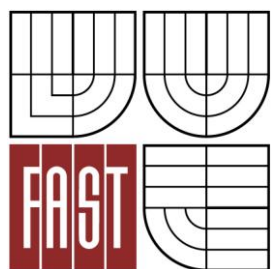




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND
COMPONENTS

STUDIUM VLIVU SLOŽENÍ BETONU NA OBRUSNOST POVRCHŮ

OF THE EFFECT OF CONCRETE COMPOSITION ON THE ABRASION SURFACES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Marek Hoško

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. RUDOLF HELA, CSc.

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor 3607R020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student Marek Hoško

Název Studium vlivu složení betonu na ohrusnost povrchů

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

Datum zadání bakalářské práce 30. 11. 2012

Datum odevzdání bakalářské práce 24. 5. 2013

V Brně dne 30. 11. 2012

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

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

- tuzemské a zahraniční odborné časopisy
- sborníky z tuzemských a zahraničních odborných konferencí
- internetové stránky, např. <http://webofknowledge.com> nebo <http://wokinfo.com>

Zásady pro vypracování

Problematika obrusnosti povrchů betonů se týká zejména betonových vozovek, kdy dochází k rychlému opotřebení a odstranění povrchové vrstvy vozovek s vytvořenými drážkami pro odvod vody. Toto má následně negativní dopad na proti smykové vlastnosti obroušených povrchů a zvyšuje nebezpečí dopravních nehod.

Tento negativní jev se v ČR objevuje na konstrukcích dálničních krytů v posledních 10 letech při používání moderních finišerů.

Hlavní část práce bude spočívat ve zpracování rešerše současného stavu této problematiky v zahraničí, zejména USA, Francie, Německo, Itálie. Ověřit souvislosti mezi typy hrubého kameniva, případně objemu cementového tmele na obrusnost a dále vliv pevnosti v tlaku, míry provzdušnění a typů povrchových úprav betonových krytů (kartáčování, umývání atd.)

Cílem praktické části práce bude navrhnout různé verze cementových betonů CB I a CB II s různými typy hrubého kameniva, případně cementů. Na vyrobených vzorcích pak otestovat obrusnost metodou dle Bohma a zjistit případné souvislosti na hodnoty obrusnosti v závislosti na složení betonů, míře provzdušnění či tloušťce cementové malty.

Rozsah práce je minimálně 40 stran.

Předepsané přílohy

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

Abstrakt:

Práce se zabývá sumarizací poznatků o problematice týkající se ztrátě protismykových vlastností vozovek, která je způsobena obrusem povrchu. Dále pak uvádí souvislosti mezi typy hrubého kameniva a objemu cementového tmele na obrusnost, vliv pevnosti v tlaku, míru provzdušnění a různé typy povrchových úprav.

V praktické části byly navrženy receptury CB II s různými typy hrubého kameniva. Vzorčky byly testovány na obrusnost metodou dle Böhma dle normy ČSN 73 1324 - Stanovení obrusnosti betonu.

Klíčová slova:

Cementobetonový kryt, obrusnost betonu, protismykové vlastnosti, megatextura, mikrotextura.

Abstract:

This work deals with summarizing knowledge on issues related to the loss of skid resistance properties of roads, which is caused by surface abrasion. Then indicates the relation between types of aggregates and paste volume to abrasion, impact compressive strength, aeration rate and different types of finishes.

In the practical part were designed recipe CB II with different types of coarse aggregate. Samples were tested for abrasion method according to Böhm according to CSN 73 1324 Determination of abrasion of concrete.

Keywords:

Concrete pavements, abrasion of concrete, antiskid properties, megatexture, microtexture.

Bibliografická citace VŠKP

HOŠKO, Marek. *Studium vlivu složení betonu na obrušnost povrchů*. Brno, 2013. 63 s., 3 přílohy. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce prof. Ing. Rudolf Hela, CSc..

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 21.5.2013

.....
podpis autora
Marek Hoško

Poděkování:

Na tomto místě bych rád poděkoval doc. Ing. Rudolfu Helovi, CSc za cenné připomínky a odborné rady, kterými přispěl k vypracování této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Petru Novosadovi a dalším zaměstnancům ústavu THD za pomoc při vypracování.

Obsah:

I. TEORETICKÁ ČÁST	11
Úvod	11
1. Historie	11
2. Rozdíly mezi cementobetonovým (CB) a asfaltovým (AB) krytem vozovek.....	12
2.1 Rozdíly z hlediska správce komunikace	12
2.2 Rozdíly z hlediska uživatele komunikace	12
3. Vozovky s CB krytem	13
3.1 Technologie provádění vozovek s CB krytem	13
3.2 Konstrukční uspořádání CB krytů	15
4. Stavební materiály CB krytů vozovek	15
4.1 Kamenivo	16
4.2 Cement.....	17
4.3 Záměsová voda	18
4.4 Přísady.....	18
4.5 Postřikové hmoty.....	18
4.6 Ocel	18
4.7 Čerstvý beton	18
4.8 Ztvrdlý beton	19
5. Povrchové vlastnosti vozovek s CB krytem.....	19
5.1 Mikrotextura	20
5.2 Makrotextura.....	20
5.3 Megatextura.....	20
6. Ovlivnění drsnosti povrchu.....	20
6.1 Požadavky na mikrotexturu	20
6.2 Vytváření makrotextury	21
7. Reflexní vlastnosti vozovek s CB krytem.....	22
8. Ztráta protismykových vlastností povrchu vozovky.....	23
9. Hlučnost.....	24
10. Whitetopping.....	25
10.1 Popis technologie	25
10.2 Využití.....	25
10.3 Typy technologie whitetopping.....	26
10.4 Postup aplikace whitetoppingu, metoda UTW	26

11.	Porovnání finančních nákladů mezi AB krytem a CB krytem	26
12.	Cementobetonové vozovky na dálnicích v ČR	27
13.	Analýza konstrukčního řešení a hlediska pro výběr technologie	28
14.	Silniční betony	28
14.1	Provzdušněný beton – kryty vozovek	28
14.2	Provzdušňovací přísady	29
14.3	Spacing faktor	29
14.4	Požadavky normy	30
14.5	Činitele ovlivňující provzdušnění betonu	30
14.6	Složení čerstvého provzdušněného betonu	32
15.	Pórovitá struktura cementového kamene	32
15.1	Technologické póry	33
15.2	Provzdušňovací póry	33
15.3	Gelové póry	33
15.4	Hydratační póry	33
15.5	Kapilární póry	33
16.	Alkalicko-křemičitá reakce (AKR) u CB krytů vozovek	34
16.1	Mechanismy a předpoklady	34
16.2	Zabránění alkalicko-křemičité reakci	34
17.	Technologické faktory ovlivňující přílnavost a soudržnost cementového kamene s kamenivem	35
17.1	Jakost použitého cementu	35
17.2	Povrch zrn kameniva	36
17.3	Teplotní roztažnost	36
17.4	Nasákavost kameniva	36
17.5	Množství záměsové vody	36
17.6	Reakce povrchu kameniva s hydratujícím cementem	36
18.	Obrusnost betonu	37
18.1	Souvislosti mezi typy hrubého kameniva	37
18.2	Vliv cementového tmele na obrusnost	39
18.3	Vliv pevnosti v tlaku na obrusnost	40
18.4	Vliv Míry provzdušnění na obrusnost betonu	40
18.5	Zvýšení odolnosti cementobetonových povrchů vůči obrusu	40
	Shrnutí	42

II. PRAKTICKÁ ČÁST	43
Úvod	43
1. Použité vstupní suroviny.....	44
2. Metodika laboratorních zkoušek	48
3. Složení jednotlivých receptur.....	51
4. Porovnání výsledků betonu v čerstvém stavu	52
5. Porovnání výsledků betonu v zatvrdlém stavu	54
Závěr	57
Seznam použité literatury:	60
TEORETICKÁ ČÁST	62
Seznam tabulek.....	62
Seznam obrázků	62
PRAKTICKÁ ČÁST	62
Seznam tabulek.....	62
Seznam grafů.....	63
Použité zkratky.....	63
Seznam příloh	63

I. Teoretická část

Úvod

Intenzita dopravy se stále zvyšuje a nepříjemně ovlivňuje životnost vozovek. Česká republika má převážnou část vozovek vybudovanou s živičným povrchem. Tento povrch se ukazuje jako nevyhovující na středně a hodně využívaných komunikacích, kde dochází k vyjetí kolejí, které zvyšují nebezpečnost dopravy na této komunikaci. Vozovky s CB krytem, které jsou vystaveny velkým dopravním zatížením, vykazují daleko lepší vlastnosti, než vozovky s asfaltovým krytem. Jedním z hlavních důvodů proč jsou vozovky s živičným povrchem schopny konkurovat, je jejich pořizovací cena, která je oproti CB krytům několikanásobně menší. Pokud však dojde ke srovnání nákladů, které jsou tvořeny pořizovací cenou, cenou na opravy a údržby, tak CB kryty vykazují cca 30 % úspory ve srovnání s vozovkami s asfaltovým povrchem. Vozovky s CB krytem mají bohužel špatnou historii, kdy byly budovány starou technologií bez kotev a trnů a proto se na některých úsecích vytváří tzv. „schůdky na spárách“. Málokdo si však uvědomuje, že jsou dávno za svou životností a z hlediska společenského přinesly nemalé úspory do státní pokladny. V dnešní době jsou CB kryty stavěny pomocí nejmodernějších technologií. (technologie dvouvrstvého cementobetonového krytu, technologie vyztuženého krytu).

1. Historie

Československá republika byla jedním z prvních států v Evropě, které začaly budovat vozovky s CB krytem. K budování těchto CB krytů docházelo na přelomu šedesátých a sedmdesátých let tehdy nejmodernější technologií betonáže finišerem s kluznými bočnicemi firmy Guntert Zimmermann. Beton byl pokládán v jedné vrstvě tloušťky 240 mm. Spáry se prováděly úzké řezané, bez trnů a kotev. CB kryt se v naší republice až na malé výjimky pokládal na asfaltovou mezivrstvu tloušťky 4 cm, pod kterou byla podkladní vrstva ze stabilizace cementem tloušťky 240 mm. Spáry byly řezány tloušťky 3 mm a ty zůstávaly vzhledem k nedostatku financí bez jakéhokoliv utěsnění po dobu provozu 20 let i více. Tato technologie výstavby CB krytů v České republice přetrvávala až do roku 1993. Od roku 1995 byla zahájena výstavba CB krytů technologií dvouvrstvé betonáže s vkládáním trnů a kotev do spár s pečlivým utěšňováním spár proti vnikání vody a solanky. ^[1]

2. Rozdíly mezi cementobetonovým (CB) a asfaltovým (AB) krytem vozovek

Na rozdíly mezi oběma druhy krytu vozovek se lze dívat ze dvou úhlů pohledu. Jednak z hlediska správce komunikace a z hlediska uživatele komunikace.

2.1 Rozdíly z hlediska správce komunikace

Výhody CB krytu:

- v případě dodržení kvality při výstavbě je to dlouhá životnost – CB kryt má životnost 35-50 let oproti asfaltovému, ten vydrží maximálně 15 let
- při správném návrhu a provedení konstrukce je dosaženo minimálních provozních nákladů

Nevýhody CB krytu:

- oproti AB daleko složitější technologie oprav,
- se složitější technologií oprav souvisí i delší doba trvání oprav a tím delší uzavírky.

2.2 Rozdíly z hlediska uživatele komunikace

Výhody CB krytu:

- větší bezpečnost jízdy, protože u CB nedochází k tvorbě „kolejí“, které jsou u vozovek s asfaltovým povrchem – CB kryt daleko lépe odolává většímu dopravnímu zatížení,
- bezpečnost jízdy v noci, protože beton nepohlcuje světlo tak, jako černý povrch asfaltového krytu,
- komfortnější jízda v letních slunečných dnech, protože CB kryt nevykazuje takové teploty jako asfaltový kryt. Rozdíl teplot může činit až 10 °C,
- ekologické hledisko – technologie výroby a pokládky CB krytu je ekologickou technologií, tudíž nedochází k znečišťování životního prostředí škodlivými výluhy,
- při pokládce CB krytu je zaručení dobrých protismykových vlastností.

Nevýhody CB krytu:

- vysoká hlučnost,
- schůdky na spárách.

K těmto nevýhodám docházelo především při výstavbě CB vozovek starou technologií betonáže v jedné vrstvě, bez použití trnů a kotev ve spárách (v tehdejší době to byla nejmodernější technologie při pokládce CB krytů).^[2]

3. Vozovky s CB krytem

V České republice se provádí členění vozovek dle různých kritérií. Vozovky se dělí na tuhé a netuhé, dle deformační charakteristiky. Vozovka s asfaltovým krytem na podkladu ze stmelených nebo nestmelených materiálů se nazývá netuhá vozovka. Vozovka z CB krytem, nebo s podkladem z prostého nebo vyztuženého betonu, se nazývá tuhá vozovka. Zastoupení asfaltových krytů v silničních sítích v České republice je 90 %. V dálničním stavitelství je situace odlišná, protože vozovky s asfaltovým krytem a s CB krytem dosahují stejných délek.

3.1 Technologie provádění vozovek s CB krytem

3.1.1 Stavba vozovek pomocí finišeru

Vozovky s CB krytem patří mezi tuhé vozovky. Stavba vozovek s CB krytem začala v tehdejší Československu v 60. letech 20. století a byla spojena s výstavbou dálnice D1. V tehdejší době byla na výstavbu vozovky s CB krytem použita jedna z nejmodernějších technologií a to pomocí finišeru s kluznými (posuvnými) bočnicemi. V předchozí době se používala technologie pouze s pevnými bočnicemi. Pojem bočnice je stejný, jako pojem bednění, které je známo z klasického betonování konstrukcí. Budovaný CB kryt je z boku ohraničován pevnými bočnicemi, které se musí před samotnou betonáží osadit a po provedení betonáže odstranit. Součástí finišeru, který CB kryt pokládá, jsou posuvné bočnice. Toto řešení bylo na svou dobu velmi efektivní a pokládka CB krytů probíhala poměrně rychle. CB kryt byl tehdy prováděn jednovrstvý. Aby došlo k zabránění vzniku smršťovacích trhlin, byly do takto položeného CB krytu vyřezány smršťovací spáry. Tyto spáry se těsnily pomocí asfaltových zálivek. Vozovky s CB krytem jsou veřejností označovány jako panelové. Příčné a podélné spáry si veřejnost vysvětluje jako spáry, mezi položenými panely. Toto tvrzení je však nepravdivé, neboť spáry jsou do CB krytu vytvářeny uměle.

3.1.2 Spáry

Pro vytváření smršťovacích spár se používají kotoučové pily, které mají kotouče o tloušťce 4 mm. Příčné spáry s kluznými trny dosahují hloubky řezu 0,25 až 0,30 násobek tloušťky CB krytu. Podélné spáry s kotvami mají hloubku řezu 0,30 až 0,35 násobek tloušťky CB krytu. Aby došlo ke správnému utěsnění spár, tak se spáry v horní části rozšiřují. U podélné spáry na 8 mm a u příčné spáry na 10 mm. Ke smršťování betonu poté dochází tak, že pod proříznutou spárou dojde ke vzniku trhliny, která však není na škodu.

Aby nedocházelo k dilatacím způsobeným teplotními změnami, tak se v minulosti prováděly dilatační spáry. Oproti smršťovacím spárám byly dilatační spáry o něco širší. V dnešní době se dilatační spáry už neprovádí.

Jednou z největších nevýhod tehdejší doby, byla technologická nekázeň, neboť docházelo k tomu, že spáry nebyly utěsněny asfaltovou zálivkou a pod CB kryt tak vnikala voda. Ta měla za následek rozrušování podkladních vrstev vozovky. Tím docházelo k vertikálním pohybům jednotlivých desek a to mělo za následek tvorbu „schůdků“.

Obr. 1: Příčná smršťovací spára s pokračující trhlinou^[3]



3.1.3 Technologie dvouvrstvého cementobetonového krytu

K vertikálnímu posunu desek nelze zcela úplně zabránit, a to ani tehdy, když je provedeno kvalitní těsnění spár. Proto se začala používat technologie, která má zabránit vzájemnému vertikálnímu posunu desek. Tato technologie spočívá ve vyztužení příčných i podélných spár. Příčné spáry se vyztužují kluznými trny a podélné spáry kotvami. Vznikla nutnost dělat CB kryty jako dvouvrstvé. Od roku 1990 se tato technologie začala používat i v České republice.

Technologie pokládky je provedena pomocí dvou finišerů. Nejprve první finišer položí spodní vrstvu CB krytu do výšky dvou třetin celkové tloušťky CB krytu. Spodní vrstva je hutněna ponornými vibrátory, které jsou součástí finišeru. Poté dojde k osazení kluzných trnů a kotev do požadované výšky. Horní vrstvu pokládá druhý finišer, který následuje hned za prvním.

V ČR se používá také technologie, u které se CB kryt položí jako jednovrstvý a kluzné trny a kotvy se zatlačí shora do požadované polohy. Nevýhodou této technologie jsou odchylky uložení výztužných prvků oproti projektované poloze.

3.1.4 Technologie vyztuženého krytu

Jednou z dalších možností, jak zabránit vertikálnímu posunu desek, je nezřizovat spáry a zabránit smršťování jiným způsobem. Proto došlo k vyvinutí technologie spojitě vyztuženého CB krytu. Tato technologie našla uplatnění jak v USA, tak v Evropě. Princip této technologie je následující. Nejprve se připraví podkladní vrstva, na kterou se položí výztuž a poté finišer rozprostře a zhutní CB kryt. Rozdělovací výztuž má za úkol zajistit správnou polohu výztuže v CB krytu. U této technologie nemusí být řezány spáry, a to proto, že síly které vznikají při smršťování, zachytí výztuž. V ČR není tato technologie příliš používána.

3.2 Konstrukční uspořádání CB krytů

3.2.1 Tloušťka desky

Z technologického hlediska je nejmenší tloušťka desky 100 mm. U dvouvrstvého krytu musí být pokládka každé vrstvy nejméně 50 mm. V závislosti na třídě dopravního zatížení, podloží a typu technologie podkladních vrstev se však uvažuje tloušťka CB krytu v rozsahu 200 až 300 mm.

3.2.2 Rozměr desky

U nevyztužených CB krytů jsou rozměry desek maximálně 25 násobkem tloušťky. Největší povolený rozměr CB desky je 6 m. U letištních drah a ploch je to 7,5 m. Délka u nevyztužené desky nesmí být větší než 1,5 násobek šířky desky. ^[3]

4. Stavební materiály CB krytů vozovek

Požadavky pro stavební materiály CB krytů se řídí dle normy ČSN EN 13877 – 1 Cementobetonové kryty – část 1: Materiály.

Objednatel stavby, před vypracováním návrhu složení betonu, musí vydat souhlas se všemi použitými vstupními surovinami do betonu, přísad, hmot pro ošetření betonu a hmot pro utěsnění spár. Pro dodržení této podmínky jsou prováděny průkazní zkoušky. Materiály, které nejsou na stavbu odsouhlaseny, tak nesmí být použity. ^[4]

4.1 Kamenivo

Musí splňovat požadavky normy ČSN EN 12620 – Kamenivo do betonu. Povolené druhy a třídy musí být specifikovány v příslušných národních normách nebo specifikacích, platných v místě užití. Maximální velikost zrna kameniva nesmí být větší než 1/4 tloušťky vrstvy. U spojitě vyztužených CB krytů nesmí být maximální velikost zrna kameniva větší než 1/3 vzdálenosti mezi podélnými výztužnými prvky. Požadavky na kamenivo uvádí následující tabulka. ^[5]

Tab. 1: Požadavky na kamenivo do cementobetonových krytů ^[5]

Vlastnost	Kamenivo		Označení	Požadavky pro CB kryty	
				CB I, CB II	CB III
Zrnitost	Drobné	Drobné	G_F	G_F 85	
		Směs	G_A	-	G_A 90
	Hrubé	$D/d \leq 2$ nebo $D \leq 11,2$ mm	G_C	G_C 85/20	
		$D/d > 2$ a $D > 11,2$ mm		G_C 90/15	
Obsah jemných částic	Drobné		f	f_3	
	Hrubé			$f_{1,5}$	
Tvarový index	Hrubé		SI	max. SI 40 Pro horní beton se doporučuje SI 20	
Ohladitelnost PSV	Hrubé		PSV	PSV_{50}	$PSV_{\text{deklarovaná}}$
Odolnost proti alkalicko-křemičité reakci	Deklarace dle ČSN EN 206-1 a TP 137 změna 1:3				
Obsah chloridů	Drobné a hrubé			Nevyztužený beton max. 0,1 %	
				Vyztužený beton max. 0,02 %	
Obsah veškeré síry	Drobné a hrubé		S	max. 1 %	
	Hrubé			max. 0,05 %	
Humusovitost	Drobné			Světlejší než etalon	

4.2 Cement

Pro výrobu CB krytů vozovek skupiny CB I v ČR, musí být použit použit cement CEM I 42,5 R. V zahraničí, zejména v Rakousku a v Německu, lze používat pro výrobu CB krytů struskoportlandské i směsné cementy. Použití struskoportlandských a směsných cementů má své důvody:

- dochází ke snížení rizika vzniku alkalicko-křemičité reakce kameniva v betonu,
- snižování vzniku skleníkových plynů (zejména CO₂).

Pro výrobu skupin vozovek CB II a CB III se doporučuje použít cement CEM I 42,5 R, nebo cement CEM II/A-S 32,5. Dále musí být splněny následující požadavky:

- doba tuhnutí cementu nesmí být delší než 12 hodin,
- počátek tuhnutí nesmí být dříve než za 90 minut. ^[4]

Vhodnost cementu musí být dostatečně prokázána vyhovujícími výsledky průkazních zkoušek betonu pro CB kryty. Do betonu pro CB kryty se doporučuje používat cement s pokud možno nejnižším ekvivalentem alkálií Na₂O_{ekv.}, který se vypočítá z výsledku stanovení obsahu Na₂O a K₂O v cementu podle vzorce.

$$Na_2O_{ekv.} = Na_2O + 0,658 K_2O \text{ [%]}$$

Pokud je CB kryt prováděn technologií dvouvrstvé betonáže, musí být pro obě vrstvy použit stejný druh a třída cementu jednoho výrobce. Požadavky na cement uvádí následující tabulka. ^[5]

Tab. 2: Požadavky na cement do cementobetonových krytů ^[5]

Druh zkoušky	Parametr pro skupinu CB krytů	
	CB I	CB II, CB III
Druh cementu (ČSN EN 197-1)	CEM I 42,5 R	CEM I 42,5, CEM I 32,5, CEM II 32,5/A-S
Ztráta žíháním	max. 3% hmotnosti cementu	-
Obsah C ₃ A ve slínku	max. 8%	-
Obsah MgO	max. 5% hmotnosti slínku	-
Počátek tuhnutí	min. 1,5 hod.	-
Jemnost mletí (Blaine)	max. 350 m ² /kg	max. 350 m ² /kg

4.3 Záměsová voda

Musí splňovat požadavky normy dle ČSN EN 1008 – Záměsová voda do betonu.

4.4 Přísady

Přísady, příměsi a další základní materiály musí splňovat požadavky ČSN EN 206 – 1, Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda.

4.5 Nástřikové hmoty

K ošetřování čerstvého betonu musí být použity takové nástřikové hmoty, aby nedošlo k narušení tuhnutí a tvrdnutí. U nástřikových hmot je nutno stanovit jejich vhodné dávkování za různých povětrnostních podmínek. Nástřikové hmoty vytvářejí na povrchu betonu parotěsný film, který musí být nelepivým nejdéle na 5 hodin. K aplikaci postřikové hmoty musí dojít i při nejnižší teplotě +5 °C. Vytvořená povrchová vrstva musí zůstat stabilní a neporušená nejméně 7 dní. Po měsíci dochází k samovolnému rozpadu ochranného filmu.

4.6 Ocel

Veškerá betonářská ocel používaná na vyztužování CB krytů musí vyhovovat normě ČSN 420139 – Ocel pro výztuž do betonu – Svařitelná betonářská ocel žebírková a hladká. Příčné spáry se vyztužují kluznými trny. Ty musí být vyrobeny z hladké oceli o průměru 25 mm a délce 500 mm. Po celém svém povrchu jsou potaženy plastovým povlakem o min. tloušťce 0,3 mm, který má za úkol bránit korozi výztuže a zároveň umožňuje prokluz trnu v betonu. Aby byl umožněn volný prokluz trnu, tak konec trnu musí být obroušen. Podélné spáry se u CB krytů skupiny CB I vyztužují hřebítkovou ocelí o průměru 20 mm a délce 800 mm. Pro CB kryty skupiny CB II se volí opět hřebítková výztuž, ale průměr je 16 mm a délka 800 mm. Ochranný plastový povlak o min. tloušťce 0,3 mm se nanáší na střední část výztuže ve vzdálenosti 200 mm. ^[4]

4.7 Čerstvý beton

Minimální dávka cementu v CB krytu Skupiny CB I je a CB II je 350 kg/m³. U skupiny CB III je dávka cementu 330 kg/m³. Minimální obsah vzduchu v čerstvém betonu (% obj.) je u betonu bez použití plastifikační přísady 4 % a u betonu s použitím plastifikační přísady 5 %. ^[5]

4.8 Ztvrdlý beton

Požadavky na ztvrdlý beton uvádí následující tabulka.

Tab. 3: Požadavky na ztvrdlý beton ^[5]

Vlastnost	Požadavky pro cementobetonové kryty		
	CB I	CB II	CB III
Třída pevnosti v tlaku dle ČSN EN 206-1	C 30/37		C 25/30
Třída pevnosti v tahu ohybem dle ČSN EN 12390-5	F 4,5		F 4,0
Odolnost povrchů CB krytů proti zmrazování a rozmrazování (metoda A/metoda C) <ul style="list-style-type: none">• nejmenší počet cyklů• maximální odpad [g/m²]	100/75 1000	75/50 1000	dle dokumentace
Max. součinitel prostorového rozložení vzduchových pórů dle ČSN EN 480-11 [mm]	0,24	0,24	nepředepisuje se

5. Povrchové vlastnosti vozovek s CB krytem

Pokud ohlédneme od problematiky CB krytů v místech spár, které jsou dnes řešeny technologicky vyztužováním spár, poté můžeme rozdělit povrchové vlastnosti na:

- rovnost povrchu vozovky,
- hlučnost povrchu vozovky,
- protismykové vlastnosti vozovky,
- reflexní vlastnosti vozovky.

Protismykové vlastnosti a stejně tak i hlučnost vozovky závisejí na drsnosti povrchu vozovky. Rovnost povrchu je ovlivněna také drsností, ale hlavně technologickými nedostatky při pokládce, mezi které patří nesprávné nastavení projektových výšek, nesprávná konzistence betonové směsi a chybné nastavení hutnicích a rovinacích trámů finišeru. Drsnost, jinak řečeno textura povrchu vozovky se dělí do následujících skupin:

- mikrotextura (mikrodrsnost) – horizontálně měřené prvky drsnosti do 0,5 mm,
- makrotextura (makrodrsnost) – prvky drsnosti od 0,5 mm do 50 mm,

- megatextura (megadrsnost) – nerovnosti povrchu od 50 mm do 500 mm.

5.1 Mikrotextura

Mikrotextura povrchu ovlivňuje hlavně protismykové vlastnosti, a to zejména na vlhkém povrchu. Povrchová struktura betonu ovlivňuje hlavně mikrotexturu. Mikrotextura je tedy hlavně ovlivněna použitým kamenivem, zejména jeho ostrohranností. Vlivem ohlazování pneumatikami dochází k degradaci mikrotextury v čase, které mají bránit vysoké požadavky na nízkou ohladitelnost kameniva. Z tohoto důvodu se dnes dělají CB kryty jako dvouvrstvé, protože kvalitní, drahé a obtížně ohladitelné kamenivo se nemusí použít v celé tloušťce krytu, nýbrž jen v obrusné vrstvě.

5.2 Makrotextura

Na protismykové vlastnosti má vliv také makrotextura, ale bohužel také na hlučnost povrchu vozovky. Makrotextura ovlivňuje protismykové vlastnosti zejména ve vztahu k drenážní funkci. Požadavky související s hlučností jsou velmi často v rozporu s požadavky na protismykové vlastnosti.

5.3 Megatextura

Megatextura není ovlivněna vlastnostmi použité technologie, je spíše spojena s nerovnostmi či poruchami povrchu vozovky.

6. Ovlivnění drsnosti povrchu

6.1 Požadavky na mikrotexturu

Mikrotextura je dána kvalitou betonové směsi. Např. v Německu musí být splněny následující požadavky:

- obsah cementu min. 350 kg/m³,
- použitý druh cementu je CEM I 32,5 R,
- musí být zajištěna co nejdelší zpracovatelnost – čas pro vytváření mikrotextury,
- vodní součinitel pod 0,46,
- provzdušněný beton, obsah vzduchu nejméně 4 % obj.,
- požadavky na ohladitelnost kameniva, optimální podíl drceného kameniva.

6.2 Vytváření makrotextury

Makrotextura se na povrchu vozovky vytváří uměle různými úpravami. Tyto úpravy se provádí buď ihned po položení CB krytu, nebo dodatečně (v rámci údržby jako opatření ke zvýšení drsnosti). Vytváření makrotextury do čerstvého betonu se děje několika technologickými způsoby:

- podélné texturování vlečením juty,
- podélné texturování vlečením umělého trávníku,
- příčné texturování ocelovými hráběmi nebo koštětem,
- vymývaný beton (odstranění povrchové malty),
- drenážní obrusná vrstva,
- striáž (kartáčování).

6.2.1 Podélné texturování vlečením juty (Česká republika)

V České republice je nejpoužívanější technologií vytváření podélného texturování pomocí vlečené juty. Vlečená juta je tažena z plošiny jedoucí za finišerem a tím dochází k vytváření podélné makrotextury. Tímto způsobem upravený CB kryt má srovnatelné protismykové vlastnosti a hlučnost s asfaltovým krytem.

6.2.2 Podélné texturování vlečením umělého trávníku

Technologie vytváření podélné makrotextury vlečením umělého trávníku není zatím příliš rozšířena. Měření na takto upravených CB krytech naznačují, že lze dosáhnout stejné hlučnosti, jako u povrchů, upravovaných vlečnou jutou. Protismykové vlastnosti jsou lepší, než u juty.

6.2.3 Příčné texturování ocelovými hráběmi (USA, Austrálie)

Technologie příčného drážkování ocelovými hráběmi je nejvíce používána v USA. Princip této technologie spočívá ve vyrývání drážek, které jsou vytvářeny příčně unášenými mechanickými hráběmi ovládanými z plošiny, která se pohybuje za finišerem. Tímto způsobem dochází k vytváření makrotextury, která velmi dobře zlepšuje protismykové vlastnosti, ale zároveň zvyšuje hlučnost vozovky. Z tohoto důvodu se tato technologie v České republice a v Evropě nepoužívá.

6.2.4 Vymývaný beton (Rakousko, Německo)

V Rakousku se v poslední době uplatňuje technologie vymývaného betonu. Tato technologie se u nás nazývá „povrch s obnaženým kamenivem“. Podstata této technologie spočívá v tom, že po položení dvouvrstvého krytu dochází k aplikaci kombinovaného postřiku, který má za úkol zabránit odpařování vody z čerstvého betonu. Současně dochází ke zpomalující hydrataci betonu v povrchové vrstvě, která má tloušťku 1 mm. Nezatvrdlá malta na povrchu CB krytu se odstraní vykartáčováním po zatvrdnutí CB krytu. Tato technologie klade velmi vysoké nároky na kamenivo a na technologickou kázeň. Pro horní vrstvu se používá výhradně kamenivo frakce 4/8, třídy C_{100/0}. Množství použitého cementu je 430 kg/m³. Zvýšené požadavky na kvalitu práce a vysoké materiálové nároky podstatným způsobem zvyšují cenu této technologie. Tato nevýhoda je ovšem kompenzována velmi dobrými protismykovými vlastnostmi a nízkou hlučností povrchu vozovky. V České republice je tato technologie ve zkušebním stádiu. Výsledky pokusů ukazují, že při této technologii obnaženého kameniva nedochází ke zhoršení odolnosti proti CHRL.

6.2.5 Drenážní obrusná vrstva (Belgie)

V této době dochází k provádění pokusů s drenážním CB krytem. Tato technologie je podobná technologii známé z asfaltových vozovek. Mezi prvotní autory této technologie v Evropě řadíme Belgii. Princip spočívá v položení spojitě vyztuženého CB krytu, na který se položí vrstva mezerovitého betonu. Dochází ke snížení protismykových vlastností a snížení hlučnosti. Nevýhoda této technologie spočívá v životnosti CB krytu, který je poměrně náročný na zimní údržbu.

6.2.6 Striáž (kartáčování)

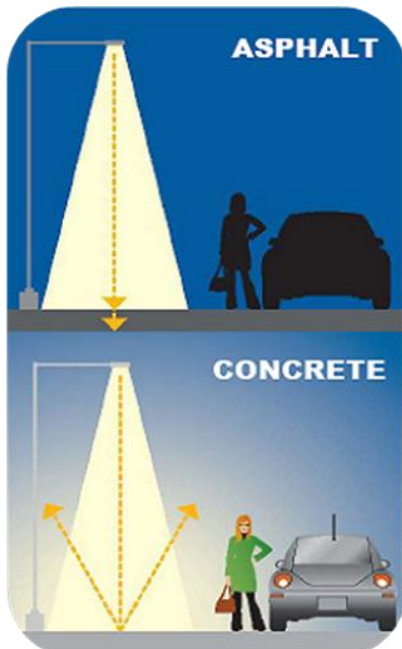
Striáž je technologie, která umožňuje vytvářet různou hrubost povrchu dle typu použitého kartáče. Tuto technologii je však nutno zvažovat vzhledem k podmínkám lokality, protože se stoupající hrubostí povrchu se zlepšují protismykové vlastnosti, ale zároveň stoupá hlučnost.^[6]

7. Reflexní vlastnosti vozovek s CB krytem

Reflexní vlastnosti vozovek jsou závislé na schopnosti vozovky odrážet světlo. Jeden z největších výzkumů na toto téma je prováděn na Virginia Polytechnic Institute and State University. Tato univerzita testuje účinnost různých druhů osvětlení za různých podmínek (mlha, déšť, sněžení) na různém druhu povrchu vozovek. Výsledky ukazují, že vozovky s CB

krytem vycházejí nejlépe ve všech parametrech. Vozovky s CB krytem lze osvětlovat slabšími světelnými zdroji, čímž dochází k úsporám elektrické energie. [6]

Obr. 2: Lepší světelný činitel odrazu [7]



Betonové povrchy odrážejí 5 krát více světla než asfalt, snížením pouličního veřejného osvětlení se sníží spotřeba energie až o 37 %. [7]

8. Ztráta protismykových vlastností povrchu vozovky

Pod pojmem protismykové vlastnosti povrchu vozovky se rozumí požadavek smykového tření jako odporu při relativním pohybu povrchu pneumatiky vůči povrchu vozovky při brzdění nebo zrychlování a změně směru vozidla. Odpor je pak dán množstvím uvolněné energie (tepla) a částic z obou povrchů. Čím bohatěji tvarované oba povrchy jsou a čím více ostrý a pevný je materiál vozovky, tím lepší a trvanlivější smykové tření je možno očekávat. Při popisu protismykových vlastností povrchu vozovky je na místě přirovnání k brusným nástrojům, jako jsou pilníky a brusné papíry.

Ztráta protismykových vlastností povrchu vozovky nastane:

- uzavřením povrchu do hladké plochy bez vystupujících zrn kameniva – dojde ke ztrátě makrotextury povrchu vozovky
- vyhlazením zrn kameniva v povrchu vozovky vlivem dotyku s pneumatikami – dojde ke ztrátě mikrotextury povrchu vozovky

Oba jevy vedou ke ztrátě protismykových vlastností povrchu vozovky zjistitelné měřením součinitelů podélného (f_p) nebo bočního tření (f_b). Popisem viditelného, rozpoznatelného jevu ztráty makrotextury a mikrotextury lze ztrátu protismykových vlastností povrchu vozovky odhadnout a jednoduchými zkušebními metodami uvedených v ČSN 73 6177 – Měření a hodnocení protismykových vlastností povrchů vozovek, upřesnit:

- makrotexturu metodou zjišťování střední hloubky textury povrchu vozovky odměrnou metodou (MTD) dle ČSN EN 13036 – 1
- mikrotexturu metodou zjišťování součinitele tření povrchu vozovky kyvadlem (PTV) dle ČSN EN 13036 – 4

Jev ztráty makrotextury je spojen s vystoupením pojiva na povrch vozovky. Jev ztráty mikrotextury je spojen s nevhodnou ohladitelností kameniva (použitím snadno ohladitelných kameniv jako jsou vápence, dolomity, břidlice a čediče) nebo s použitím již ohlazených zrn kameniva (hrubé těžené kamenivo).^[8]

Tab. 4: Srovnání životností obrusných vrstev vozovek z hlediska protismykových vlastností při intenzitě dopravního proudu pro nejvíce zatížený dopravní pruh - 15 tisíc vozidel

Druh úpravy	Životnost protismykové úpravy v rocích
CB striáž – CB kryt, povrchová úprava striáží	30
CB juta – CB kryt – povrchová úprava jutou	11
AKT – ULM – asfaltový koberec tenký	8
AKMS s podrcením – asfaltový koberec mastixový střednězrný	7
AKMS – asfaltový koberec mastixový střednězrný	7
ABS – asfaltový koberec střednězrný	7
AKMH – asfaltový koberec mastixový hrubozrný	5

9. Hlučnost

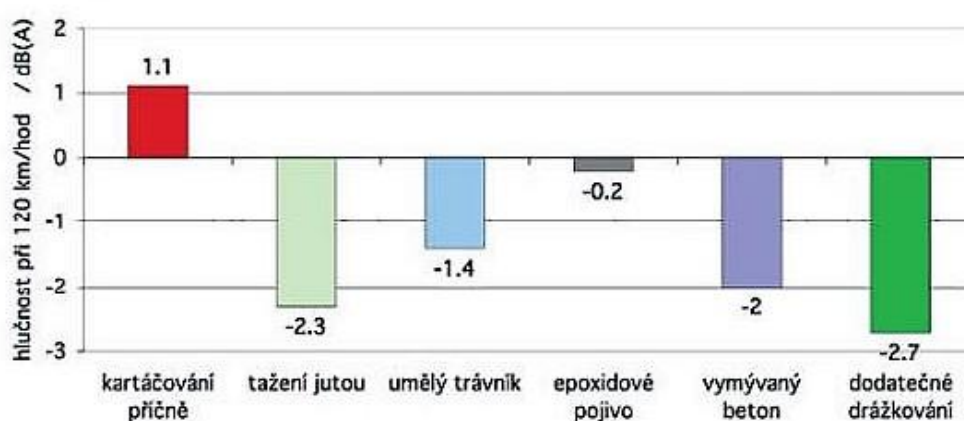
V roce 2006 byl vydán manuál na implementaci nízkohlučných silničních povrchů v Evropě, jako hlavní výstup evropského projektu SILVIA (Udržitelné povrchy vozovek pro kontrolu jejich hlučnosti).

V tomto manuálu jsou uvedeny následující nízkohlučné povrchy:

- asfaltový koberec drenážní – AKD (běžně tloušťky 40 mm),

- tenké vrstvy – např. asfaltový koberec mastixový AKM (tloušťky 20 – 40 mm),
- vymývaný beton – VB,
- úprava CB krytu vlečením jutového pásu v podélném směru – CB-J,
- dodatečná úprava CB krytu drážkováním v podélném směru,
- brusná vrstva s epoxidovým pojivem.

Obr. 3: Souvislost mezi úpravou povrchu CB krytu a jeho hlučností (projekt Silvia, Německo, vztaženo k referenční hladině povrchu vozovky z asfaltového betonu)



Výsledky měření hlučnosti na asfaltových a betonových površích vozovek ukazují, že lze dosáhnout srovnatelných výsledků.^[9]

10. Whitetopping

10.1 Popis technologie

Whitetopping představuje kompozitní betonový kryt tvořený tenkou vrstvou vlastního betonového krytu, který překrývá původní asfaltový kryt. Mezi výhody CB krytu patří vysoká únosnost (i při stálém zatížení), vysoká odolnost povrchu vůči otěru, vysoká požární odolnost, světlá barva povrchu a nízké náklady na údržbu. Mezi nevýhody asfaltového krytu patří nízká odolnost vůči koncentrovanému zatížení, křehkost za nízkých teplot a hořlavost při extrémních podmínkách. Ve srovnání s CB krytem je AB kryt tmavší a má vyšší náklady na údržbu.

10.2 Využití

K aplikaci metody whitetopping došlo v mnoha zemích světa. Největší zkušenosti s touto metodou mají v USA. Tato metoda je využívána k opravám asfaltových vozovek, na kterých

jsou patrné deformace (vyjeté koleje). CB kryt se uloží na AB kryt, který zde slouží jako podkladní vrstva. Tradiční složení kompozitních krytů je v obráceném pořadí. Asfaltový kryt leží na podkladu, kde byl použit cement. Hlavní myšlenka whitetoppingu je spojení kladných vlastností asfaltu a betonu.

10.3 Typy technologie whitetopping

10.3.1 Tenká (TCW – Thin Composite Whitetopping)

Vrstva betonu je spojena s podložím a má tloušťku 100 až 200 mm. Zbývající asfaltová vrstva musí mít tloušťku alespoň 75 mm. Životnost takto upraveného povrchu je 30 let.

10.3.2 Velmi tenká (UTW – Ultra Thin Whitetopping)

V tomto případě vrstva betonu musí být spojena s podložím a dosahuje tloušťky 50 až 100 mm. V současné době má tato metoda využití hlavně pro městské vozovky.

10.4 Postup aplikace whitetoppingu, metoda UTW

Nejdříve dochází k přípravě asfaltového podkladu. Příprava se provádí broušením a čištěním, vodním nebo abrazivním. Poté následuje pokládka, úprava povrchu, tvorba textury a ošetření povrchu pomocí běžně využívaných materiálů. V následujícím procesu dochází k prořezání spár, které zamezují tvorbu trhlin. ^[10]

11. Porovnání finančních nákladů mezi AB krytem a CB krytem

Konkrétní příklad porovnání finančních nákladů je z úseku na dálnici D1 (Brno, jih – Velká Bíteš). Na tomto úseku dálnice se nachází doprava s vysokou intenzitou. Vysoká dopravní intenzita znamená, že přes tento úsek dálnice projede cca 15 tisíc těžkých nákladních vozidel za 24 hodin.

Obr. 4: Náklady na pořízení a opravy^[11]

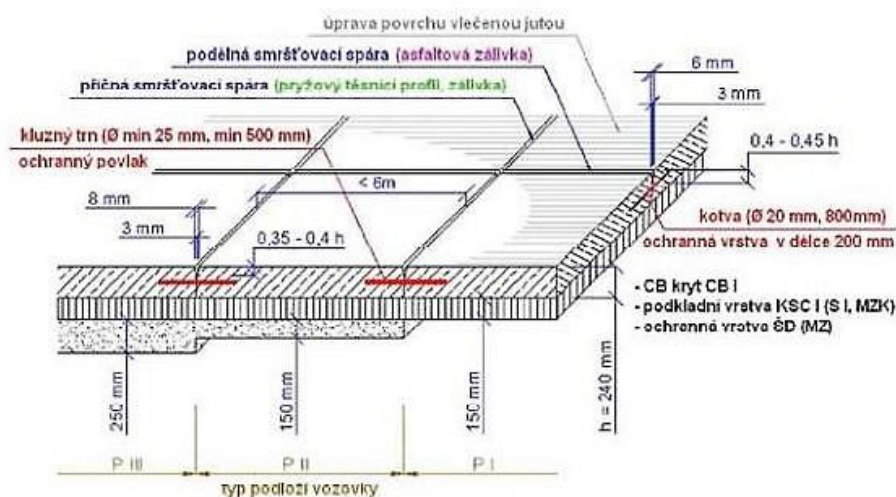


Graf nákladů v Kč/m² vykazuje úsporu 30,9 % z celkových nákladů na pořízení, opravy a údržbu ve prospěch CB krytů. Z výše uvedených údajů vyplývá, že z hlediska finančních nákladů je třeba se do budoucna důsledněji zabývat ekonomičností obou variant.^[11]

12. Cementobetonové vozovky na dálnicích v ČR

V současné době je zastoupení cementobetonových a asfaltových vozovek na dálnicích v ČR v poměru 50:50. Cementobetonové vozovky jsou navrhovány jako nevyztužený CB kryt se spárami, převážně tloušťky 24 cm. Na některých stavbách z posledních let byly provedeny tloušťky až 30 cm. Zesílení souvisí jednak s volbou podkladní vrstvy a jednak s razantním zvýšením těžké dopravy pohybující se po dálnicích v posledních letech.^[12]

Obr. 5: Typická konstrukce CB vozovky v ČR dle katalogu v TP 170



13. Analýza konstrukčního řešení a hlediska pro výběr technologie

Následující tabulka uvádí přehled 17 základních hledisek, která by neměla být opomenuta při výběru vhodné konstrukce vozovky. ^[13]

Tab. 5: Seznam základních hledisek pro výběr konstrukce vozovky ^[13]

Hledisko		Vozovky s ABK	Vozovky s CBK
1a	geotechnice a hydrogeologické poměry: stabilní podloží	=	=
1b	celkové a nerovnoměrné sedání podloží	++++	+
2a	uplatnění na volné trase při: nízkých intenzitách dopravy (silnice I. třídy)	+++	+
2b	středních intenzitách dopravy (dálnice a silnice I. třídy)	=	=
2c	vysokých intenzitách dopravy (dálnice)	+	+++
3	uplatnění v intravilánu měst a obcí	++++	++
4	uplatnění na mostech	++++	++
5a	uplatnění v tunelech - krátkých	=	=
5b	- středních a dlouhých	+	++++
6	počet zhotovitelů dané technologie	+++	+
7	nezávislost na surovinách dovážených ze zahraničí	++	+++
8	životnost vozovky	++	+++
9a	časová technologická náročnost oprav: lokálních	=	=
9b	v souvislých úsecích	++++	++
10	nezávislost výstavby a oprav konstrukce na meteorologických vlivech	=	=
11	možnost recyklace při rekonstrukci vozovky	++	+
12	jízdní komfort	=	=
13	světlost povrchu vozovky	+	+++
14	protismykové vlastnosti povrchu vozovky na nově budovaných PK	=	=
15	trvanlivost protismykové úpravy povrchu	+	++
16	hlučnost povrchu na nově budovaných PK	=	=
17a	dopad na životní prostředí: v souvislosti s výstavbou	=	=
17b	po dobu životnosti	+	++

14. Silniční betony

14.1 Provdzušněný beton – kryty vozovek

Beton, který se používá v silničním stavitelství, je vystaven střídavému působení vody, mrazu za případného spolupůsobení rozmrazovacích solí, je třeba zhotovovat jako tzv. provdzušněný beton. To platí pro betony nejen o velkých průřezích (masivní) s vodním součinitelem mezi hodnotami 0,50 – 0,60, ale i pro vozovky, mostní konstrukce, letiště a apod.,

prováděné většinou dle ČSN 13 877 – 1, ČSN EN 13 877 – 2, případně v rámci výstavby pozemních komunikací v ČR dle zvláštních předpisů např. Technických kvalitativních podmínek staveb dle ŘSD ČR, kapitola 17.

Při míchání čerstvého betonu se dávkuje provzdušňovací přísady, které vytvářejí malé póry o velikosti 10 – 300 μm . Tyto póry vytvářejí prostor, do kterého se uvolňuje led o větším objemu, který vzniká za nízkých teplot z vody nasáklé do betonu. Beton, který je ztuhlý běžným způsobem a při jeho výrobě není použita provzdušňovací přísada, obsahuje 1 – 2 % objemu pórů i po intenzivním ztuhnutí. Pokud dojde k použití provzdušňovací přísady, tak se obsah vzduchu zvětšuje.

Používané přísady musí být odzkoušené a jejich výroba kontrolována dle platných norem. Pokud dojde k současnému použití provzdušňovací a ztekucující přísady, tak musí být jejich použití doloženo průkaznými zkouškami. Průkazní zkoušky nám prokážou, že bylo dosaženo potřebné míry provzdušnění v čerstvém betonu (tlaková zkouška pro stanovení obsahu vzduchu v čerstvém betonu dle ČSN EN 12 350 – 7), tak i v zatvrdlém betonu (stanovení součinitele prostorového rozložení vzduchových pórů dle ČSN EN 480 – 11).^[14]

14.2 Provzdušňovací přísady

Provzdušňovací přísady jsou látky, které dokáží v čerstvém betonu zabezpečit rozptýlení velkého počtu malých, stabilních a vzájemně oddělených sférických bublinek s velikostí 25 až 300 μm , které v něm zůstávají i po jeho zatvrdnutí a mění tak pórovitou strukturu cementového kamene a porušují síť kapilár. Vzduch uzavřený v pórech zlepšuje odolnost betonu proti účinkům ledu vznikajícího zmrznutím vody v kapilárách a pórech. Odolnost se zlepšuje díky těmto pórům, které snižují hydrostatický tlak. Zároveň dochází ke zlepšení odolnosti proti účinkům chemických solí používaných při zimní údržbě silnic apod. Kritériem účinnosti provzdušňovací přísady na trvanlivost betonu je tzv. spacing faktor. Čím je spacing faktor menší, tím je beton odolnější. Tento faktor je menší, čím menší jsou vzduchové póry. V betonu provzdušněném, ale i neprovzdušněném se nachází vzduchové póry různé velikosti. Kvalita provzdušnění se hodnotí dle měrného povrchu těchto vzduchových pórů. Např. v dobře provzdušněném betonu je měrný povrch vzduchových pórů mezi 16 a 32 mm^2/mm^3 .

Použitím provzdušňovacích přísad klesá pevnost betonu. Snížení pevnosti betonu v tlaku na každé procento vzduchu se pohybuje v rozmezí od 4 do 5,5 %, pevnost v tahu při ohybu se nějak výrazně nemění.

14.3 Spacing faktor

Spacing faktor, nebo-li tzv. součinitel prostorového rozložení vzduchových pórů, či také relativní vzdálenost mezi póry označován L . Je to vzdálenost, kterou musí překonat voda, než vnikne do vzduchového póru a sníží tím hydrostatický tlak.

14.4 Požadavky normy

Součinitel prostorového rozložení vzduchových pórů, stanovený na vzorku ztvrdlého betonu metodikou dle ČSN EN 480-11, musí mít u provzdušněných betonů hodnotu nejvíce 0,16 mm (XF4) a 0,19 mm (XF1 – XF3) při průkazní zkoušce betonu. Zpráva o výsledcích průkazních zkoušek provzdušněných betonů dále obsahuje protokoly o zkoušce následujících parametrů:

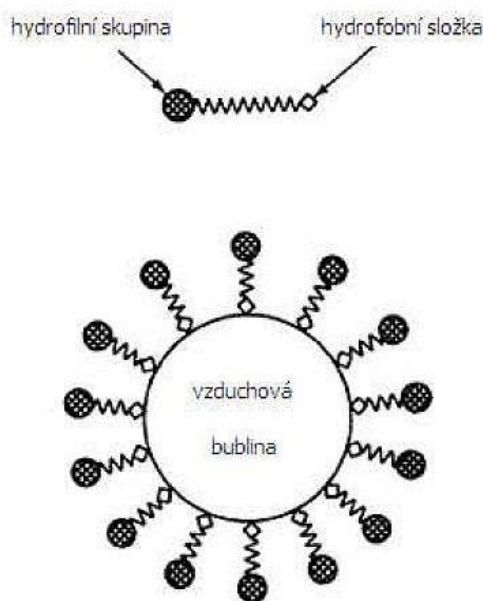
- obsah vzduchu v čerstvém betonu dle ČSN EN 12350 – 7 ihned po zamíchání betonu a s časovým odstupem 60 minut, případně s časovým odstupem delším, odpovídajícím maximální době zpracování betonu na stavbě,
- obsah mikroskopického vzduchu A300 ve ztvrdlém betonu dle ČSN EN 480 – 11, Přísady do betonu, malty a injektážní malty – Zkušební metody – Část 11: Stanovení charakteristik vzduchových pórů ve ztvrdlém betonu.
- součinitel prostorového rozložení vzduchových pórů ve ztvrdlém betonu dle ČSN EN 480 - 11 a případně i obsah vzduchu metodou měření vzduchových bublinek v čerstvém betonu

14.5 Činitele ovlivňující provzdušnění betonu

Hodnota Spacing faktoru je ovlivňována množstvím vody přidané do betonové směsi. S klesajícím vodním součinitelem klesá i hodnota prostorového rozložení vzduchových pórů při daném množství vzduchu. Ačkoli se vzduch nachází jen v cementovém kameni, jeho množství se i přesto vztahuje na celý objem betonu. Na dosažení přijatelné mrazuvzdornosti betonu by se hodnota objemových pórů měla pohybovat v rozpětí 4 až 8 % objemu betonu. Optimální stupeň provzdušnění klesá s narůstající maximální velikostí zrn kameniva. Je to způsobeno klesajícím množstvím cementové kaše potřebné k dosažení požadované konzistence. Specifický povrch bublinek narůstá se vzrůstajícím množstvím cementové kaše při konstantním obsahu vzduchu.

Provzdušňovací přísady obsahují povrchově aktivní látky, které se nacházejí na rozhraní vzduch-voda, snižují povrchové napětí, tím mohou vznikat stabilizované vzduchové póry. Povrchově aktivní látky se skládají z molekul se silnou polární povahou. Jejich hydrofilní skupiny se orientují směrem k vodě a hydrofobní do vzduchu. Hydrofilnost molekuly zabezpečují karboxylové nebo sulfonové skupiny kyselin a hydrofóbnost zase aromatické uhlovodíky.

Obr. 6: Schéma provzdušnění povrchově aktivní látkou ^[15]



Provzdušňovací schopnost přísady je závislá na vlastnostech jednotlivých složek betonu. Větší množství drobného kameniva a přídavek jemných částic (např. popílek) snižuje obsah vzduchu. Také záleží na jemnosti mletí cementu, jemnější částičky cementu taktéž snižují obsah vzduchu. V neposlední řadě může být provzdušnění ovlivněno i tvarem zrn kameniva, popřípadě dalšími přísadami. Velký vliv na obsah vzduchu má i doba míchání. Při velmi krátkém míchání se přísada nestačí dobře rozprostřít do celého objemu směsi, při dlouhém míchání se zase vzduch už ze směsi začíná vypuzovat. Provzdušnění čerstvého betonu klesá s rostoucí teplotou, výrazně klesá i při dlouhodobém vibrování čerstvého betonu. ^[15]

14.6 Složení čerstvého provzdušněného betonu

Při návrhu složení betonu je třeba dbát na to, aby byly respektovány následující údaje:

- beton musí obsahovat dostatek nejjemnějších podílů k zabránění odměšování, jejich množství však nesmí přesahovat dále uvedené hodnoty, aby se dosáhlo spolehlivě požadovaného minimálního množství vzduchových pórů, jak je dále definováno. Maltový podíl do největšího zrna 2 mm by neměl přesahovat při 16 mm 550 l/m³ a při 22 mm až 32 mm 525 l/m³,
- jemné kamenivo s vyšším podílem 0,25 až 1,0 mm ulehčuje tvorbu vzduchových pórů,
- tvorbu vzduchových mikropórů mohou ztěžovat jílovité příměsi a podíly,
- normálně se provzdušněný čerstvý beton vyrábí v konzistencích odpovídajících konzistenci sednutím kužele, vyjímečně konzistenci rozlití. Měkké konzistence způsobují zhoršení charakteristik a zvyšují rozptyl hodnot,
- zvýšení obsahu vzduchových pórů o 1 % způsobuje snížení pevnosti v tlaku cca o 3 %. Tento vliv lze do určité míry kompenzovat, využije-li se ztekucující vliv provzdušňovací přísady ke snížení záměsové vody,
- jako záměsová voda se používá zásadně voda z veřejných vodovodů. ^[16]

15. Pórovitá struktura cementového kamene

Póry slouží jako cenný zdroj informací o mnohých vlastnostech látky. Póry přinášejí informace o deformacích struktury, stupni mechanických napětí a o technologických důsledcích pórovité látky. Mezi tyto důsledky řadíme pevnost, vodotěsnost, mrazuvzdornost, smrštění aj. Póry lze rozdělit podle velikosti, podle jejich vzniku a podle jejich vlivu na vlastnosti cementového kamene a tím i betonu. Distribuce pórů vyjadřuje závislost velikosti pórů na jejich objemovém zastoupení celkové otevřené pórovitosti. Pórovitost cementového kamene se skládá z pórů jednak vzniklých v čerstvém betonu, a z pórů, které zůstaly i ve ztvrdlém betonu, a jednak z pórů vzniklých při hydrataci cementu. Póry rozdělujeme na makropóry, jejichž průměr $d > 1 \mu\text{m}$ a na mikropóry, jejichž průměr je do $1 \mu\text{m}$. Mezi makropóry řadíme technologické póry a provzdušňovací póry. Do skupiny mikropórů patří gelové póry, hydratační póry a kapilární póry.

Tab. 6: Mikropórovitost cementového kamene v závislosti na vodním součiniteli ^[17]

w	Průměr d [nm]	Pórovitost [%]
0,3	3,68	27,2
0,4	5,20	35,6
0,5	4,49	44,2
0,6	7,36	52,5
0,7	10,29	55,5
0,8	14,57	57,9
0,9	22,08	64,9
w – vodní součinitel, d - průměr kapilár		

15.1 Technologické póry

Technologické póry se projevují pouze v betonu, kde cementový kámen tvoří matici v betonu. Tyto póry jsou způsobeny nedostatečným zhutněním čerstvého betonu při nedostatku cementového tmele ve vztahu k mezerovitosti kameniva nebo nedostatečnou intenzitou zhutňování tuhé konzistence čerstvého betonu. Také mohou vzniknout sedimentací jemných částic (zrn cementu a příměsí) pod plochou zrna kameniva, tato dutina se vyplní vodou, která se ve ztvrdlém betonu vysuší a zůstane vzduchová dutina – pór.

15.2 Provzdušňovací póry

Provzdušňovací póry vznikají provzdušněním čerstvého betonu provzdušňovací přísadou. Mají průměr 50 – 300 µm a podle velikosti maximálního zrna kameniva tvoří 4 až 6 % objemu betonu.

15.3 Gelové póry

Gelové póry jsou zaplněny vodou odpařitelnou při 105 °C, ale neodpařitelnou při běžných teplotách. Voda je vázána fyzikálními silami na strukturu kalciumhydrosilikátů. Obvyklá velikost gelových pórů je $d = 2 \text{ nm}$ a tvoří strukturu s měrným povrchem $2,1 \cdot 10^5 \text{ m}^2/\text{kg}$.

15.4 Hydratační póry

Hydratační póry se vytvoří uvolněním kapilárního prostoru tím, že voda se spotřebuje na hydrataci slínekových minerálů. Na hydrataci cementu je potřeba asi 23 – 26 % vody z hmotnosti cementu a spotřebou vody se uvolní asi 25 % objemu. Objem hydratačních pórů bývá cca 8 % o velikosti od 8 nm do 20 nm.

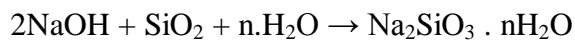
15.5 Kapilární póry

Kapilární pórovitost je způsobena především nadměrným množstvím vody nad potřebnou hodnotu, tj. 0,25 na hydrataci a 0,13 gelové vody. Souvisí s vysokým vodním součinitelem, pokud je vodní součinitel nižší jak 0,38, zůstane část cementu nezhydratována. ^[17]

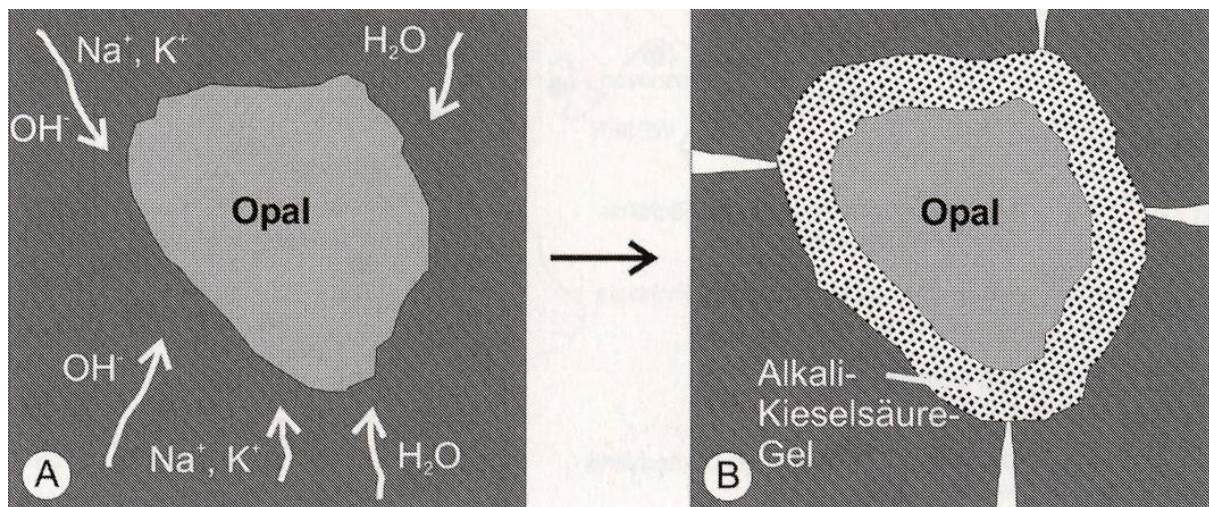
16. Alkalicko-křemičitá reakce (AKR) u CB krytů vozovek

16.1 Mechanizmy a předpoklady

Reakce amorfního oxidu křemičitého (SiO_2) a hydroxidu alkalického kovu (NaOH , KOH) v přítomnosti vlhkosti je principem AKR, jejímž produktem je hustý alkalicko-křemičitý gel. Rovnice popisující tento děj:



Obr. 7: A: Reakce amorfního SiO_2 s NaOH , KOH a vodou, B: Zvětšování objemu při tvorbě alkalicko-křemičitého gelu ^[18]



Když kamenivo nasákne, tak dochází k objemové expanzi. Kamenivo je díky cementovému tmelu pevně usazeno, tudíž není k dispozici prostor pro expanzi. Dochází k objemovému nárůstu a ten vede ke vzniku vnitřního tlaku při bobtnání. Tento tlak může dosáhnout hodnoty až 20 MPa. Toto namáhání je daleko větší, než pevnost betonu v tahu, proto velice snadno vznikají trhliny. Trhliny jsou rozloženy síťovitě a nenachází se pouze v okrajové oblasti, ale táhnou se celou cementobetonovou strukturou. AKR probíhají za dlouhého časového období. Z uvolněných pórů prosakují alkálie a vytvořená vrstva gelu reaguje s amorfním oxidem křemičitým v jádru kameniva. Kamenivo obsahující oxid křemičitý se v alkalickém roztoku rozpouští. Stav vytvořené struktury je závislý na rychlosti reakce.

Krystalický kvarcit je označen jako inertní, protože jeho reakce během životnosti je tak pomalá. Pro AKR je významné především kamenivo s amorfním oxidem křemičitým.

16.2 Zabránění alkalicko-křemičité reakci

Je nutné si uvědomit, že při výrobě betonu jsou alkálie obsaženy v některých vstupních materiálech a to především v cementu. Pokud tedy kamenivo obsahuje SiO_2 , nelze AKR zabránit. Je potřeba zajistit, aby AKR neproběhla tak rychle, aby během životnosti vozovky nevedla k tvorbě gelu a degradaci vozovky. Ve venkovních prostorách je téměř nemožné izolování vlhkosti a tím zabránění AKR.

Jednou z možností, jak eliminovat AKR je použití cementu s minimálním obsahem alkálií (NA-cement). Tento cement vykazuje ekvivalent Na_2O maximálně 0,6 % hmotnosti. Výzkum Starka a Wichta dokazuje, že při použití cementu s obsahem ekvivalentu Na_2O do 0,70 % hmotnosti nedochází k bobtnání a tudíž k žádné deformaci, zatímco při použití cementu s obsahem alkálií 1,4 % lze pozorovat deformace betonu. ^[18]

Tab. 7: Přípustný obsah alkálií v cementu pro beton do cementobetoných krytů vozovek ^[18]

Cement	Obsah struskového písku [% hmotnosti]	Obsah alkálií v cementu Ekvivalent Na_2O [% hmotnosti]	Obsah alkálií v cementu bez struskového písku příp. živičné břidlice Ekvivalent Na_2O [% hmotnosti]
CEM I + CEM II/A	$\leq 0,80$		–
CEM II/B-T	21 až 29	–	$\leq 0,90$
CEM II/B-S	21 až 29	–	$\leq 0,90$
CEM II/B-S	30 až 35	–	$\leq 1,00$
CEM III/A	36 až 50	–	$\leq 1,05$

17. Technologické faktory ovlivňující přilnavost a soudržnost cementového kamene s kamenivem

17.1 Jakost použitého cementu

Ke zvyšování adheze cementového kamene k povrchu kameniva dochází pomocí zvyšování jemnosti mletí cementu. Přilnavost je přímo závislá na pevnosti cementu a jeho objemové stálosti.

17.2 Povrch zrn kameniva

Povrch může být drsný, sklovitý, kavernovitý, hladký apod. S rostoucí drsností povrchu se adheze zvyšuje, protože hydratační produkty způsobují mechanickou adhezi. Na povrchu kameniva mohou ulpívat jemné částice, které mají negativní vliv na přilnavost, protože dochází k vytvoření tenké vrstvy (na rozhraní) zabraňující dokonalému přilnutí cementového kamene k povrchu kameniva. Dispergované jemné částice přilnavost nesnižují. Ulpěné odplavitelné částice narušují soudržnost s povrchem kameniva, proto jsou kvalitativním ukazatelem jakosti kameniva.

17.3 Teplotní roztažnost

Při velkých nebo rychlých teplotních změnách se projevuje rozdílná teplotní roztažnost kameniva a cementového kamene a působí negativně. V důsledku rozdílné teplotní roztažnosti vznikají v betonu tahová napětí, která mají za následek tvorbu trhlin na povrchu zrn kameniva. Pokud má kamenivo a cementový kámen stejnou teplotní roztažnost jedná se o ideální stav. Pokud jsou teplotní roztažnosti odlišné, pak musíme rozlišovat teplotu ztvrdnutí betonu a teplotu, které bude beton vystaven po dobu exploatace. Kamenivo s vyšším součinitelem roztažnosti (droba, andezit, křemen, křemenec) je vhodné používat tehdy, pokud beton ztvrdne při vyšší teplotě, než jaké bude vystaven v konstrukci. Kamenivo s nižším součinitelem teplotní roztažnosti (čedič, vápenec, žula) je vhodné používat tehdy, pokud beton ztvrdne při teplotě nižší, než bude teplota konstrukce.

17.4 Nasákavost kameniva

Nasákavost hutného přírodního kameniva dosahuje hodnoty do 1 % a je tudíž zanedbatelná. Nasákavost má výrazný vliv u pórovitého kameniva. Pórovité kamenivo odsává z čerstvého betonu část vody a tím vytváří ve struktuře cementového tmele síť kapilárních pórů a ochuzuje hydratující cement o potřebné množství vody (proces samovakuování). Z tohoto důvodu se musí pórovité kamenivo před zamícháním do betonové směsi dokonale vlhčit.

17.5 Množství záměsové vody

Vodní součinitel nesnižuje pouze pevnost betonu, ale také snižuje přilnavost cementového kamene k povrchu kameniva. Ke snížení adheze cementového kamene k povrchu zrna kameniva dojde tehdy, pokud zvýšíme obsah vody v čerstvém betonu nad optimální mez smáčení kameniva.

17.6 Reakce povrchu kameniva s hydratujícím cementem

Reakcí povrchu kameniva s hydratujícím cementem může dojít ke zvýšení adheze. Tento jev lze pozorovat při použití drceného Liaporu v lehkém betonu. Hlinitokřemičitany, které se pálí na nižší teplotu, mají latentně hydraulické vlastnosti. Tyto vlastnosti má však pouze jádro zrn, nikoliv slinutý povrch zrn. Liapor-beton s drobným drceným Liaporem má vyšší pevnosti než s přírodním pískem při stejné objemové hmotnosti betonu. ^[19]

18. Obrusnost betonu

Obrusnost betonu je jednou z nejvýznamnějších vlastností cementobetonových krytů. Obrusnost je vlastnost, kterou posuzujeme trvanlivost betonu proti dlouhodobému působení tangenciálních sil na povrchu betonu. Tyto síly vytváří hlavně třecí předměty nebo pneumatiky a to hlavně při rozjíždění a brzdění. Výsledky měření ukazují, že obrusnost není příliš závislá na pevnosti betonu, ale daleko větší vliv na obrusnost má druh použitého kameniva, zejména pak jeho petrografie. Betony nasáklé vodou vykazují vyšší obrusnost. Obrusnost se zkouší na Böhmově přístroji podle normy ČSN 73 1324. Jako brusivo se používá umělý korund. ^[19]

Existuje mnoho faktorů, které ovlivňují odolnost proti obrusu. Je zřejmé, že dvě hlavní vlastnosti proti obrusu jsou tvrdost a pevnost spojení kameniva a cementového pojiva. Tyto atributy se vzájemně doplňují – pevné kamenivo chrání měkký cementový tmel za předpokladu, že je pro dané kamenivo pevnost cementové pasty taková, že je zde odpovídající pouto kamenivo – cementový kámen dost silné na to, aby bezpečně odolalo účinkům zatížení. ^[20]

18.1 Souvislosti mezi typy hrubého kameniva

18.1.1 Zkoušky prováděné na kamenivech

Kameniva pro silniční účely se hodnotí zkouškou ohladitelnosti podle ČSN EN 1097-8 a zkouškou otlukovosti. Hodnoty ohladitelnosti u kameniv s dobrou kvalitou mají být vyšší jak 0,5. Hodnoty otlukovosti by se měli pohybovat do 30 %, obecně platí, že čím nižší hodnota, tím je kamenivo kvalitnější. Následující tabulka vyjadřuje vliv kameniva na obrusnost cementobetonového krytu vozovky. ^[19]

Tab. 8: Vlastnosti kameniva z hlediska obrusnosti betonu (Pevnost v tlaku betonu 52 MPa) ^[19]

Obrusnost betonu [%]	Druh a vlastnosti kameniva				
	Druh	Pevnost [MPa]	Ohladitelnost [%]	Otlukovost [%]	Obrus [%]
3,02	čedič	301	0,45 – 0,53	9 – 30	0,08
3,44	žula	151	0,48 – 0,53	13 – 40	0,10
8,10	křemenec	220	0,49 – 0,51	14 – 30	0,10
5,52	vápenec	80 – 160	0,39 – 0,57	24 – 32	0,53
4,0 – 5,2	pískovec	110 – 132	0,64	34	0,45 – 2,75

18.1.2 Alternativní měření ohladitelnosti kameniva

Pro měření ohladitelnosti kameniva se v současné době používá měřicí zařízení Wehner/Schulze. Toto zařízení se skládá ze dvou rotačních hlav. Jedna hlava ohlazuje povrch a druhá slouží k měření tření povrchu tělesa. K simulaci pojezdu vozidel slouží tři pryžové kuželíky, které rotují po povrchu válcového zkušební vzorku s frekvencí 500 otáček za minutu, což představuje rychlost 17 km/h. Tlak mezi kuželíky a vzorkem je 0,4 MPa. Na ohlazení povrchu se během rotace přidává křemičitý prach. Daný program nám umožňuje nastavit požadovaný počet pojezdů kuželíků. Po zastavení dojde k omytí povrchu 600 pojezdy kuželíků a poté se vzorek přemístí pod hlavu, která měří tření. Tato hlava se skládá ze 3 pryžových patek. Tlak mezi patkami a vzorkem má hodnotu 0,2 MPa. Brzděním z rychlosti 100 km/h až do zastavení se při měření snižuje obvodová rychlost zkušební tělesa. Tím se získá závislost tření na rychlosti. Protismykové vlastnosti se měří po každém zastavení pojezdů. Počet cyklů končí po 180 000 přejezdech kuželíku. Naměřená hodnota se značí PWS (Polierwert nach Wehner/Schulze), tedy odladitelnost podle Wehnera a Schulzeho. Ve skutečnosti však měříme hodnoty tření v daných podmínkách v závislosti na počtu otáček zařízení při ohlazování povrchu. ^[21]

Obr. 8: Zařízení Wehner/Schulze při ohlazovacím procesu ^[21]



18.1.3 Vliv kameniva na obrusnost betonu

Pevnost betonu je funkcí dvou hlavních složek betonu a to pevností kameniva a pevností cementového kamene. Kamenivo hraje mnohem důležitější roli než cementová pasta, za prvé proto, že kamenivo tvoří až 80 % objemu betonu a za druhé proto, že většina komerčních kameniv je mnohem tvrdších a více odolných proti obrusu, než cementová pasta. Celková pevnost kameniva je složena z pevnosti hrubého kameniva a pevnosti jemného kameniva. Pevnost může být chápána jako schopnost betonu odolávat porušením povrchu od účinků zatížení. Ačkoliv má pevné kamenivo vynikající odolnost proti obrusu, je obecně velmi křehké. Existují případy, kdy houževnatost kameniva je důležitější, než jeho pevnost. Houževnaté kamenivo je méně křehké, a proto odolnější vůči zatížení. Pevnost cementové pasty může být zvýšena použitím různé povrchové úpravy, obvykle po vytvrdnutí betonu. ^[20]

18.2 Vliv cementového tmele na obrusnost

Tvrdość cementového tmele je ovlivněna pevností cementového tmele. Čím je větší pevnost cementového tmele, tím vyšší je odolnost proti obrusu. Cementový tmel má vždy menší pevnost než malta složená z pojiva a zrn kameniv jako jsou žula a křemenec. Z toho plyne, že pevnost cementové pasty se řídí dle její mikrostruktury.

Mikrostruktura je ovlivněna typem pojiva, jeho fyzikálními vlastnostmi a chemickým složením. Stále více je cement nahrazován materiály, které mají rovněž hydraulické vlastnosti, např. mletá granulovaná vysokopecní struska, nebo materiály, které mají pucolánové vlastnosti, jako jsou popílek a křemičitý úlet. Tyto materiály mají mechanismy, které zlepšují mikrostrukturu cementového kamene. Morfologie mikrostruktury je ovlivněna také póry. Mnoho studií dokazuje, že póry mají negativní vliv na pevnost betonu. ^[20]

18.3 Vliv pevnosti v tlaku na obrusnost

Obrusnost betonu je ovlivňována pevností betonu. Čím vyšší pevnost betonu, tím dosahuje obrusnost pozitivnějších hodnot. Toto tvrzení však nelze tvrdit s naprostou jistotou. V minulosti při výstavbě dálnice byly požadavky normy na pevnost betonu nižší, než je tomu dnes a přesto obrusnost a protismykové vlastnosti vykazovaly řadu let pozitivní výsledky. V dnešní době dle normy ČSN EN 13877 je minimální požadavek na pevnost betonu pro CB I a CB II 37 MPa a přesto protismykové vlastnosti jsou daleko horší ve srovnání s minulými lety. Z toho plyne, že pevnost betonu je na obrusnost a protismykové vlastnosti CB krytů závislá spíše nepřímo.

18.4 Vliv Míry provzdušnění na obrusnost betonu

Dle normy ČSN EN 13877 – 1 Cementobetonové kryty – Část 1: Materiály, má minimální obsah vzduchu v čerstvém betonu následující hodnoty. U betonu bez použití plastifikační přísady 4 % a u betonu s použitím plastifikační přísady 5 %. Pro každé jedno procento pórů existuje pětiprocentní ztráta pevnosti/odolnosti proti obrusu.

18.5 Zvýšení odolnosti cementobetonových povrchů vůči obrusu

18.5.1 Zvýšení obsahu pojiva

Vyšší obsah pojiva zvětšuje pohyblivost (reologii) čerstvého betonu. Výsledkem je, že dojde ke snížení vmíchaných pórů a kapilárních dutin. Zvýšený obsah pojiva v poměru k obsahu vody znamená, že jednotlivá zrna cementu jsou v těsné blízkosti k sobě, což má za následek vyšší hustotu mikrostruktury v zatvrdlé cementové pastě. Tyto aspekty mají za následek posílení cementové pasty, která je současně tvrdší, ale důležitější je zvýšená schopnost spojení se zrny kameniva.

18.5.2 Optimalizace obsahu vody

Pro každý daný druh pojiva je optimální obsah vody. Použití více vody ve směsi pomáhá při snižování makroskopických vmíchaných pórů, ale příliš mnoho vody zvyšuje mikroskopické kapilární póry. Naopak použití menšího množství vody má schopnost užšího obalení pojiva částic, ale dělá tak mnohem obtížnější odstranění vzduchových pórů. Je třeba konstatovat, že v polosuchých směsích je daleko nebezpečnější příliš málo vody, než více vody.

18.5.3 Použití superplastifikátorů

Silně vodu redukující činidla jsou velmi účinné ve snížení vody ve směsi, aniž by došlo ke snížení zhutnitelnosti. Snížení vody v tomto způsobu se projevuje snížením kapilárních pórů. Snížení obsahu vody má za následek zvýšení pevnosti cementového kamene a zvýšení spojovací schopnosti s kamenivem, čímž dojde i ke zvýšení odolnosti proti obrušování. Superplastifikátory nejsou tak účinné u polosuchých směsí, tyto směsi mají výrazně snížený obsah vody.

18.5.4 Použití tvrdého kameniva

Tvrďší kamenivo se bude méně obrušovat, a proto bude lépe chránit měkčí cementovou složku. Pokud je hrubé kamenivo pevně vázáno v cementové pastě, měl by se povrch betonu udržet relativně hladký s minimální ztrátou cementové pasty. Slabá cementová pasta má nižší pojivovou schopnost, a v důsledku toho dochází ke ztrátě jemného kameniva účinkem brusných sil. U slabých cementových past dochází vlivem brusných sil ke vzniku drážek, a pokud se cementová pasta zdrsní do hloubky, může dojít k uvolnění hrubého kameniva. Tvrdé kamenivo má křehčí charakter a má tudíž větší tendenci se rozbít při nárazu. ^[20]

Shrnutí

Cementobetonové kryty vozovek poskytují oproti asfaltovým krytům vozovek mnoho výhod. Mezi tyto výhody patří zejména velká odolnost a delší životnost bez nutnosti oprav, z toho plyne, že na vozovkách s CB krytem dochází k menšímu počtu uzavírek po dobu jejich životnosti. Nezanedbatelnou výhodou je i barva vozovky, která umožňuje vyšší rozlišovací schopnost pro řidiče. Velmi důležitou vlastností vozovky s CB krytem je bezpečnost jízdy, a to hlavně za deště, kdy nedochází k vyjíždění kolejí. Z ekonomického hlediska vykazují vozovky s CB krytem úsporu až 30 % z celkových nákladů na pořízení, opravy a údržbu oproti vozovkám s AB krytem. Jejich většímu rozšíření brání pořizovací náklady, které jsou ve srovnání s AB krytem značně větší. Veřejností v ČR jsou vozovky s CB krytem značně kritizovány. Příkladem je dálnice D1 mezi Prahou a Brnem. Tato dálnice byla budována starou technologií, tj. jednovrstvou betonáží bez kluzných trnů a kotev, proto se vyskytují na této vozovce tzv. „schůdky na spárách“. Tento negativní jev budí v uživateli komunikace pocit, že jede po naskládaných panelech. Je však nutné si uvědomit, že v tehdejší době byla tato technologie nejmodernější a dálnice je řadu let za svojí životností. V současné době, díky moderním technologiím jsou tyto nedostatky odstraněny. Začínají se však objevovat problémy týkající se protismykových vlastností. Protismykovými vlastnostmi rozumíme ztrátu povrchové úpravy CB krytu, která velmi blízce souvisí s obrusností povrchu. Zatímco v minulých letech tyto problémy nenastávaly, alespoň ne po tak krátké době od uvedení komunikace do provozu, tak v současnosti tato problematika vzbuzuje veliké riziko. Byla spuštěna řada výzkumů, které se tímto problémem zabývají. Bohužel však jednoznačná odpověď na to, co je přímou příčinou tohoto negativního jevu neexistuje. Úvaha o tom, že jednou z možností tohoto problému může být pevnost v tlaku betonu, není zcela správná. Dle dříve platné normy byla minimální pevnost v tlaku pro vozovky skupiny L a I 32 MPa, v současnosti je pro vozovky CB I minimální pevnost v tlaku 37 MPa a přesto dochází k obrusu a tudíž ztrátě protismykových vlastností daleko dříve. Je třeba si však uvědomit, že v době před cca 20 lety byla zcela jiná intenzita dopravy a rovněž také složení pneumatik je v dnešní době jiné, než tomu bylo dříve. V současné době se vyvíjejí nové technologie, jejichž hlavním cílem je dosažení co nejlepších protismykových vlastností při dodržení co nejnižší hlučnosti.

II. Praktická část

Úvod

Cílem praktické části bylo navrhnout různé verze cementobetonových krytů CB II s různými druhy hrubého kameniva. Hlavním cílem bylo sledování zpracovatelnosti čerstvého betonu, pevností v tlaku, odolnosti povrchu vůči CHRL a obrusnosti metodou dle Böhma. Pro odzkoušení výše jmenovaných vlastností bylo namícháno 6 záměsí. U prvních třech směsí (1A, 1B, 1C) bylo použito hrubé kamenivo z lokality Luleč (moravská droba) a u 3 dalších záměsí (2A, 2B, 2C) kamenivo z lokality Olbramovice (granodiorit). U každého typu hrubého kameniva byla zvolena referenční směs, dále pak záměs, u které byl změněný poměr mezi hrubým kamenivem a drobným kamenivem a záměs, ve které byl snížen obsah cementu. Na této záměsi byl zjišťován vliv množství cementového tmele na obrusnost betonu. Zkušební vzorky tvořila sada sedmi krychlí od každé směsi (150 x 150 x 150 mm). Na těchto vzorcích byly provedeny zkoušky, které uvádí následující tabulka.

Tab. 1: 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 12350 - 7	Zkoušení čerstvého betonu – Část 7 : Obsah vzduchu tlakovou metodou
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 731326	Stanovení odolnosti povrchu cementového betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek – metoda A automatického cyklování
ČSN 731324	Stanovení obrusnosti betonu

1. Použité vstupní suroviny

Cement

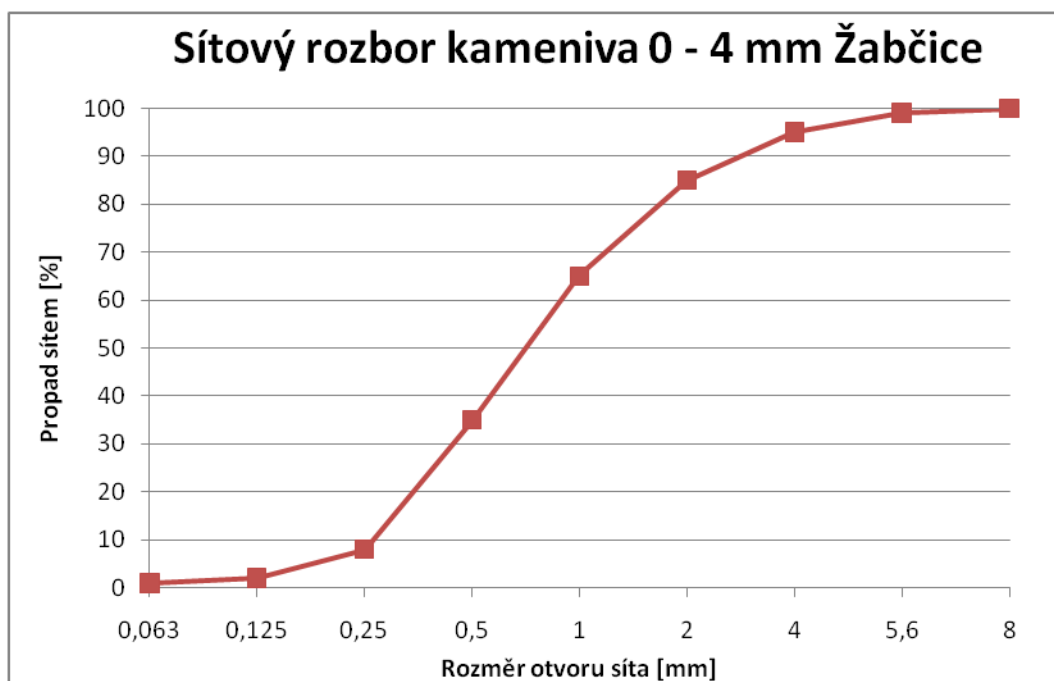
Pro všechny receptury byl použit portlandský cement CEM I 42,5 R s rychlým nárůstem počátečních pevností od společnosti Českomoravský cement a.s., závod Mokrá, technický list je uveden v příloze.

Kamenivo

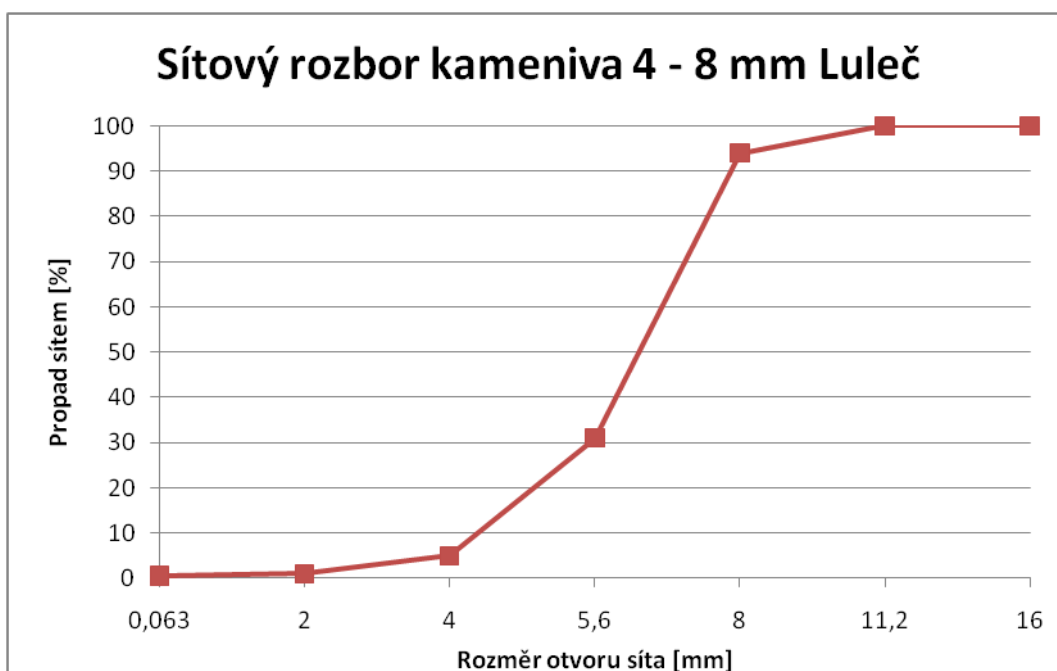
Na výrobu zkušebních vzorků bylo použito kamenivo ze třech různých lokalit. Kamenivo frakce 0 – 4 mm přírodní těžené kamenivo z pískovny Žabčice, hrubé frakce 4 – 8 mm, 8 – 16 mm, 11 – 22 mm přírodní drcené kamenivo z kamenolomu Luleč a hrubá frakce 4 – 8 mm, 8 - 16 mm, 11 – 22 mm přírodní drcené kamenivo z kamenolomu Olbramovice.

Křivky zrnitosti jednotlivých frakcí kameniva uvádí následující grafy.

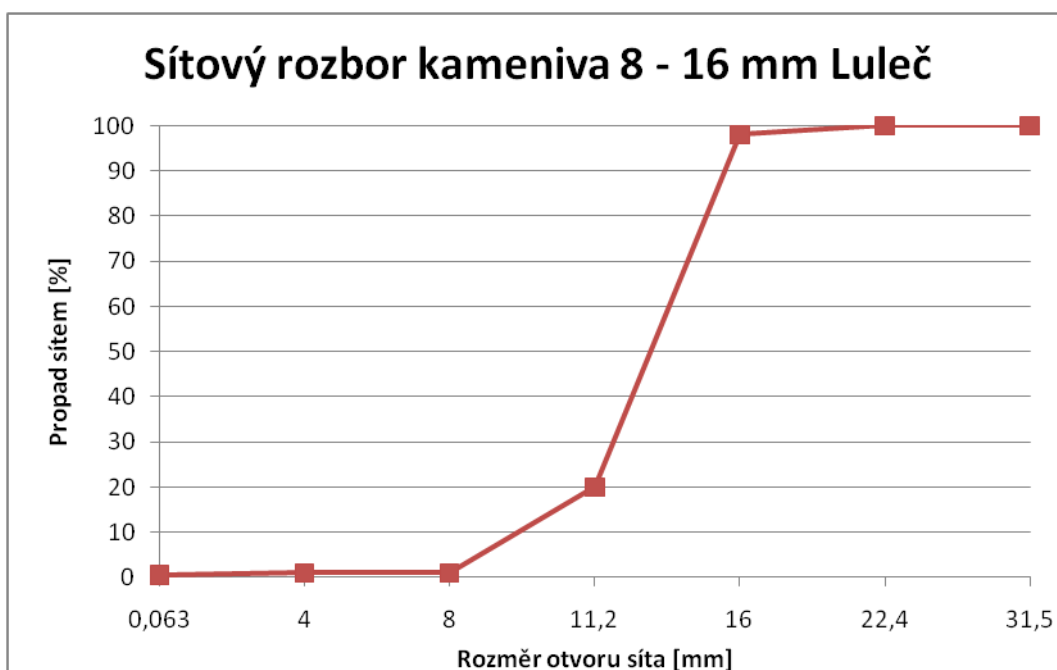
Graf 1: Křivka zrnitosti kameniva frakce 0 – 4 mm Žabčice



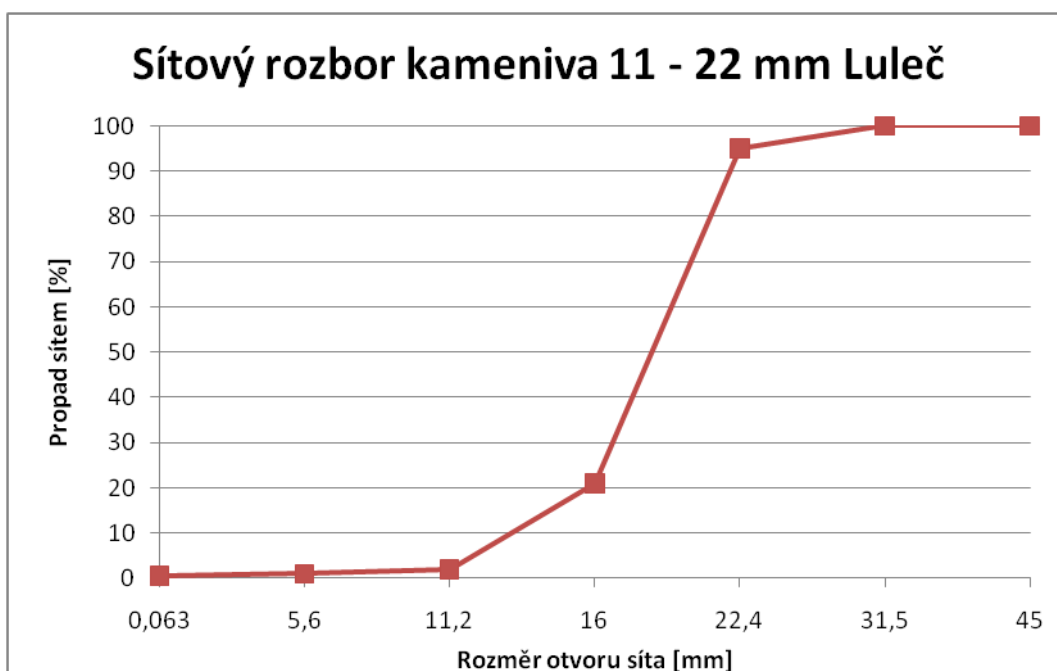
Graf 2: Křivka zrnitosti kameniva frakce 4 – 8 mm Luleč



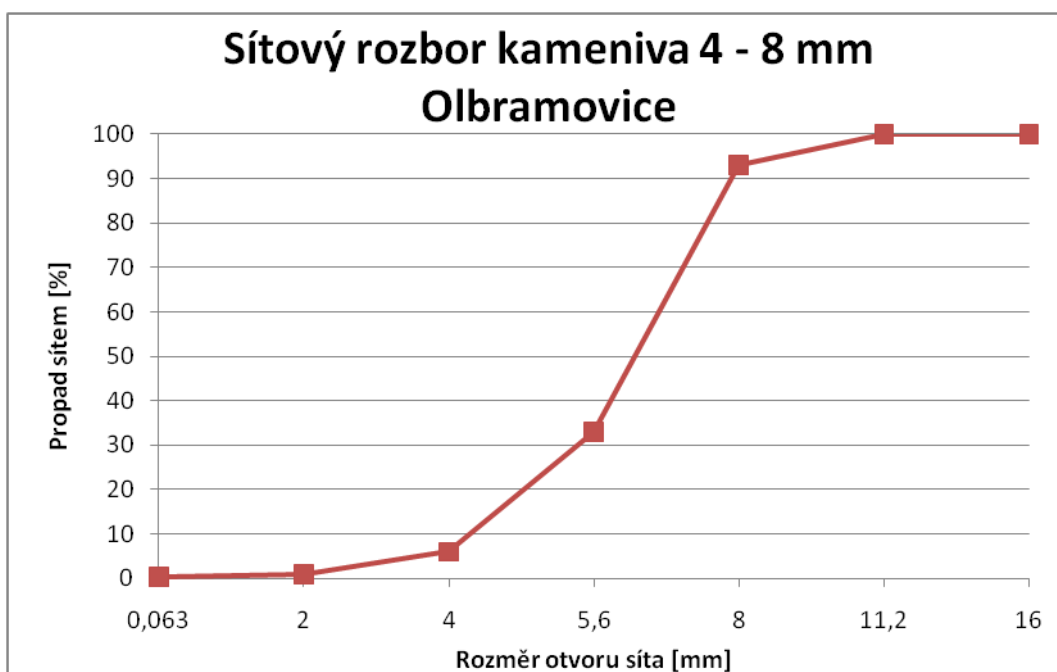
Graf 3: Křivka zrnitosti kameniva frakce 8 – 16 mm Luleč



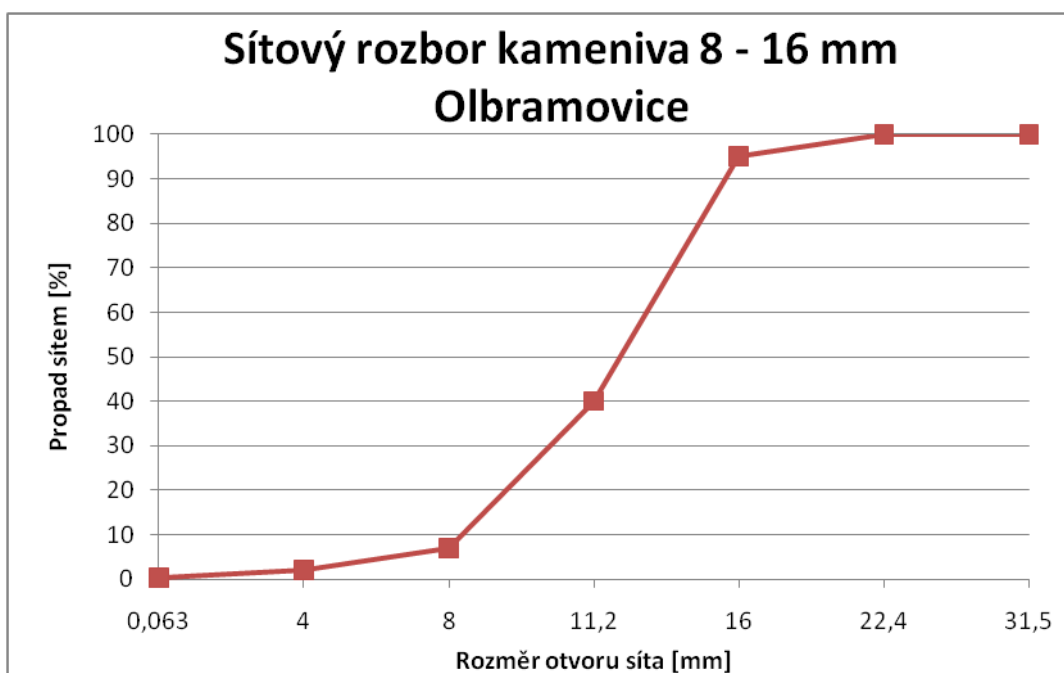
Graf 4: Křivka zrnitosti kameniva frakce 11 – 22 mm Luleč



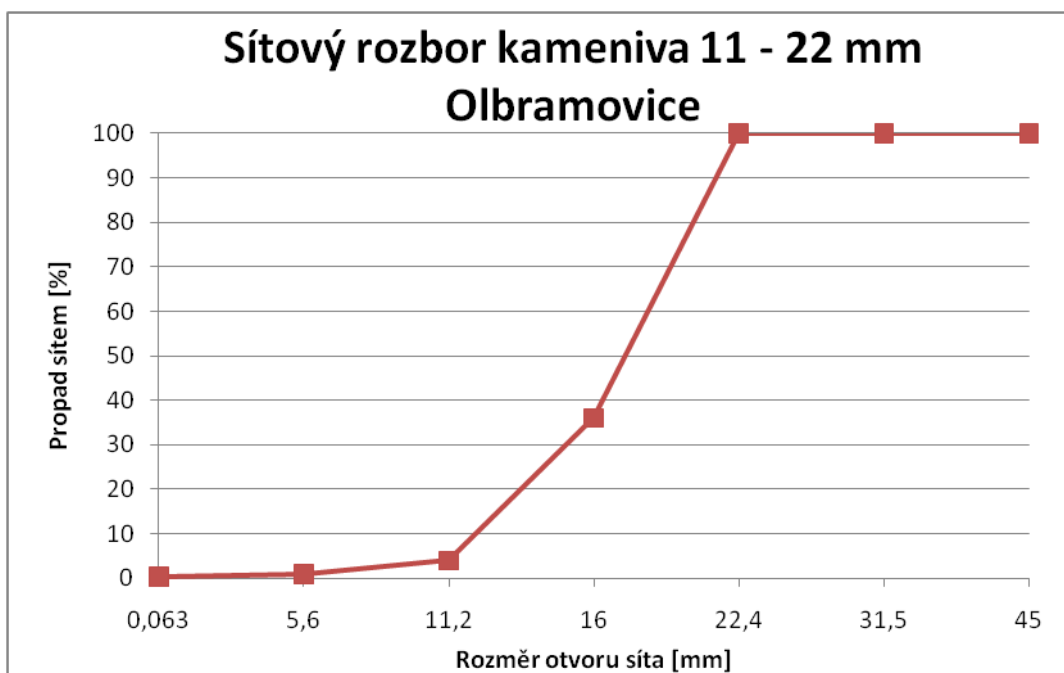
Graf 5: Křivka zrnitosti kameniva frakce 4 – 8 mm Olbramovice



Graf 6: Křivka zrnitosti kameniva frakce 8 – 16 mm Olbramovice



Graf 7: Křivka zrnitosti kameniva frakce 11 – 22 mm Olbramovice



Záměsová voda

Na přípravu jednotlivých receptur byla použita pitná voda z vodovodního městského řádu.

Přísady

Jako superplastifikační přísada byla použita Muraplast FK 19 a provzdušňující přísada byla použita Centrament Air 202 od společnosti MC Bauchemie, technické listy jsou uvedeny v příloze.

2. Metodika laboratorních zkoušek

Postup při výrobě betonu:

- navážení jednotlivých složek betonu na zvolený objem směsi,
- navlhčení míchačky a pomůcek,
- dávkování složek kameniva postupem od nejhrubší frakce až po nejjemnější frakci, přidání cementu a poloviny záměsové vody, důkladné promíchání a přidání plastifikační a provzdušňovací přísady se zbytkem záměsové vody,
- beton byl plněn do forem o rozměru 150 x 150 x 150 mm a hutněn pomocí vibračního stolu,
- vzorky byly popsány a uloženy do vlhkého prostředí.

Stanovení konzistence čerstvého betonu

Stanovení konzistence čerstvého betonu bylo provedeno dle ČSN EN 12350 – 2, Zkoušení čerstvého betonu – Část 2: Zkouška sednutím. Všechny směsi dosahovaly konzistence S2, což představuje sednutí kužele 50 – 90 mm.

Stanovení obsahu vzduchu tlakovou metodou

Obsah vzduchu tlakovou metodou byl posuzován dle ČSN EN 12350 – 7, Zkoušení čerstvého betonu – Část 7: Obsah vzduchu – Tlakové metody. Principem tlakové metody je fakt, že jediná složka stlačitelná v betonové směsi je vzduch.

Stanovení objemové hmotnosti v čerstvém stavu

Objemová hmotnost v čerstvém stavu byla posuzována dle ČSN EN 12350 – 6, Zkoušení čerstvého betonu – Část 6: Objemová hmotnost. Podstatou zkoušky je stanovení objemu nádoby, její zvážení prázdné a poté zvážení po naplnění betonem. Objemová hmotnost byla zjišťována dle vztahu:

$$D = \frac{m_2 - m_1}{V} \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

kde:

m_1hmotnost prázdné nádoby [kg]

m_2hmotnost nádoby naplněné betonem [kg]

Vobjem nádoby [m^3]

Stanovení objemové hmotnosti ve ztvrdlém stavu

Objemová hmotnost v zatvrdlém stavu byla posuzována dle ČSN EN 12390 – 7, Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 7: Objemová hmotnost ztvrdlého betonu. Podstatou zkoušky je změření objemu zkušební tělesa a stanovení jeho hmotnosti. Objemová hmotnost byla zjišťována na krychlích o hraně 150 x 150 x 150 mm dle vztahu:

$$D = \frac{m}{V} \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

kde:

mhmotnost zkušební tělesa [kg]

Vobjem zkušební tělesa [m^3]

Stanovení pevnosti v tlaku

Pevnost v tlaku byla posuzována dle ČSN EN 12390 – 3, Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles. Pevnost v tlaku byla stanovena po 28 dnech zrání na zkušebních krychlích o hraně 150 mm. Zkušební tělesa byla po vyrobení až do 28 dní uložena ve vlhkém prostředí. Principem zkoušky je stanovení maximální síly, která namáhá tlačnou plochu zkušební tělesa, až do jeho porušení. Výsledná pevnost betonu v tlaku se vypočte dle vztahu:

$$f_c = \frac{F}{A_c} [MPa]$$

kde:

f_cpevnost v tlaku [$N/mm^2 = MPa$]

Fmaximální zatížení při porušení [N]

A_cprůřezová plocha zkušební tělesa na kterou působí zatížení v tlaku [mm^2]

Stanovení odolnosti povrchu cementového betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek

Odolnost povrchu betonu proti CHRL byla posuzována dle ČSN 73 1326 – „Stanovení odolnosti povrchu cementového betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek - metodou A“ pomocí automatického cyklování. Princip této metody spočívá v umístění zkušebních těles (krychle o hraně 150 mm) do roztoku rozmrazovací látky, kterou je 3% NaCl. Zkušební tělesa se umístí do misky s CHRL tak, aby byla ponořena 5 ± 1 mm. Poté se zahájí zkušební cyklus, který spočívá v ochlazení povrchu na -15°C a udržování po dobu 15 minut na této teplotě, následný ohřev na $+20^{\circ}\text{C}$ a udržování po dobu 15 minut. Po každých 25 cyklech se musí zkušební vzorek vyjmout, následuje slití odpadu, vysušení a jeho zvážení. Výsledkem zkoušky je celkový odpad z povrchu betonu v gramech po předepsaném počtu cyklů přepočítaný na 1 m^2 .

Stanovení obrusnosti betonu

Obrusnost betonu byla posuzována dle ČSN 73 1324 – „Stanovení obrusnosti betonu“. Podstatou zkoušky je zjištění úbytku hmotnosti betonového tělesa při obroušování na obrusném stroji, přičemž lze zkoušet beton s velikostí zrn kameniva nejvýše 22 mm. Zkušební tělesa mají tvar krychle o hraně 7,07 cm a jsou vyříznuta ze zkušebního vzorku o hraně 150 mm. Broušení jednoho tělesa je skončeno po 440 otáčkách, tj. 20 cyklech. Výsledná obrusnost betonu se stanoví dle vztahu:

$$R_o = \frac{m_p - m_k}{m_p} \times 100 \text{ [%]}$$

kde:

R_oobrus betonu [%]

m_phmotnost zkoušeného tělesa před obroušováním [g]

m_khmotnost zkoušeného tělesa po ukončení cyklů [g]

3. Složení jednotlivých receptur

Bylo navrženo 6 receptur s různými lokalitami hrubého kameniva. U třech prvních receptur (označení 1A – 1C) bylo použito hrubé kamenivo z lokality Luleč a u třech následujících receptur (označení 2A – 2C) bylo použito hrubé kamenivo z lokality Olbramovice. V rámci použitého typu hrubého kameniva byly vyrobeny následující varianty: referenční, s vyšším podílem hrubé frakce kameniva a se sníženým množstvím cementu až na minimální hodnotu, kterou povoluje norma (ČSN EN 13877 – 1 Cementobetonové kryty – část 1: Materiály). Jedná se o tyto receptury:

Tab. 2: Složení jednotlivých receptur CB II na 1 m³

Suroviny [kg/m ³]	Složení směsi, receptury					
	1 A	1 B	1 C	2 A	2 B	2 C
CEM I 42,5 R Mokrá	400	400	350	400	400	350
Kam. 0 – 4 Žabčice	682	531	682	682	531	682
Kam. 4 – 8 Luleč	90	90	90	-	-	-
Kam. 8 – 16 Luleč	490	490	490	-	-	-
Kam. 11 – 22 Luleč	507	658	507	-	-	-
Kam. 4 – 8 Olbramovice	-	-	-	90	90	90
Kam. 8 – 16 Olbramovice	-	-	-	490	490	490
Kam. 11 – 22 Olbramovice	-	-	-	507	658	507
Voda	150	150	135	150	150	135
Plastifikátor Muraplast FK 19 % z m _c	1,10	1,34	1,16	1,15	1,28	1,20
Provzdušňovací přísada Centrament AIR 202, % z m _c	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03

4. Porovnání výsledků betonu v čerstvém stavu

Na čerstvý beton byly kladeny požadavky ve formě konstantní konzistence. Tato konzistence se měla pohybovat ve stanovených mezích. Jako hodnotící kritérium byla stanovena zkouška sednutím kužele, dle normy ČSN EN 12350-2 „Zkoušení čerstvého betonu. Část 2: Zkouška sednutím“. Požadovaná hodnota sednutí S2 (50–90 mm).

Na čerstvý beton byl kladen požadavek také na množství objemu vzduchu, které se mělo pohybovat v rozmezí 4,5 – 5,0 %. Obsah vzduchu tlakovou metodou byl posuzován dle ČSN EN 12350 – 7 „Zkoušení čerstvého betonu – Část 7: Obsah vzduchu – tlakové metody.“

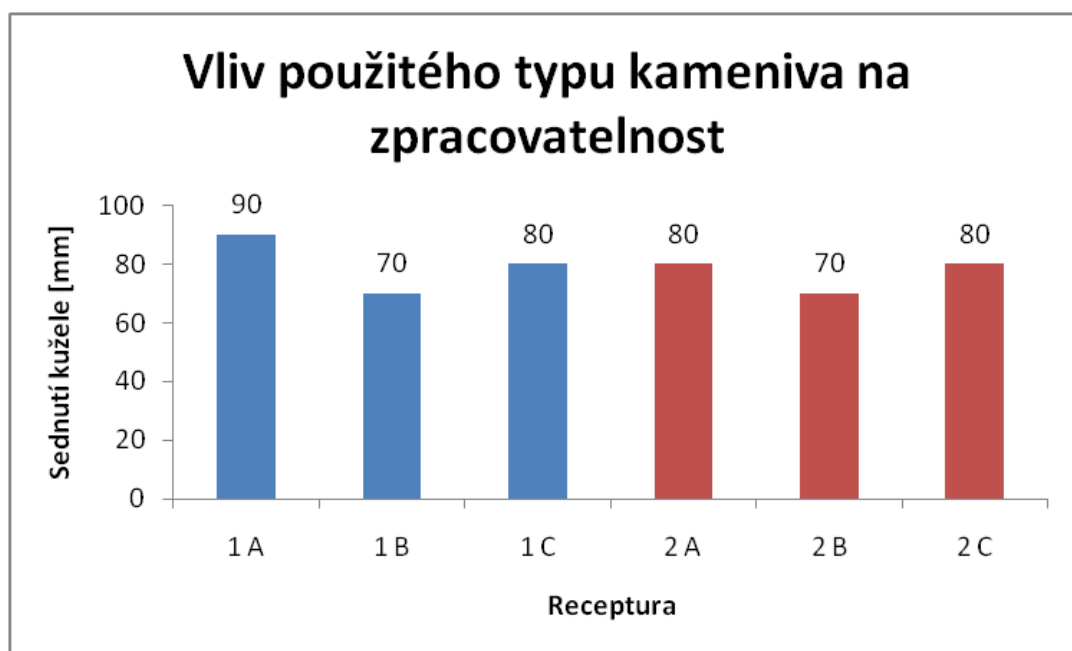
Dále byla na čerstvém betonu stanovena objemová hmotnost podle ČSN EN 12350 „Zkoušení čerstvého betonu - Část 6: Objemová hmotnost“. Objemová hmotnost je definována jako hmotnost objemové jednotky včetně dutin a pórů.

Následující tabulka uvádí naměřené a vypočtené hodnoty objemové hmotnosti, obsahu vzduchu a konzistence jednotlivých záměsí. Objemové hmotnosti v čerstvém stavu jsou u záměsí, kde bylo použito hrubé kamenivo z lokality Luleč (moravská droba), o něco nižší, než objemové hmotnosti záměsí, kde bylo použito hrubé kamenivo z lokality Olbramovice (granodiorit). Vysvětlení plyne z geologie samotných hornin. Moravská droba patří do skupiny sedimentárních hornin, u kterých se objemová hmotnost pohybuje okolo 2500 kg/m³. Zatímco granodiorit patří do skupiny magmatických hornin, které mají objemovou hmotnost okolo 2800 kg/m³. Požadavek na obsah vzduchu u jednotlivých záměsí byl 4,5 – 5,0 %. Tento požadavek byl dodržen po přidání provzdušňovací přísady. Rovněž tak byl kladen požadavek na dodržení předepsané konzistence, která se měla pohybovat v rozmezí 50 – 90 mm sednutí Abramsova kužele, tedy stupeň sednutí S2.

Tab. 3: Zkoušky čerstvého betonu

Receptura	Konzistence [mm]	Stupeň sednutí	Obsah vzduchu v ČB [%]	D _{ČB} [kg/m ³]
1 A	90	S2	5,0	2340
1 B	70	S2	4,8	2370
1 C	80	S2	5,0	2260
2 A	80	S2	4,8	2380
2 B	70	S2	4,6	2420
2 C	80	S2	4,8	2310

Graf 8: Vliv použitého typu kameniva na zpracovatelnost



U záměsí 1A, 1B a 1C bylo použito hrubé kamenivo z lokality Luleč (v grafech jsou označeny modrou barvou). Uvedené směsi se liší pouze v poměrovém zastoupení hrubého kameniva a v množství použitého cementu. U záměsí 2A, 2B a 2C bylo použito hrubé kamenivo z lokality Olbramovice (v grafech jsou označeny červenou barvou).

5. Porovnání výsledků betonu v zatvrdlém stavu

Pevnost v tlaku byla stanovena dle ČSN EN 12390 – 3 „Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles“. Pevnost v tlaku byla stanovena po 28 dnech na zkušebních krychlích o hraně 150 mm. Zkušební tělesa byla po vyrobení až do doby zkoušky uložena ve vlhkém prostředí.

Dále byla na zatvrdlém betonu stanovena objemová hmotnost podle ČSN EN 12350 „Zkoušení zatvrdlého betonu - Část 7: Objemová hmotnost“.

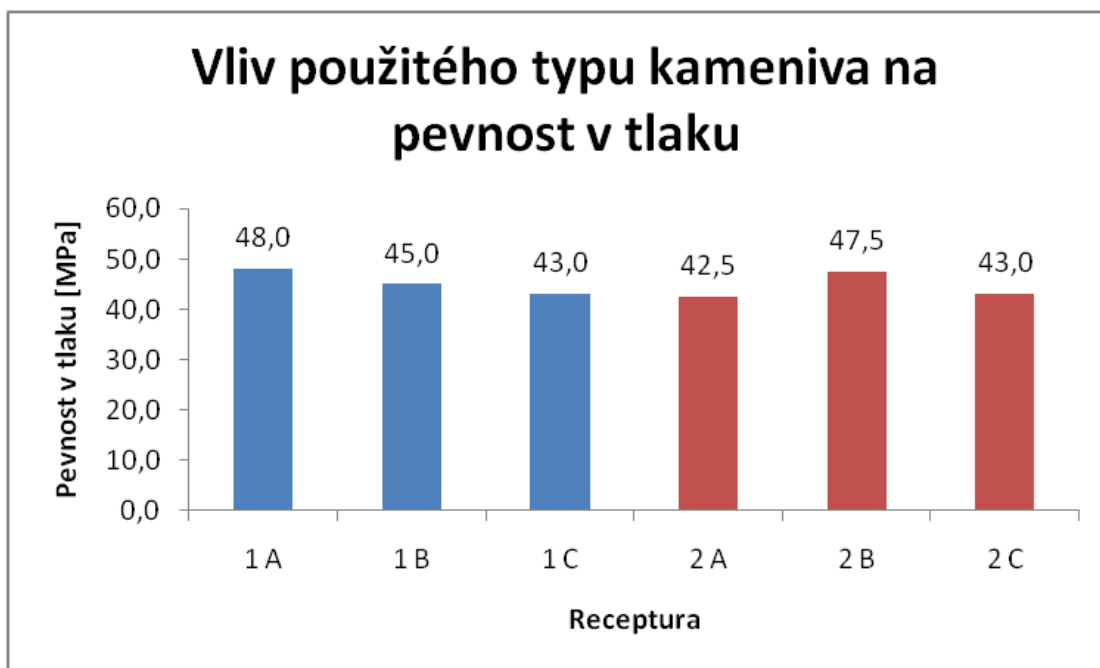
Dále byla posuzována odolnost povrchu betonu proti CHRL dle ČSN 73 1326 „Stanovení odolnosti povrchu cementového betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek“ - metodou A pomocí automatického cyklování. Zkušební vzorky byly podrobeny 50 cyklům.

Obrusnost betonu byla posuzována dle ČSN 73 1324 „Stanovení obrusnosti betonu.“ Broušení zkušební tělesa bylo skončeno po 440 otáčkách, tj. 20 cyklech. Podstatou zkoušky je zjištění úbytku hmotnosti betonového tělesa při obrušování na obrusném stroji.

Tab. 4: Zkoušky ztvrdlého betonu

Stáří vzorku 28 dnů		
Receptura	f_c [MPa]	D_{ZB} [kg/m ³]
1 A	48,0	2320
1 B	45,0	2350
1 C	43,0	2250
2 A	42,5	2280
2 B	47,5	2320
2 C	43,0	2300

Graf 9: Vliv použitého typu kameniva na pevnost v tlaku



Tab. 5: Vliv použitého typu kameniva na odolnost proti CHRL

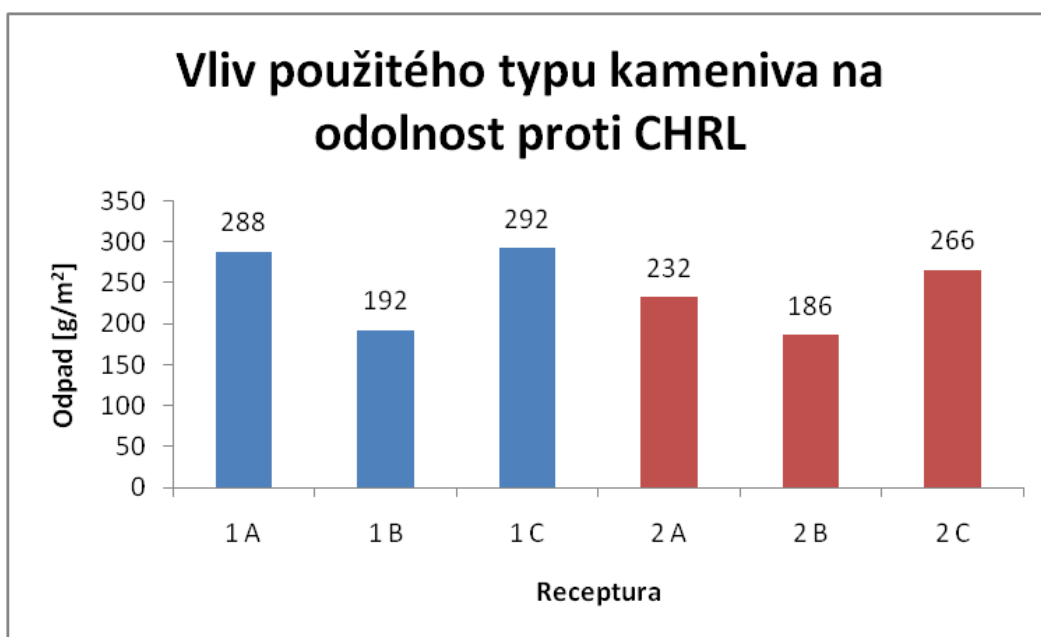
Receptura	Odpad [g/m ²] - 50 cyklů	Stupeň porušení
1 A	288	2 – slabě narušený
1 B	192	2 – slabě narušený
1 C	292	2 – slabě narušený
2 A	232	2 – slabě narušený
2 B	186	2 – slabě narušený
2 C	266	2 – slabě narušený

Následující tabulka uvádí zařídění povrchů betonu dle ČSN 73 1326.

Tab. 6: Zařídění povrchů betonu dle ČSN 73 1326

Stupeň porušení	Odpad [g/m ²]	Charakter odpadu
1 – neporušený	do 50	velmi jemné prachovité částice do 1 mm
2 – slabě narušený	50 – 500	více částic do 1 mm, méně jak ½ částic do 2 mm
3 – narušený	500 – 1000	podíl částic nad 2 mm přes 500 g/m ²
4 – silně narušený	1000 – 3000	podíl částic nad 2 mm přes 500 g/m ²
5 – rozpadlý	přes 3000	Podíl částic nad 4 mm více jak 20 % hmotnosti

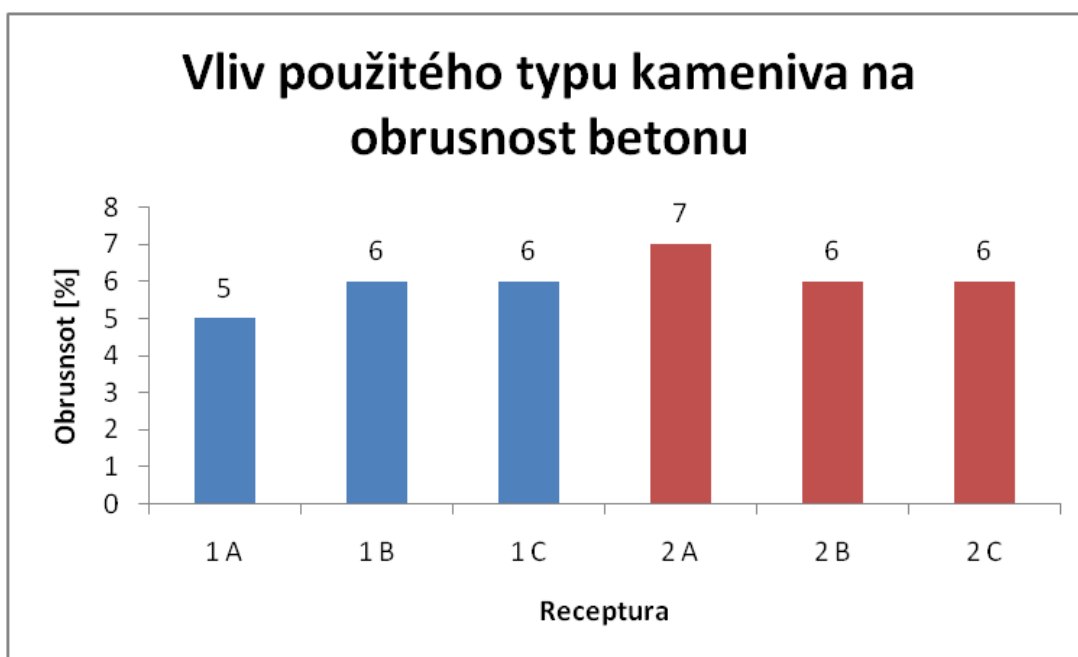
Graf 10: Vliv použitého typu kameniva na odolnost proti CHRL



Tab. 7: Vliv použitého typu kameniva na obrusnost betonu

Receptura	Obrusnost [%]
1 A	5
1 B	6
1 C	6
2 A	7
2 B	6
2 C	6

Graf 11: Vliv použitého typu kameniva na obrusnost betonu



Obr. 1: Stanovení ohrusnosti betonu na Böhmově přístroji



Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo věnovat pozornost cementobetonovým krytům, zejména jejich rychlému opotřebení. V teoretické části jsem se snažil popsat vývoj cementobetonových krytů u nás i v zahraničí a jejich povrchové úpravy, které nám značným způsobem ovlivňují protismykové vlastnosti. Dále pak vlivy, které se nejvíce podílejí na odstranění povrchové úpravy.

V praktické části práce byly vybrány 2 lokality hrubých kameniv, z kterých byly navrženy receptury CB II. V prvních třech recepturách (1A, 1B, 1C) bylo použito hrubé kamenivo z lokality Luleč (moravská droba) a v následujících třech recepturách (2A, 2B, 2C) bylo použito hrubé kamenivo z lokality Olbramovice (granodiorit). Z každého hrubého kameniva byly dále vyrobeny 3 záměsi, z nichž jedna byla referenční, druhá záměs měla snížený podíl kameniva frakce 0 – 4 mm a zvýšený podíl kameniva frakce 11 – 22 mm a třetí záměs měla snížený obsah cementu až na minimální hodnotu, kterou povoluje norma (ČSN EN 13877 – 1 „Cementobetonové kryty – část 1: Materiály“), tj. 350 kg/m^3 . Jako pojivo byl vybrán cement CEM I 42,5 R. Směsi byly navrženy tak, aby v čerstvém stavu obsahovaly 4,5 – 5,0 % vzduchu

a dosahovaly konzistence S2, hodnoty sednutí 50 – 90 mm. V čerstvém stavu byla dále měřena objemová hmotnost čerstvého betonu. V zatvrdlém stavu byly na betonu prováděny následující zkoušky. Objemová hmotnost v zatvrdlém stavu, pevnost v tlaku po 28 dnech normového zrání, odolnost povrchu cementového betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek (CHRL) a obrusnost betonu pomocí Böhmovy přístroje.

Jako první zkouška na čerstvém betonu bylo provedeno sednutí pomocí Abramsova kužele. Tato hodnota byla největší u receptury 1A a dosáhla hodnotu 90 mm, naopak nejnižší hodnotu dosáhly receptury 1B a 2B, tj. 70 mm sednutí kužele. To jsou receptury, které obsahují zvýšený podíl hrubé frakce a snížený podíl frakce 0 – 4 mm. Z naměřených hodnot plyne, že snížení drobné frakce kameniva vede ke snížení zpracovatelnosti. Na zpracovatelnost směsi má výrazný vliv množství záměsové vody, tedy vodní součinitel, který byl však u každé směsi konstantní a dosahoval hodnoty 0,38. Velmi důležitou roli ve zpracovatelnosti směsi má množství superplastifikátoru. Jelikož byl požadavek na konzistenci S2, tedy sednutí kužele 50 – 90 mm a složení směsi bylo rozdílné, tak bylo potřeba přidat ke každé směsi jiné množství superplastifikátoru, který se výrazným způsobem podílí na výsledné konzistenci. Ostatní hodnoty sednutí se výrazným způsobem nelišily a jejich hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 3.

Jako další zkouška na čerstvém betonu bylo stanovení obsahu vzduchu v čerstvém betonu. Stanovení obsahu vzduchu v čerstvém betonu bylo provedeno tlakovou metodou. Množství obsaženého vzduchu ve směsi je ovlivněno přidávkou provzdušňovací přísady, která byla ke každé směsi přidána v množství 0,03 % z hmotnosti cementu. Dle zadání bylo nutné dodržet požadavek na obsah vzduchu ve směsi 4,5 – 5,0 %. Množství vzduchu u jednotlivých směsí uvádí tabulka č. 3. Nezanedbatelný faktor pro stanovení obsahu vzduchu ve směsi je také doba míchání a rychlost míchání směsi. Zároveň je možné říci, že provzdušňovací přísada vykazuje částečné plastifikační účinky.

Jednotlivé objemové hmotnosti betonu v čerstvém stavu uvádí tabulka č. 3. Největší objemovou hmotnost vykazovala záměs 2B a její hodnota činila 2420 kg/m^3 a naopak nejmenší objemovou hmotnost, která dosahuje hodnoty 2260 kg/m^3 , měl vzorek 1C, u kterého bylo snižené množství cementu až na hodnotu 350 kg/m^3 . Rozdíly mezi objemovou hmotností záměsí u kterých bylo použito hrubé kamenivo z lokality Luleč a záměsí, při jejichž výrobě bylo použito hrubé kamenivo z lokality Olbramovice, jsou minimální a dosahují rozdílu cca 50 kg/m^3 . Tato hodnota plyne ze samotné geologie hornin. Moravská droba (Luleč) je sedimentární hornina s objemovou hmotností cca 2500 kg/m^3 a granodiorit (Olbramovice) je magmatická hornina s objemovou hmotností cca 2800 kg/m^3 . Objemová hmotnost je definována jako hmotnost materiálu včetně dutin a pórů z čehož plyne, že na výslednou

objemovou hmotnost má vliv množství vzduchu ve směsi, tedy i doba vibrace potřebná k vypuzení nadbytečného vzduchu.

Na ztvrdlém betonu byla provedena jako první zkouška stanovení objemové hmotnosti ve ztvrdlém stavu. Největší hodnotu dosáhl vzorek 1B, jehož hodnota byla 2350 kg/m^3 . Naopak nejnižší hodnotu měl vzorek 1C - 2250 kg/m^3 . Přehled objemových hmotností v zatvrdlém stavu ukazuje tabulka č. 4.

Dále byla stanovena na ztvrdlém betonu pevnost v tlaku. Pevnost v tlaku byla stanovena po 28 dnech. Největší hodnotu pevnosti v tlaku dosáhla záměs 1A a to hodnoty 48 MPa, naopak nejmenší hodnotu pevnosti vykazovala receptura 2A a to hodnotu 42,5 MPa. Složení těchto dvou směsí bylo rozdílné v lokalitě hrubého kameniva, a proto byla očekávána přibližně stejná pevnost v tlaku. Na pevnost v tlaku má výrazný vliv množství použitého superplastifikátoru a obsah vzduchu ve směsi. Obecně platí, že s každým procentem vzduchu klesá pevnost cca o 5 MPa. Další pevnosti v tlaku uvádí tabulka č. 4.

Jako další zkouška byla provedena odolnost povrchů betonů proti vodě a chemickým rozmrazovacím látkám (CHRL). Nejpříznivějších hodnot dosáhly vzorky 1B a 2B a to konkrétně 192 g/m^2 a 186 g/m^2 po 50 cyklech. Jsou to záměsi, u kterých byl snížen podíl drobné frakce kameniva a zvýšen podíl hrubé frakce kameniva. Při namáhání povrchu roztokem 3% NaCl dochází k odpadání drobných podílů, které jsou u těchto záměsí sníženy a tudíž tyto vzorky dosáhly nižších hodnot. Všechny hodnoty jsou klasifikovány jako slabě narušené povrchy s odpadem $50 - 500 \text{ g/m}^2$ a jsou uvedeny v tabulce č. 5.

Obrusnost betonu byla provedena na Böhmově přístroji. Z naměřených hodnot lze usuzovat, že obrusnost betonu je přímo závislá na pevnosti v tlaku. U vzorku 1A byla pevnost v tlaku 48 MPa a dosažená obrusnost byla 5 % a naopak u vzorku 2A byla pevnost v tlaku 42,5 MPa a dosažená obrusnost pak 7 %. Zbylé hodnoty obrusností jsou srovnatelné a jsou uvedeny v tabulce č. 7.

Hrubé kamenivo z lokality Luleč a hrubé kamenivo z lokality Olbramovice vykazují podobné vlastnosti a v prováděných zkouškách nebyly zjištěny příliš odlišné výsledky. Proto lze obě hrubé frakce použít při návrhu do betonových směsí cementobetonových krytů.

Seznam použité literatury:

- [1] Soubor PDF. KOLEKTIV AUTORŮ; *Betonové vozovky 2012, sborník přednášek z 5. mezinárodní konference, květen 2012*. Přístupné z URL <http://www.svcement.cz/includes/dokumenty/pdf/sbornik_prednasek_betonove_vozovky_2012.pdf> duben 2013
- [2] Rozdíly mezi cementobetonovým a asfaltovým krytem vozovek [online] 2013. Dostupné z URL <<http://www.ceskedalnice.cz/odborne-info/rozdily-mezi-cb-a-ab>> duben 2013
- [3] Soubor PDF. prof. Ing. KAREL POSPÍŠIL, Ph. D., MBA; *Lafarge Cement Journal - Vozovky s cementobetonovým krytem*, číslo 1/2011. Přístupné z URL <http://www.lafarge.cz/2011_01.pdf> duben 2013
- [4] Soubor PDF. Ing. TOMÁŠ FOJTÍK; *Návrh cementobetonového krytu vozovky s ohledem na alkalicko-křemičitou reakci*, 2003 Přístupné z URL <<http://www.fce.vutbr.cz/veda/dk2003texty/pdf/4-2/rp/fojtik.pdf>> duben 2013
- [5] Norma ČSN EN 13877 – 1 (736150), Cementobetonové kryty – Část 1: materiály
- [6] *Beton: Technologie, konstrukce, sanace*. Praha: Česká betonářská společnost, 2005, pátý, 6/2005. ISSN 1213-31
- [7] Dokument a konzultace od pana Doc. Ing. RUDOLF HELA, CSc.; Brno 2013
- [8] Soubor PDF, PAVEX CONSULTING s.r.o.; *TP 82 katalog poruch netuhých vozovek*, Ministerstvo dopravy ČR, Ředitelství silnic a dálnic ČR, březen 2010. Přístupné z URL <<http://www.pjpk.cz/TP%2082.pdf>> duben 2013
- [9] Soubor PDF. KAREL POSPÍŠIL, JOSEF STRYK; *Betónové vozovky 2007, zborník prednášok, 3. medzinárodná konferencia, 2007*. Přístupné z URL <http://www.betonracio.sk/betonracio/downloads/betonove_vozovky_2007_web.pdf> duben 2013
- [10] *Beton: Technologie, konstrukce, sanace*. Praha: Česká betonářská společnost, 2005, pátý, 6/2005. ISSN 1213-3116
- [11] Soubor PDF. KOLEKTIV AUTORŮ; *Betonové vozovky 2012, sborník přednášek z 5. mezinárodní konference, květen 2012*. Přístupné z URL <http://www.svcement.cz/includes/dokumenty/pdf/sbornik_prednasek_betonove_vozovky_2012.pdf> duben 2013
- [12] Soubor PDF. KAREL POSPÍŠIL, JOSEF STRYK; *Betónové vozovky 2007, zborník prednášok, 3. medzinárodná konferencia, 2007*. Přístupné URL <http://www.betonracio.sk/betonracio/downloads/betonove_vozovky_2007_web.pdf> duben 2013

- [13] Soubor PDF. KOLEKTIV AUTORŮ; *Betonové vozovky 2010, sborník přednášek z 4. mezinárodní konference, červen 2010*. Přístupné z URL <http://www.svcement.cz/includes/dokumenty/pdf/sbornik_prednasek_betonove_vozovky_2010.pdf> duben 2013
- [14] Doc. Ing. RUDOLF HELA, CSc.; *Technologie betonu II*, Studijní opory pro studijní program s kombinovanou formou studia., Brno 2007
- [15] Soubor PDF. Ing. VÍT HANUŠ A KOLEKTIV; *Vliv současných chemických příměsí a přísad na výsledné vlastnosti betonu*, 2011/2012. Přístupné z URL <http://concrete.fsv.cvut.cz/~vrba/Publikace/FRVS_2012_prisady_primesi.pdf> duben 2013
- [16] Soubor PDF. Doc. Ing. RUDOLF HELA CSc., Ing. ADAM HUBÁČEK Ph. D.; *Nové zjednodušené a rychlé zkušební metodiky pro ověřování trvanlivosti při působení mrazu a chemických rozmrazovacích látek*, 2005. Přístupné z URL <http://www.cideas.cz/free/okno/technicke_listy/1uvt/2111.pdf> duben 2013
- [17] Prof. Ing. PETR PYTLÍK, CSc.; *Technologie betonu*, 2. Vydání. Brno: VUTIUM, 2000. ISBN 80 – 214 – 214 – 1647 – 5
- [18] Soubor PDF. ROLF BREITENBÜCHER; *Alkalicko-křemičitá reakce – důsledky pro cementobetonové kryty, Strasse + Autobahn, č. 4/2006*. STR. 205 – 209. Přístupný z URL <<http://www.silmos.cz/file.php?id=628.pdf>> duben 2013
- [19] Prof. Ing. PETR PYTLÍK, CSc.; *Technologie betonu*, 2. Vydání. Brno: VUTIUM, 2000. ISBN 80 – 214 – 214 – 1647 – 5
- [20] Soubor PDF. NICHOLAS PAPENFUS; *Applying concrete technology to abrasion resistance*, říjen 2003. Přístupný z URL <<http://www.sept.org/techpapers/1047.pdf>> duben 2013
- [21] Dokument a konzultace od paní Ing. JAROSLAVA DAŠKOVÁ, Brno 2013

TEORETICKÁ ČÁST

Seznam tabulek

Tab. 1: Požadavky na kamenivo do cementobetonových krytů

Tab. 2: Požadavky na cement do cementobetonových krytů

Tab. 3: Požadavky na ztvrdlý beton

Tab. 4: Srovnání životností obrusných vrstev vozovek z hlediska protismykových vlastností při intenzitě dopravního proudu pro nejvíce zatížený dopravní pruh = 15 tisíc vozidel

Tab. 5: Seznam základních hledisek pro výběr konstrukce vozovky

Tab. 6: Mikropórovitost cementového kamene v závislosti na vodním součiniteli

Tab. 7: Přípustný obsah alkálií v cementu pro beton do cementobetonových krytů vozovek

Tab. 8: Vlastnosti kameniva z hlediska obrusnosti betonu (Pevnost v tlaku betonu 52 MPa)

Seznam obrázků

Obr. 1: Příčná smršťovací spára s pokračující trhlinou

Obr. 2: Lepší světelný činitel odrazu

Obr. 3: Souvislost mezi úpravou povrchu CB krytu a jeho hlučností (projekt Silvia, Německo, vztaženo k referenční hladině povrchu vozovky z asfaltového betonu)

Obr. 4: Náklady na pořízení a opravy

Obr. 5: Typická konstrukce CB vozovky v ČR dle katalogu v TP 170

Obr. 6: Schéma provzdušnění povrchově aktivní látkou

Obr. 7: A: Reakce amorfního SiO_2 s NaOH, KOH a vodou, B: Zvětšování objemu při tvorbě alkalicko-křemičitého gelu

Obr. 8: Zařízení Wehner/Schulze při ohlazovacím procesu

PRAKTICKÁ ČÁST

Seznam tabulek

Tab. 1: Prováděné zkoušky

Tab. 2: Složení jednotlivých receptur CB II na 1 m^3

Tab. 3: Zkoušky čerstvého betonu

Tab. 4: Zkoušky ztvrdlého betonu

Tab. 5: Vliv použitého typu kameniva na odolnost proti CHRL

Tab. 6: Zatřídění povrchů betonu dle ČSN 73 1326

Tab. 7: Vliv použitého typu kameniva na obrusnost betonu

Seznam grafů

Graf 1: Křivka zrnitosti kameniva frakce 0 – 4 mm Žabčice

Graf 2: Křivka zrnitosti kameniva frakce 4 – 8 mm Luleč

Graf 3: Křivka zrnitosti kameniva frakce 8 – 16 mm Luleč

Graf 4: Křivka zrnitosti kameniva frakce 11 – 22 mm Luleč

Graf 5: Křivka zrnitosti kameniva frakce 4 – 8 mm Olbramovice

Graf 6: Křivka zrnitosti kameniva frakce 8 – 16 mm Olbramovice

Graf 7: Křivka zrnitosti kameniva frakce 11 – 22 mm Olbramovice

Graf 8: Vliv použitého typu kameniva na zpracovatelnost

Graf 9: Vliv použitého typu kameniva na pevnost v tlaku

Graf 10: Vliv použitého typu kameniva na odolnost proti CHRL

Graf 11: Vliv použitého typu kameniva na obrusnost betonu

Seznam obrázků

Obr. 1: Stanovení obrusnosti betonu na Böhmově přístroji

Použité zkratky

CBK	cementobetonový kryt
ABK	asfaltobetonový kryt
ŘSD	ředitelství silnic a dálnic
TKP	technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací
DTK	drobné těžené kamenivo
HDK	hrubé drcené kamenivo

Seznam příloh

Příloha č. 1: Technické listy – cement CEM I 42,5 R

Příloha č. 2: Technické listy – Muraplast FK 19

Příloha č. 3: Technické listy – Centrament AIR 202