy povrch betonu je vystaven působení abrazivního opotřebení povrchu. Toto může být způsobeno buď intenzivním pojezdem kol např. nakladačů ve skladech či působením rychle proudící vody s unášením jemných částic. Současná legislativa např. ČSN EN 206 klasifikuje toto prostředí stupněm XM. Ovšem k tomuto prostředí nejsou stanoveny adekvátní zkušební postupy a kritéria hodnocení. Požadavky na kvalitu betonu jsou dány pouze pevnostní třídou a vodním součinitelem. Jelikož se jedná zejména o kvalitu povrchové vrstvy tvořenou cementovou maltou a v případě ohlazení této vrstvy pak kvalitou hrubého kameniva a jeho odolností proti obrusu, tak nejsou požadavky pouze na pevnost betonu adekvátní.

Cílem diplomové práce bude shromáždit informace ze zahraniční odborné literatury o zkušebních metodách a zařízeních pro testování odolnosti proti abrazi a poté navrhnout soubor zkoušek, které by tuto vlastnost jednoznačně vyhodnotily včetně mezních kritérií. Toto rozdělit na odolnost proti mechanickému opotřebení pojezdy kol a působení rychle tekoucí vody s pevnými částicemi. Posoudit vlivy různých cementů, příměsí, přísad a kameniv, případně závislosti krychelné pevnosti na odolnost proti abrazi.

V praktické části pak navržené zkušební metodiky ověřte na souboru receptur pro pevnostní třídy C30/37 a C45/55 s různými typy cementů. Jako plniva použijte odolná hrubá kameniva např. čedič. Pro zpevnění cementové matrice využijte aktivních příměsí (např. mikrosiliku) nebo přísady do betonu, které vytvrzují povrch beton. Udělejte závislosti mezi krychelnou pevností, tvrdostí povrchu a Vámi navrženými zkušebními metodami pro stanovení odolnosti proti obrusu.

Rozsah cca 80 stran textu bez příloh.

## STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

---

prof. Ing. Rudolf Hela, CSc.  
Vedoucí diplomové práce

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce se zabývá odolností betonu proti působení abraze. Konstrukce dopravních a vodohospodářských staveb jsou nejvíce namáhány působení obrusu pomocí pojezdu dopravních prostředků a proudící vody. Vlivem obrusu se snižuje trvanlivost daných konstrukcí. V práci jsou zkoumány předpoklady pro dosažení nejlepší možné odolnosti proti obrusu. Dále pak testovací metody, které jsou aktuálně po celém světě používány. Experimentální část se zabývá vlivem jednotlivých druhů kameniva amfibolit (Želešice), živcový štěrkopísek (Žabčice) a čedič (Bílčice) na odolnost proti obrusu. Dále pak závislostmi mezi pevností betonu a tvrdostí povrchu na odolnost proti abrazi. Testování odolností proti obrusu bylo stanovováno obrusností betonu, odolností obrusu metodou podle Böhma a působením vodního paprsku.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Beton, abraze, obrusnost betonu, trvanlivost, testovací metody.

## **ABSTRACT**

This diploma thesis deals with concrete abrasion resistance against abrasion. The constructions of transport and water management structures are most stressed by the action of abrasion by means of travel of vehicles and flowing water. Abrasion reduces the durability of the structures. The prerequisites for achieving the best possible abrasion resistance are examined. Furthermore, test methods that are currently used worldwide. The experimental part deals with the influence of individual types of aggregates amphibolite (Želešice), fecal gravel sand (Žabčice) and basalt (Bílčice) on abrasion resistance. Furthermore, the dependence between the strength of the concrete and the hardness of the surface for abrasion resistance. Abrasion resistance testing was determined by concrete abrasion, abrasion resistance by the Böhm method and by water jet.

## **KEYWORDS**

Concrete, abrasion, abrasion of concrete, durability, test methods

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

Bc. David Procházka *Vývoj betonů odolných vůči abrazi a metod testování*. Brno, 2019. 86 s., 2 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce prof. Ing. Rudolf Hela, CSc.

## **PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Vývoj betonů odolných vůči abrazi a metod testování* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 1. 11. 2019

---

Bc. David Procházka  
autor práce

## **PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Vývoj betonů odolných vůči abrazi a metod testování* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 1. 11. 2019

---

Bc. David Procházka  
autor práce



## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé práce panu prof. Ing. Rudolfu Helovi, CSs., za odborné vedení a pomoc při zpracování mé práce. Zaměstnancům THD za pomoc při provádění zkoušek, a nakonec i rodině, přátelům a přítelkyni za podporu při vypracování této práce.

# OBSAH

## TEORETICKÁ ČÁST

<b>1. ÚVOD</b>	<b>13</b>
<b>2. CÍL PRÁCE</b>	<b>14</b>
<b>3. ODOLNOST BETONU PROTI OBRUSU</b>	<b>14</b>
<b>4. ABRAZE V DŮSLEDKU PROUDÍCÍ VODY</b>	<b>15</b>
4.1. Opotřebenění kavitací	16
4.2. Chemické působení	17
4.2.1 Abraze u minerálních vod	18
4.2.2 Abraze vlivem kyselého prostředí	18
4.2.3 Opotřebenění vlivem bakteriálního působení	19
4.3. Opotřebenění způsobené erozí	20
<b>5. METODY TESTOVÁNÍ ODOLNOSTI PROTI ABRAZI PROUDÍCÍ VODOU</b>	<b>21</b>
5.1. Podvodní metoda – ASTM C1138	22
5.2. Metoda pískování – ASTM C148	23
<b>6. METODY TESTOVÁNÍ ODOLNOSTI PROTI ABRAZI POJEZDY KOL</b>	<b>25</b>
6.1. Metoda rotující frézy - ASTM C944	25
6.2. Zkušební metody pro vodorovné betonové povrchy ASTM C779	26
6.3. Metoda rotačních disků	26
6.4. Metoda obrusných kol	26
6.5. Metoda kuličkového ložiska	27
6.6. Metoda zkoušení obrusu dle IS 9284	28
6.7. Zkouška „Prall test“	29
6.8. Metoda širokého kola dle ČSN EN 1338, ČSN EN 1339, ČSN EN 1340	30
<b>7. METODY TESTOVÁNÍ ODOLNOSTI KAMENIVA PROTI ABRAZI</b>	<b>31</b>
7.1. Skandinávská obrusná zkouška	31
7.2. Abrazivní zkouška Los Angeles	32
<b>8. VLIV KAMENIVA NA ODOLNOST BETONU PROTI ABRAZI</b>	<b>33</b>
<b>9. VLIV PŘÍMĚSÍ NA ODOLNOST BETONU PRO ABRAZI</b>	<b>35</b>
9.1. Mikrosilika	36
9.2. Popílek	37
9.3. Vysokopecní struska	40
<b>10. VLIV PŘÍDAVKU VLÁKEN NA ODOLNOST BETONU PRO ABRAZI</b>	<b>41</b>
10.1. Ocelová vlákna	41
10.2. Polyolefinová vlákna	42
10.3. Další studie zabývající se přísávkem vláken	42
<b>11. FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ ODOLNOST PROTI OBRUSU</b>	<b>44</b>
11.1. Faktory, které se stahují k vlastnostem betonu a betonové směsi	44
11.1.1 Poměr hmotnosti vody a cementu – vodní součinitel (w/c)	44

11.1.2	Závislost pevnosti v tahu a odolnosti proti abrazi	45
11.2.	Faktory, které se vztahují k okolnímu prostředí	47
11.2.1	Vliv rychlosti proudění	47
11.2.2	Vliv úhlu dopadu	47
11.2.3	Vliv velikosti abrazivních částic	49
11.2.4	Vliv obsahu abrazivních částic ve vodě	50
<b>12.</b>	<b>DOPORUČENÍ PŘI SESTAVOVÁNÍ RECEPTUR</b>	<b>52</b>
12.1.	Výběr vhodného kameniva	52
12.2.	Zvýšení obsahu pojiva	52
12.3.	Vhodný obsah vody	52
12.4.	Vytvrzení povrchu	52
12.5.	Použití příměsí	53
12.6.	Superplastifikátory	53
<b>PRAKTICKÁ ČÁST</b>		
<b>13.</b>	<b>ÚVOD</b>	<b>54</b>
<b>14.</b>	<b>POUŽITÉ VSTUPNÍ SUROVINY</b>	<b>54</b>
14.1.	Cement	54
14.2.	Kamenivo	54
14.2.1	Kamenivo Želešice	54
14.2.2	Kamenivo Olbramovice	54
14.2.3	Kamenivo Bílčice	55
14.3.	Záměsová voda	55
14.4.	Přísady	55
14.5.	Mikrosilika	55
<b>15.</b>	<b>POUŽITÉ RECEPTURY</b>	<b>56</b>
<b>16.</b>	<b>VÝROBA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ</b>	<b>57</b>
16.1.	Postup míchání směsi	57
16.2.	Zkušební vzorky	57
<b>17.</b>	<b>POPIS JEDNOTLIVÝCH ZKOUŠEK</b>	<b>58</b>
17.1.	Zkouška sednutím	59
17.2.	Objemová hmotnost čerstvého betonu	59
17.3.	Objemová hmotnost ztvrdlého betonu	60
17.4.	Stanovení pevnosti v tlaku zkušebních těles	60
17.5.	Stanovení obrusnosti betonu dle ČSN 73 1324	61
17.6.	Stanovení odolnosti pro obrusu metodou Böhme dle ČSN EN 13892-3	62
17.7.	Stanovení tvrdosti odrazovým tvrdoměrem dle ČSN EN 12504-2	63
17.8.	Stanovení povrchové tvrdosti pomocí durometru	63
17.9.	Odolnosti proti působení vysokorychlostního vodního paprsku	64
<b>18.</b>	<b>VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠEK NA ČERSTVÉM BETONU</b>	<b>66</b>
<b>19.</b>	<b>VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠEK NA ZATVRDLÉM BETONU</b>	<b>66</b>
<b>20.</b>	<b>ZÁVĚR</b>	<b>79</b>

<b>21.</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ</b>	<b>82</b>
<b>22.</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH PŘÍLOH</b>	<b>84</b>
22.1.	Seznam obrázků	84
22.2.	Seznam grafů	85
22.3.	Seznam tabulek	86
22.4.	Seznam příloh	86

## Teoretická část

### 1. Úvod

Trvanlivost materiálu je důležitá vlastnost, díky které mohou dané materiály sloužit svému účelu po dlouhou dobu bez výrazného omezení. Trvanlivý materiál šetří zdroje, snižuje plýtvání a šetří životní prostředí před negativními dopady, které by způsobily opravy. U betonu to tvrdí dvojnásob, protože beton je hned po vodě druhým nejpoužívanějším materiálem na světě. Důvodem oblíbenosti jsou jeho přednosti. Jedná se o univerzální, pevný a odolný materiál, který lze tvarovat do různých tvarů a velikostí. Jednou z nejvíce atraktivních vlastností je, že v čerstvém stavu se jedná o plastický materiál, ale po zatvrdnutí se jedná o pevný a odolný materiál. Má schopnost odolávat působení vody bez vážného porušení, což z něj činí ideální materiál pro stavební konstrukce, které přicházejí do styku s vodou. Beton má různé použití. Stavba výškových budov, přehrad, mostů, chodníků, dálnic, domů atd. Přestože je beton jedním z nejpoužívanějších materiálů, spotřeba energie, a dopad na životní prostředí při výrobě není zrovna nejmenší. Přibližně 5% skleníkových plynů je produkováno díky cementářskému průmyslu. Proto se snažíme beton vyrábět s co nejvyšší odolností a trvanlivostí pro dané prostředí. Tato snaha pak snižuje poptávku po opravách betonových konstrukcí a tím se snižuje i spotřeba energie pro výrobu.

Poškození betonu díky působení abraze vede k problémům s údržbou betonových konstrukcí. Toto poškození může být způsobeno intenzivním pojezdem kol dopravních prostředků nebo rychle proudící vodou s unášenými jemnými částicemi (písku, šterku a jiných pevných částic), které díky valivému a brusnému účinku poškozují povrch konstrukce.

V současné legislativě jsou tato prostředí klasifikována stupněm XM. Požadavky na kvalitu betonu jsou dány pouze pevnostní třídou a vodním součinitelem. Což je absolutně nedostačující vzhledem k vlivům, které ovlivňují odolnost proti abrazi. Zkušební postupy jsou dalším problémem. Většina povrchů se zkouší pomocí ČSN 731324, metoda podle Böhma. Tato metoda je z hlediska stimulace abraze vhodná pouze na povrchy, které jsou namáhány pojezdy dopravních prostředků. Pro simulaci povrchů, které jsou namáhány proudící vodou s unášenými částicemi je zkouška zcela nevhodná. Tento typ namáhání se vyskytuje hlavně u vodohospodářských staveb. V rámci světového měřítká se můžeme u zahraničních kolegů inspirovat u spousty

zkušebních metod, které zahrnují všechny možné druhy namáhání a berou v potaz dokonce i zkoušení vhodnosti samotného kameniva do konstrukcí, které budou namáhány abrazi. Kamenivo často tvoří hlavního nositele pevnosti, proto je velmi důležité brát v úvahu i druh kameniva.

## **2. Cíl Práce**

Cílem této diplomové práce je v teoretické části provést rešerši metod používaných k zhodnocení odolnosti betonu vůči abrazi. Zvláště proti pojezdu motorových vozidel u dálnic a proudící vod u přehrad a vodních děl. Dále posoudit vlivy různých cementů, příměsí, přísad a kameniv.

Praktická část bude mít za úkol zhodnotit odolnost, proti obrusu betonových vzorků a zjistit závislost mezi tvrdostí povrchu, pevností v tlaku a odolností proti obrusu. Dále pak vliv jednotlivých druhů kameniv na výslednou odolnost proti obrusu.

## **3. Odolnost betonu proti obrusu**

Beton patří k nejpoužívanějším stavebním materiálům, hlavně díky svým nízkým nákladům, vysoké pevnosti v tlaku, vysoké trvanlivosti, univerzálnosti a snadné manipulaci. Bohužel beton je přirozeně porézní a jeho vlastnosti se mohou zhoršovat v důsledku vystavení nepříznivého prostředí nebo nedostatečné kvalitě provedení. Většina studií se zabývá hlavně pevnostními vlastnostmi betonu, přičemž mnohem menší pozornost byla věnovaná právě parametrům ovlivňující trvanlivost. Zhoršení těchto vlastností má často za následek vážné poškození betonových konstrukcí, jako jsou trhliny, odlupování a praskliny. Tento druh poškození není obecně detekovatelný, dokud nedosáhne kritické úrovně. Degradace betonů je považována za klíčový faktor v trvanlivosti konstrukcí. [1]

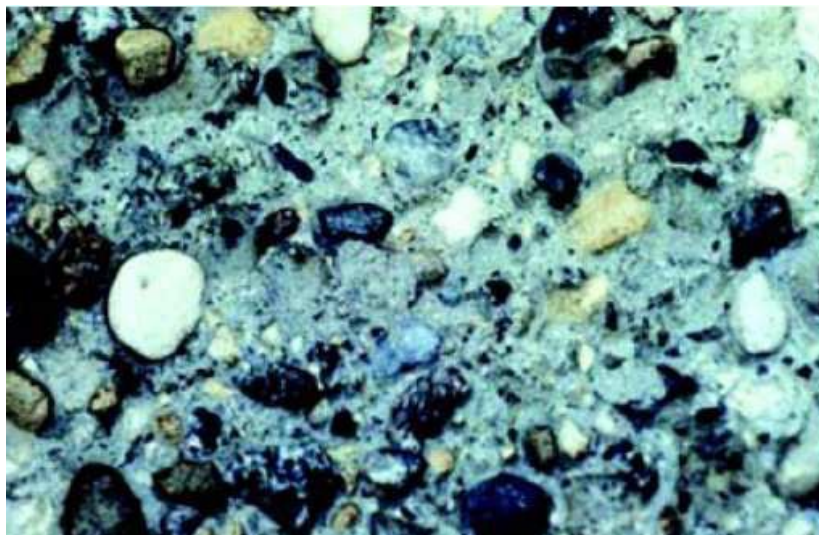
Abraze povrchu betonové konstrukce je definována jako progresivní rozklad pevné látky pomocí eroze, kavitace nebo chemickým působením. Odolnost proti abrazi, se dá také definovat, jako schopnost povrchu odolávat opotřebením výše zmíněným jevům. Odolnost proti abrazi závisí na tvrdosti povrchu, pevnosti spojení kameniva a cementového tmele. Abrazi řešíme u staveb, které jsou v kontaktu s proudící vodou. Zde je hlavní problém to, že proudící voda unáší pevné částičky, které betonový povrch narušují. Dále se abraze musí brát v potaz i u staveb, které jsou

namáhány pojezdem kol dopravních prostředků. Na komunikacích se obvykle nachází různé pevné částičky, které díky pojezdu kol beton obrušují. [2] [3]

Porušení povrchu má za následek zhoršení trvanlivosti celé konstrukce. Tvoří se trhliny, do kterých vniká voda, což vede ke vzniku koroze oceli a další degradaci betonu.

[2] [3]

Některé existující konstrukce např. přehrad, jezy, silnice a vodohospodářské konstrukce jsou po dlouhou dobu v kontaktu s vodou nebo abraziv. Taková expozice dlouhodobě zvyšuje riziko zkrácení životnosti těchto konstrukcí. Stanovení zásad, pro navrhování takových konstrukcí, by mohlo přinést značné výhody při zajištění toho, aby konstrukce nadále sloužily své původní funkci. [1]



*Obrázek 1 Poškození betonu vlivem abraze [1]*

#### **4. Abraze v důsledku proudící vody**

Poškození betonové povrchu je výsledkem hydrodynamických procesů proudění vody a abrazivního působení způsobeného částicemi, které naráží na povrch. Abrazivní působení jemných částic způsobuje vznik trhlin na povrchu a uvnitř struktury betonu. Trhliny vznikají z důvodu překročení tahového napětí v betonu. Tahové a tlakové síly úrokní vývoj a rozvoj trhlin, které oslabují strukturu (únavová pevnost betonu) a ničí vazby mezi kamenivem a cementovým tmelem. Během toho, proud vody vymývá částice cementového tmele a kameniva. Proces degradace

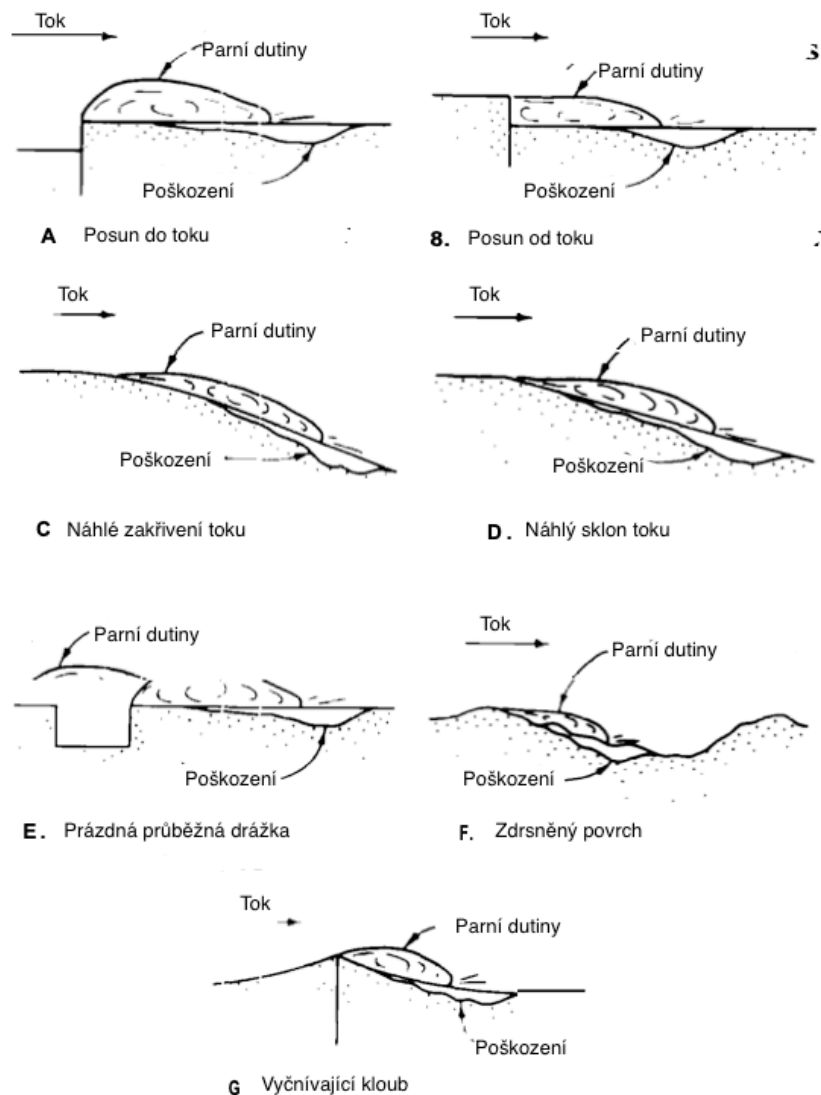
pokračuje dál do hloubky betonu a odhaluje viditelná poškození. V turbulentních vodách je degradace ještě rychlejší. Důvodem jsou dynamické jevy vody (úder částeček na povrch, tlaková pulzace, vibrace ve struktuře), které vznikají hlavně u přelivů, jezů, odtokových kanálů. K poruše betonové struktury dochází jak v cementové pastě, tak v kamenivu. Nejčastěji právě v kontaktní zóně mezi kamenivem a cementovou maticí, kde opakované dynamické procesy rozšiřují počáteční trhliny a oslabují kontakt. Škody vzniklé působením abrazí proudící vody se vyznačují drsností a nepravidelně zkorodovaným povrchem s dutinami. [4]

#### **4.1. Opotřebení kavitací**

Poškození vlivem kavitace nejčastěji vzniká na místě, kde dochází ke kolapsu vodního toku v důsledku změny tlaku. Kavitační bubliny většinou rostou a plnou s vodním tokem. Jakmile se změní tlakové pole, bubliny „explodují“. Pokud se bubliny nachází v blízkosti hutného povrchu, je tento povrch vystaven velmi vysokému tlaku. Síla tlaku je dostatečná, aby porušila jakýkoliv druh pevného materiálu. Kavitační proces v betonu není bohužel dostatečně popsán. Abrazie postupuje rychle a na povrchu v průběhu působení vznikají drobné praskliny a trhliny. [3]

Kavitace je tvorba bublin nebo dutin v kapalině. V hydraulických strukturách je kapalinou voda a dutiny jsou naplněny vodní parou a vzduchem. Dutiny se tvoří tam, kde tlak klesne na takovou hodnotu, která způsobí, že se voda odpařuje při převládající teplotě tekutiny. [5]





Obrázek 2 Příklady nepravidelností povrchu betonu [5]

Na obrázku 2 můžeme pozorovat příklady nepravidelností betonového povrchu, které mohou vyvolat tvorbu těchto dutin. Pokles tlaku způsobený těmito nepravidelnostmi je obecně velmi náhlý a je způsobený vysokými rychlostmi proudící vody a zakřiveným prouděním. Dutiny se často začínají tvořit na hranici toků nebo ve středu vírů. [5]

#### 4.2. Chemické působení

V hutném betonu se nachází určité sloučeniny, které jsou napadány vodou, solí a kyselými roztoky. Ve většině případů je ovšem negativní působení na hutný betonový povrch tak malé, že se může ignorovat. [3]

Kyselé prostředí může vést ke zhoršení vlastností betonových povrchů. Kyselé prostředí může být od nízkých koncentrací kyselin ve vodě bez přítomnosti minerálů až po vysoké koncentrace kyselin např. ve výrobních závodech. [5]

#### **4.2.1 Abraze u minerálních vod**

Hydratované vápno je jednou ze sloučenin, která vzniká spojením cementu a vody. Je snadno rozpustná ve vodě a více agresivní ve vodě s obsahem minerálů, která se často nachází v některých horských oblastech. Některé sladkovodní plochy v Rumunsku obsahují dostatek oxidu uhličitého k tomu, aby voda byla dostatečně kyselá a tím pádem více agresivní. Ve Skandinávských zemích je častým jevem napadení betonových povrchů a vnitřních povrchů potrubí, které jsou v přímém kontaktu se sladkou vodou a zároveň mají vyšší pórovitost povrchu nebo povrchové trhliny. V USA se také vyskytlo mnoho případů, kdy byl povrch betonu leptán vodou, která po povrchu tekla. Vážné poškození tímto faktem je ovšem neobvyklé. Tento druh poškození je obzvláště u vodohospodářských konstrukcí nesoucí odtok z vysokých horských potoků a vod. [5]

#### **4.2.2 Abraze vlivem kyselého prostředí**

Zdrojem kyselosti v přírodních vodách je nejčastěji rozkládající se vegetace. V některých lokalitách může být rozklad některých minerálů zdrojem kyselosti. Tekoucí voda s pH 6,5 vyluhuje vápno z betonu, snižuje jeho pevnost, činí jej poréznějším, méně odolným vůči mrazu a dalšímu vnikání chemikálií. Tenká potrubí, s malým průměrem, se během několika let provozu vlivem působení mírně kyselých vod degradují a jejich povrch je později více a více porézní. U potrubí s většími rozměry nebudou pozorovány výrazné poškození, za předpokladu dodržení minimálního krytí výztuže betonu. [5]

Vody tekoucí z rašelinových ložisek mohou mít nízké pH, až na hodnotě 5. Kyselina této síly agresivně napadá beton. Z toho důvodu, při navrhování betonových potrubí by měla být testována agresivita vody z lokality, kde bude dané potrubí použito. [5]

### 4.2.3 Opotřebením vlivem bakteriálního působení

Zkoumání vlivu bakteriálního působení na betonové povrchy se vyvinulo z důvodu velkého dopadu tohoto korozivního působení, zvláště pak na betonové kanalizační systémy. Nejčastěji se problémy s bakteriálním působením vyskytují v teplých podnebí a na konci přečerpávacího kanalizačního potrubí v severském podnebí. [5]

Bakterie, které redukuje síru patří mezi druh bakterií, které získávají energii pro své životní procesy z redukce prvků jako je dusík, síra nebo železo. Některé z těchto bakterií jsou schopné redukovat sírany, které jsou přítomny v přírodních vodách a zároveň produkovat sirovodík jako odpadní produkt. Tyto bakterie jsou anaerobní, tedy dokážou přežít bez přítomnosti kyslíku. [5]

Další skupina bakterií odebere redukovanou síru a oxiduje ji zpět za vzniku kyseliny sírové. Thiobacillus je druh bakterie, která má v důsledku vzniku kyseliny sírové nejničivější dopad na betonové povrchy. Bakterie, které oxidují síru se vyskytují všude, kde nalezneme přítomnost tepla, vlhkosti a redukované sloučeniny síry. Obecně je nutná volná vodní hladina v kombinaci s kyslíkem v odpadních vodách s nízkou rychlostí proudění, které umožňují nahromadění spodiny na stěnách potrubí, v nichž mohou bakterie růst. Než mohou bakterie produkovat sirovodík z vod bohatých na sírany, musí být splněny určité podmínky: [5]

- Přítomnost vlhkosti, aby se zabránilo vysychání bakterií.
- Dostatečné zásoby oxidu uhličitého, sloučenin kyslíku a dusíku, sloučenin fosforu, železa a dalších stopových prvků.

Nový čerstvý beton má silně alkalický povrch s pH okolo hodnoty 12. V tomto silném alkalickém prostředí nemohou přežít žádné druhy bakterií. Přirozené sycení vápna oxidem uhličitým, ve vzduchu, pomalu snižuje pH betonu na hodnotu 9 a méně. Při této úrovni zásaditosti bakterie síry Thiobacillus thioparus využívají sirovodík jako substrát a vytvářejí kyselinu thiosulfurovou a polythionovou. PH povrchu betonu neustále klesá a při pH 5 začne bakterie produkovat vysoké koncentrace kyseliny sírové, přičemž pH klesne na úroveň 2 nebo méně. Destruktivním mechanismem v korozi betonu je agresivní účinek síranových iontů na hlinitany vápníku v cementové pastě. [5]

Hlavním problémem koroze betonu v kanalizaci je proto chemický útok kyselinou sírovou, která se hromadí v kanalizaci. [5]

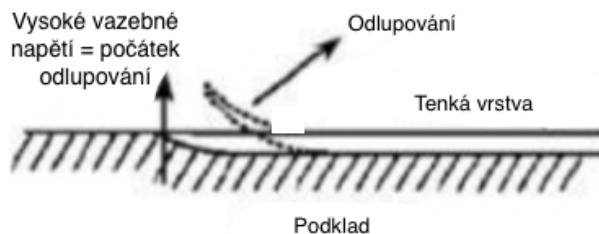
### 4.3. Opotřebení způsobené erozí

Rozrušení povrchu je procesem tření a proudění částic unášených vodou, jako je písek, horniny, štěrk, led a jiné druhy částic na povrchu betonu. Opotřebení způsobené erozí lze jednoduše rozeznat. Vytváří hladký, opotřebený povrch, kde eroze v důsledku kavitace zanechává malé trhlinky. Rychlost abraze erozí je ovlivněna hned několika faktory. [3]

První typ souvisí s charakteristikou proudění a částicemi unášenými vodou. Hlavními faktory zde jsou velikost, tvar, tvrdost a hustota částic, které jsou unášeny vodou. Dále pak rychlost proudění a úhel pod kterým voda dopadá na betonový povrch. Nejvíce náchylné k abrazi způsobené erozí jsou stavby jako mola, přehrady a všechny vodohospodářské stavby. [3]

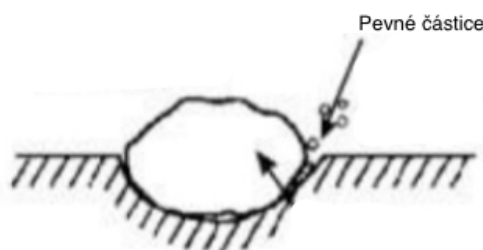
Druhý typ pak souvisí s vlastnostmi samotného betonu.

Brusný účinek částic je rozdělen do tří fází. V první fázi dochází k oděru samotnými molekulami vody. Zde závisí hlavně na rychlosti proudění a tlaku kapaliny. [3]



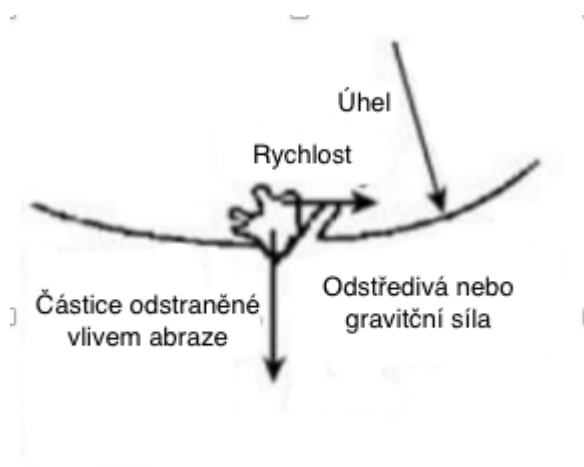
Obrázek 3 Počátek oděru, odlupování částic betonu [3]

V druhé fázi pevné částice naráží na povrch betonu a zachytávají se zde. Míra porušení betonu díky nárazům závisí hlavně na velikosti a tvrdosti částic unášených vodou. [3]



Obrázek 4 Narážení pevných částic na povrch betonu [3]

Ve třetí fázi dochází k abrazivní erozi, která je kombinací účinků tvrdosti a tvaru částic unášených vodou, rychlostí proudění. [3]



Obrázek 5 Popis abrazivní eroze [3]

## 5. Metody testování odolnosti proti abrazi proudící vodou

Problémem při studiu odolnosti betonu proti obrusu proudící vodou vystává z obtížného vytvoření správných laboratorních podmínek pro autentickou simulaci abraze, jako na reálné konstrukci vodohospodářských staveb. Výsledkem zkoušek bývá jen kvalitativní srovnání mezi testovanými vzorky, založené na poměrné ztrátě hmotnosti testovaného vzorku. [4]

Stávající literatura nám naznačuje, že metoda pískování podle ASTM C418, tak podvodní metoda podle ASTM C1138, jsou vhodné pro hodnocení odolnosti proti obrusu pod vodou. [2]

Metoda pískování není prováděna ve vodním prostředí. Jedná se o částičky křemičitého písku, které jsou unášeny vzduchem na testovaný povrch. Simulace abraze je zde ovšem velmi podobná, jako abraze, která vzniká v důsledku proudící vody. [2]

### 5.1. Podvodní metoda – ASTM C1138

Jedná se o metodu, která přímo simuluje obrus, který vzniká vlivem proudící vody s unášenými částicemi (písek, štěrka a jiné pevné látky). Právě částice způsobují největší abrazivní poškození. Tahle metoda je vhodná hlavně při testování betonů, které budou použity na vodohospodářských stavbách.

Přístroj se skládá z vrtačky, míchací lopatky, ocelové nádoby a 70 kusů ocelových brusných kuliček. [6]

Voda s ocelovými brusnými kuličkami cirkuluje v ocelové nádobě pomocí míchacích lopatek, které se otáčejí. Ocelové brusné kuličky simulují unášené částice a obrušují povrch zkušebního vzorku. Standartní test se skládá z šesti 12 hodinových cyklů. Celkem tedy 72 hodin. [6]

Nevýhodou této metody pro praxi je to, že proudění vody díky míchací lopatce není tak silné, aby se ocelové kuličky zvedly z povrchu testovaného vzorku. Kuličky vytváří pouze abrazivní účinky. Tím pádem u této zkoušky není stimulován nárazový účinek částic, jako můžeme pozorovat u reálných konstrukcí. [4]

Ze všech standardizovaných zkušebních metod poskytuje tato metoda nejvhodnější simulaci skutečných podmínek jako na reálné konstrukci. [4]



Obrázek 6 Přístroj pro testování podvodní metodou [2]

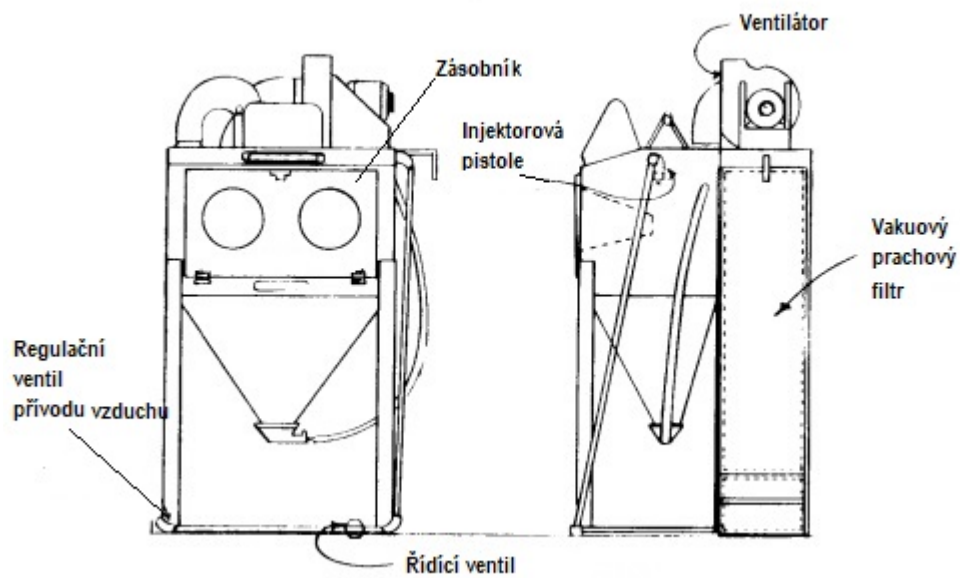


Obrázek 7 Vzorky po testování podvodní metodou [7]

## 5.2. Metoda pískování – ASTM C148

Metoda spočívá v působení křemičitého písku, který je unášený proti testovanému vzorku pomocí proudu vysokotlakého vzduchu. Vysokotlaký proud vzduchu je veden z injektorové pistole zakončené tryskou. Díky možnosti úpravy typu unášeného brusiva, vzdálenosti trysky od testovaného vzorku a velikosti použitého tlaku můžeme měnit intenzitu obrušování podle námi požadovaných vlastností. [3] [6]

Zkoušený vzorek by měl být nasycený vodou a před zkoušením povrchově osušen. Na vzorek necháme působit proud písku po dobu 60 sekund na osmi různých místech. Po zkoušení dojde k úbytku betonu. Pro stanovení obroušeného objemu se používá hlína na bázi jílu. [3]



Obrázek 8 Schéma přístroje pro metodu pískování [6]



Obrázek 9 Přístroj pro metodu pískování [1]



## 6. Metody testování odolnosti proti abrazi pojezdy kol

K měření odolnost vozovek jsou nejvhodnější metody ASTM C779 a ASTM C 944. Za vhodnou lze i označit indickou metodu IS 9284. Problém ovšem je, že všechny tyto metody umožňují pouze vyhodnocení míry kvality bez jakýchkoliv definovatelných přijatelných nebo nepřijatelných limitů a omezení. Absence standardních kritérií pro abrazi betonových povrchů brání vytvoření specifikací kvality z hlediska odolnosti proti obrusu. [2]

### 6.1. Metoda rotující frézy - ASTM C944

Metoda je určena pro testování vzorků svrchních betonových ploch a jader nebo maltových vzorků. Obrusování vzorků probíhá pomocí sloupové vrtačky, která pohání rotující frézu. Fréza je celou dobu testování pod zatížením. Zkoušení probíhá minimálně ve třech 2 minutových cyklech. Minimální počet testovaných vzorků jsou tři. Možnost regulace zatížení na frézu (normální, dvojité) a doby testování nám umožňuje zvolit vhodné parametry pro daný povrch. Vyhodnocení zkoušky je měření hloubky opotřebení v milimetrech nebo vážení průměrné ztráty hmotnosti v gramech. [8] [9]



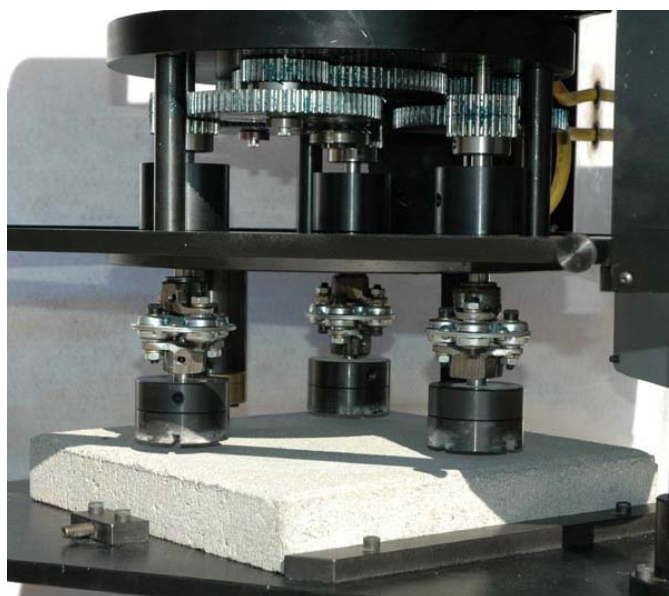
Obrázek 10 Zařízení pro metodu rotující frézy [9]

## 6.2. Zkušební metody pro vodorovné betonové povrchy ASTM C779

V normě ASTM C779 existují hned tři druhy postupů pro zjišťování odolnosti proti abrazi. Všechny tři postupy jsou možné provádět jak laboratorně, tak přímo na konstrukci.

### 6.3. Metoda rotačních disků

Rotační ocelové disky jsou poháněny elektrickým motorem a způsobují abrazi vzorku. Disky jsou napojeny na vertikální hřídel, která se otáčí kolem své osy. Z důvodu vyvození zatížení na testovaný vzorek je u každého disku pohár na olověné kuličky, které zatěžují disk. Jako abrazivo je zde použit karbid křemíku, který spadá přes nastavovací jehlu do středu vzorku. Vyhodnocení zkoušky se provádí pomocí mikrometru. Měří se hloubka opotřebení. Obvykle se na každém vzorku provádí 3 zkoušky. [6] [3]

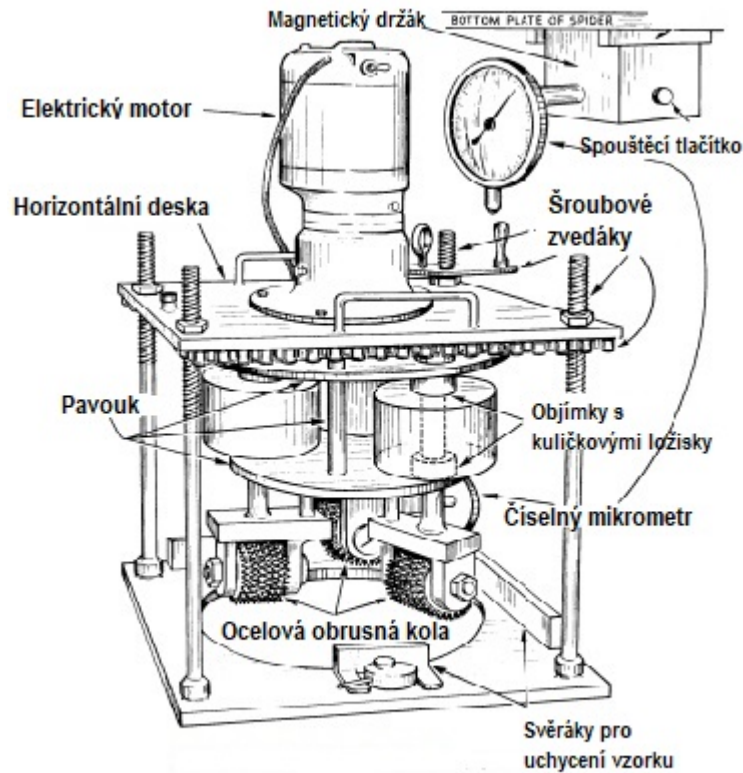


Obrázek 11 Příklad přístroje pro metodu rotačních disků [11]

### 6.4. Metoda obrusných kol

Abraze povrchu je zde způsobena třemi ocelovými koly, které rotují kolem své osy a zároveň kolem svislé ocelové hřídele. Každé ocelové kolo se skládá ze sedmi samostatnými koly s ocelovými hroty. V tomto případě nejsou použity žádné abrazivní částice. Obvykle se testují 3 vzorky. Měří se hloubka opotřebení po 30 a 60 minutách.

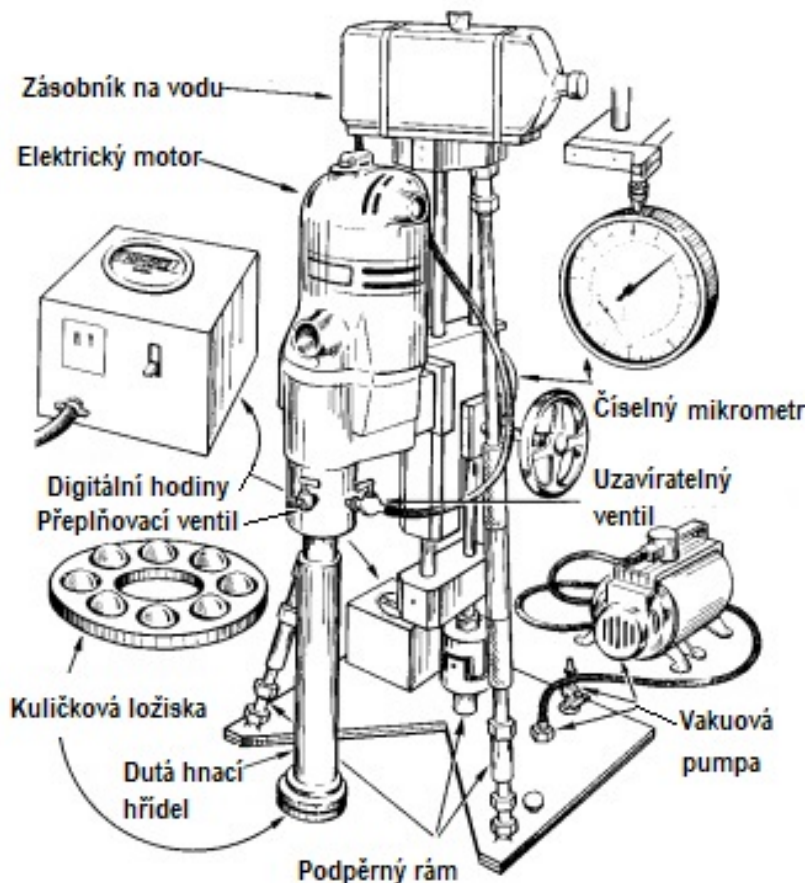
Jako výsledek zkoušky je křivka, která nám jasně ukáže průběh obrušování a to, zda je beton primárně odolnější v povrchové vrstvě, nebo až ve větší tloušťce. [6] [3]



Obrázek 12 Příklad přístroje pro metodu obrusných kol [6]

### 6.5. Metoda kuličkového ložiska

Metoda s kuličkovým ložiskem spočívá na působení osmi rychle rotujících kuličkových ložisek na mokré ploše betonu. Voda je zde použita z důvodu neustálého vyplachování volných částic, které jsou v kontaktu s obrusnou plochou. Hloubka obrusu se dá odečítat v průběhu testování bez zastavení přístroje. Doba trvání každého testu je 20 minut. Odečty hloubky opotřebení se provádí každých 50 sekund. Zkouška je ukončena ve chvíli, kdy je dosaženo maximální hloubky abraze, která je 3,0 mm. Obvykle se provádí tři zkoušky na daném testovaném betonu. Vyhodnocení zkoušky jsou opět křivky, které nám jasně řeknou, zda je beton více odolnější na povrchu, ve větší tloušťce nebo rovnoměrně odolný. [6] [3]

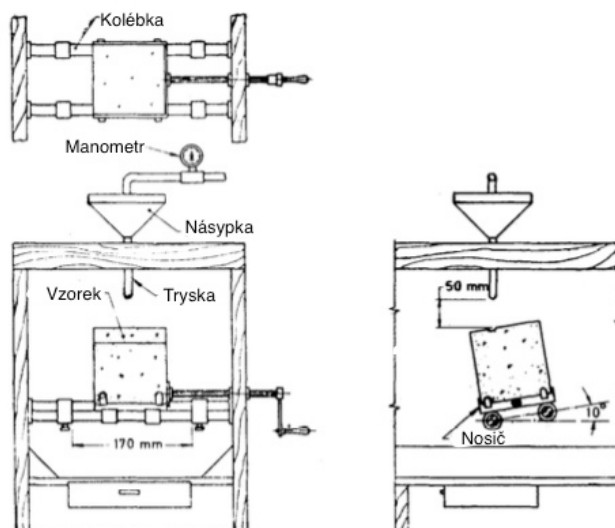


Obrázek 13 Příklad přístroje pro metodu kuličkového ložiska [6]

### 6.6. Metoda zkoušení obrusu dle IS 9284

Tato metoda popisuje zkoušku, která se k testování proti obrusu používá hlavně v Indii. Metoda je ve simulaci obrusu hodně podobná metodě pískování

(ASTM C148). Zkušební vzorek je zde betonová kostka o rozměrech 100 x 100 mm. Zkušební přístroj se skládá z pneumatické tryskající skříně, ocelové trysky, kuželové násypky, manometru a kompresoru s regulací tlaku. Na betonový povrch zde působí křemičitý písek, který je unášen stlačeným vzduchem. Dochází k obrusu kostek a výsledná ztráta hmotnosti se považuje za úbytek hmotnosti vlivem abraze. [11]



Obrázek 14 Schéma přístroje dle IS 9284 [11]

### 6.7. Zkouška „Prall test“

Tato metoda původně pochází z USA a aktivně se používá hlavně ve Švédsku k predikci opotřebení asfaltových a betonových vozovek v důsledku pojezdu pneumatik s hroty. Vzorek se nejprve umístí do malé komory. Komora se následně pohybuje směrem nahoru a dolů rychlostí 950 otáček za minutu. Uvnitř komory se nachází ocelové kuličky, které při pohybu odráží od stěn komory a naráží na povrch, čímž ho obroušují. Skrze komoru cirkuluje voda o teplotě 5 °C, která vyplachuje obroušené částičky povrchu z komory. Výsledná hodnota „Prall“ je definovaná jako ztráta objemu materiálu. [12]

Tabulka 1 Hodnocení výsledků [12]

Ztráta objemu [cm <sup>3</sup> ]	Odolnost proti obrusu
<20	Velmi dobrá
20–29	Dobrá
30–39	Uspokojivá
40–50	Méně uspokojivá
> 50	Špatná



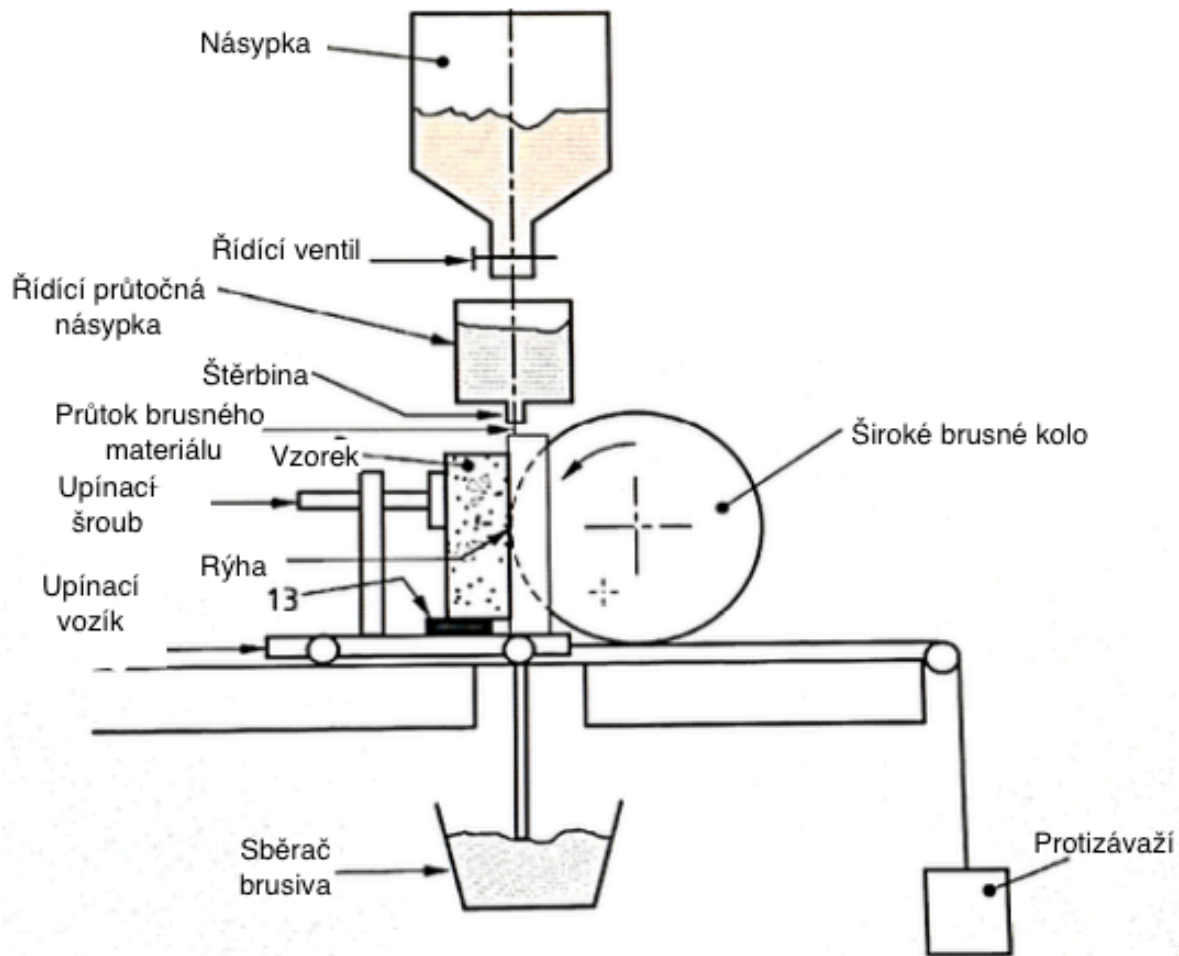
Obrázek 15 Testovací komora naplněná ocelovými kuličkami [12]



Obrázek 16 Komora připravená k testování [12]

#### **6.8. Metoda širokého kola dle ČSN EN 1338, ČSN EN 1339, ČSN EN 1340**

Výsledkem zkoušení je šířka rýhy v testovacím vzorku. Rýha vznikne obrušováním pomocí širokého kola. Testovací vzorek má rozměry 100 x 70 mm. Před zahájením zkoušení se vzorek očistí a natře barvou z důvodu snadnějšího zjišťování šířky rýhy. Poté se testovaný vzorek upne do přístroje tak, aby byl vzorek v kontaktu s brusným kolem. Jako abrazivum je zde použit korund, který se nachází v násypce přístroje. Jeden cyklus se skládá z 75 otáček širokého kola. Poté se pomocí digitálního měřidla zjišťuje šířka rýhy. Provedou se tři měření tloušťky, s přesností na 0,1 mm. Na každé straně zkušebního tělesa je možné provést dvě měření. [13] [14] [15]



Obrázek 17 Přístroj pro metodu širokým kolem [13] [14] [15]

## 7. Metody testování odolnosti kameniva proti abrazi

Kvůli pohybu dopravy je kamenivo použité v povrchové vrstvě vozovek vystaveno neustálému namáhání. Odolnost proti obrusu a tvrdost je proto nezbytnou vlastností kameniv použitých pro tento účel. Kamenivo by tedy mělo mít dostatečnou tvrdost, aby odolalo obrusu způsobeného provozem. Při provozu na silnicích, původní částice přítomné mezi koly a povrchem vozovky způsobují obrus povrchu. Z tohoto důvodu se laboratorně provádějí zkoušky, aby se otestovala vhodnost kameniva pro použití na vozovkách. [16]

### 7.1. Skandinávská obrusná zkouška

Principem zkoušky je otáčení vzorků v bubnu spolu s ocelovými obrusnými kuličkami a vodou. Rychlost otáčení se většinou volí na 90 otáček za minutu.

Degradace kameniva se jako procento jemnějšího než 2 mm ztraceného během zkoušky. Vyhovující hodnota pro kamenivo by měla být menší nebo rovna hodnotě 7,5. [12]



Obrázek 18 Zařízení na skandinávskou obrusnou zkoušku [12]



Obrázek 19 Pohled do bubny přístroje před testováním [12]

## 7.2. Abrazivní zkouška Los Angeles

Principem obrusu u metody Los Angeles je zjistit procentuální opotřebení v důsledku relativního tření mezi kamenivem a ocelovými obrusnými kuličkami. Jedná se o nejvíce vhodný test k testování vhodnosti kameniva, protože při testování dochází k poškození kameniva obrušováním i rázem. Navážka testovacího kameniva bývá obvykle 5000g. Výsledkem zkoušky je procentuální ztráta hmotnosti kameniva. Čím vyšší výsledná hodnota, tím je kamenivo méně odolné. Zda kamenivo vyhovuje nebo nevyhovuje se liší u každé normy v řádu procent. [16] [17]

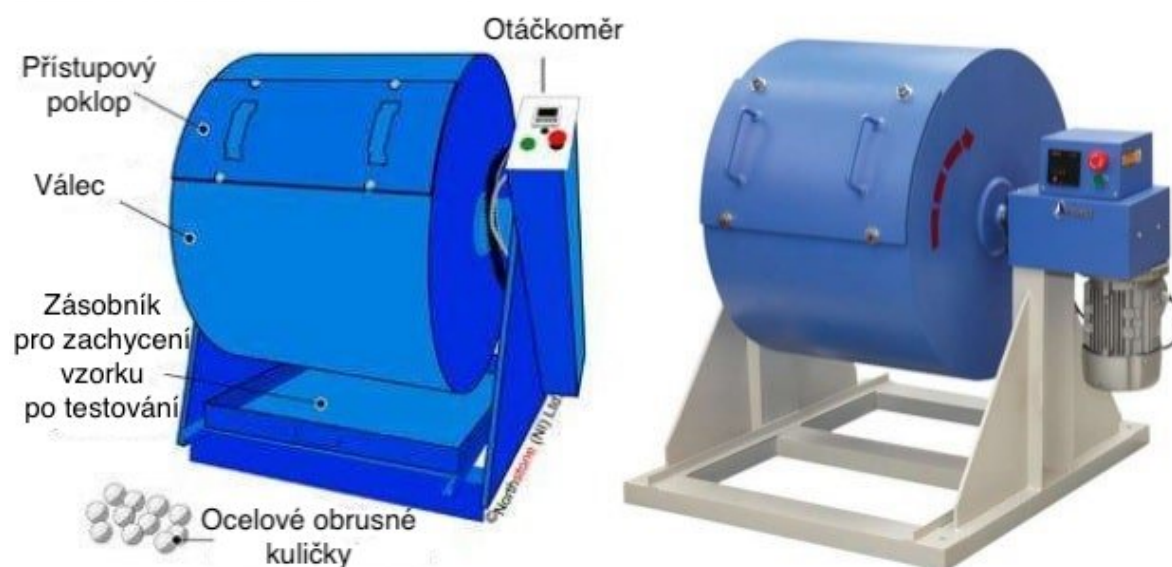
Přístroj se skládá z dutého ocelového válce uzavřeného na obou koncích. Válec je namontovaný na hřídeli, aby se mohl otáčet kolem vodorovné osy. Otvor pro



vkládání vzorku je opatřen prachotěsným krytem. Ve vnitřním ocelovém plášti je namontovaná ocelová police, která umožňuje [16] [18]

Tabulka 2 Průměrné ztráty hmotnosti pro jednotlivé druhy kameniva [18]

Hornina	Ztráta hmotnosti [%]
Čedič	10–17
Dolomit	18–30
Rula	33–57
Žula	27–49
Vápenec	19–30
Křemenec	20–35



Obrázek 20 Zařízení pro metodu Los Angeles [18]

## 8. Vliv kameniva na odolnost betonu proti abrazi

Kamenivo zabírá přibližně 75% objemu betonu, to jasně ukazuje důležitost vlastností kameniva v konstrukci. [3]

Na základě vlastností hrubého kameniva se liší hlavně pevnost betonu a další vlastnosti betonu. Odolnost proti obrusu je nejvíce ovlivněna tvrdostí hrubého kameniva. Mechanické a chemické vlastnosti hrubých kameniv se v jednotlivých oblastech významně liší. [2]

Speciálně u vodohospodářských staveb, které se většinou nacházejí v kopcovitém, těžce dostupném terénu nastává problém. Důvod je ten, že obvykle se

musí používat kamenivo z dané lokality, a ne všechny kameniva mají příznivé vlastnosti. [2]

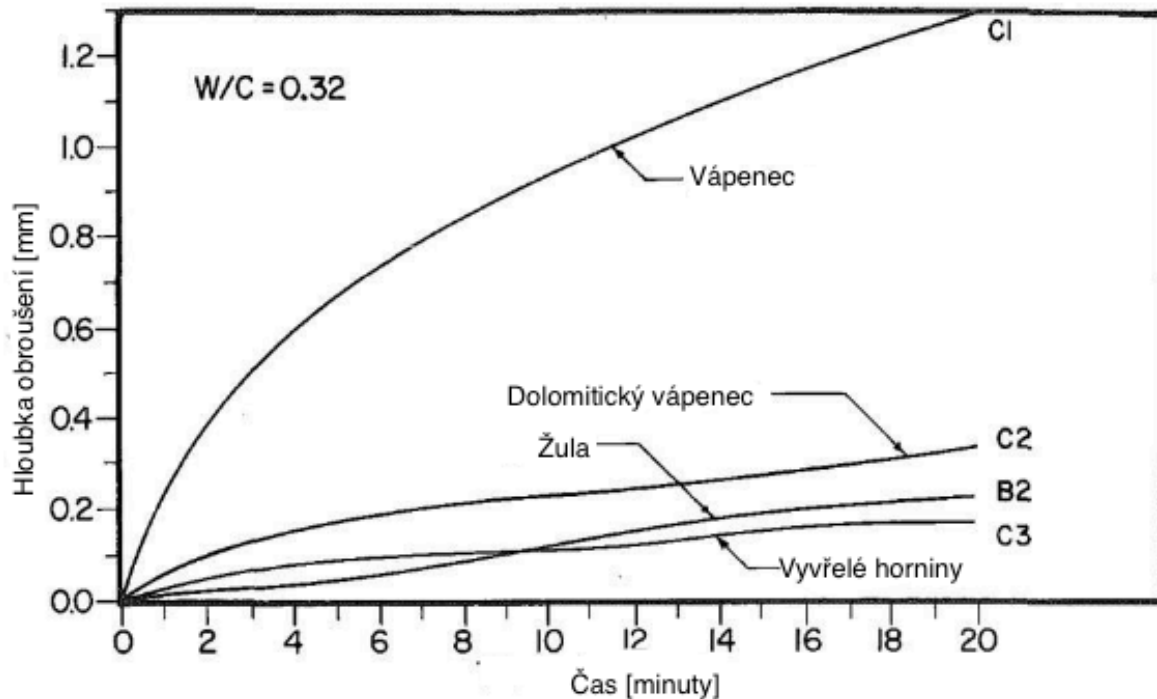
Obrusné vlastnosti kameniva se posuzují ve spojitosti se zkouškou Los Angeles. Zkouška se používá v různých normách po celém světě. Většina studií je ovšem zaměřena na odolnost kameniva proti obrusu při použití na průmyslových podlahách a dlažbách nikoliv ve spojitosti s vodním prostředím. [2]

Vědec Gencel s kolektivem v roce 2011 uskutečnili studii o vlivu železitých kameniv na odolnost proti obrusu. Hematit byl ve studii použit jako náhrada vápencového kameniva v betonu. Významná vlastnost hematitu je jeho Mohrsova tvrdost, která je o několik jednotek vyšší než u vápencového kameniva. Vzorky byly rozděleny do pěti skupin s různým množstvím cementu a různým obsahem hematitu. Jako testovací metoda byla vybrána turecká zkouška TS699, což je obdoba ČSN EN 13892–3. Výsledek studie lze shrnout: [2]

- 15% přídavek Hematitu se ukazuje jako optimální dávka
- Vyšší obsah cementu a nižší volní součinitel vedou k vyšší pevnosti v tlaku
- Obě zjištěné skutečnosti vedou ke zlepšení odolnosti betonu proti abrazi

Podle vědce Liu jsou velikost kameniva a kvalita vazby mezi cementovým tmelem a kamenivem hlavními faktory v odolnosti proti obrusu. Hrubé zrno kameniva v blízkosti betonové povrchu je často vytrženo vlivem proudící vody s unášenými částicemi písku, což vytváří na povrchu dutinu. Následně se stěna dutiny protrhne vlivem vířícímu účinku tlaku písku a vody, což vede k vyšší povrchové abrazi. Pokud je maximální zrno kameniva větší než 13 mm, zvyšuje se odolnost proti obrusu. Pokud je ovšem maximální zrno kameniva menší než nebo rovno 5 mm, odolnost proti obrusu se snižuje. [2]

Vědec Leplante a kolektiv testovali v roce 1991 čtyři typy kameniva s podobným složením betonu, shodným vodním součinitelem a přídavkem oxidu křemičitého. Každé kamenivo bylo charakterizováno z hlediska pevnosti v tlaku, modulu pružnosti a odolnosti proti obrusu metodou Los Angeles. [2]

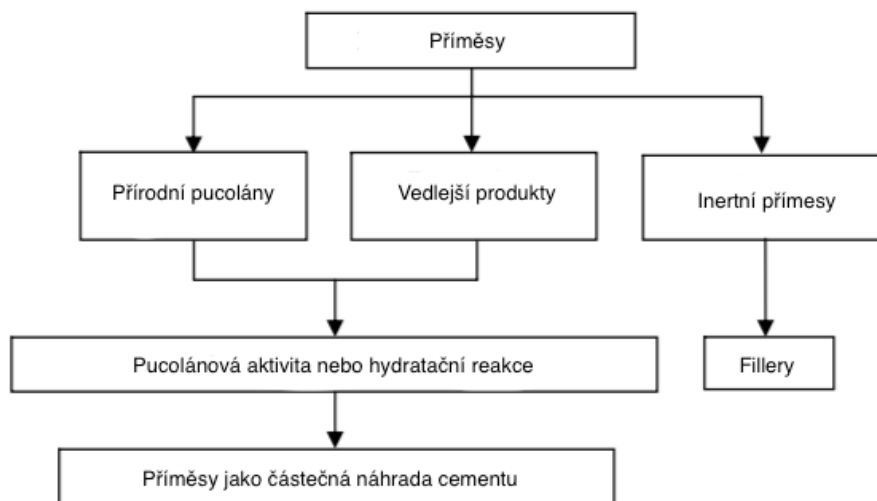


Graf 1 Vliv hrubého kameniva na odolnost proti obrusu [2]

Z grafu jde jasně vidět že, žula a vyvřelé horniny dosahovali vysoké odolnosti proti obrusu ve srovnání s vápencovým kamenivem. [2]

## 9. Vliv příměsí na odolnost betonu pro abrazi

Příměsi se často používají jako částečná náhrada cementu s cílem zlepšení mechanické vlastnosti nebo trvanlivost. Dalším důvodem je snížení ceny cementu při částečné náhradě. [1]



Obrázek 21 Klasifikace příměsí [1]

Přírodní pucolány jsou většinou látky vulkanického původu nebo sedimentární horniny vhodného chemického i mineralogického složení.

Vedlejší produkty jsou většinou popílek, struska a energo sádrovec. Příměsi přispívají k vlastnostem betonu pomocí pucolánové aktivity nebo podpoření hydratační reakce. Úroveň náhrady cementu se liší od méně než 10% až do více než 50%, v závislosti na povaze příměsi. [1] [19]

Inertní příměsi jsou látky, které bez přítomnosti budičů nereagují. Obecně zlepšují reologické vlastnosti čerstvého betonu a k dosažení méně pórovitého struktury betonu. Můžou mít i pouze estetický efekt. Patří sem barevné pigmenty, mikro mletý vápenec a kamenná moučka. [19]

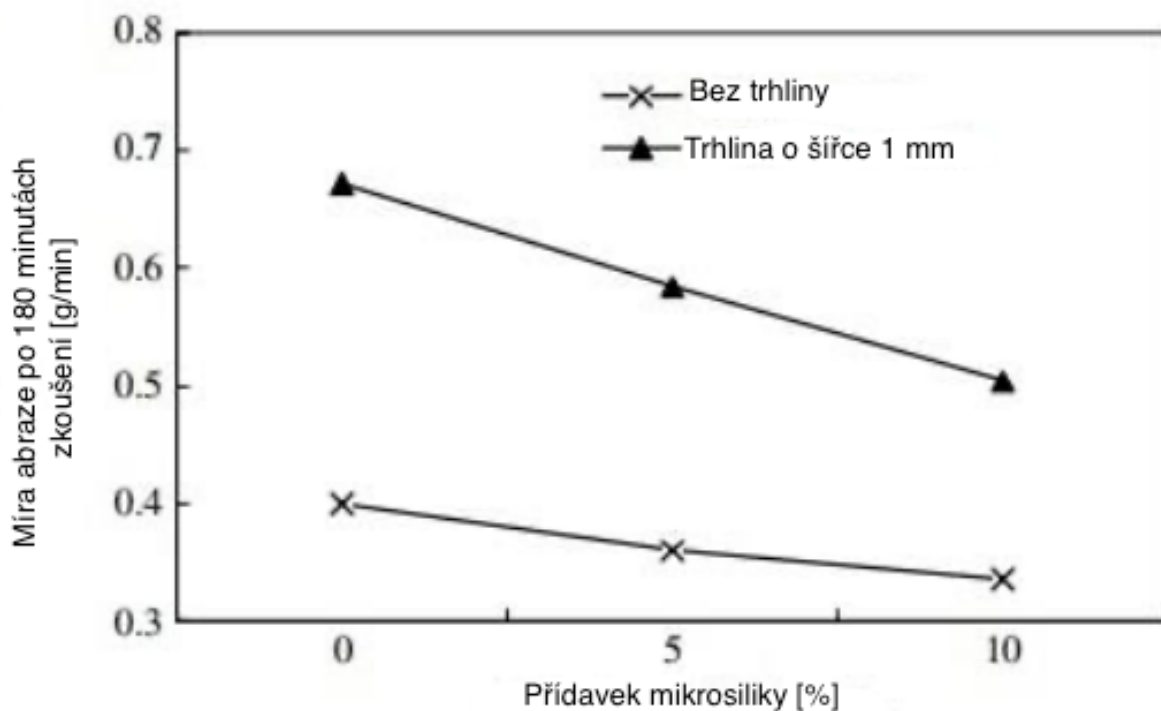
### **9.1. Mikrosilika**

Cílem mikrosiliky v betonu je zlepšení vlastností, jako jsou pevnost, trvanlivost, zpracovatelnost a propustnost. Z toho důvodu je velmi vhodné použití mikrosiliky do konstrukcí, které jsou namáhány abrazí. Zvýšená odolnost proti abrazi je z nejvyšší míry zvýšením pevnosti vazby mezi kamenivem a cementovou maltou. [1] [2]

Mikrosilika je vysoce reaktivní pucolán a při použití v betonových konstrukcích reaguje s hydroxidem vápenatým a vytváří další hydrát vápníku. Tato reakce zvyšuje mechanické vlastnosti cementu, což má za následek pevnější, hutnější a méně propustné povrchy. Vzhledem k vysoké hustotě své mikrostruktury je mikrosilika vysoce účinná při snižování propustnosti pro pronikání vody a chloridů. [1] [2]

Kombinace mikrosiliky a ocelových vláken zvyšuje pevnost v tlaku, tahu, rázovou houževnatost povrchu a pomáhá k lepšímu spojení mezi vlákny a cementovým tmelem. Všechny zmíněné vlastnosti ve finále vedou ke zlepšení odolnosti betonu proti abrazi ač už přímo nebo nepřímo. [1]

Vědec Liu a kolektiv v roce 2006 studovali vliv mikrosiliky na odolnost proti abrazi betonu. Zkoušeli dvě betonové směsi s použitím 5 a 10 % mikrosiliky a stejným vodním součinitelem. [2]



Graf 2 Závislost přídavku mikrosiliky a míry abraze [2]

Z grafu lze jednoznačně pozorovat, že s přídavkem mikrosiliky klesá míra poškození abraze betonu. Přídavek mikrosiliky tedy jasně zvyšuje odolnost betonu proti abrazi, z důvodu pevnější vazby mezi kamenivem a cementovým tmelem. [2]

## 9.2. Popílek

Popílek je vedlejší produkt, který vzniká v tepelných elektrárnách při spalování tuhých paliv. Je to jemný prášek s šedou až černou barvou. Fyzikálně–chemické vlastnosti popílku a následná možnost jejich použití závisí na mnoha faktorech, jako jsou: [20] [21]

- Druh spáleného paliva
- Stav spalování
- Rychlost chlazení
- Technologie odsiřování plynů

Kromě typického popílku získaného spalováním černého nebo hnědého uhlí se vyrábějí také nové druhy, které jsou směsí produktů současného spalování uhlí a odsiřování plynů (popílek v kombinaci s produkty suchých způsobů odsiřování a popílek z fluidních loží). [2] [20]

Základní rozdělení popílku je podle teploty, při které se spaluje: [21]

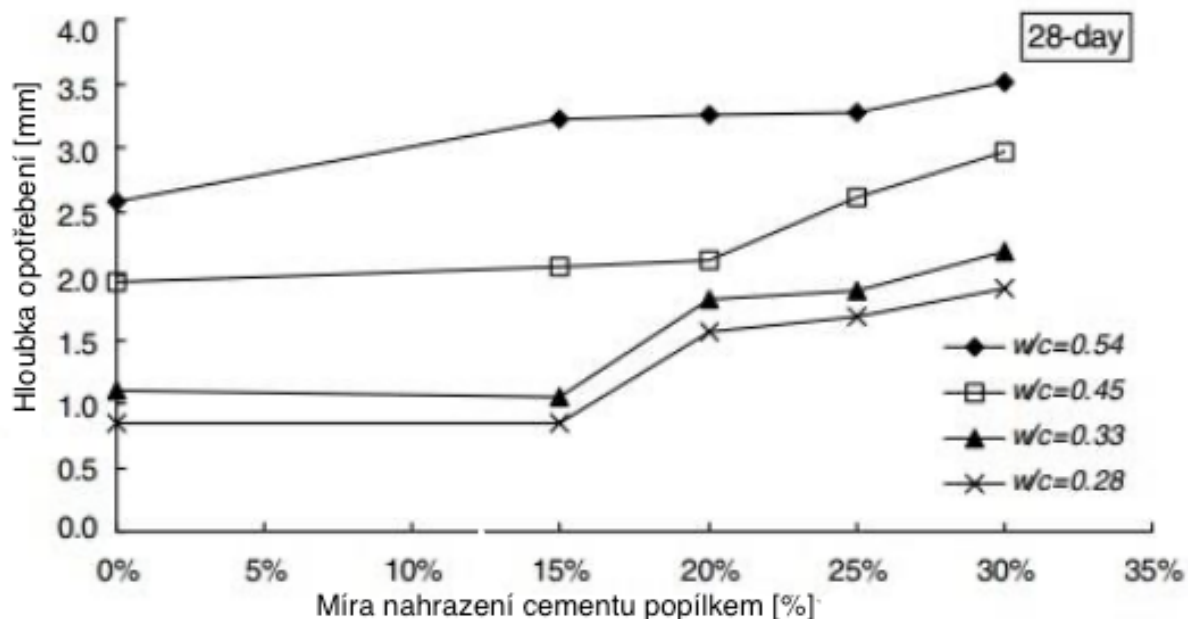
- Vysokoteplotní – klasické spalování při teplotě 1100–1300 °C
- Nízkoteplotní – fluidní spalování při teplotě 850 °C

Popílek z fluidních loží je směsí produktů odstraňování popela z výfukových plynů, a proto často obsahuje velká množství oxidu sírového a oxidu vápenatého. Vytváří částice s nepravidelnými morfologiemi ve tvaru lískových vloček na rozdíl od kulovitých v klasickém popílku. Navzdory dobré vazebné schopnosti fluidní popílek nesplňuje kritéria stanovená v evropských normách a USA standardech, pokud jde o minerální přísady do cementu a betonu. [20]

Přídavek popílku vede ke zvýšení odolnosti proti obrusu, pevnosti v tlaku, chemické odolnosti a snížení míry smrštění betonu. Odolnost proti obrusu zde roste se stářím betonu. Použití popílku se doporučuje zvláště u masivních konstrukcí, protože snižuje množství a rychlost uvolňovaného tepla během hydratace, což snižuje riziko vzniku trhlin. [20] [21]

Vědec Naik a kolektiv v roce 1993 zkoumali vliv popílku třídy C (z hnědého uhlí) na odolnost vysokopevnostního betonu proti obrusu. Ve studii použili pět receptur s různým procentuálním nahrazením cementu (15, 30, 40, 50 a 70%) popílkem typu C. Výsledek zkoušení ukázal, že 30% nahrazení cementu popílkem vykazovalo podobnou odolnost proti obrusu jako betony bez popílku. S vyšším procentem nahrazení (40, 50 a 70) se ovšem hodnoty odolnosti proti obrusu snižovali. Proto jako závěr studie plyne, že optimální hodnota náhrady cementu popílkem je 30%. [2]

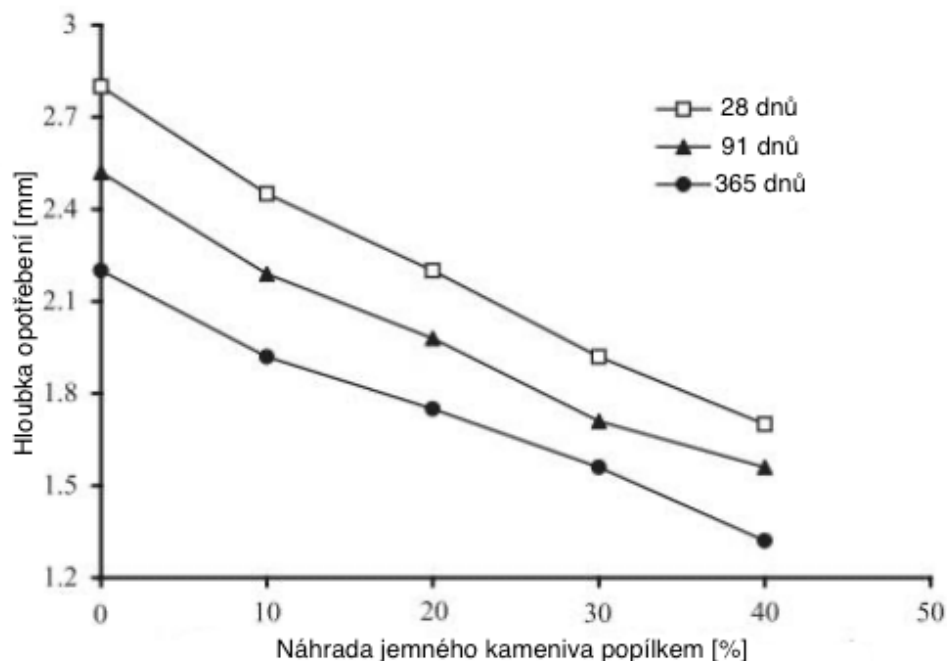
V rozporu s výše popisovanou studií zkoumali vědci Yen a kolektiv v roce 2007 podobné vlastnosti na vysokopevnostních betonech. Použili náhradu cementu popílkem třídy F (z černého uhlí) v procentuálním zastoupení 15, 20, 25 a 30%. [2]



Graf 3 Závislost obsahu popílku a hloubky opotřebení po 28 dnech [2]

Z grafu můžeme pozorovat, že odolnost vzorků proti obrusu se od 15% s rostoucím obsahem popílku snižuje. [2]

Vědec Siddique v roce 2003 provedl podobný výzkum s 10, 20, 30 a 40% popílku třídy F jako náhradu za jemné kamenivo v betonu. Na rozdíl od jiných výzkumů byl závěr studie takový, že se zvyšujícím se obsahem popílku rostla i odolnost betonu proti abrazi. Grafické znázornění můžeme pozorovat níže. [2]



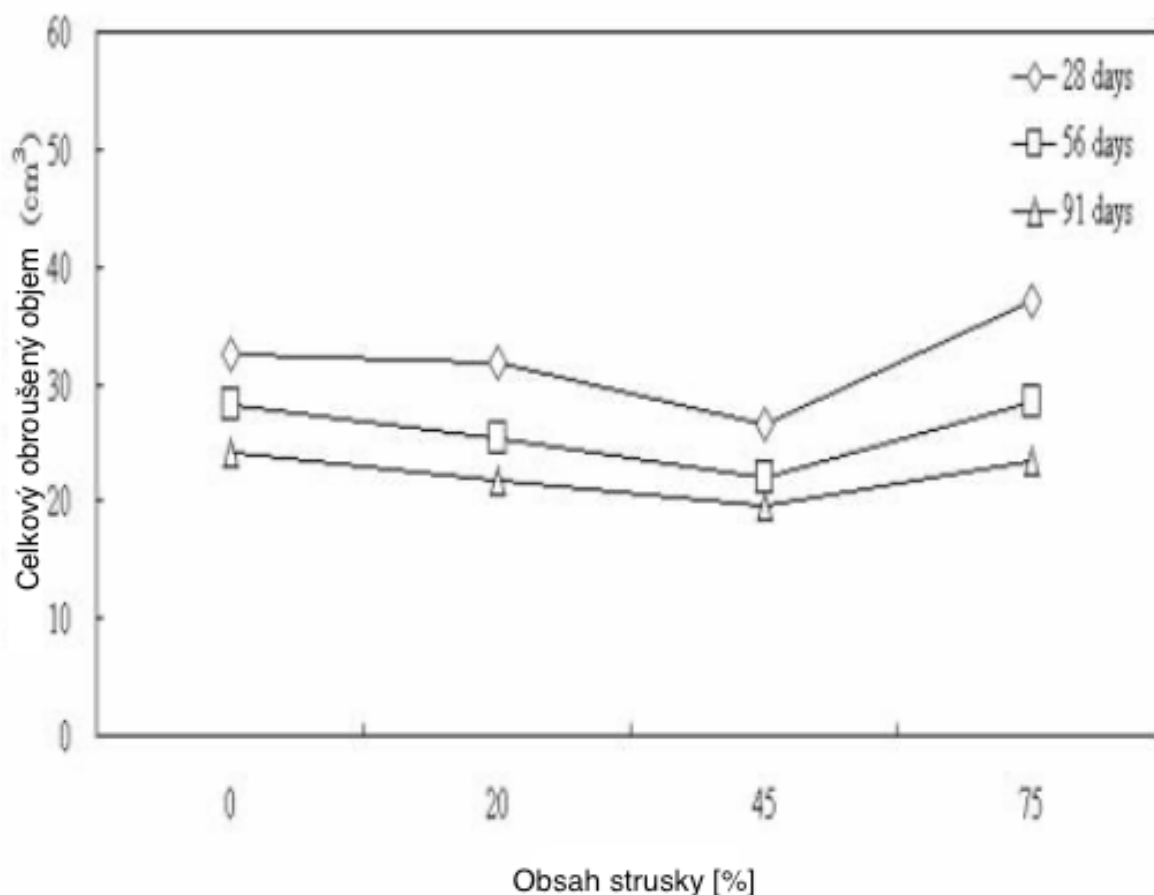
Graf 4 Závislost hloubky opotřebení a náhradou kameniva popílkem [2]

Studie z roku 2007 od vědce Siddique můžeme pozorovat opět rozdílný výsledek. Ve svém studii použil betonovou směs s vysokým obsahem popílku vyrobené s náhradou cementu 35, 45, 55 a 65%. Výsledky zkoušek ukázaly, že beton obsahující popílek v množství 35% vykazoval podobnou odolnost proti obrusu jako kontrolní směs bez přídatku popílku ve věku 28 a 365 dnů. [2]

Z výše popsanych studií je jasné, že daná problematika není dostatečně prozkoumána a je třeba dalšího výzkumu ke sjednocení výsledků a vyvození jasných předpokladů pro zvýšení odolnosti betonu proti abrazi s použitím popílku.

### 9.3. Vysokopeční struska

Vědec Wu a kolektiv v roce 2006 zkoumali vliv vysokopeční strusky na odolnost betonu proti abrazi. Ve studii bylo použito pět různých vodních součinitelů a čtyři obsahy strusky (0, 20, 45, 75 %). [22]



Graf 5 Závislost mezi celkovým obroušeným objemem a obsahem strusky [19]

Z grafu můžeme pozorovat závislost mezi celkovým obroušeným objemem a obsahem strusky v závislosti na stáří vzorku. Beton obsahující 45 % strusky dosahuje



nejlepších výsledků. Bohužel, ale nemůžeme jednoznačně říct, že je to jen z důvodu přídavku strusky, protože pro všechny betonové směsi byl použit rozdílný vodní součinitel. [2] [22]

## **10. Vliv přídavku vláken na odolnost betonu pro abrazi**

Vlákný vyztužený kompozity jsou definovány jako kompozity obsahující relativně krátká, oddělená nespojitá vlákna. Existují čtyři kategorie: [1]

- Ocelová vlákna
- Skleněná vlákna
- Syntetická vlákna
- Přírodní vlákna

V posledních letech se používání vláken stává častější. Používají se hlavně ocelová, polypropylenová, skleněná, uhlíková a celulózová vlákna. Nejčastější jsou ovšem ocelová. Výhody vláken jsou: [1]

- Zamezení vzniku trhlin v plastickém stavu betonu
- Zvýšení pevnosti v tahu, ohybu
- Zvýšení rázové houževnatosti

### **10.1. Ocelová vlákna**

Vlastnosti ocelových vláken se odvíjejí od jejich tvaru, délky, povrchové struktury a poměrem stran. Vysoký poměr vláken vede ke zhoršení zpracovatelnosti betonové směsi. Jako optimální poměr ocelových vláken se podle studií ukazuje hodnota 2 %. [1]

Selhání kompozitu se může stát ze dvou důvodů:

- Roztržení vláken
- Vytrhnutí vláken z cementového tmelu

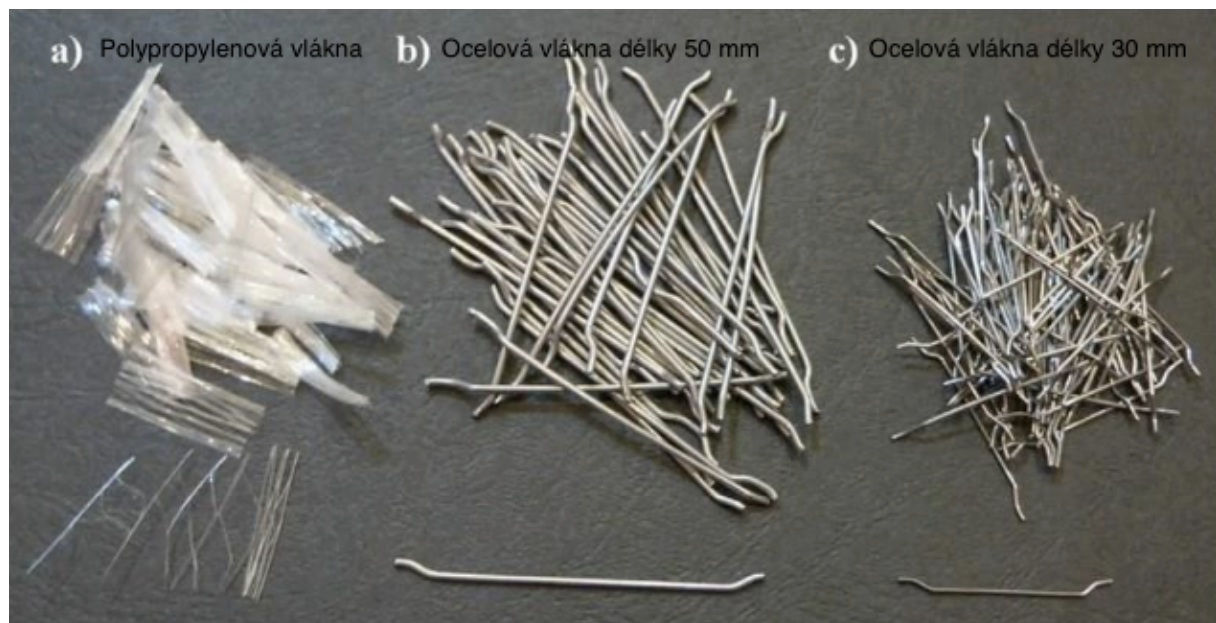
Při použití vláken se zahnutými konci zajistíme nejlepší možné spojení mezi vlákny a cementovou matricí. [1]

## 10.2. Polyolefinová vlákna

Jedná se o poměrně nový komerční produkt. Polyolefinová vlákna umožňují použití velkého množství objemu vláken bez shlukování vláken a s minimálním dopadem na zpracovatelnost výsledné betonové směsi. Nezvyšují nějak výrazně pevnost v tlaku a ohybu, ale ovlivňují chování betonu po jeho porušení. Kromě toho narůstá rázová houževnatost. Ukázalo se, že přidavkem polyolefinových vláken se zvýší pevnost v ohybu ž o 13 % a sníží se vznik a šíření trhlin až o 70 % v porovnání s nevyztuženým betonem. Dále rázová houževnatost kompozitů s polyolefinovými vlákny dosahuje až dvojnásobných hodnot oproti kompozitům s ocelovými vlákny. [1]

## 10.3. Další studie zabývající se přidavkem vláken

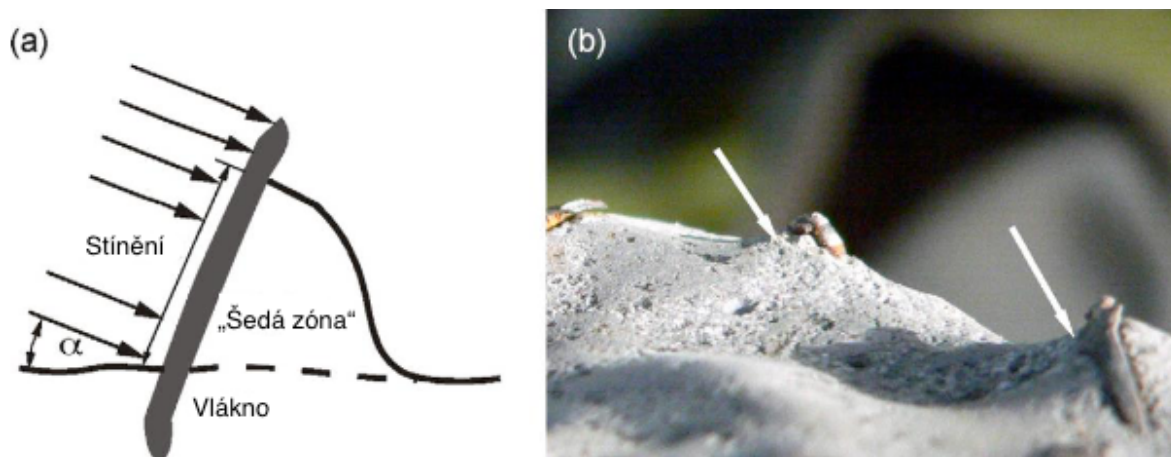
Vědec Horszczaruk v roce 2009 zkoumal ve své studii odolnost proti obrusu betonu vyztužený vlákny a vysokopevnostní beton. Použity byly tři typy vláken – ocelová vlákna o délce 30 a 50 mm a polypropylenová o délce 19 mm. Jako zkušební metoda byla zvolena ASTM C 1138 – Podvodní metoda. [2]



Obrázek 22 Použitá vlákna do betonu [2]

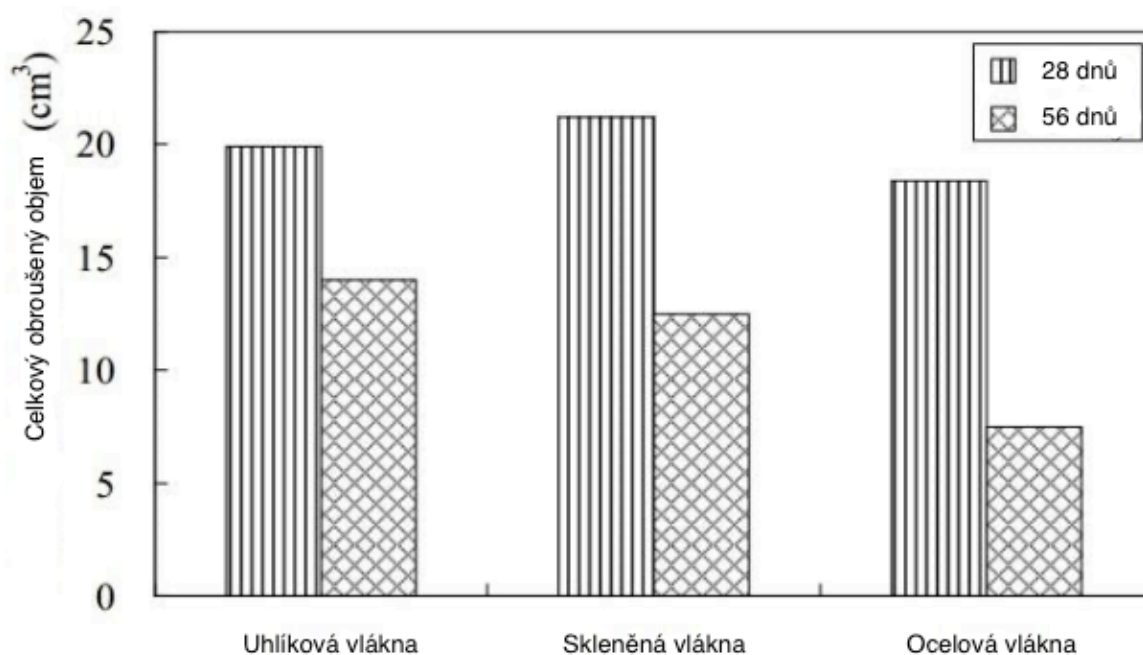
Výsledek studie ukazuje, že nejlepší odolnost proti obrusu měl beton s vlákny s délkou 50 mm. Dále beton s polypropylenovými vlákny dosahoval lepší odolnosti proti

obrusu než beton bez vláken. V této studii byl navíc pozorován zajímavý efekt, který byl nazván „Stínová zóna“. Jedná se o to, že vlákno chrání beton proti obrusu. Tento jev byl zaznamenán nejvíce u vláken, která byla orientovaná kolmo k povrchu betonu. Vlákná, která jsou paralelně neposkytovala stejnou ochranu. [2] [23]



Obrázek 23 Efekt stínové zóny [23]

Vědec Wu a kolektiv v roce 2008 zkoumali vliv tří typů (uhlíková, skleněná a ocelová) vláken na odolnost proti obrusu. Pro všechny směsi byl stanoven konstantní vodní součinitel. Dále byla použita různá procentuální zastoupení vláken. Uhlíková 1 %, ocelová a skleněná shodně 0,5; 1,0; 1,5 %. Pro studii byly zvoleny dva druhy testovacích postupů – vysokorychlostním vodním paprskem s abrazivem a podvodní metoda dle ASTM C 1138. [2]



Graf 6 Porovnání jednotlivých vláken a celkového obroušeného objemu [2]

Z grafu můžeme jasně vidět výsledek studie. Beton s ocelovými vlákny vykazuje nejmenší obroušený objem materiálu. Autoři se dále zmiňují o tom, že beton s různým množstvím vláken (0,5 – 1,5 %) stáří 26 a 58 dnů vykazuje téměř totožné abrazivní úbytky, z čehož lze vyvodit závěr, že obsah vláken má zanedbatelné účinky na odolnost proti obrusu. [2]

## **11. Faktory ovlivňující odolnost proti obrusu**

Odolnost proti obrusu ovlivňuje spousta faktorů, které musí být brány v potaz. Dají se rozdělit na dva druhy: [3]

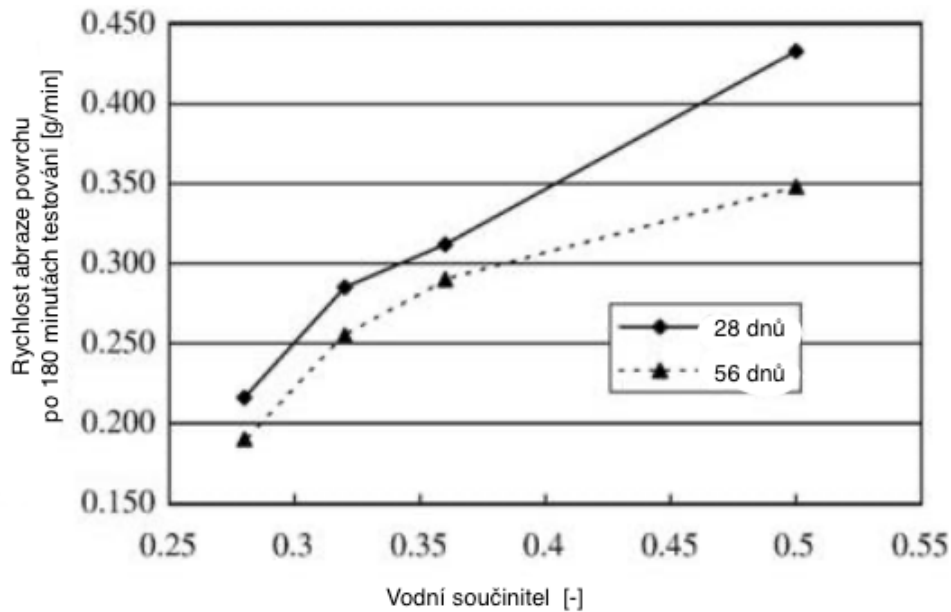
- Faktory, které se vztahují k vlastnostem betonu a betonové směsi
- Faktory, které se vztahují k okolnímu prostředí

### **11.1. Faktory, které se stahují k vlastnostem betonu a betonové směsi**

#### **11.1.1 Poměr hmotnosti vody a cementu – vodní součinitel (w/c)**

Jedná se o základní kritérium, které definuje pevnost betonu. Betony s nízkou hodnotou budou dosahovat vyšších pevností a vyšší odolnosti proti obrusu, díky nízké pórovitosti a silnější vazbě mezi cementový tmelem a kamenivem. Naopak betony s vyšší hodnotou vodního součinitele budou mít sice lepší zpracovatelnost, ale díky použití vyššího množství vody bude vytvrzený cementový tmel více porézní, což snižuje pevnost betonu. [3] [24]

V současnosti bylo provedeno několik výzkumů zabývajících se vlivu vodního součinitele na odolnost betonu proti abrazi. Vědci Liu, Yen a Hsu v roce 2006 zkoumali odolnost proti obrusu v závislosti na různých hodnotách vodního součinitele – 0,50; 0,36; 0,32 a 0,28. Jako testovací metodu použili vysokorychlostní vodní paprsek s abrazivem v podobě písku. Výsledkem studie bylo zjištění, že odolnost proti obrusu je nepřímo úměrná vodnímu součiniteli. Grafická závislost je k vidění v grafu. [3] [24]



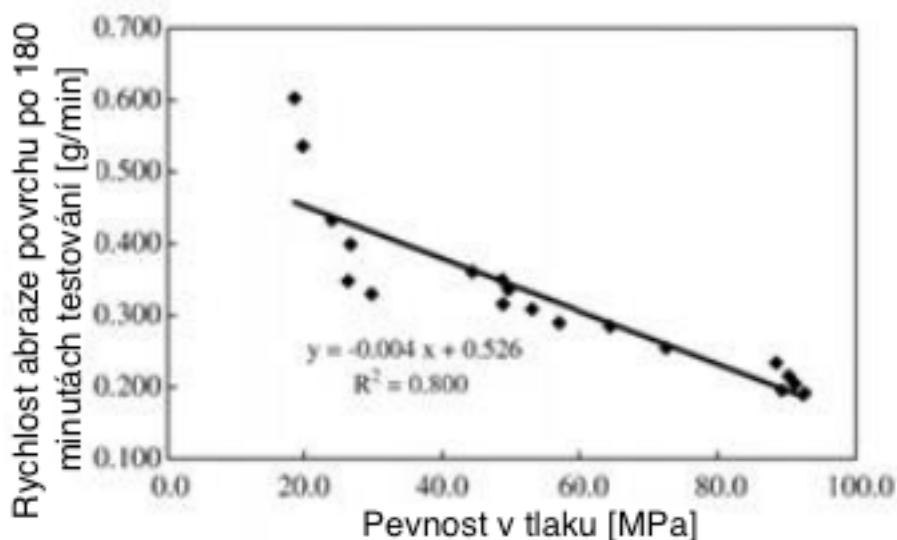
Graf 7 Závislost vodního součinitele na rychlosti abraze [3]

Z grafu můžeme jasně pozorovat skutečnost, že čím nižší vodní součinitel, tím vyšší je odolnost betonu proti abrazi. Důvod toho jevu je, že při nižší hodnotě vodního součinitele bude cementová matrice hutnější a vazebné síly mezi kamenivem a cementovou pastou budou silnější. Tyto vlastnosti vedou přímo ke zvýšení odolnosti betonu proti abrazi. Dále můžeme předpokládat lepší odolnost s rostoucím stářím betonu. [3] [24]

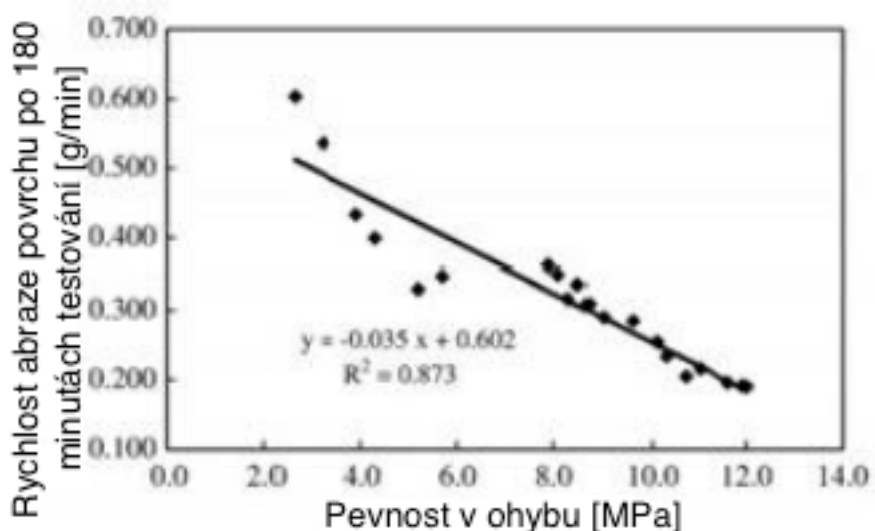
### 11.1.2 Závislost pevnosti v tlaku a odolnosti proti abrazi

Pevnost v tlaku je jedna ze základních vlastností a ukazatelů u betonových konstrukcí. Tato závislost byla proto zkoumaná hned několika studiemi.

Vědec Liu a kolektiv v roce 2006 porovnávali závislost pevnosti v tlaku a ohybu s mírou abraze betonových vzorků. Jako testovací metodu zvolili vysokorychlostní vodní paprsek s abrazivem v podobě písku. [3]



Graf 8 Závislost mezi pevností v tlaku a rychlostí abraze [3]



Graf 9 Závislost mezi pevností v ohybu a rychlostí abraze [3]

Z obou grafů můžeme pozorovat hodně podobné výsledky, jak u pevnosti v tlaku, tak v ohybu. Vypočtené hodnoty R pro obě pevnosti vycházejí téměř stejně, což ukazuje, že mají dobrou korelaci. Při pozorování zkoušky vodním paprskem bylo zjištěno, že vodní paprsek při dopadu na testovaný vzorek způsobuje vznik tahového napětí. Velikost napětí se liší v závislosti na síle vodního paprsku a koncentraci abraziva. Tyto tahová napětí mají za následek vznik mikrotrhlin ve vytvrzené cementové maltě a prasklin okolo jednotlivých zrn kameniva. Tyto skutečnosti ve finále vedou k nižší odolnosti povrchu proti abrazi. Hlavní způsob zvýšení odolnosti proti abrazi je zvýšení pevnosti v tlaku a pevnosti v ohybu. [3]

## **11.2. Faktory, které se vztahují k okolnímu prostředí**

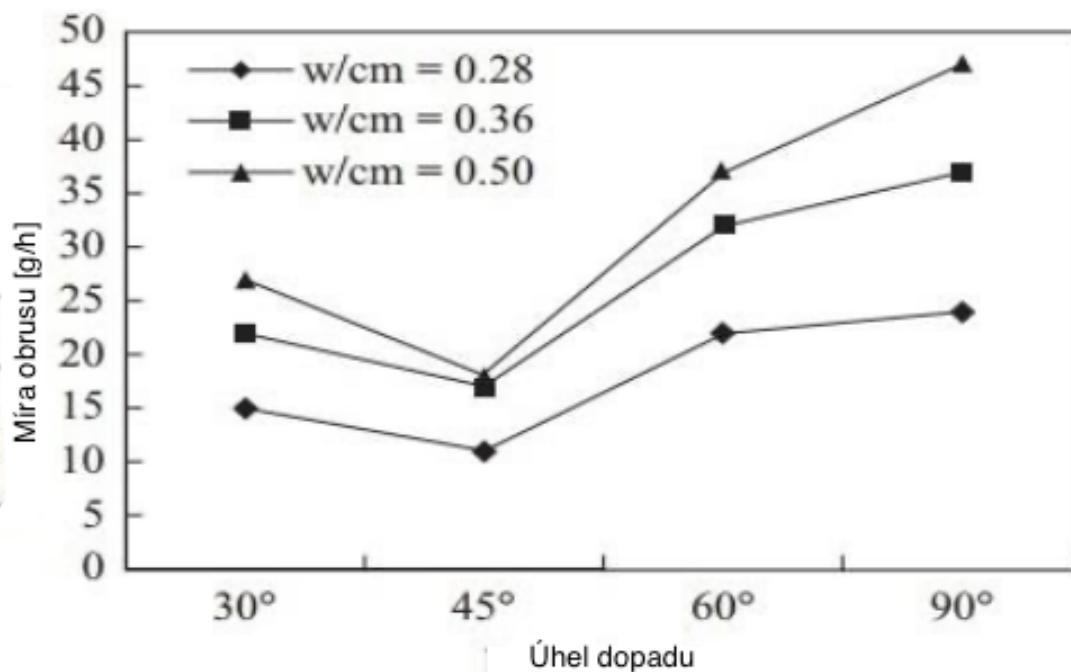
### **11.2.1 Vliv rychlosti proudění**

Jedná se o velmi důležitý parametr v procesu obrusu povrchů vlivem proudící vody. Pro vznik a následné pokračování procesu abraze je důležité dosáhnout tzv. prahovou rychlost. Pod touto rychlostí nebude na povrchu pozorována žádná abraze, i když v konstrukci budu stále vytvářeny neviditelné trhliny. Při tomto výzkumu vědci Momberem a Kovacevicem roku 1994 použili k abrazi betonu vysokorychlostní vodní paprsek bez unášeného abraziva. Z výsledků je patrné, že testované vzorky nebyly při působení vysokých rychlostí úplně zničeny, ale vždy bylo na vzorcích nalezeno nepřetržité porušení materiálu. [2]

### **11.2.2 Vliv úhlu dopadu**

Úhel dopadu vodního paprsku má velký vliv na vzniklé porušení vlivem obrusu. Normálové a tahové napětí na povrchu beton a ve spojích mezi kamenivem a cementovou pastou způsobují mikrotrhliny, což nakonec vede ke vzniku obrusu. [2]

Normálové i tahové napětí vzniká současně, proto je poměr těchto napětí závislý na úhlu dopadu proudu vody na betonový povrch. Normálové napětí dosahuje maximálních hodnot při úhlu dopadu  $90^\circ$ . Ve stejném okamžiku je smykové napětí nulové. Pokud je ovšem úhel dopadu  $45^\circ$  má normálové a smykové napětí stejnou hodnotu. [2]

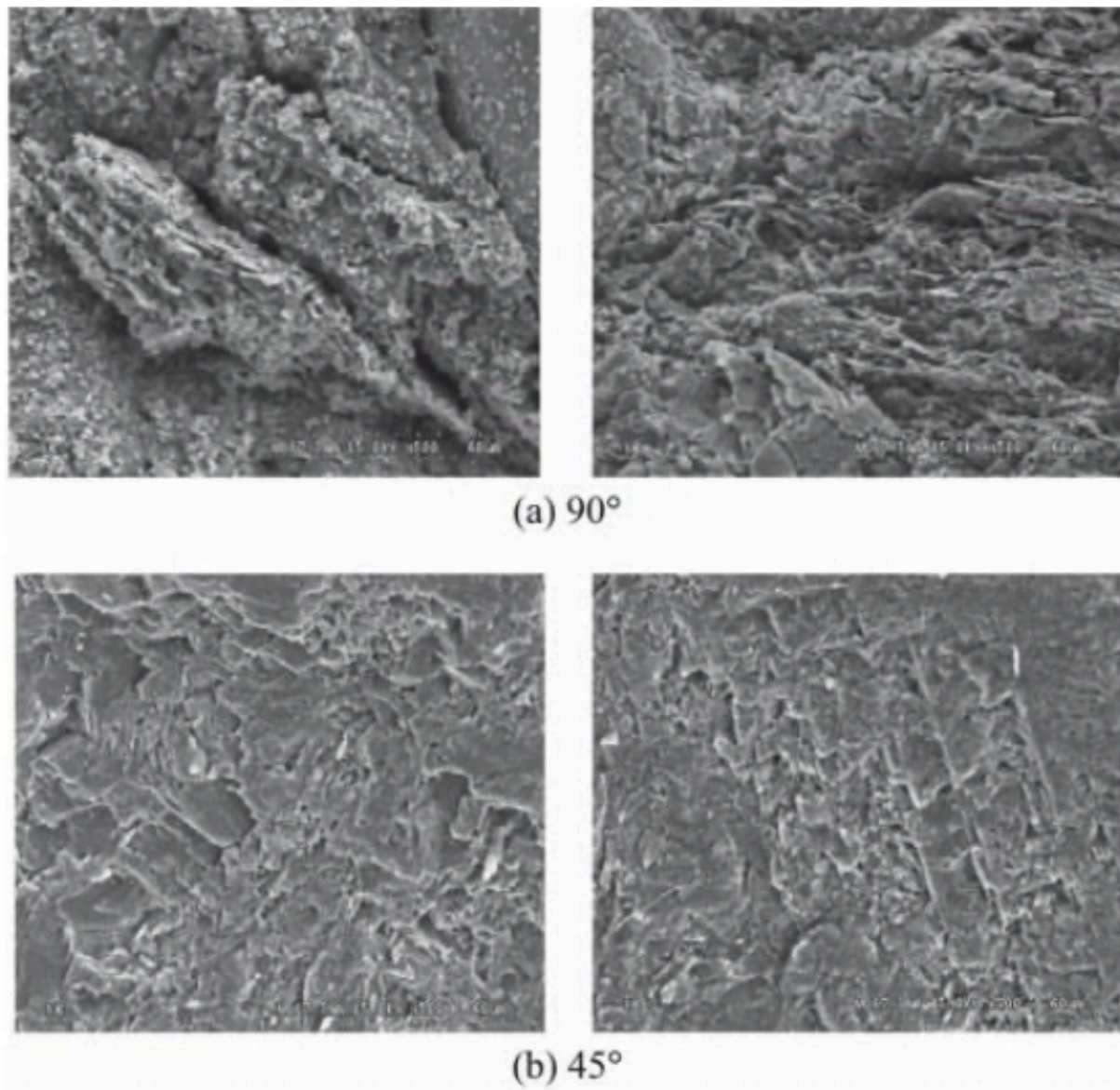


Graf 10 Závislost úhlu dopadu a míry obrusu při různém vodním součiniteli [2]

Z grafu můžeme pozorovat, že při úhlu dopadu 45° dosahují zkušební vzorky největší odolnosti proti obrusu. Při úhlu dopadu 90° naopak vzorky dosahují nejnižší odolnosti proti obrusu. Tato skutečnost je zapříčiněna tím, že při 90° úhlu dopadu dosahuje normálová síla nejvyšších hodnot. [2]

Další zjištěná skutečnost je ta, že beton, který je vystavený úhlu dopadu 90° vykazuje drsnější povrch než beton vystavený úhlu dopadu 45°. Tento jev můžeme pozorovat na obrázku níže. [2]

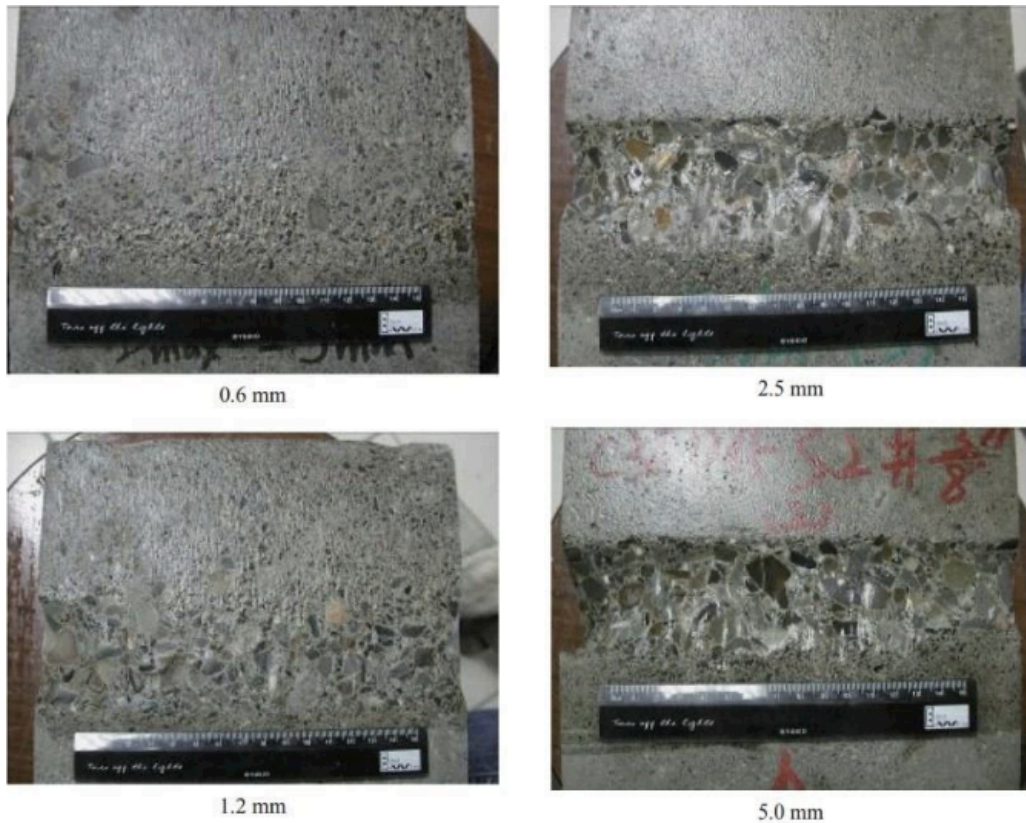




Obrázek 24 Vliv úhlu dopadu na drsnost povrchu [2]

### 11.2.3 Vliv velikosti abrazivních částic

Velikost jednotlivých zrn abraziva, drsnost, koncentrace a tvrdost mají významný dopad na poškození povrchů vlivem působení abraze. Vědec Liu a kolektiv v roce 2012 zkoumali vliv velikosti a koncentrace abrazivních částic na abrazi betonu metodou vysokorychlostního vodního paprsku. Pro studii byl použit shodný vodní součinitel, úhel dopadu paprsku 45°. [2]

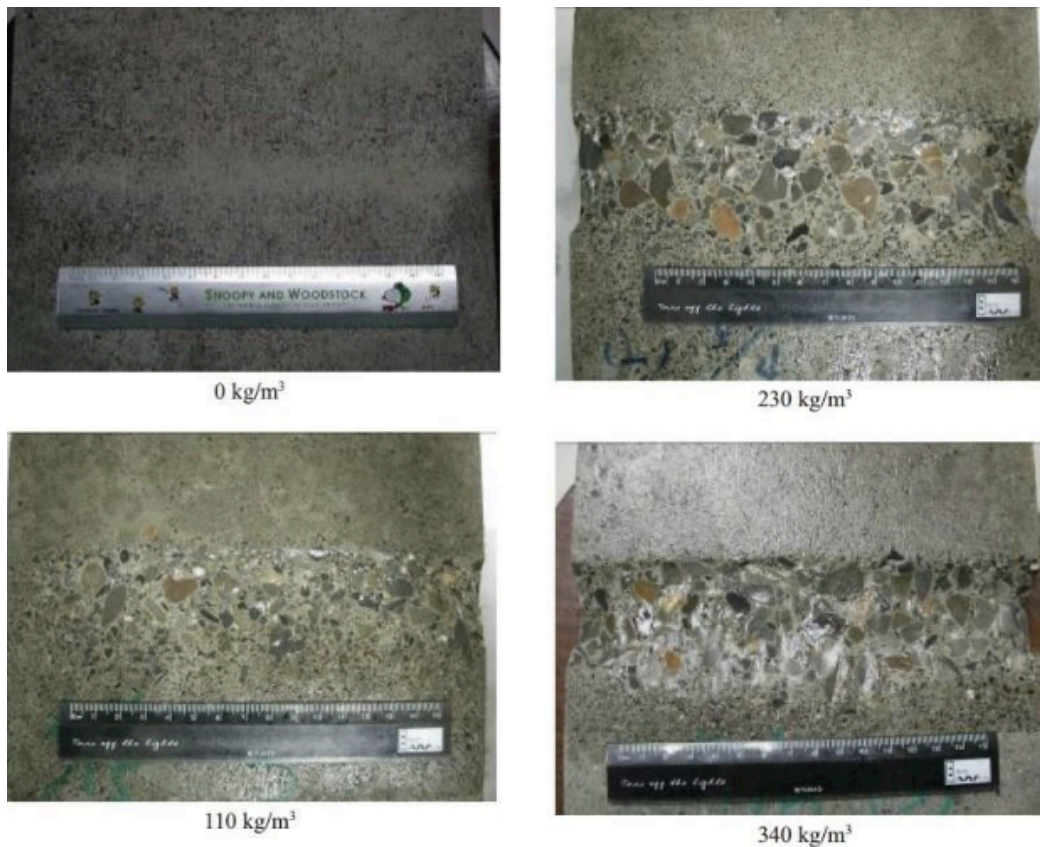


*Obrázek 25 Rozdíly mezi použitou velikostí částic abraziva [2]*

Výsledky studie ukázali, že pokud se velikost abrazivních částic zvyšuje, míra abraze betonu vzroste z 100 % na 217 %, respektive na 367 %. Tato skutečnost může být vysvětlena tím, že je velikost abrazivních částic malá, tak malé částice nejsou schopny vytvářet trhliny na povrchu. Jsou schopny povrch deformovat pouze plasticky. [2]

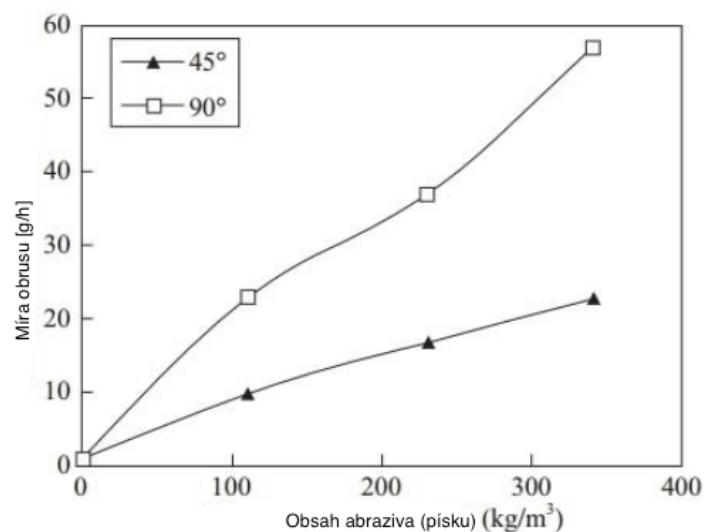
#### **11.2.4 Vliv obsahu abrazivních částic ve vodě**

Koncentrace abrazivních částic ve vodě má opět velký dopad na míru poškození betonových konstrukcí vlivem obrusu. Vědec Liu a kolektiv ve své studii z roku 2012 zkoumali rozdíly mezi mírou abraze při obrušování povrch pouze a vodou a vodou s unášeným pískem. [2]



Obrázek 26 Rozdíl v obrusu materiálu mezi jednotlivými koncentracemi abraziva [2]

Z obrázku můžeme jasně pozorovat, že pokud ve vodě je nulová koncentrace abraziva, vzniklé porušení vlivem abraze je téměř zanedbatelné. Pokud se ovšem ve vodě obsah abraziv zvyšuje, poškození vlivem abraze roste. V grafu můžeme pozorovat závislost míry obrusu, obsahem písku a úhlem dopadu vodního paprsku. Další zjištění, které bylo již řešeno v kapitolách výše je, že při úhlu dopadu 90° je míra obrusu vyšší. [2]



Graf 11 Závislost mezi mírou obrusu, obsahem abraziva a úhlu dopadu vodního paprsku [2]

## **12. Doporučení při sestavování receptur**

### **12.1. Výběr vhodného kameniva**

Jako první krok při sestavování betonové směsi odolné proti abrazi je výběr vhodného kameniva, které bude po celou dobu životnosti konstrukce dostatečně odolávat působení daného namáhání. Kamenivo tvoří většinu objemu směsi, proto je jeho odolnost zásadní při posuzování odolnosti celé konstrukce. Výběr kameniva musíme přizpůsobit druhu namáhání, pokud bude konstrukce namáhána i rázově není nejlepší řešení zvolit to nejtvrďší kamenivo. Tvrdé kamenivo je sice odolné proti obrusu, ale je zároveň křehké a při nárazovém namáhání nebude dostatečně odolné. Pomocí zkoušky Los Angeles můžeme vybrat druh kameniva, které bude přesně vyhovovat danému namáhání.

### **12.2. Zvýšení obsahu pojiva**

Zároveň se zvýšením obsahu pojiva bude růst i reologie směsi. Jednotlivá cementová zrna budou blíže u sebe a vytvoří po zatvrdnutí méně pórovitou strukturu a hlavně pevnost vazby mezi kamenivem a cementovým tmelem bude pevnější. Tyto aspekty vedou ve finále ke zlepšení odolnosti proti abrazi.

### **12.3. Vhodný obsah vody**

Je nutné najít vhodný poměr mezi obsahem vody a pojiva. Příliš málo vody umožňuje těsnější umístění částic pojiva u sebe, ale zároveň je obtížnější odstranit vzduchové bubliny. Méně vody totiž znamená sníženou reologii směsi. Naopak příliš velký obsah vody zvyšuje obsah mikropopíkových kapilárních pórů. Z těchto důvodů je důležité najít optimální obsah vody ve směsi.

### **12.4. Vytvrzení povrchu**

Jedná se o velmi důležitý aspekt, vzhledem k tomu, že povrch přijde do kontaktu s abrazivním působením jako první. Díky dokonalému vytvrzení povrchu získáme ideální strukturu s minimem dutin a pórů. Ochráníme tak beton před vniknutím vody a jiných škodlivých látek z okolí.

### **12.5. Použití příměsí**

Použitím příměsí, které nám umožní snížit obsah cementu má nejenom ekonomický efekt, ale i zlepšení mechanických vlastností výsledné směsi. Velikost zrn příměsí je obvykle menší než velikost zrn cementu. Z toho důvodu nám zajistí výsledné zhutnění struktury a to vede ke zlepšení odolnosti proti obrusu. V řadě studií byl prokázán pozitivní efekt u strusky, popílků a mikrosiliky.

### **12.6. Superplastifikátory**

Pomocí použití superplastifikátorů můžeme dosáhnout ke snížení obsahu vody bez toho, aby to mělo efekt na reologii samotné směsi.

..

## **Praktická část**

### **13. Úvod**

V praktické části bylo za úkol ověřit zkušební metody na souboru receptur pro pevnostní třídy C30/37 a C45/55 s různými druhy kameniv (Bílčice, Želešice a Olbramovice). Vliv jednotlivých kameniv na odolnost proti obrusu byl ověřen dle následujících zkoušek. Dále pak byly vyhodnoceny závislosti mezi tvrdostí povrchu, pevností v tlaku a odolností proti obrusu.

### **14. Použité vstupní suroviny**

#### **14.1. Cement**

Pro výrobu zkušebních těles C30/37 i C45/55 byl použit portlandský cement CEM I 42,5 R. Cement je od společnosti Českomoravský cement a.s. ze závodu Mokrý. Technický list cementu je součástí přílohy.

#### **14.2. Kamenivo**

Kamenivo na výrobu zkušebních vzorků bylo použito ze tří různých lokalit. Přírodní těžené kamenivo jemné frakce 0-4 mm je z lokality pískovny Žabčice. Přírodní hrubé drcené kamenivo 4-8 mm a 8-16 mm potom z lokalit Olbramovice, Bílčice a Želešice.

##### **14.2.1 Kamenivo Želešice**

Ložisko Želešice je tvořeno amfibolitem. Amfibolit je metamorfovaná hornina, která se vyznačuje střední až hrubou velikostí zrna. Povrch bývá hladký a proto má horší soudržnost s cementovým tmelem. Hlavními minerály jsou amfiboly a plagioklasy. Pevnost v tlaku samotného kameniva je 150–280 MPa. [35] [36]

##### **14.2.2 Kamenivo Olbramovice**

Ložisko Olbramovice je převážně tvořeno sedimentální horninou nazývanou Moravská droba. Hornina je stejnoměrně, středně zrnitá s občasně pozorovatelnými zrny živce a křemene. Jedná se o granodiorit. Hrany jsou ostré a povrch hrubý. Z toho důvodu má kamenivo velmi dobrou soudržnost s cementovým tmelem. Písečnatá zrna

většinou tvoří živce, křemen, muskovit a litické (horninové) úlomky. Základní hmotu horniny tvoří jílové minerály nebo křemičité a vápnité hmoty. Objemová hmotnost kameniva se pohybuje okolo hodnoty 2600 kg/m<sup>3</sup>. Pevnost kameniva v tlaku je 80-260 MPa. [35] [36]

#### **14.2.3 Kamenivo Bílčice**

Lokalita Bílčice je složena z různých druhů čediče. Hornina je velmi pevná a většinou sloupcovitě odlučná. Povrch zrn je ovšem hladký a tím pádem má kamenivo nižší soudržnost s cementovým tmelem. Objemová hmotnost kameniva se pohybuje okolo hodnoty 3000 kg/m<sup>3</sup>. Pevnost kameniva v tlaku je 180-400 MPa. [35] [36]

#### **14.3. Záměsová voda**

Pro všechny receptury byla použita záměsová voda z městského vodovodního řádu.

#### **14.4. Přísady**

Jako plastifikační přísada byl použit superplastifikátor na bázi modifikovaných polykarboxylátů Fluid Optima 224 od společnosti CHRYSO. Dávkování bylo zvoleno na 1 % z celkové hmotnosti cementu. Technický list je součástí přílohy.

#### **14.5. Mikrosilika**

Pro výrobu všech receptur byla použita mikrosilika SIOXID z FZ Istebné. Měrná hmotnost mikrosilky je 2200 kg/ m<sup>3</sup>.

## 15. Použité receptury

Tabulka 3 Složení jednotlivých receptur na 1 m<sup>3</sup> v kg

Receptura	Bílčice C30/37	Bílčice C45/55	Olbramovice C30/37	Olbramovice C45/55	Želešice C30/37	Želešice C45/55
Konzistence	S3	S3	S3	S3	S3	S3
CEM I 42,5 R	335	395	335	395	335	395
Žabčice 0/4 mm	848	782	848	782	848	782
Bílčice 4/8 mm	273	262	-	-	268	258
Olbramovice 4/8 mm	-	-	242	232	-	-
Želešice 8/16 mm	-	-	-	-	-	-
Bílčice 8/16 mm	776	776	-	-	763	763
Olbramovice 8/16 mm	-	-	687	687	-	-
Mikrosilika lstebná	33,5	39,5	33,5	39,5	33,5	39,5
Voda	188,6	186,9	156,4	181,9	196,8	176
Vodní součinitel *	0,51	0,43	0,42	0,42	0,53	0,41
SP Chryso Optima 224	3,4	3,9	3,4	3,9	3,4	3,9

**\*Poznámka:** Vodní součinitel směsi, byl počítán z hmotnosti všech pojivových složek bez ohledu na K – Hodnotu, dle ČSN EN 206 + A1.

Aby bylo možné porovnávat vliv druhu kameniva na odolnost proti abrazi byly receptury navrženy se shodnou křivkou zrnitosti ze síťových rozborů.



## 16. Výroba zkušebních vzorků

### 16.1. Postup míchání směsi

- Navážení jednotlivých složek na námi zvolený objem směsi,
- Navlhčení míchačky a všech pomůcek, které přijdou do kontaktu s betonem
- Plnění míchačky kamenivem od hrubé až po jemnou frakci,
- Plnění míchačky cementem a mikrosilikou,
- Důsledné promíchání z důvodu dokonalého promísení všech složek,
- Plnění míchačky vodou za stálého míchání,
- Po přidavku přibližně  $\frac{1}{2}$  vody přidavek superplastifikátoru za stálého míchání,
- Přídavek zbytku vody
- Průběžná vizuální kontrola segregace a krvácení betonu
- Plnění vymazaných trojforem a následné hutnění na vibračním stole,
- Zrání betonu při laboratorní teplotě po dobu 24 hodin

### 16.2. Zkušební vzorky

Pro jednotlivé zkoušky byly vyrobeny krychle o rozměru 100 x 100 x 100 mm. Po 24 hodinách od plnění, kdy vzorky zrály při laboratorní teplotě, byly uloženy do vodního prostředí na 28 dnů. Následně se z části krychlí vyřezaly vzorky o velikosti 71 x 71 mm pro zkoušky obrusnosti.



Obrázek 27 Uložení krychlí ve vodním prostředí

## 17. Popis jednotlivých zkoušek

Tabulka 4 Prováděné zkoušky

ČSN EN 12350–2	Zkoušení čerstvého betonu – Část 2: Zkouška sednutím
ČSN EN 12350–6	Zkoušení čerstvého betonu – Část 6: Objemová hmotnost
ČSN EN 12390–7	Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 7: Objemová hmotnost
ČSN EN 12390–3	Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles
ČSN EN 13892–3	Stanovení odolnosti proti obrusu metodou Böhme
ČSN 73 1324	Stanovení obrusnosti betonu
ČSN 73 1373	Nedestruktivní zkoušení betonu – Tvrdoměrné metody zkoušení betonu
ISO 686, ASTM D 2240	Zkoušení povrchové tvrdosti pomocí durometru
Odolnosti proti působení vysokorychlostního vodního paprsku	

### 17.1. Zkouška sednutím

Zkouška sednutím kužele dle Abramse byla prováděna dle ČSN EN 12350–2, Zkoušení čerstvého betonu – Část 2: Zkouška sednutím. Nejprve se navlhčí všechny pomůcky, které přijdou do kontaktu s betonem. Na podložku byl umístěn kužel a přišlápnut. Následně se kužel plnil ve třech vrstvách, každá se zhutnila pomocí hutnicí tyče 25 vpichy rovnoměrně rozprostřenými po celé ploše. Beton se poté zarovnal do roviny s hranou kužele a pomalu se v rozmezí 2–5 sekund zvedl. Doba provádění celé zkoušky by neměla zabrat více než 150 sekund. Výsledkem je rozdíl mezi výškou kužele a nejvyšším bodem sednutého betonu. Výsledek byl zaokrouhlen na 10 mm. Dle klasifikace sednutí kužele byl zatříděn výsledek mezi stupně. [25]

Tabulka 5 Klasifikace sednutí kužele [25]

Stupeň	Sednutí [mm]
S1	10–40
S2	50–90
S3	100–150
S4	160–210
S5	≥ 220

### 17.2. Objemová hmotnost čerstvého betonu

Objemová hmotnost čerstvého betonu byla zkoušena dle normy ČSN EN 12350–6, zkoušení čerstvého betonu – Část 6: Objemová hmotnost.

Nejdříve jsme si zvážili prázdnou formu, do které byl plněn čerstvý beton. Forma byla naplněna, zhutněna a opět zvážena.

Objemovou hmotnost čerstvého betonu byla vypočtena dle vzorce: [26]

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

Kde:

$D$  = objemová hmotnost čerstvého betonu [kg/m<sup>3</sup>]

$m_2$  = hmotnost formy s betonem [kg]

$m_1$  = hmotnost formy bez betonu [kg]

$V$  = objem formy [m<sup>3</sup>]

Objemová hmotnost čerstvého betonu byla zaokrouhlena na 10 kg/m<sup>3</sup>. [26]

### 17.3. Objemová hmotnost ztvrdlého betonu

Objemová hmotnost ztvrdlého betonu dle ČSN EN 12390–7, zkoušení ztvrdlého betonu – Část 7: Objemová hmotnost ztvrdlého betonu.

Zkušební vzorek byl zvážen a následně pomocí změření zkušebního tělesa zjištěn jeho objem. [27]

Výpočet byl proveden dle vzorce:

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

Kde:

$D$  = objemová hmotnost ztvrdlého betonu [kg/m<sup>3</sup>]

$V$  = objem zkušebního tělesa [m<sup>3</sup>]

$m$  = hmotnost zkušebního tělesa [kg]

Objemová hmotnost zatvrdlého betonu byla zaokrouhlena na 10 kg/m<sup>3</sup>. [27]

### 17.4. Stanovení pevnosti v tlaku zkušebních těles

Stanovení pevnosti betonu v tlaku dle ČSN EN 12390 zkoušení ztvrdlého betonu – Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles.

Pomocí tlaku bylo zkušební těleso plynule zatěžované až do úplného porušení. Pevnost v tlaku jednotlivého vzorku byl určen jako poměr maximální síly a plochy průřezu.

Zkušební těleso bylo vloženo mezi tlačené desky lisu. Umístěno tak, aby tlak působil kolmo ke směru hutnění betonu. Krychle poté byla plynule zatěžována až do úplného porušení. Hodnotu maximálního zatížení při porušení byla zaznamenána.

Výpočet pevnosti v tlaku dle vzorce: [28]

Kde:

$$f_c = \frac{F}{A_c} \text{ [N / mm}^2\text{]}$$

$$f_c = \text{Pevnost v tlaku [N / mm}^2\text{]}$$

$$F = \text{Maximální zatížení při porušení [N]}$$

$$A_c = \text{Průřezová plocha tělesa, na které působí zatížení [mm}^2\text{]}$$

Pevnost v tlaku byla zaokrouhlena na 0,5 MPa (N/mm<sup>2</sup>) [28]

### 17.5. Stanovené obrusnosti betonu dle ČSN 73 1324

Při zkoušce byl zjišťován úbytek hmotnosti zkušební tělesa tvaru krychle o hraně 7,07 cm. Zkušební tělesa byla před zkouškou vysušena při teplotě 105–110 °C do konstantní hmotnosti a následně změřena. Do Böhmova přístroje byl upnut zkušební vzorek a zatížen silou  $294 \pm 3$  N. Na brusnou dráhu bylo nanášeno rovnoměrně 20g brusiva (korund). Přístroj byl uveden do chodu a pomocí lopatek se štětinami bylo udržováno rovnoměrné rozprostření brusiva. Každý cyklus se skládal z 22 otáček. Po každém cyklu byla brusná plocha očištěna, zkušební těleso bylo otočeno o 90° a nanášeno nových 20 g brusiva. Zkouška byla ukončena po 20 cyklech (celkem 440 otáček). Nakonec se těleso zvážílo a změřilo. Z naměřených hodnot byla vypočtena míra odolnost proti obrusu. [29] [30]

Výpočet odolnosti proti obrusu:

Kde:

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

$$R_0 = \text{obrusnost betonu [%]}$$

$$\Delta m = \text{Úbytek hmotnosti betonu [g]}$$

$$m_p = \text{Hmotnost zkušební tělesa před zkouškou [g]}$$

$$m_k = \text{Hmotnost zkušební tělesa po zkoušce [g]}$$

## 17.6. Stanovení odolnosti pro obrusu metodou Böhme dle ČSN EN 13892-3

Princip zjištění odolnosti pro obrusu je zmenšení objemu tělesa. Může se vypočítat pomocí úbytku z tloušťky nebo z hmotnosti.

Zkušební těleso o rozměrech  $71 \pm 1,5$  mm bylo před zahájení zkoušení zváženo a změřeno. Byla měřena délka, výška a šířka s přesností na 0,01 mm. Poté bylo zkušební těleso upnuto do přístroje. Těleso bylo zatíženo silou  $294 \pm 3$  N. Na brusnou dráhu přístroje bylo nanášeno 20 g korundu jako brusiva. Přístroj byl uveden do chodu a pomocí lopatek se štětinami bylo udržováno rovnoměrné rozprostření brusiva. Každý cyklus se skládal z 22 otáček. Po každém cyklu byla brusná plocha očištěna, zkušební těleso otočeno o  $90^\circ$  a nanášeno nových 20g brusiva. Po 4 cyklech bylo provedeno měření a vážení. Celkem každé těleso bylo zkoušeno 16 cykly. Z naměřených hodnot byla vypočtena míra odolnost proti obrusu. [30]

Výpočet odolnosti proti obrusu metodou Böhme dle vzorce:

Kde:

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

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

$A$  ( $\Delta V$ ) = odolnost proti obrusu metodou Böhme

$\Delta m$  = úbytek hmotnosti po 16 (4, 8,12) cyklech [g]

$\rho_R$  = objemová hmotnost zkušebního tělesa [g/m<sup>3</sup>]

$\Delta l$  = Průměrný úbytek tloušťky po 16 (4, 8,12) cyklech [mm]

$l_0$  = Průměrná tloušťka zkušebního tělesa před zkouškou [mm]

$l_{16}$  = Průměrná tloušťka zkušebního tělesa po zkoušce [mm]

## 17.7. Stanovení tvrdosti odrazovým tvrdoměrem dle ČSN EN 12504–2

Zkouška tvrdosti odrazovým tvrdoměrem dle ČSN EN 1254–2. Tvrdoměr byl přiložen na zkušební plochu. Razník by měl být opřený kolmo ke zkušební ploše. Následně byl zvýšen tlak na razník, dokud ocelový beran nevyvodil ráz. Velikost odrazu byla zaznamenána. Každé zkušební místo bylo od přechozího vzdáleno nejméně 25 mm. Dosažením odhadu tvrdosti bylo provedeno nejméně 9 odrazů. Výsledkem byla střední hodnota ze všech čtení. Pokud se více než 20 % čtení lišilo od střední hodnoty více než o 6 jednotek, pak byla celá sada čtení zamítnuta. [31]

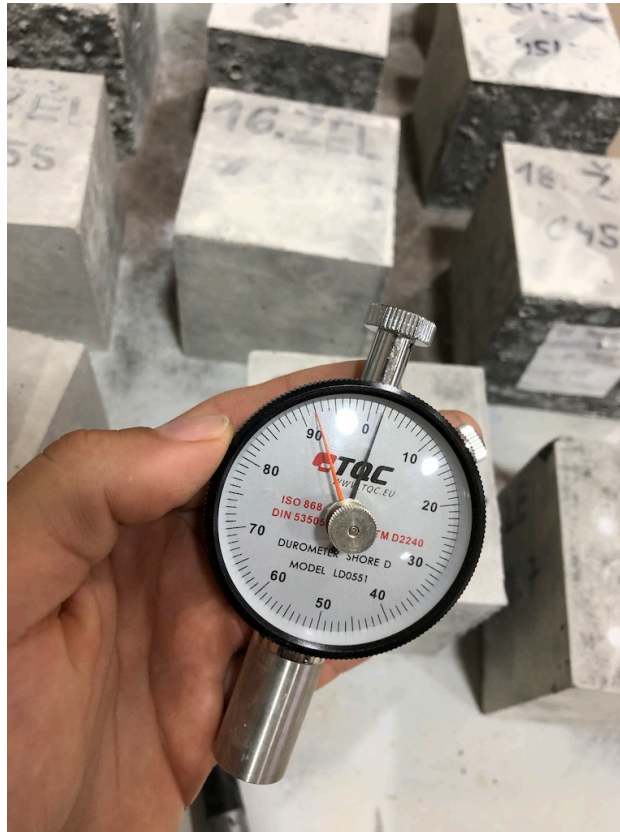


Obrázek 28 Odrazový tvrdoměr Schmidt N

## 17.8. Stanovení povrchové tvrdosti pomocí duometru

Stanovení povrchové tvrdosti pomocí duometru dle ISO 686 nebo ASTM D 2240. V našem případě byl použit duometr typu D, který byl určený pro nejtvrďší druhy polymerů. Duometr byl bez nárazu přiložen kolmo ke zkoušenému vzorku. Při tlaku se kovová jehlička vtiskla do povrchu zkoušeného vzorku. Po 3 sekundách byl duometr odložen z testovací plochy a byla odečtena hodnota čtení z číselníku.

Z každé testované plochy (horní a dolní) bylo odečteno pět hodnot, z těch byl následně vypočtený medián pro danou plochu. Výsledná hodnota se poté vypočetla jako průměr ze třech zkušebních vzorků, pro každou plochu zvlášť. [32]



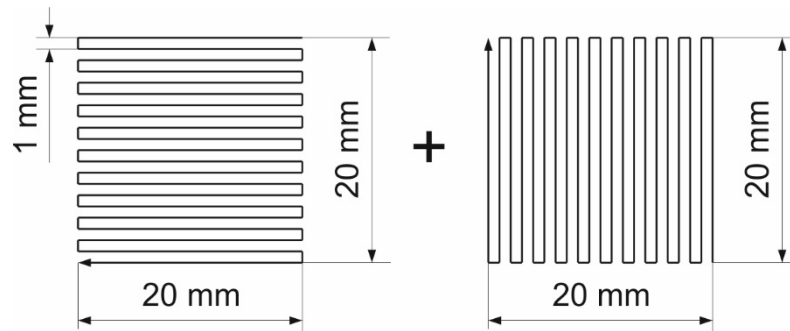
Obrázek 29 Durometr

### 17.9. Odolnosti proti působení vysokorychlostního vodního paprsku

Zkouška odolnosti proti působení vodního paprsku byla vyhodnocována ve spolupráci s Ústavem geoniky AV ČR, v. v. i. V Ostravě. Byla použita standardní řezací hlavice Slice I se zaostřovací trubicí. Odolnost byla stanovována na vzorcích krychlí o hraně 10 cm. Ostřík povrchové vrstvy vzorků byl proveden vodou o tlaku 80 MPa a vodou s unášeným abrazivem o tlaku 40 MPa. Jako abrazivo byl použit australský granát o jemnosti 80 mesh a rychlostí 20 g/min. Rychlost posuvu obou paprsků byl 500 mm/min. Úhel působení vodního paprsku byl 90°.

Trajektorie pohybu vodního paprsku byla vedena metodou cik-cak. Jeden cyklus se tedy skládal ze dvou trajektorií cik-cak, které se vzájemně otáčeli o 90°. [33]





Obrázek 30 Trajektorie řezného cyklu [33]



Obrázek 31 Obstřík vzorku [33]



Obrázek 32 Testované vzorky po zkoušce odolnosti proti vysokorychlostnímu vodnímu paprsku

## 18. Vyhodnocení výsledků zkoušek na čerstvém betonu

Tabulka 4 Zkoušky na čerstvém betonu

Receptura	Sednutí kužele [mm]	Stupeň sednutí	Objemová hmotnost $D_{\text{čB}}$ [kg/m <sup>3</sup> ]
Olbramovice C30/37	120	S3	2320
Olbramovice C45/55	130	S3	2370
Bílčice C30/37	130	S3	2410
Bílčice C45/55	120	S3	2460
Želešice C30/37	130	S3	2470
Želešice C45/55	140	S3	2320

## 19. Vyhodnocení výsledků zkoušek na zatvrdlém betonu

Na zatvrdlém betonu byly zkoušky prováděny po 28 dnech, kdy byly vzorky uloženy ve vodním prostředí.

Objemová hmotnost na zatvrdlém betonu byla prováděna dle ČSN EN 12390–7. Pevnost v tlaku dle ČSN EN 12390–3. Vždy se jedná se o průměrnou hodnotu ze 3 výsledků.

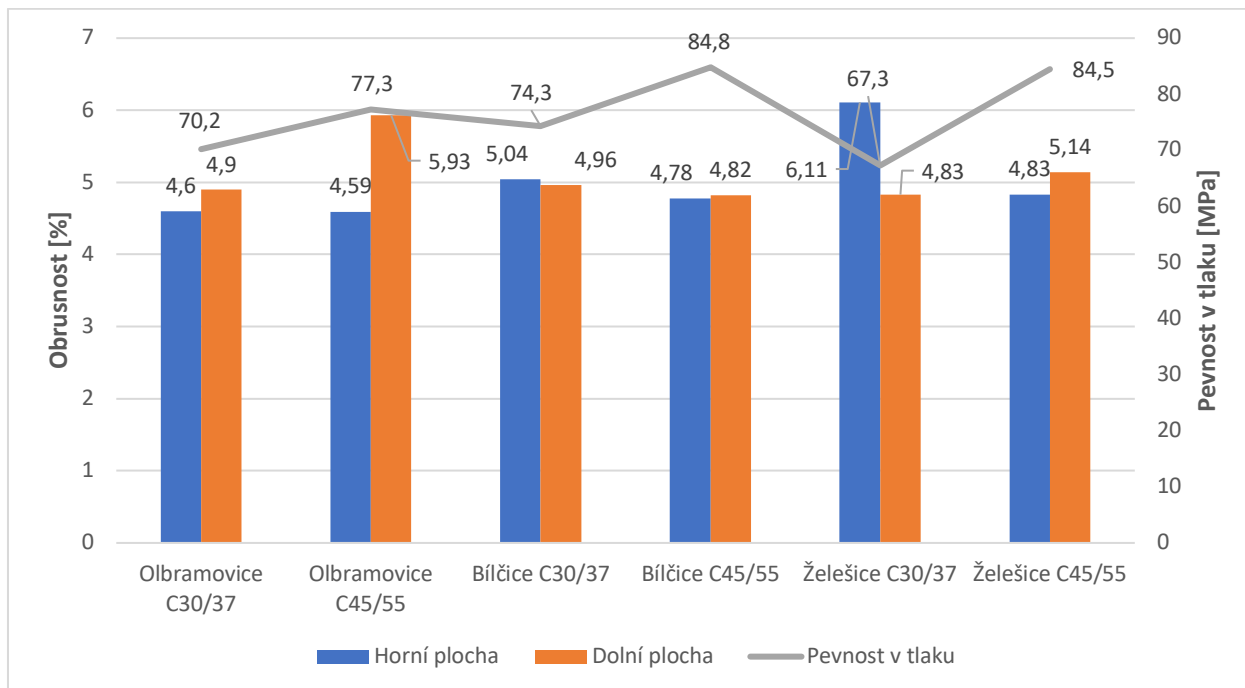
Tabulka 6 Objemové hmotnosti a pevnosti v tlaku po 28 dnech

Receptura	Objemová hmotnost $D_{\text{zB}}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Pevnost v tlaku $f_c$ [MPa]
Olbramovice C30/37	2350	70,2
Olbramovice C45/55	2330	77,3
Bílčice C30/37	2430	74,3
Bílčice C45/55	2440	84,8
Želešice C30/37	2430	67,3
Želešice C45/55	2390	84,5

Obrusnost byla stanovována dle ČSN 73 1324 a dle ČSN EN 13892–3 metodou Böhma. Od každé záměsi byly zkoušeny 3 vzorky. Nejprve z horní strany a poté i z dolní strany vzorku. Označení V značí horní plochu vzorku, označení S dolní plocha.

Tabulka 7 Stanovení obrusnosti dle ČSN 73 1324

Receptura	Označení vzorku	Hmotnost před testováním $m_p$ [g]	Hmotnost po testování $m_k$ [g]	Obrusnost $R_o$ [%]	Průměrná obrusnost horní plochy [%]	Průměrná obrusnost dolní plocha [%]
Olbramovice C 30/37	15. OLB V	514,08	490,32	4,62	4,60	4,90
	15. OLB S	516,14	489,21	5,21		
	16. OLB V	529,21	505,56	4,47		
	16. OLB S	534,26	508,05	4,90		
	17. OLB V	502,66	479,01	4,71		
	17. OLB S	582,76	555,89	4,60		
Olbramovice C 45/55	8. OLB V	512,81	489,10	4,62	4,59	5,93
	8. OLB S	536,79	506,05	5,72		
	9. OLB V	525,74	502,15	4,48		
	9. OLB S	515,02	484,23	5,97		
	10. OLB V	502,97	479,46	4,66		
	10. OLB S	519,88	488,14	6,1		
Bílčice C 30/37	2. BÍČ V	520,16	493,29	5,17	5,04	4,96
	2. BÍČ S	553,69	526,02	4,99		
	3. BÍČ V	555,65	528,86	4,82		
	3. BÍČ S	547,80	518,87	5,28		
	4. BÍČ V	523,10	496,21	5,14		
	4. BÍČ S	582,76	555,89	4,60		
Bílčice C 45/55	9. BÍČ V	581,58	554,73	4,61	4,78	4,82
	9. BÍČ S	564,60	538,08	4,69		
	10. BÍČ V	550,46	523,67	4,87		
	10. BÍČ S	550,16	523,34	4,87		
	11. BÍČ V	556,42	529,43	4,85		
	11. BÍČ S	546,27	519,65	4,88		
Želešice C 30/37	8. ŽEL V	495,34	464,39	6,17	6,11	4,83
	8. ŽEL S	574,44	545,79	4,99		
	9. ŽEL V	523,55	491,93	6,03		
	9. ŽEL S	563,12	535,90	4,83		
	10. ŽEL V	498,00	467,41	6,14		
	10. ŽEL S	527,51	502,89	4,68		
Želešice C 45/55	16. ŽEL V	501,16	477,85	4,65	4,83	5,14
	16. ŽEL S	579,72	552,07	4,77		
	17. ŽEL V	409,72	386,41	5,68		
	17. ŽEL S	485,76	458,21	5,67		
	18. ŽEL V	558,33	535,02	4,17		
	18. ŽEL S	556,63	528,93	4,97		

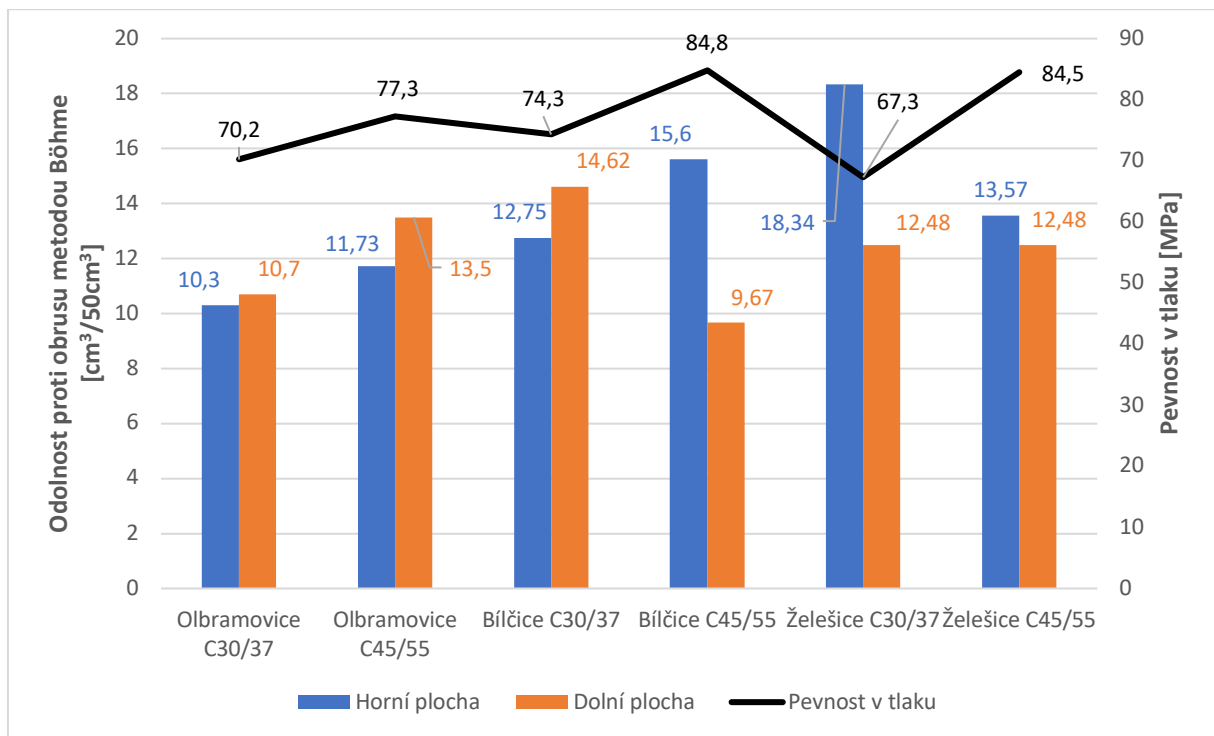


Graf 12 Závislost obrusnosti a pevnosti v tlaku

Z grafu můžeme pozorovat závislost, že čím je nižší hodnota obrusnosti, tím vyšší je pevnost v tlaku. Tato závislost ovšem není jednoznačná, protože vzorek Olbramovice C30/37, který má jednu z nejnižších pevností dosáhl téměř nejlepších výsledků v obrusnosti. V odolnosti betonu proti obrusu totiž hraje několik dalších vlastností betonu jako např. pevnost kameniva a síla spojení mezi kamenivem a cementovou pastou. Rozdíly obrusností mezi horní a spodní plochou nejsou ve většině případů nějak výrazné. Očekávat bychom mohli lepší výsledky u horní plochy vzorků z důvodu vyššího výskytu hrubého kameniva, ale bylo již po několika cyklech obroušeno a tato vlastnost se poté na výsledcích neprojevila. Z tohoto důvodu můžeme tvrdit, že zkoušení obrusnosti pomocí Böhmova přístroje není pro tento typ zkoušení nejvhodnější.

Tabulka 8 Stanovení obrusnosti dle ČSN EN 13892–3

Receptura	Označení vzorku	Průměrná tloušťka zkušebního tělesa před zkouškou $l_0$ [mm]	Průměrná tloušťka zkušebního tělesa po zkoušce $l_{16}$ [mm]	Odolnost proti obrusu metodou Böhme $[cm^3/50cm^3]$	Průměrná odolnost horní plochy $[cm^3/50cm^3]$	Průměrná odolnost dolní plochy $[cm^3/50cm^3]$
Olbramovice C 30/37	15. OLB V	47,19	45,03	10,80	10,30	10,70
	15. OLB S	45,11	42,97	10,70		
	16. OLB V	47,79	45,79	10,00		
	16. OLB S	46,61	44,51	10,50		
	17. OLB V	45,59	43,57	10,10		
	17. OLB S	49,16	46,98	10,90		
Olbramovice C 45/55	8. OLB V	46,77	44,51	11,30	11,73	13,5
	8. OLB S	47,15	44,48	13,35		
	9. OLB V	47,74	45,38	11,80		
	9. OLB S	43,38	40,59	13,95		
	10. OLB V	47,81	45,39	12,10		
	10. OLB S	47,67	45,03	13,2		
Bílčice C 30/37	2. BIČ V	44,64	42,11	12,65	12,75	14,62
	2. BIČ S	47,32	44,45	14,35		
	3. BIČ V	48,57	46,03	12,70		
	3. BIČ S	44,32	41,42	14,60		
	4. BIČ V	45,41	42,83	12,90		
	4. BIČ S	45,24	42,26	14,90		
Bílčice C 45/55	9. BIČ V	50,72	47,56	15,80	15,60	9,67
	9. BIČ S	45,50	43,64	9,30		
	10. BIČ V	48,24	45,18	15,30		
	10. BIČ S	45,78	43,81	9,85		
	11. BIČ V	48,25	45,11	15,70		
	11. BIČ S	45,09	43,12	9,85		
Želešice C 30/37	8. ŽEL V	43,84	40,56	16,40	18,34	12,48
	8. ŽEL S	48,36	45,88	12,40		
	9. ŽEL V	46,10	42,19	19,55		
	9. ŽEL S	47,69	45,20	12,45		
	10. ŽEL V	44,39	40,58	19,05		
	10. ŽEL S	44,57	42,05	12,60		
Želešice C 45/55	16. ŽEL V	44,88	42,01	14,35	13,57	12,48
	16. ŽEL S	48,20	45,73	12,53		
	17. ŽEL V	36,99	34,34	13,25		
	17. ŽEL S	39,30	36,73	12,85		
	18. ŽEL V	49,28	46,66	13,10		
	18. ŽEL S	46,82	44,41	12,05		

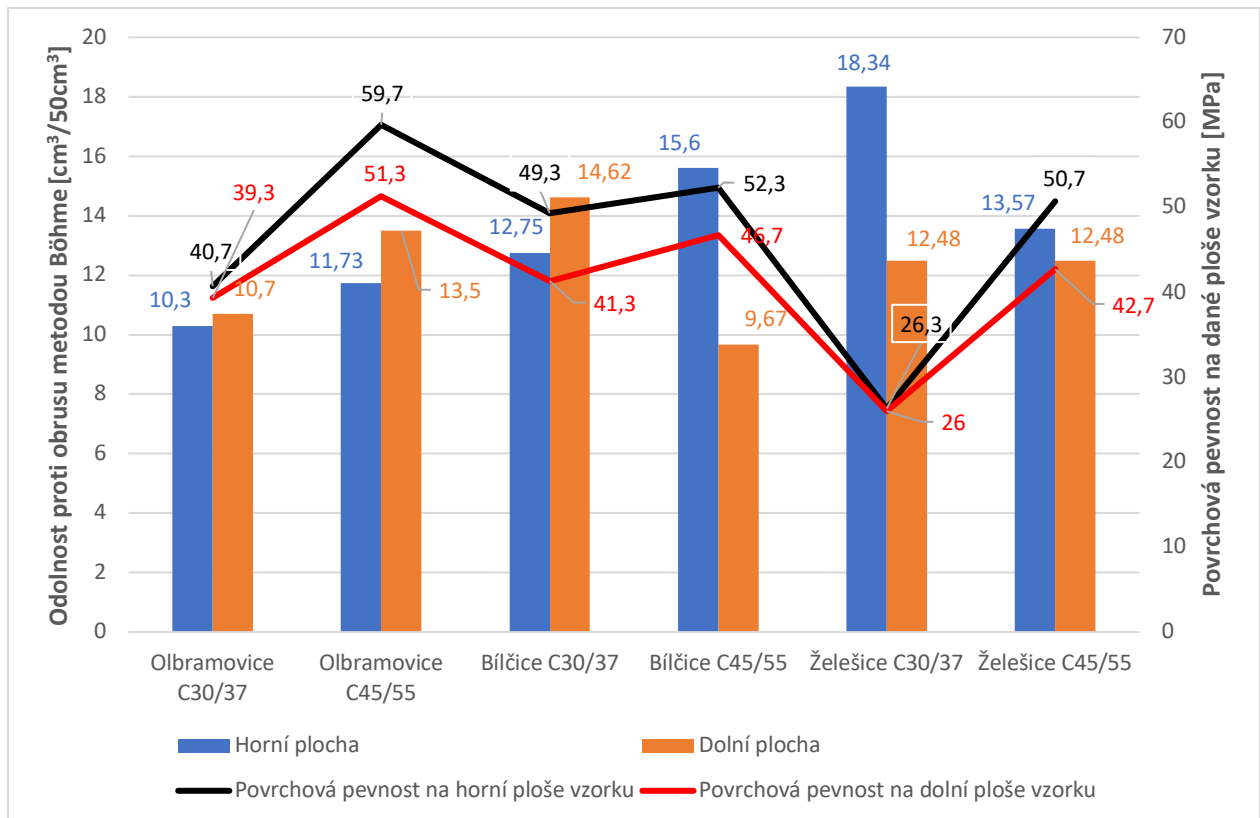


Graf 13 Závislost odolnosti proti obrusu metodou Böhme a pevnosti v tlaku

V tomto případě bychom se mohli opakovat ve všech tvrzeních, které byly uvedeny u grafu 12. Jedná se totiž o stejné závislosti, jen vyhodnocení je rozdílné. Ovšem díky použití dvou metod můžeme říct, že dané výsledky jsou podpořeny dvěma různými cestami, což nám dodává větší jistotu správnosti výsledků a vyplynulých tvrzeních. Rozdíly mezi horní a spodní plochou v tomto případě vycházely podobně jako v přechodím případě.

Tabulka 9 Stanovení povrchová pevnosti dle ČSN EN 1254–2

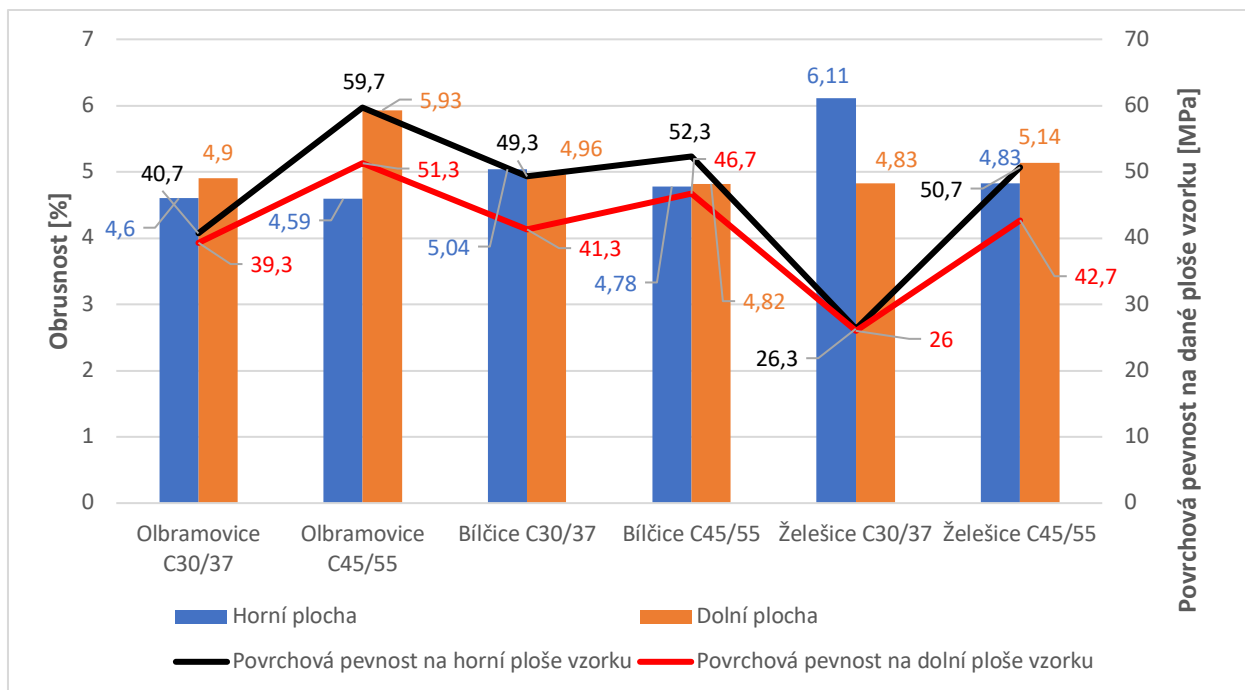
Receptura	Označení vzorku	Pevnost na horní ploše vzorku [MPa]	Pevnost na dolní ploše vzorku [MPa]
Olbramovice C 30/37	15. OLB	41	41
	16. OLB	44	42
	17. OLB	37	35
	<b>Průměrná hodnota</b>	<b>40,7</b>	<b>39,3</b>
Olbramovice C 45/55	8. OLB	63	55
	9. OLB	59	55
	10. OLB	57	44
	<b>Průměrná hodnota</b>	<b>59,7</b>	<b>51,3</b>
Bílčice C 30/37	2. BÍČ	52	41
	3. BÍČ	48	41
	4. BÍČ	48	42
	<b>Průměrná hodnota</b>	<b>49,3</b>	<b>41,3</b>
Bílčice C 45/55	9. BÍČ	55	50
	10. BÍČ	52	46
	11. BÍČ	50	44
	<b>Průměrná hodnota</b>	<b>52,3</b>	<b>46,7</b>
Želešice C 30/37	8. ŽEL	39	35
	9. ŽEL	21	25
	10. ŽEL	19	18
	<b>Průměrná hodnota</b>	<b>26,3</b>	<b>26</b>
Želešice C 45/55	16. ŽEL	46	41
	17. ŽEL	53	46
	18. ŽEL	53	41
	<b>Průměrná hodnota</b>	<b>50,7</b>	<b>42,7</b>



Graf 14 Závislost odolnosti proti obrusu a povrchové pevnosti

V rámci závislosti povrchové pevnosti bylo zkoušeno nedestruktivně pomocí Schmidtova tvrdoměru. Tento funguje na tzv. sklerometrickém principu, kdy hodnota odrazu je převedena na pevnost. Zkouší se takto vlastně tvrdost cementové malty. U závislosti povrchové pevnosti a odolnosti proti obrusu můžeme vyvozovat podobné závěry, jako u grafu závislosti pevnosti v tlaku a odolnosti proti obrusu. Čím vyšší je povrchová pevnost betonu, tím je i vyšší odolnost proti obrusu. Povrchová pevnost u horní strany vzorku ve všech případech vyšla vyšší než u spodní strany vzorku. Důvodem může být to, že při odrazech na povrchové straně vzorku se častokrát podařilo trefit přímo zrno kameniva, což nám následně hodnotu zvýšilo.



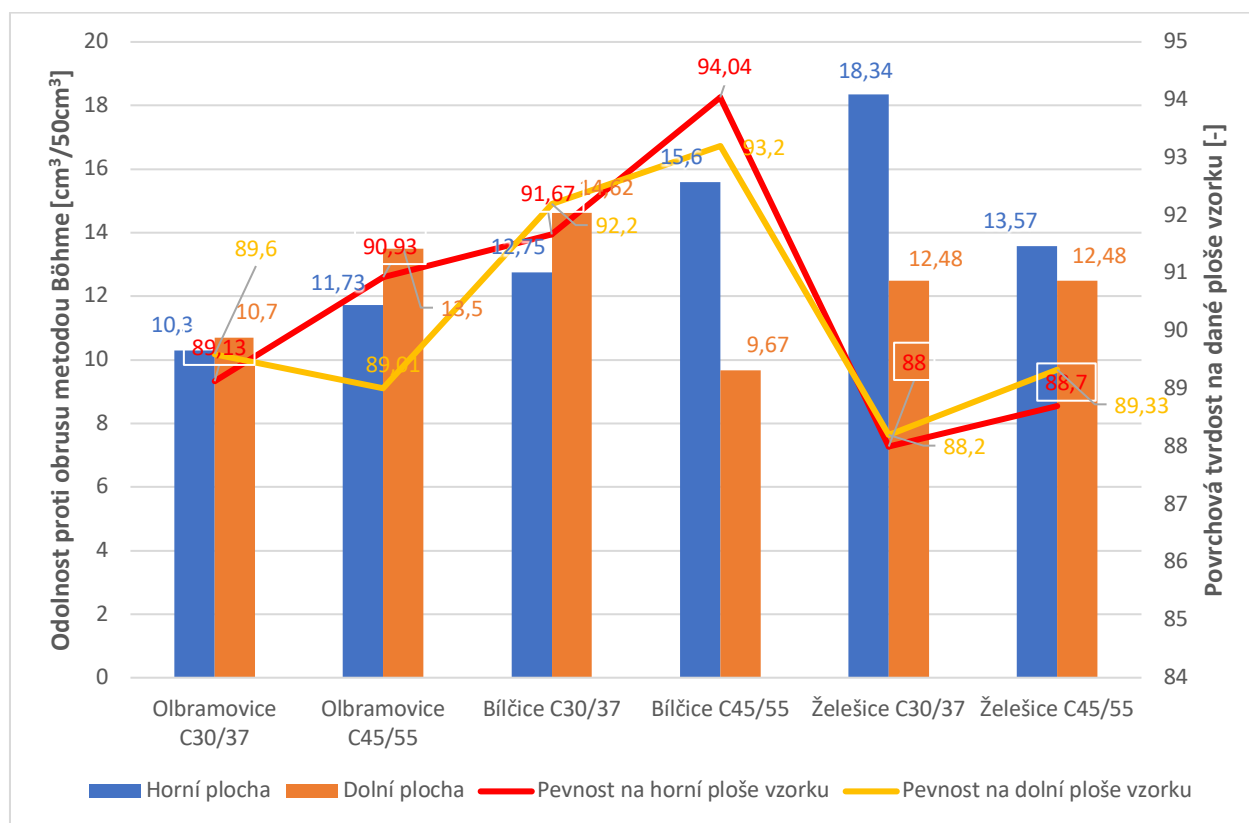


Graf 4 Závislost obrusnosti a povrchové pevnost

Zde se jedná opět o shodné výsledky, jen interpretovány rozdílným druhem vyhodnocení. Díky dvěma způsobu zjišťování odolnosti proti obrusu si můžeme být více jisti, že výsledky jsou správné.

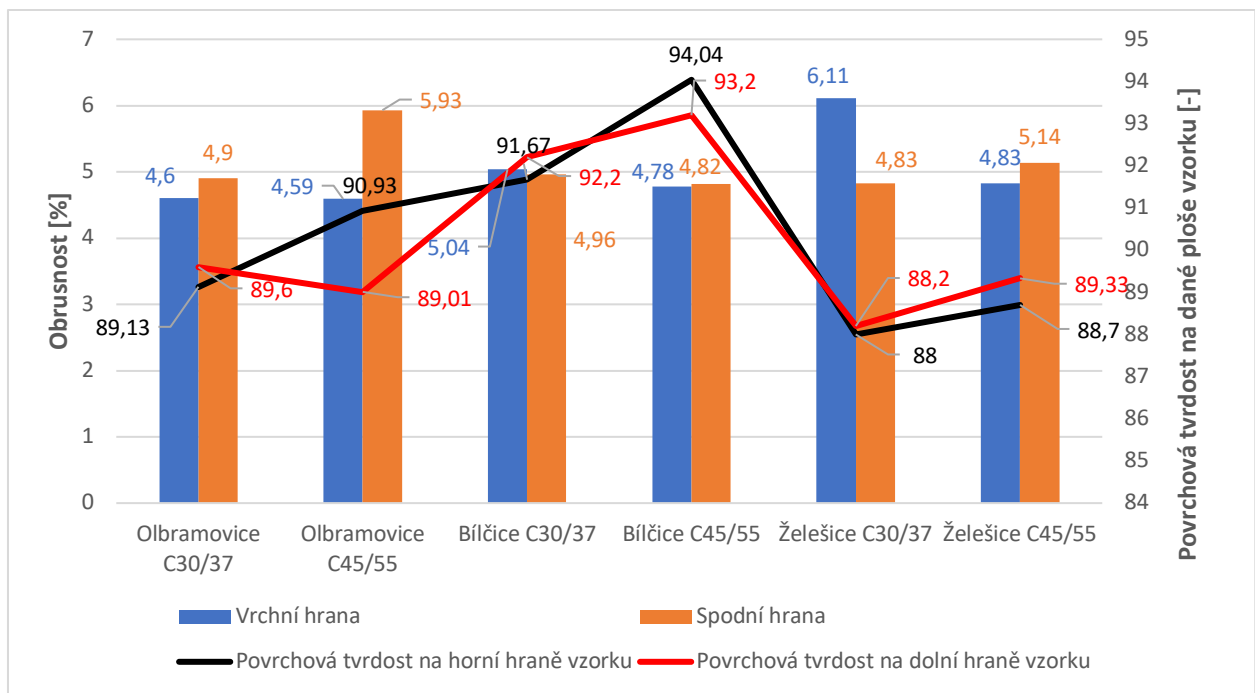
Tabulka 10 Stanovení povrchové tvrdosti durometrem

Receptura	Označení vzorku	Hodnota na horní ploše vzorku [-]	Hodnota na dolní ploše vzorku [-]
Olbramovice C 30/37	15. OLB	87,60	89,20
	16. OLB	88,60	89,00
	17. OLB	91,20	90,60
	<b>Průměrná hodnota</b>	<b>89,13</b>	<b>89,60</b>
Olbramovice C 45/55	8. OLB	92,30	89,00
	9. OLB	89,30	88,80
	10. OLB	91,20	89,40
	<b>Průměrná hodnota</b>	<b>90,93</b>	<b>89,01</b>
Bílčice C 30/37	2. BÍČ	92,40	93,00
	3. BÍČ	92,20	91,20
	4. BÍČ	90,40	92,40
	<b>Průměrná hodnota</b>	<b>91,67</b>	<b>92,20</b>
Bílčice C 45/55	9. BÍČ	93,90	92,40
	10. BÍČ	93,60	94,30
	11. BÍČ	94,60	93,00
	<b>Průměrná hodnota</b>	<b>94,04</b>	<b>93,20</b>
Želešice C 30/37	8. ŽEL	88,40	87,60
	9. ŽEL	87,90	86,60
	10. ŽEL	87,70	88,40
	<b>Průměrná hodnota</b>	<b>88,00</b>	<b>88,20</b>
Želešice C 45/55	16. ŽEL	89,80	89,90
	17. ŽEL	89,00	89,10
	18. ŽEL	87,30	89,00
	<b>Průměrná hodnota</b>	<b>88,70</b>	<b>89,33</b>



Graf 5 Závislost odolnosti proti obrusu a povrchové tvrdosti durometrem

V daném případě byla povrchová tvrdost zjišťována pomocí durometru. Tento přístroj se standardně používá na testování povrchové tvrdosti polymerů. V našem případě jsme zvolili použití tohoto přístroje pouze z důvodu potvrzení správnosti výsledků povrchové tvrdosti dle ČSN EN 1254–2. Povrchová tvrdost vycházela ve všech případech vyšší u horní strany vzorků. Důvod je totožný jako u testování povrchové pevnosti v předchozím případě. Horní vrstva obsahuje větší poměr hrubých zrn kameniva, které jsou nositelem vyšší pevnosti než samotná cementová pasta. Rozdíly ve výsledné povrchové tvrdosti ovšem nebyly nějak zásadní a lišil se jen o pár jednotek.

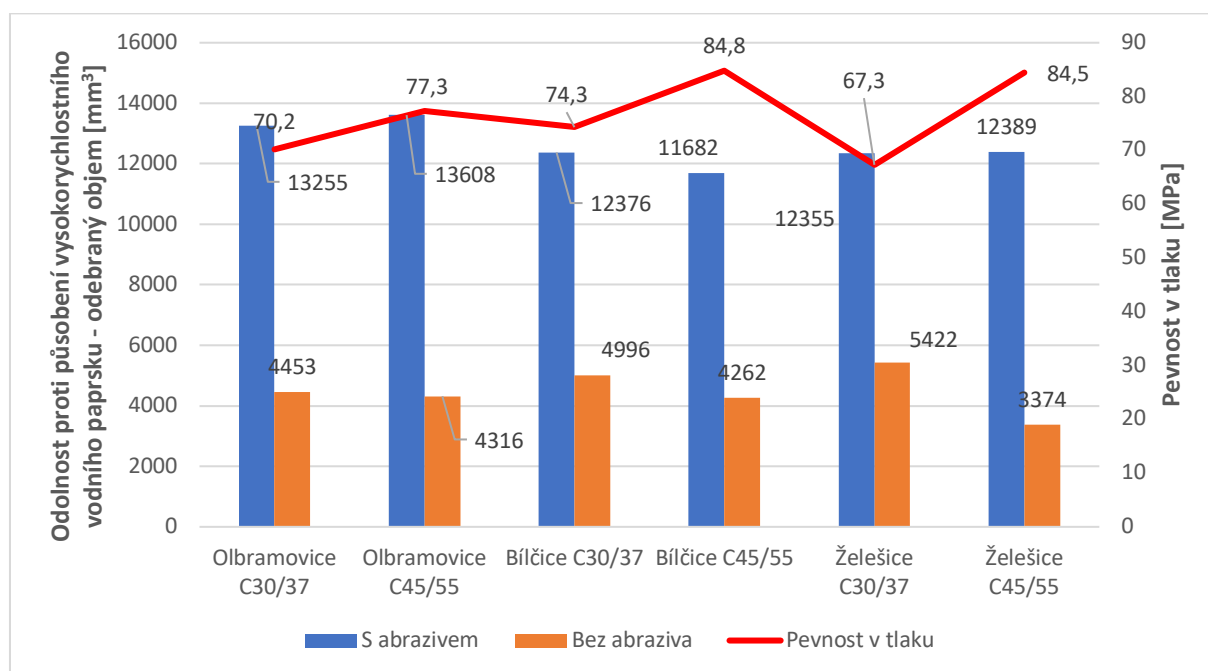


Graf 6 Závislost obrusnosti a povrchové tvrdosti durometrem

V další zkoušce můžeme pozorovat stejné výsledky jen opět jinak interpretované. Z toho důvodu budou závěry a tvrzení stejné jako v přechozím případě.

Tabulka 11 Odolnost proti působení vysokorychlostního vodního paprsku – odebraný objem

Receptura	S abrazivem [ mm <sup>3</sup> ]	Bez abraziva [ mm <sup>3</sup> ]
Bílčice C30/37	12376	4996
Bílčice C45/55	11682	4262
Olbramovice C30/37	13255	4453
Olbramovice C45/55	13608	4316
Želešice C30/37	12355	5422
Želešice C45/55	12389	3374

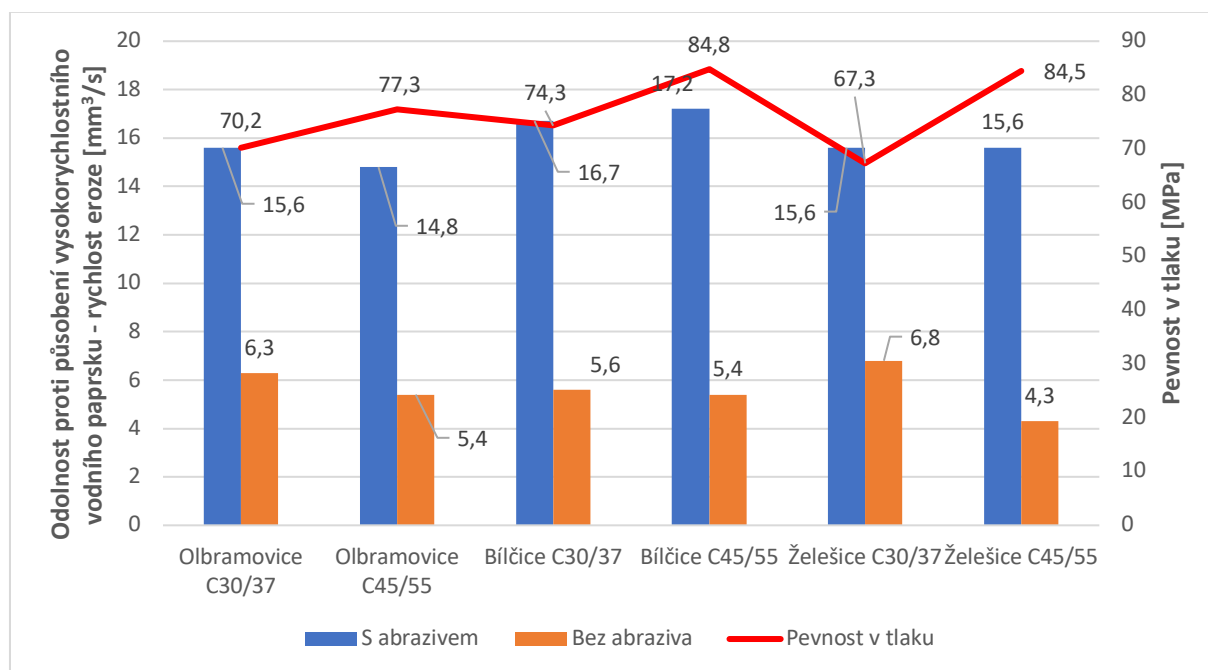


Graf 15 Závislost pevnosti v tlaku a odolnosti proti působení vysokorychlostního vodního paprsku – odebraný objem

Z výsledků můžeme pozorovat, že v každém případě byl objemový úbytek materiálu vyšší při použití abraziva než jen samotné vody. Objemový úbytek vzorku a tedy nejnižší odolnost proti působení vodního paprsku byl zaznamenán u vzorku s kamenivem z Olbramovic při použití abraziva. Tento vzorek ovšem neměl nejhorší výsledky v přechozích zkouškách odolnosti proti obrusu. Z toho můžeme vyvodit závěr, že vzorky rozdílně odolávají odlišnému prostředí a způsobu testování. Proto, při návrhu betonů bychom měli zkušební metody co nejvíce přizpůsobit namáhání konstrukce v reálných podmínkách.

Tabulka 12 Odolnost proti působení vysokorychlostního vodního paprsku – rychlost eroze

Receptura	S abrazivem [mm <sup>3</sup> /s]	Bez abraziva [mm <sup>3</sup> /s]
Bílčice C30/37	15,6	6,3
Bílčice C45/55	14,8	5,4
Olbramovice C30/37	16,7	5,6
Olbramovice C45/55	17,2	5,4
Želešice C30/37	15,6	6,8
Želešice C45/55	15,6	4,3



Graf 16 Závislost pevnosti v tlaku a odolnosti proti působení vysokorychlostního vodního paprsku – rychlost eroze

Zde se nám opět potvrdily všechny tvrzení a závislosti, které zazněly v předchozím případě. Jedná se o stejné výsledky, jen vyhodnocení bylo provedeno rozdílným způsobem.

## 20. Závěr

Současná legislativa klasifikuje prostředí, na které působí obrus díky proudící vodě nebo pojezdu kol pouze stupněm XM. Tento stupeň je v z hlediska zkušebních postupů a kritérií hodnocení absolutně nedostatečný. V potaz se zde bere pouze pevnostní třída betonu a vodní součinitel.

V přechozích kapitolách bylo probráno spoustu vlivů na zlepšení vlastností betonů vůči abrazi a také několik způsobů, jak testovat samotný beton nebo kamenivo pro konstrukce, které budou obrusu vystaveny. Při sestavování receptury by v každém případě měla být otestována vhodnost kameniva do konstrukce. K tomuto účelu nám dokonale poslouží zkušební metoda Los Angeles, která se v zahraničí aktivně používá. Obvyklá ztráta hmotnosti při testování kameniva se pohybuje někde mezi 25-55%. V dalším kroku bychom konstrukce rozdělili podle toho, v jakém prostředí se budou nacházet. Vodorovné plochy, které budou namáhány převážně pojezdem kol dopravních prostředků by bylo vhodné testovat na souboru zkoušek ASTM C779. Při výběru jednotlivé metody by se měl vzít v potaz druh dopravních prostředků. Zda se bude jednat o kolovou dopravu, pásovou a nebo smíšenou. Vždy by se mělo snažit jednotlivé testovací zkoušky, co nejvíce přiblížit reálnému namáhání.

Vodohospodářské stavby bude vhodné testovat hned na dvou zkouškách. Podvodní metodou – ASTM C1138. U této metody je ovšem nevýhoda, že u ní chybí stimulace nárazu abrazivních částic na povrch. Z toho důvodu, by jsme jako druhou metodu zařadili metodu Pískování – ASTM C148. Tato metoda sice není prováděna ve vodním prostředí, ale vzduchem unášené abrazivum dokonale stimuluje nárazové namáhání. Kombinací těchto dvou zkoušek by jsme dokonale pokryli všechny možné vzniklé namáhání na vodohospodářských konstrukcích. Metoda pískování by ještě mohla být nahrazena použitím vysokotlakého vodního paprsku. Zde by opět byl stimulován i náraz a zároveň by se mohl upravovat úhel dopadu paprsku na zkušební těleso, což je další proměnná, která může hrát roli v konečné odolnosti proti obrusu. Další výhoda je možnost použití abraziva unášeného vodním paprskem, což se u namáhání vodohospodářských staveb vyskytuje téměř vždy.

V praktické části bylo navrženo celkem 6 receptur o konzistenci sednutí kužele S3. Kamenivo zde bylo použito hned ze tří lokalit Olbramovice, Želešice a Bíčice. Od

každého kameniva byly navrženy 2 receptury s pevností C30/37 a C45/55. Z daných receptur pak byly vyhotoveny zkušební vzorky – krychle o hraně 100 mm. Z části krychlí byly následně vyřezány vzorky na zkoušení metody pro stanovení obrusnosti betonu a stanovení odolnosti proti obrusu metodou Böhme. Na zbylých krychlích byla prováděna zkouška pevnosti v tlaku, tvrdoměrná zkouška, povrchová tvrdost pomocí duometru a nakonec odolnost proti působení vysokorychlostního vodního paprsku.

Z výsledků můžeme usuzovat, že čím je nižší hodnota obrusnosti, tím vyšší je pevnost v tlaku. Tento předpoklad ovšem není zcela jednoznačný, protože v odolnosti betonu proti obrusu hraje roli více faktorů jako např. pevnost kameniva nebo síla spojení mezi kamenivem a cementovou pastou. Tato skutečnost se dokonale projevila u vzorku Olbramovice C30/37, který vykazuje téměř nejlepší výsledky obrusnosti, i když má jednu z nejnižších pevností v tlaku. Zapříčinění tohoto faktu můžeme usuzovat tomu, že povrch zrn kameniva z lokality Olbramovice je ostrohranný a hrubý. Z toho důvodu zde dosáhneme vyšší pevnosti mezi kamenivem a cementovou pastou. Při závislosti odolnosti obrusu metodou Böhme a pevnosti v tlaku můžeme předchozí tvrzení zopakovat, protože výsledky jsou velice podobné. To nám dodává jistotu, že výsledky a výsledná tvrzení jsou správné. Rozdíly mezi horní a spodní plochou nejsou ve většině případu nějak výrazné.

Vliv povrchové pevnosti na odolnost proti obrusu byl zkoušen nedestruktivně pomocí Schmidthova tvrdoměru. V tomto případě můžeme vyvozovat podobné závěry, jako při závislosti pevnosti v tlaku a odolnosti proti obrusu. Čím je vyšší povrchová pevnost betonu, tím je i vyšší odolnost proti obrusu. Rozdíl mezi horní stranou a dolní byl výraznější z důvodu, že při odrazech na horní straně vzorku se častokrát podařilo trefit přímo zrno kameniva, což nám ve výsledku hodnotu zvýšilo.

Povrchová tvrdost byla zjišťována pomocí duometru. Ve všech případech vycházela tvrdost horní strany vzorků vyšší, než u dolní strany. Závislost na povrchové tvrdosti a odolnosti proti obrusu je stejná jako u povrchové pevnosti, čím je vyšší povrchová tvrdost, tím je lepší odolnost proti obrusu.

Odolnost proti působení vysokorychlostního vodního paprsku na základě výsledků potvrdila již předešlé tvrzení, že při testování betonů by měly být zkušební metody co nejvíce přizpůsobeny reálnému prostředí, ve kterém bude konstrukce použita a to hlavně z toho důvodu, že kamenivo z lokality Bílčice dosáhlo nejvyšší odolnosti proti působení vysokorychlostního vodního paprsku, ale při zkoušení obrusnosti tento výsledek tak jednoznačný nebyl. Potvrdila se nám opět závislost, že



při zvyšující se pevnosti betonu v tlaku roste zároveň i odolnost proti působení vysokorychlostního vodního paprsku. Tyto tvrzení jsme podpořili dvěma výsledky rychlostí eroze a množstvím odebraného objemu.

## 21. Seznam použitých zdrojů

1. **Wei-Ting Lin, An Cheng.** Abrasion Resistance of Cement-Based Composites. [Online] [https://www.researchgate.net/publication/221928784\\_Abrasion\\_Resistance\\_of\\_Cement-Based\\_Composites](https://www.researchgate.net/publication/221928784_Abrasion_Resistance_of_Cement-Based_Composites).
2. **Ramesh Kumar G.B. , Sharma U.K.** Abrasion resistance of concrete containing marginal aggregates. [Online] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061814005856>.
3. **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 . [Online]
4. **Andrej Kryžanowski1, \* – Matjaž Mikoš1 – Jakob Šušteršič, Velimir Ukrainczyk, Igor Planinc.** Testing of Concrete Abrasion Resistance in Hydraulic Structures on the Lower Sava River. [Online] [https://www.svjme.eu/?ns\\_articles\\_pdf=/ns\\_articles/files/ojs/548/submission/copyedit/548-1400-1-CE.pdf&id=2982](https://www.svjme.eu/?ns_articles_pdf=/ns_articles/files/ojs/548/submission/copyedit/548-1400-1-CE.pdf&id=2982).
5. **Graham, James R.** *Erosion of Concrete in Hydraulic Structures*. [Online] [http://civilwares.free.fr/ACI/MCP04/210r\\_93.pdf](http://civilwares.free.fr/ACI/MCP04/210r_93.pdf).
6. **G.B. Ramesh Kumar, Umesh Kumar Sharma.** Standard Test Methods for Determination of Abrasion Resistance of Concrete. [Online] [https://www.ripublication.com/ijcer\\_spl/ijcerv5n2spl\\_09.pdf](https://www.ripublication.com/ijcer_spl/ijcerv5n2spl_09.pdf).
7. **Sallal R. Abid, Ali N. Hilo, Yasir H. Daek.** Experimental tests on the underwater abrasion of Engineered Cementitious Composites. [Online] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061818306706>.
8. **Method, Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter.** [Online] <ftp://ftp.ecn.purdue.edu/olek/PTanikela/To%20Prof.%20Olek/ASTM%20standards/abrasion%20resistance%20C944.pdf>.
9. **Selim Cemalgil, Onur Onat.** Compressive Strength and Abrasion Resistance of Concrete with Waste Marble and Demolition Aggregate. [Online] <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/225902>.
10. **Emily Van Dam, Ryan Kernes, David Lange, Riley Edwards.** Abrasion Resistance Testing of Concrete Railway Crossties. [Online] <https://www.purdue.edu/discoverypark/nextrans/assets/pdfs/Van%20Dam>.
11. **Indian Standard METHOD OF TEST FOR ABRASION RESISTANCE OF CONCRETE.** [Online] [http://questin.org/sites/default/files/standards/is.9284.1979\\_0.pdf](http://questin.org/sites/default/files/standards/is.9284.1979_0.pdf).
12. **Todd V. Scholz, Ph.D., P.E., Shweta Keshari.** Abrasion resistant concrete mix designs for precast bridge deck panels. [Online] [https://www.oregon.gov/ODOT/Programs/ResearchDocuments/SPR622\\_WEB.pdf](https://www.oregon.gov/ODOT/Programs/ResearchDocuments/SPR622_WEB.pdf).
13. **ČSN EN 1338. Betonové dlažební bloky - Požadavky a zkušební metody. Příloha G : Měření odolnosti proti obrušování .** Prosinec, 2004.
14. **ČSN EN 1339. Betonové dlažební desky - Požadavky a zkušební metody. Příloha G : Měření odolnosti proti obrušování .** prosinec, 2004.
15. **ČSN EN 1340. Betonové obrubníky- Požadavky a zkušební metody. Příloha G : Měření odolnosti proti obrušování .** prosinec, 2004.

16. Ahmad, Shaheer. *Academia.edu*. [Online]  
[https://www.academia.edu/37842761/To\\_Perform\\_LOS\\_ANGELES\\_Abrasion\\_Test\\_on\\_Aggregates](https://www.academia.edu/37842761/To_Perform_LOS_ANGELES_Abrasion_Test_on_Aggregates).
17. Los Angeles Abrasion. *Pavementinteractive.org*. [Online]  
<https://www.pavementinteractive.org/reference-desk/testing/aggregate-tests/los-angeles-abrasion/>.
18. ABRASION TEST ON AGGREGATE (LOS ANGELES TEST). [Online]  
<http://civiconcepts.com/2019/01/los-angeles-abrasion-test-on-aggregate/>.
19. *Beton: Technologie–Konstrukce–Sanace: Vliv přísad a příměsí na vlastnosti čerstvého a vyzrálého betonu*. Praha : Český normalizační institut, 2015, 2015. ISSN 1213-3116.
20. Elzbieta Horszczaruk, Piotr Brzozowski. Effects of fluidal fly ash on abrasion resistance of underwater repair concrete. *Sciencedirect.com*. [Online]  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043164817301461>.
21. Petr, Kušiak. *Ověření trvalivosti popílkových betonů v prostředí XF*. Brno : Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Fakulta Stavební. Vedoucí práce prof. Ing. Rudolf Hela, CSc., 2013.
22. C.H. Wu, T. Yen, Y.W. Liu, T.H. Hsu. THE ABRASION EROSION RESISTANCE OF CONCRETE CONTAINING BLAST FURNACE SLAG. [Online]  
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.535.2214&rep=rep1&type=pdf>
23. Benjamin D. Scott, Md. Safiuddin. Abrasion Resistance of Concrete – Design, Construction and Case Study. *Researchgate.net*. [Online]  
[https://www.researchgate.net/publication/281594259\\_Abrasion\\_Resistance\\_of\\_Concrete\\_-\\_Design\\_Construction\\_and\\_Case\\_Study](https://www.researchgate.net/publication/281594259_Abrasion_Resistance_of_Concrete_-_Design_Construction_and_Case_Study).
24. N, Papenfus. APPLYING CONCRETE TECHNOLOGY TO ABRASION RESISTANCE. [Online]  
[http://www.damsforafrica.com/uploads/1/6/0/0/16002766/abrasion\\_resistance\\_-\\_papenfus\\_-\\_sun\\_city\\_2003\\_-\\_1047.pdf](http://www.damsforafrica.com/uploads/1/6/0/0/16002766/abrasion_resistance_-_papenfus_-_sun_city_2003_-_1047.pdf).
25. ČSN EN 12350-2. *Zkoušení čerstvého betonu - Část 2: Zkouška sednutím*. 2009.
26. ČSN EN 12350-6. *Zkoušení čerstvého betonu - Část 6: Objemová hmotnost*.
27. ČSN EN 12390-7. *Zkoušení ztrdlého betonu - Část 7: Objemová hmotnost ztrdlého betonu*. 2009.
28. ČSN EN 12390-3. *Zkoušení ztvrdého betonu - Část 3 Pevnost v tlaku zkušebních těles*. 2009.
29. ČSN EN 73 1324. *Stanovení obrusnosti betonu*. 1972.
30. ČSN EN 13892-3. *Zkušební metody potěrových materiálů - Část 3: Odolnost proti obrusu metodou Böhme*. 2015.
31. ČSN EN12504-2. *Zkoušení betonu v konstrukcích - Část 2: Nedestruktivní zkoušení - Stanovení tvrdosti odrazovým tvrdoměrem*.
32. Standard Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness. [Online]  
<https://www.plantech.com/wp-content/uploads/2017/05/ASTM-D2240-Durometer-Hardness.pdf>.
33. *Erosion test with high-speed water jet applied on surface of concrete treated with solution of modified lithium silicates*. Petr Hlaváček, Libor Sitek, Rudolf Hela, Lenka Bodnářová.
34. Mateusz Popek, Łukasz Sadowski, Jacek Szymanowski. Abrasion resistance of concrete containing selected mineral powders. [Online]  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816323578>.

**35. Patrik Bayer, Jan Podroužek, Břetislav Teplý, Pavla Rovnaníková, Barbara Kucharczyková, Pavel Schmid . Vliv kameniva na šíření vysokých teplot v betonu. [Online] [http://www.betontks.cz/sites/default/files/2011-6-53\\_0.pdf](http://www.betontks.cz/sites/default/files/2011-6-53_0.pdf).**

**36. ZEMAN, Otakar. *Petrografie a regionální geologie Českého masívu*. 2. přeprac. vyd. Praha: ČVUT, 1994, 147 s. ISBN 80-010-1178-X.**

## **22. Seznam použitých příloh**

### **22.1. Seznam obrázků**

Obrázek 1 Poškození betonu vlivem abraze [1] .....	15
Obrázek 2 Příklady nepravidelností povrchu betonu [5] .....	17
Obrázek 3 Počátek oděru, odlupování částic betonu [3] .....	20
Obrázek 4 Narážení pevných částic na povrch betonu [3] .....	20
Obrázek 5 Popis abrazivní eroze [3] .....	21
Obrázek 6 Příklad pro testování podvodní metodou [2] .....	22
Obrázek 7 Vzorky po testování podvodní metodou [7] .....	23
Obrázek 8 Schéma přístroje pro metodu pískování [6] .....	24
Obrázek 9 Příklad pro metodu pískování [1] .....	24
Obrázek 10 Zařízení pro metodu rotující frézy [9] .....	25
Obrázek 11 Příklad pro metodu rotačních disků [11] .....	26
Obrázek 12 Příklad pro metodu brusných kol [6] .....	27
Obrázek 13 Příklad pro metodu kuličkového ložiska [6] .....	28
Obrázek 14 Schéma přístroje dle IS 9284 [11] .....	29
Obrázek 15 Testovací komora naplněná ocelovými kuličkami [12] .....	30
Obrázek 16 Komora připravená k testování [12] .....	30
Obrázek 17 Příklad pro metodu širokým kolem [13] [14] [15] .....	31
Obrázek 18 Zařízení na skandinávskou brusnou zkoušku [12] .....	32
Obrázek 19 Pohled do bubnu přístroje před testováním [12] .....	32
Obrázek 20 Zařízení pro metodu Los Angeles [18] .....	33
Obrázek 21 Klasifikace příměsí [1] .....	35
Obrázek 22 Použitá vlákna do betonu [2] .....	42
Obrázek 23 Efekt stínové zóny [23] .....	43
Obrázek 24 Vliv úhlu dopadu na drsnost povrchu [2] .....	49
Obrázek 25 Rozdíly mezi použitou velikostí částic abraziva [2] .....	50

Obrázek 26 Rozdíl v obrusu materiálu mezi jednotlivými koncentracemi abraziva [2]	51
Obrázek 27 Uložení krychlí ve vodním prostředí.....	58
Obrázek 28 Odrazový tvrdoměr Schmidt N.....	63
Obrázek 29 Durometr .....	64
Obrázek 30 Trajektorie řezného cyklu [33].....	65
Obrázek 31 Obstřík vzorku [33].....	65
Obrázek 32 Testované vzorky po zkoušce odolnosti proti vysokorychlostnímu vodnímu paprsku .....	65

## 22.2. Seznam grafů

Graf 1 Vliv hrubého kameniva na odolnost proti obrusu [2].....	35
Graf 2 Závislost přídávku mikrosilky a míry abraze [2].....	37
Graf 3 Závislost obsahu popílku a hloubky opotřebení po 28 dnech [2].....	39
Graf 4 Závislost hloubky opotřebení a náhradou kameniva popílkem [2].....	39
Graf 5 Závislost mezi celkovým obroušeným objemem a obsahem strusky [19] .....	40
Graf 6 Porovnání jednotlivých vláken a celkového obroušeného objemu [2] .....	43
Graf 7 Závislost vodního součinitele na rychlosti abraze [3] .....	45
Graf 8 Závislost mezi pevností v tlaku a rychlostí abraze [3] .....	46
Graf 9 Závislost mezi pevností v ohybu a rychlostí abraze [3] .....	46
Graf 10 Závislost úhlu dopadu a míry obrusu při různém vodním součiniteli [2] .....	48
Graf 11 Závislost mezi mírou obrusu, obsahem abraziva a úhlu dopadu vodního paprsku [2].....	51
Graf 12 Závislost obrusnosti a pevnosti v tlaku .....	68
Graf 13 Závislost odolnosti proti obrusu metodou Böhme a pevnosti v tlaku.....	70
Graf 14 Závislost odolnosti proti obrusu a povrchové pevnosti .....	72
Graf 15 Závislost pevnosti v tlaku a odolnosti proti působení vysokorychlostního vodního paprsku – odebraný objem .....	77
Graf 16 Závislost pevnosti v tlaku a odolnosti proti působení vysokorychlostního vodního paprsku – rychlost eroze.....	78

### 22.3. Seznam tabulek

Tabulka 1 Hodnocení výsledků [12] .....	29
Tabulka 2 Průměrné ztráty hmotnosti pro jednotlivé druhy kameniva [18].....	33
Tabulka 3 Složení jednotlivých receptur na 1 m <sup>3</sup> v kg.....	56
Tabulka 4 Prováděné zkoušky .....	58
Tabulka 5 Klasifikace sednutí kužele [25] .....	59
Tabulka 6 Objemové hmotnosti a pevnosti v tlaku po 28 dnech .....	66
Tabulka 7 Stanovení obrusnosti dle ČSN 73 1324.....	67
Tabulka 8 Stanovení obrusnosti dle ČSN EN 13892-3.....	69
Tabulka 9 Stanovení povrchová pevnosti dle ČSN EN 1254-2 .....	71
Tabulka 10 Stanovení povrchové tvrdosti durometrem .....	74
Tabulka 11 Odolnost proti působení vysokorychlostního vodního paprsku – odebraný objem.....	77
Tabulka 12 Odolnost proti působení vysokorychlostního vodního paprsku – rychlost eroze.....	78

### 22.4. Seznam příloh

Příloha 1 Technický list CEM I 42,5 R Mokrý .....	87
Příloha 2 Technický list CHRYSO Fluid Optima 224.....	88

# CEM I 42,5 R

## Portlandský cement

### EN 197-1

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

**Technický list**  
březen 2019



#### Charakteristické vlastnosti:

- rychlý nárůst pevností
- vysoká počáteční pevnost
- vysoká konečná pevnost
- rychlý vývin hydratačního tepla
- vyšší celkové hydratační teplo

#### Použití:

- betony běžných a vyšších pevnostních tříd
- betony s rychlým nárůstem pevnosti
- předpínané betony
- suché omítkové směsi a malty
- betonové zboží

#### Český cement:

- Symbol v národních barvách odkazuje na český původ zboží a českou identitu.
- Značka reprezentuje nový přístup, pokrok a úspěchy českého cementářského průmyslu.



#### Kvalita, bezpečnost, ekologie:

Kvalita výrobků, respekt k životnímu prostředí, důraz na bezpečnost zaměstnanců a hospodárné využívání energetických zdrojů patří k našim hlavním prioritám. Plnění požadavků příslušných systémů managementu je potvrzeno vydanými certifikáty:

- Management kvality ČSN EN ISO 9001
- Management bezpečnosti a ochrany zdraví při práci ČSN OHSAS 18001
- Environmentální management ČSN EN ISO 14001
- Management hospodaření s energií ČSN EN ISO 50001



#### Způsob dodání:

- volně ložený v autocisternách nebo železničních vagoněch Raj
- balený v papírových pytlích 25 kg s polyetylenovou vložkou, na vratných paletách o celkové hmotnosti 1,4 t

Obsah složek		
Hlavní složka	Portlandský slínek	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.

Českomoravský cement, a.s.  
Technická podpora prodeje  
technicka.podpora@cmcem.cz  
+420 544 122 544

[www.cmcem.cz](http://www.cmcem.cz)

**ČESKOMORAVSKÝ  
CEMENT**  
HEIDELBERGCEMENT Group

Příloha 1 Technický list CEM I 42,5 R Mokrá



## CHRYSO® Fluid Optima 224

### Silně vodoredukující/superplastifikační přísada

#### POPIS

**CHRYSO® Fluid Optima 224** je superplastifikátor nové generace na bázi modifikovaných polykarboxylátů.

**CHRYSO® Fluid Optima 224** je určen zejména pro transportbeton a inženýrské stavby.

**CHRYSO® Fluid Optima 224** vykazuje silnou schopnost redukovat množství vody a prodloužit dobu zpracovatelnosti betonu. Umožní výrobu betonů udržujících žádanou konzistenci po dlouhou dobu bez zpoždovacího efektu.

**CHRYSO® Fluid Optima 224** je velmi vhodný pro přípravu homogenních samozhutitelných betonů.

**CHRYSO® Fluid Optima 224** je kompatibilní s většinou cementů.

#### VLASTNOSTI

- Hnědá kapalina
- Hustota při 20°C: 1,05 kg/dm<sup>3</sup> ± 0,02
- Obsah chloridů: ≤ 0,1%
- pH: 4,7 ± 1,0
- Obsah alkálií (ekv. Na<sub>2</sub>O): ≤ 1,0%

#### BALENÍ

Soudek 60 l  
barel 200 (215) l  
kontejner 1.000 l (vratný)

#### POUŽITÍ

- transportbeton
- betony pro inženýrské stavby
- vysokopevnostní a vysokojakostní betony
- betony velmi měkké a tekuté
- samozhutitelné betony

#### PRAKTICKÁ DOPORUČENÍ

Dávkování: od 0,3 kg do 2,0 kg na 100 kg cementu.

**CHRYSO® Fluid Optima 224** se musí přidávat se záměsovou vodou. Optimální dávku přísady je nutno stanovit na základě zkoušek a v závislosti na charakteru vstupních surovin, způsobu zpracování a požadavků na čerstvý a ztvrdlý beton.

**CHRYSO® Fluid Optima 224** lze podle potřeby kombinovat v betonu spolu s dalšími vhodnými přísadami **CHRYSO®**.

#### UPOZORNĚNÍ

- chraňte před mrazem a znečištěním
- v případě zmrznutí kontaktujte pracovníky **CHRYSO**
- nevystavujte přípravek dlouhodobě vyšším teplotám
- minimální doba použitelnosti je 9 měsíců

#### BEZPEČNOST PRÁCE

Veškeré informace týkající se bezpečnosti jsou uvedeny v Bezpečnostním listu výrobku

Poslední revize 2/2019