VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

HYDRAULICKÁ POJIVA DO STMELENÝCH SMĚSÍ PODKLADNÍCH VRSTEV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

HYDRAULIC BINDERS TO BOUND MIXTURES OF THE BASE COURSES OF THE ROADS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — PETRA MIKULÍKOVÁ
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. DUŠAN STEHLÍK, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2012

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav pozemních komunikací

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Petra Mikulíková
Název	Hydraulická pojiva do stmelených směsí podkladních vrstev pozemních komunikací
Vedoucí bakalářské práce	Ing. Dušan Stehlík, Ph.D.
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2011
Datum odevzdání bakalářské práce	25. 5. 2012

V Brně dne 30. 11. 2011

.....	.....
doc. Dr. Ing. Michal Varaus Vedoucí ústavu	prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc. Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Výzkumné zprávy z let 2000 až 2011
internetové odkazy na www.stránky s informacemi o využití hydraulických pojiv při návrhu stmelených směsí
sborníky zahraničních konferencí s popisem použití hydraulických pojiv do směsí hutněných technologických vrstev násypů pozemních komunikací

Zásady pro vypracování

Základem práce je zpracování řešerše zaměřené na využití hydraulických pojiv do stmelených směsí konstrukčních vrstev vozovek a podloží vozovek. Sumarizace používaných hydraulických pojiv do stmelených směsí a betonů umožní snadnější orientaci při návrhu stmelených směsí pro konstrukci vozovky. V praktické části se předpokládá ověření některých méně známých směsných pojiv s běžnými standardy.

Předepsané přílohy

1. Úvod
2. Cíle práce
3. Teoretická část
4. Praktická část
5. Zhodnocení práce
6. Závěr
7. Literatura

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací

.....

Ing. Dušan Stehlík, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Práce je věnována tématu, hydraulická pojiva do stmelených směsí podkladních vrstev pozemních komunikací. První část práce se zabývá popisem stmelených podkladních vrstev a pojiv použitých ke stmelení směsí podkladních vrstev. Ve druhé praktické části se zaměřuji na zkoušení pevnosti v prostém tlaku na zkušebních tělesech s různými druhy pojiv. Na závěr jsou výsledky ze zkoušek pevnosti v prostém tlaku srovnány a vyhodnoceny.

KLÍČOVÁ SLOVA

Hydraulické pojiva, stmelená směs podkladních vrstev, pevnost v prostém tlaku.

ABSTRACT

The work is devoted to the topic, hydraulic binders to bound mixtures of the base courses of roads. The first part deals with the description of the stabilized base courses and bindersused to cement a mixture of base courses. In the sekond practical part is focused on testing theunconfined compressive strength for specimen with variol kinds of binders. In conclusion, the results from tests in unconfined compression strength compared andevaluated.

KEYWORDS

Hydraulic binders, cemented mixtures of the base courses of roads, unconfined compressive strength.

Bibliografická citace VŠKP

MIKULÍKOVÁ, Petra. *Hydraulická pojiva do stmelených směsí podkladních vrstev pozemních komunikací.* Brno, 2012. 64 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce Ing. Dušan Stehlík, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně, a že jsem uvedla všechny použité, informační zdroje.

V Brně dne .....

……

podpis autora

Petra Mikulíková

Poděkování:

Ráda bych poděkovala především mému vedoucímu bakalářské práce Ing. Dušanu Stehlíkovi, Ph.D. za cenné rady a odbornou pomoc při vypracování práce a také Pavlu Strakovi za jeho ochotu a pomoc při provádění zkoušek v laboratoři ústavu pozemních komunikací.

Dále bych chtěla poděkovat své rodině a blízkým za jejich podporu po celou dobu mého studia.

OBSAH

1. ÚVOD A CÍLE PRÁCE 11
ČÁST 1. – TEORETICKÁ ČÁST 12
2. STMELENÉ PODKLADNÍ VRSTVY 13
2.1 Charakteristika stmelené podkladní vrstvy 13
2.2 Porovnání nestmelené a stmelené podkladní vrstvy 13
3. VRSTVY STMELENÉ HYDRAULICKÝMI POJIVY 15
3.1 Historický vývoj 15
3.2 Úloha vrstev stmelených hydraulickými pojivy ve vozovce 15
3.2.1 Evropské normy pro směsi stmelené HP 16
4. SMĚSI STMELENÉ CEMENTEM 19
4.1 Cement 19
4.1.1 Výroba cementu 19
4.1.2 Druhy cementů 21
4.2 Požadavky na materiály stmelené směsi 22
4.2.1 Pojivo 22
4.2.2 Kamenivo 23
4.2.3 Příměsi 24
4.2.4 Záměsová voda 24
4.2.5 Přísady 24
4.3 Klasifikace směsí stmelených cementem 24
4.3.1 Obsah pojiva 24
4.3.2 Vlhkost 25
4.3.3 Zrnitost směsi 25
4.3.4 Pevnost a modul pružnosti 25
5. SMĚSI STMELENÉ STRUSKOU 27
5.1 Struska 27
5.1.1 Využití strusky 28
5.1.2 Druhy strusek 28
5.2 Požadavky na materiály stmelené směsi 30

5.2.1 Granulovaná vysokopecní struska 30
5.2.2 Částečně drcená granulovaná vysokopecní struska 31
5.2.3 Drcená granulovaná vysokopecní struska....31
5.2.4 Kamenivo 31
5.2.5 Voda....31
5.3 Klasifikace podle laboratorních mechanických vlastností 32
5.3.1 Všeobecně 32
5.3.2 Klasifikace podle kalifornského poměru únosnosti CBR 32
5.3.3 Klasifikace podle pevnosti v tlaku....33
5.3.4 Klasifikace podle R_t, E....34
6. SMĚSI STMELENÉ POPÍLKEM 36
6.1 Popílek....36
6.1.1 Vznik popílku....36
6.1.2 Druhy popílku 36
6.1.3 Využití popílku....37
6.1.4 Vlhkost 37
6.1.5 Poměr složek, zrnitost a suchá objemová hmotnost 37
6.2 Požadavky na materiály stmelené směsi....37
6.2.1 Popílek 37
6.2.2 Vápno....37
6.2.3 Cement....37
6.2.4 Kamenivo 38
6.2.5 Sádra....38
6.2.6 Granulovaná vysokopecní struska 38
6.2.7 Jiné složky....38
6.2.8 Voda....38
6.3 Klasifikace podle laboratorních mechanických vlastností 38
6.3.1 Všeobecně 38
6.3.2 Klasifikace podle pevnosti v tlaku....39
6.3.3 Klasifikace podle pevnosti v tahu R_t a modulu pružnosti E....40
7. SMĚSI STMELENÉ DOROPORTEM....42
7.1 GEOROC DOROPORT TB 25....42

7.1.1 Oblast použití Doroportu TB 25 42
7.1.2 Vlastnosti 42
7.1.3 Zpracování 42
ČÁST 2. – PRAKTICKÁ ČÁST 44
8. PEVNOST V PROSTÉM TLAKU 45
8.1 Směsný recyklát 45
8.1.1 Sítový rozbor směsného recyklátu 45
8.2 Zkoušené směsi 47
8.2.1 Výroba zkušebních těles 47
8.3 Laboratorní zkouška 49
8.3.1 Pevnost v prostém tlaku 49
8.3.2 Vyhodnocení zkoušky 56
9. ZÁVĚR 59
POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE 60
SEZNAM TABULEK 62
SEZNAM GRAFŮ 62
SEZNAM OBRÁZKŮ 63
SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK 64

1. ÚVOD A CÍLE PRÁCE

Zlepšování a stabilizace zemin pomocí hydraulických pojiv se v České Republice provádí od 60.let a to především díky Prof. Ing. Jiřímu Pošváři, CSc. Vhodným zvolením hydraulických pojiv se zlepšují jak fyzikální, tak mechanické vlastnosti zeminy (například pevnost v prostém tlaku, smyková pevnost, odolnost proti klimatickým vlivům, zlepšení zpracovatelnosti zemin, zhutnitelnosti, apod.).

Díky zlepšování a stabilizaci hydraulickými pojivy mohou být využity i zeminy méně vhodné až nevhodné a tím se zmenší náklady na výstavbu pozemní komunikace a taky se sníží tloušťky konstrukčních vrstev. Stavba pozemní komunikace bývá založena na různých zeminách, které je nutné zatřídit a podle zatřídění určit jaké hydraulické pojivo je vhodné pro danou zeminu. Teoreticky z toho vyplývá, že na jedné stavbě lze současně použít směsi různého složení.

Cílem této bakalářské práce je vyhledat a charakterizovat některá hydraulická pojiva, která se používají pro zlepšování a stabilizaci podkladních vrstev pozemních komunikací. V praktické části se bakalářská práce zaměřuje na zkoušku pevnosti v prostém tlaku zkoušenou na tělesech ze tří různých směsí a následně vyhodnocuje, která směs byla při zkoušce pevnosti nejodolnější.

ČÁST 1. – TEORETICKÁ ČÁST

2. STMELENÉ PODKLADNÍ VRSTVY

2.1 Charakteristika stmelené podkladní vrstvy

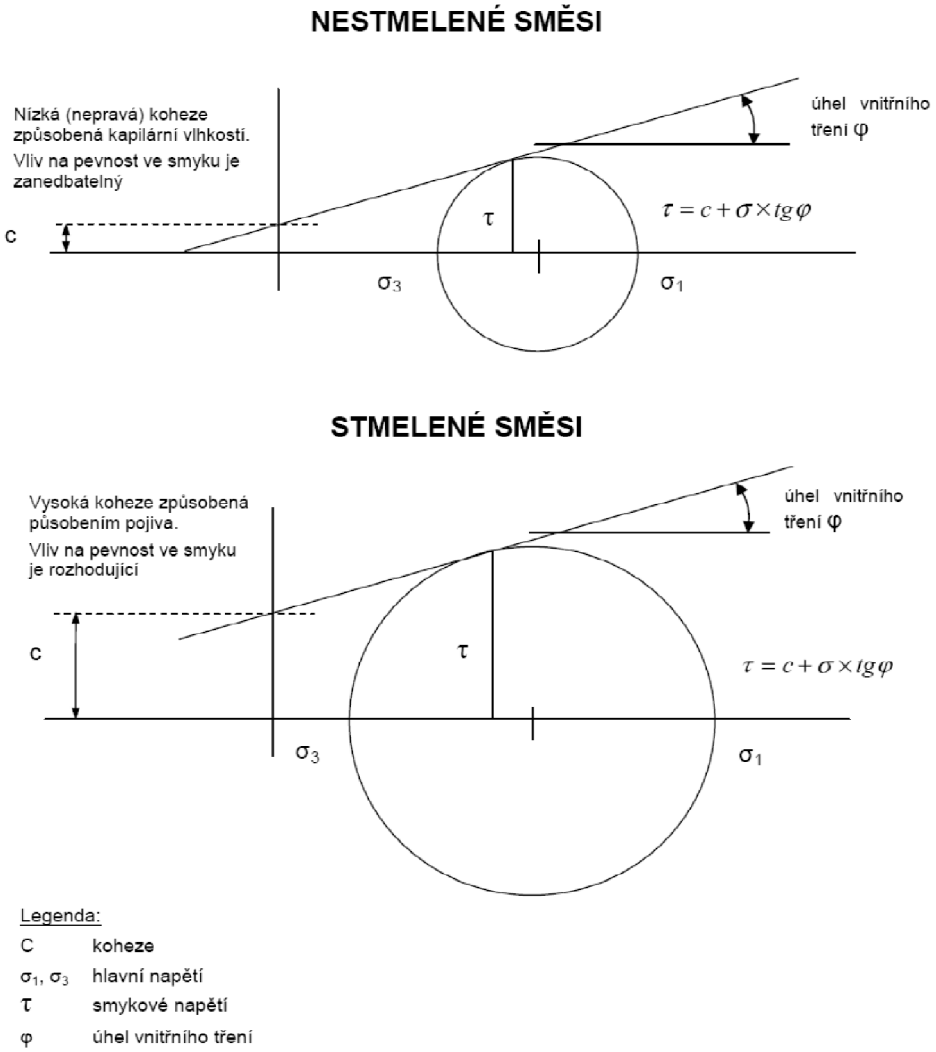
Vrstvy ze směsí stmelených hydraulickými pojivy mají relativně vysoký modul pružnosti, ale nízkou pevnost – jsou „křehké“. Proto v nich i při malé deformaci vznikají velká napětí a dojde k porušení vrstvy. Díky relativně nízké pevnosti se porušení odehrává tak, že vzniká velké množství nepatrných trhlinek. Proto jsou laboratorní pevnosti a přetvárné charakteristiky směsí stmelených hydraulickými pojivy přibližně 10x vyšší než ty, které jsou běžně měřeny na vozovce, protože ve směsích zkoumaných v laboratořích nejsou žádné trhlinky. [1]

Vrstva vždy leží na podkladu, který svým spolupůsobením většinou významně omezuje její průhyb a umožňuje uplatnění smykových napětí, proto pevnost vrstvy stmelené hydraulickým pojivem není jedinou příčinou její únosnosti. [1]

V každé vrstvě se významně uplatňuje pevnost ve smyku, způsobená dvěma faktory: vnitřní tření mezi zrny kameniva nebo zeminy, jehož velikost závisí na normálovém napětí (od zatížení vrstvy) a soudržnost ve smyku vlivem působení pojiva (koheze), která je na normálovém napětí (od zatížení vrstvy) nezávislá. [1]

2.2 Porovnání nestmelené a stmelené podkladní vrstvy

U nestmelených materiálů je dominantní složkou pevnosti ve smyku vnitřní tření. Koheze, pokud existuje, je způsobená kapilárními silami vlivem vlhkostí a její velikost je zanedbatelná (tzv. nepravá koheze). Zatímco u materiálů stmelených je koheze významným faktorem ovlivňujícím pevnost ve smyku – viz Obrázek 2-1. Pevnost v tlaku a tahu (vliv pojiva) se uplatňuje málo, protože vznikají mikrotrhliny, které mají jiný směr než smykové síly a proto mají na smykovou pevnost jen malý vliv. [6]



Obrázek 2-1: *Mohrova kružnice – nestmelené a stmelené směsi* [1]

Z obrázku vyplývá, že odlišnost nestmelených vrstev a vrstev stmelených hydraulickými pojivy je dána tím, zda je dominantní koheze nebo vnitřní tření. Během doby životnosti se vrstva porušuje postupným rozvojem mikrotrhlin a vliv koheze se zmenšuje. Postupně se chování vrstvy začíná přibližovat chování vrstvy nestmelené. Pevnost vrstvy je jistě velmi důležitá, ale její význam by se neměl přeceňovat při úvahách o použití jednotlivých typů vrstev stmelených hydraulickými pojivy v konstrukci vozovky. [6]

3. VRSTVY STMELENÉ HYDRAULICKÝMI POJIVY

3.1 Historický vývoj

Původní smysl tzv. stabilizací ve světě byl vyřešit situaci, kdy bylo potřeba vybudovat komunikaci a na velkou vzdálenost nebyl žádný zdroj vhodného kameniva. Tak se do podkladních vrstev použil místní dostupný materiál s přidáním pojiva. Stabilizace se časem začaly používat i tam, kde bylo kvalitního kameniva dostatek díky názorům, že nestmelené vrstvy jsou zastaralé.[1]

3.2 Úloha vrstev stmelených hydraulickými pojivy ve vozovce

Obecně platí, že stmelené vrstvy jsou kvalitnější a mají širší uplatnění jako vrstvy nestmelené. Pokud se uvažuje celá konstrukce vozovky včetně krytu, jistě není pochyb o tom, že stmelené vrstvy jsou zde kvalitnější (tužší), odolnější, trvanlivější. V případě vrstev podkladních však toto tvrzení nelze jednoznačně potvrdit a tedy i použití stmelené podkladní vrstvy nemá tak jednoznačný přínos. Pokud navíc v podkladní vrstvě nevzniknou v dostatečné míře mikrotrhliny, vrstva se začne chovat jako betonová deska a vznikem příčných trhlin si vynutí potřebnou dilataci. Tím vzniká pravděpodobnost výskytu tzv. reflexních trhlin, které jsou důsledkem prostupu smršťovacích trhlin z podkladní vrstvy do asfaltového krytu. Vznik mikrotrhlin se tedy zavádí uměle tím, že se čerstvě položená vrstva v době zrání (1 až 3 dny od položení) přejíždí válcem.

Použití podkladních vrstev ze směsí stmelených hydraulickými pojivy přináší následující rozpory:

- Čím vyšší pevnost, tím větší riziko tvorby reflexních trhlin.
- Podpora vzniku mikrotrhlin při pokládce vrstvy je v rozporu s návrhem směsi o vyšší pevnosti. Směs s navrženou vyšší pevností přehutněná válcem za účelem vzniku mikrotrhlin je téměř totéž jako směs o nižší pevnosti bez iniciace mikrotrhlin.
- Nepatrně nižší tloušťka konstrukce vozovky oproti vyšší ceně.

Snaha o kvalitnější úpravu v podkladní vrstvě vozovky se použitím směsí stmelených hydraulickými pojivy naplňuje jen částečně. Hlavní smysl použití směsí stmelených hydraulickými pojivy (HP) v konstrukci vozovek je tedy v možnosti využití kameniva a různých místních materiálů nebo druhotných

surovin, ze kterých nelze vyrobit kvalitní nestmelenou vrstvu a které by bez možnosti aplikace HP zůstaly nevyužity. [1]

3.2.1 Evropské normy pro směsi stmelené HP

Normy pro směsí stmelené HP se dělí do dvou skupin:

- Řada norem ČSN EN 14227-1 až 5 pro směsi kameniva stmeleného HP pro konstrukční vrstvy vozovek pozemních komunikací.
- Řada norem ČSN EN 14227-10 až 14 pro zeminy upravené HP především pro úpravu podloží a za určitých podmínek i pro konstrukční vrstvy vozovek pozemních komunikací. [1]

Tabulka 3-1: *Přehled Evropských norem pro směsi kameniva stmelené HP* [6]

Norma	Definice obsažené v normě	Způsob klasifikace
ČSN EN 14227-1	**Směs stmelená cementem** HSS kameniva s řízenou zrnitostí a cementu nebo HP silničního typu E jako pojiva, vyráběná způsobem, který zajišťuje homogenitu směsi	PEVNOST
ČSN EN 14227-2	**Směs stmelená hydraulickým pojivem** směs, která tuhne a tvrdne hydraulickou reakcí **Směs stmelená struskou** směs obsahující jednu nebo více uvedených strusek a vody, která tvrdne při hydraulické reakci a/nebo karbonatací	CBR nebo PEVNOST
ČSN EN 14227-3	**Směs stmelená hydraulickým pojivem** směs, která tuhne a tvrdne hydraulickou reakcí **Směs stmelená popílkem** směs stmelená HP, kde hlavní složkou pojiva jsou křemičitanové nebo vápenaté popílky	PEVNOST
ČSN EN 14227-5	**Směs stmelená hydraulickým pojivem** směs, která tuhne a tvrdne hydraulickou reakcí **Směs stmelená hydraulickým silničním pojivem** HSS, kde pojivem je hydraulické silniční pojivo	PEVNOST

ČSN EN 14227-10	**Zemina upravená cementem** směs vzniklá přidáním cementu a kde je to vhodné dalších složek zeminy **Zemina stabilizovaná cementem** směs zeminy nebo kameniva, cementu jako pojiva pokud je to vhodné dalších složek, která je navržena tak, aby se dosáhlo únosnosti měřené zkouškou CBR **Zemina stmelená cementem** směs zeminy nebo kameniva, cementu jako pojiva a kde je to vhodné dalších složek, která je navržena tak, aby se dosáhlo soudržnosti přímo meřitelné pomocí pevnosti v tlaku nebo pevnosti v tahu a modulu pružnosti	CBR PEVNOST
ČSN EN 14227-11	**Zemina upravená vápnem** směs vzniklá přidáním vápna do zeminy tak, aby mohla splnit dané požadavky **Zemina zlepšená vápnem** směs vzniklá úpravou zeminy vápnem, jež bezprostředně ovlivňuje vlastnosti směsi, např. snížením vlhkosti a/nebo zvýšením únosnosti a/nebo snížením plasticity, pro zajištění jedné nebo více následujících vlastností: možnost manipulace běžnými mechanismy pro zemní práce; možnost dostatečného zhutnění ve vrstvách; možnost být pojížděna a poskytnutí podkladu pro pokládku další vrstvy; příprava zeminy pro následní zpracování struskou, popélkem, cementem, HP silničním nebo jiným materiálem **Zemina stabilizovaná vápnem** směs vzniklá úpravou zeminy s vápnem, která výrazně zvyšuje, obecně střednědobě až dlouhodobě její mechanické vlastnosti a trvanlivost, zejména s ohledem na účinky vody a mrazu	IBI CBR nebo PEVNOST
ČSN EN 14227-12	**Zemina upravená struskou** směs zeminy, strusky, dalších složek a vody, která tuhne a tvrdne hydraulickou reakcí	CBR nebo PEVNOST

ČSN EN 14227-13	**Zemina upravená hydraulickým silničním pojivem** směs zeminy, HP silničního, pokud je to vhodné dalších složek a vody, která tuhne a tvrdne hydraulickou reakcí	CBR nebo PEVNOST
ČSN EN 14227-14	**Zemina upravená popílkem** směs popílku, zeminy, dalších složek a vody, která tuhne a tvrdne hydraulickou reakcí	CBR nebo PEVNOST

Klasifikace směsí stmelených HP:

Pojmy týkající se klasifikace

- Stmelené (bound) - směsi charakterizované dostatečnou pevností aby mohly být použity do konstrukční vrstvy vozovky, klasifikují se podle pevnosti v tlaku.
- Upravené (treated) - směs zeminy s pojivem klasifikovaná podle CBR určená do podloží nebo směs klasifikovaná podle pevnosti v tlaku, která může být použita do konstrukční vrstvy vozovky. Dělí se:
    - Stabilizované (stabilized) – směs zeminy s pojivem určená do podloží, klasifikuje se podle CBR.
    - Zlepšené – směs zeminy s pojivem určená k úpravě zpracovatelnosti a technologické dostupnosti. [1]

4. SMĚSI STMELENÉ CEMENTEM

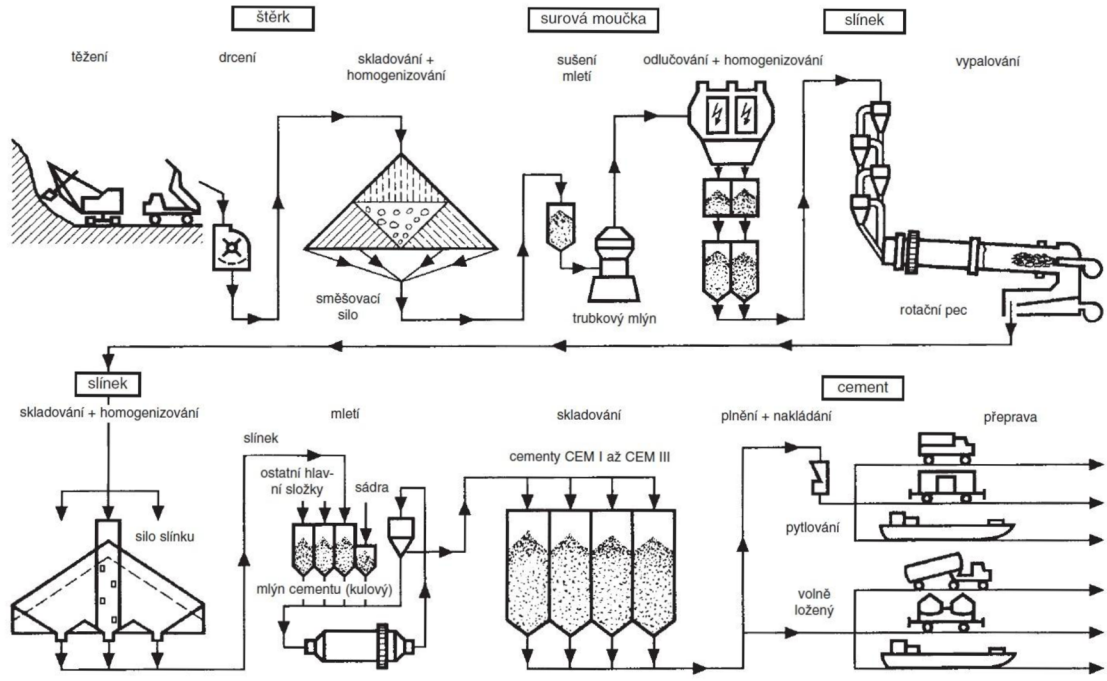
Směs stmelená cementem (v evropské normě označená CBGM) je hydraulicky stmelená směs kameniva s řízenou zrnitostí a cementu nebo hydraulického silničního pojiva jako pojiva, vyráběná způsobem, který zajišťuje homogenitu směsi. Receptura je směs uvažovaná pro specifické množství výroby a/nebo specifický projekt, pro hutnění při stanovené objemové hmotnosti, navržená vhodnou návrhovou metodikou. [2]

4.1 Cement

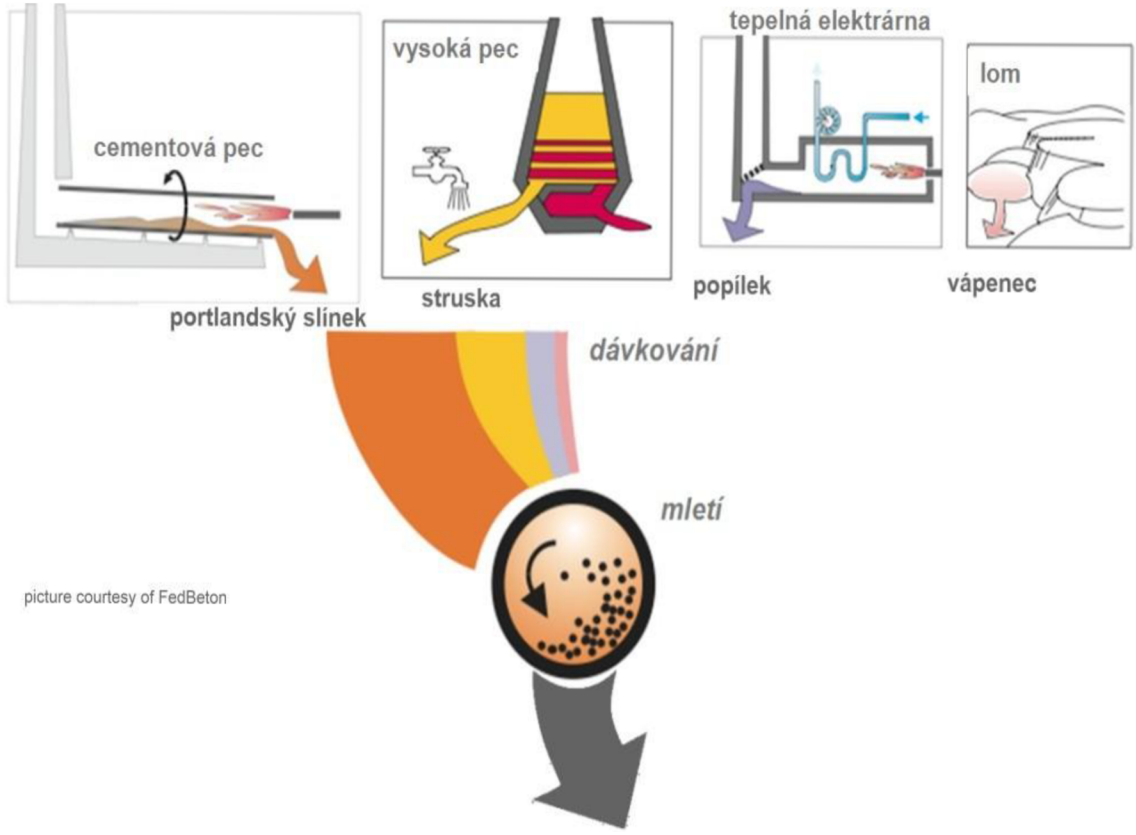
Jedná se o jemně mletý anorganický materiál, který po smíchání s vodou vytváří hustou hmotu, která v důsledku chemické hydraulické reakce tuhne a tvrdne. Po předchozím zatuhnutí na vzduchu dále tuhne a tvrdne i pod vodou, při zachování pevnosti a stability. [3]

4.1.1 Výroba cementu

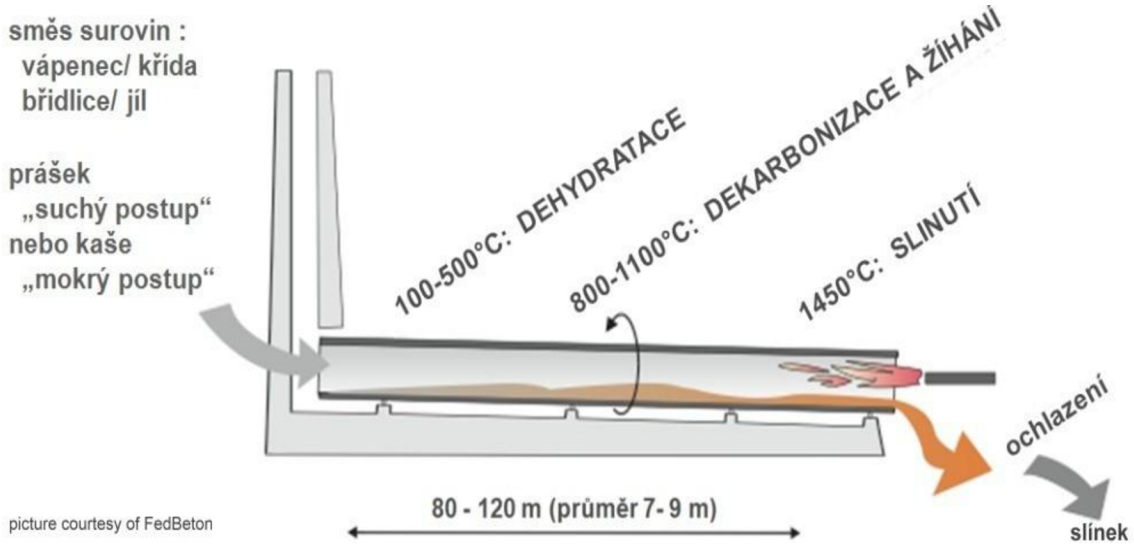
Cement se vyrábí společným vypalováním vápence a jílu při teplotách okolo 1450 °C. Vyrobený slínek se pak rozemílá, někdy i s příměsmi (vysokopecní struskou, trasem – přírodní pucolán, popílkem). Vzniklý šedivý prášek - cement - smíchaný s vodou vytváří pojivovou (hydraulickou) složku betonu, která tvrdne na vzduchu i pod vodou. Během probíhajících chemických pochodů vznikají různé jemné krystaly, vzájemně prorůstající a mající vliv na pevnost. Vzniklý „cementový kámen" si zachovává pevnost a objemovou stálost. [3]



Obrázek 4-1: *Výroba cementu* [3]



Obrázek 4-2: *Zpracování složek cementu* [3]



Obrázek 4-3: *Cementová pec* [3]

4.1.2 Druhy cementů

Norma ČSN EN 197-1 uvádí pro obecné použití následujících pět skupin podle složení (Obrázek 4-4):

- CEM I portlandský cement
- CEM II portlandský cement směsný
- CEM III vysokopecní cement
- CEM IV pucolánový cement (v ČR se v současné době nevyrábí)
- CEM V směsný cement

Cementy a jejich značení popisuje norma ČSN EN 197-1 (Obr. 4-4). Cementy se dělí z několika hledisek:

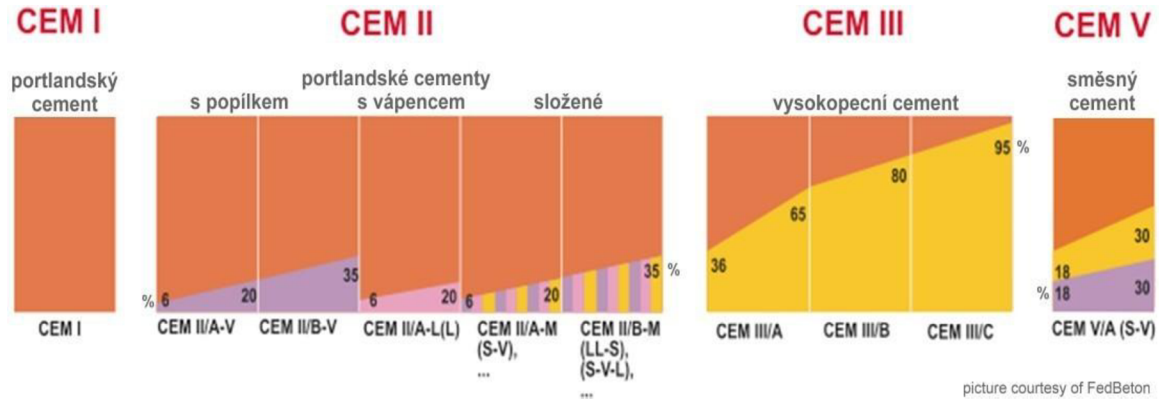
Podle složení: (viz výše + Obrázek 4-3)

Podle množství příměsí: A – 6 až 20 %; B – 21 až 35 %.

Podle konkrétních druhů příměsí: K – slínek; S – vysokopecní struska; D – křemičitý úlet; P – přírodní pucolány; V – křemičité popílky; W – vápenaté popílky; T – kalcinovaná břidlice; LL,L – vápence.

Podle vaznosti (pevnosti po 28 dnech): 32,5; 42,5; 52,5 MPa.

Podle rychlosti vývoje počátečná pevnosti: N – normální; R – rychlý. Počáteční pevností cementu se rozumí pevnost po 2 a 7 dnech. [3]



portlandský slínek (vápenec pálený v peci na cement: hydraulická složka)
vysokopecní struska (zbytkový produkt metalurgie: hydraulická složka)

popílek - křemičitý (zbytkový produkt uhelné elektrárny: pucolánová složka reagující s volným vápnem)

vápenec (surovina získaná z lomů) [3]

Obrázek 4-4: *Druhy cementů* [3]

Obrázek 4-5: *Normalizované označení cementu* [3]

4.2 Požadavky na materiály stmelené směsi

4.2.1 Pojivo

Cement musí splňovat požadavky ČSN EN 197-1. HP silniční používané pro CBGM musí splňovat požadavky ENV 13282, pro třídy pevnosti HRB 22,5 E nebo HBR 32,5 E. Předpokládá se použití cementu splňující požadavky EN 197-1 CEM 1, cement třídy 32,5N, 42,5N nebo 52,5N. [2]

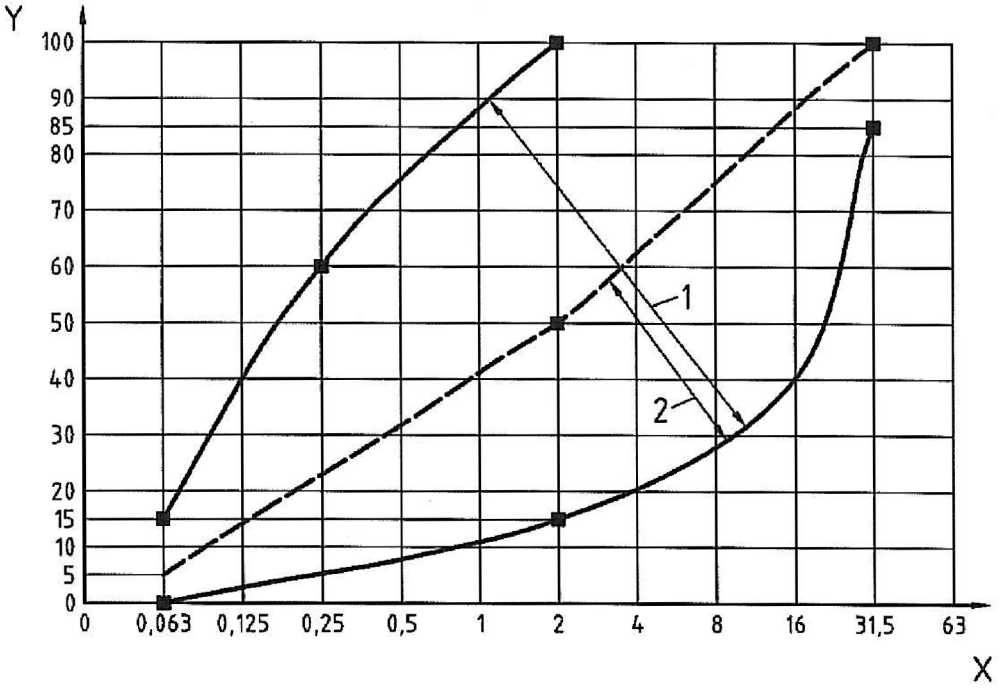
4.2.2 Kamenivo

Kamenivo musí odpovídat požadavkům EN 13242 a nesmí obsahovat škodlivé jemné částice v množství ovlivňující tvrdnutí, pevnosti nebo trvanlivosti směsi. Musí být buď drcené nebo nedrcené (těžené) nebo musí sestávat z kombinace obou kameniv.

Druh kameniva může být následující:

- Přírodní nebo umělé kamenivo
- Recyklované kamenivo
- Kombinace

Zrnitost kameniva pro specifickou směs musí být zvolena uvnitř oboru zrnitosti na obrázku 4-6. Tato zrnitost se musí použít při stanovení receptury směsi. Po dobu výroby musí být požadovaná zrnitost kameniva dostatečně stálá, aby splňovala tolerance zrnitosti směsí stmelených cementem. [2]



Legenda

Y Propad zrn v % hmotnosti

X Velikost síta v mm

1 Obor zrnitosti A

2 Obor zrnitosti B

Obrázek 4-6: *Obory zrnitosti kameniva* [1]

4.2.3 Příměsi

Pokud se používá mletá granulovaná vysokopecní struska, musí odpovídat požadavkům stanoveným v evropských technických normách a národních předpisech (musí být zahrnuto v návrhu receptury). Pokud se má použít popílek, musí být součástí směsného cementu podle EN 197-1. Směsi obsahující směsný cement, který je přidáván na místě během míchání nebo těsně před mícháním s kamenivem, musí splňovat požadavky EN 14227-3. [2]

4.2.4 Záměsová voda

Záměsová voda musí splňovat požadavky EN 1008. [2]

4.2.5 Přísady

Přísady musí splňovat požadavky EN 934-2. Pokud se používají urychlovače nebo zpomalovače tuhnutí, musí být jejich použití zohledněno již v návrhu. [2]

4.3 Klasifikace směsí stmelených cementem

Systémy pro klasifikaci CBGM musí být definovány požadavky na čerstvé a ztvrdlé CBGM musí být stanoveny z hlediska jejich obsahu cementu, obsahu vody, pevnosti a/nebo modulu pružnosti ztvrdlé směsi. Požadavky na pevnost a modul pružnosti musí být definovány společně s rozměry zkušebního vzorku a s metodami jeho výroby, zrání a zkoušení. Obsah cementu a vody ve směsi se musí vztahovat k celkové hmotnosti suchého materiálu takto: kamenivo + cement + příměsi = 100%. [2]

4.3.1 Obsah pojiva

Obsah pojiva musí být stanoven návrhem směsí a/nebo na základě praktických zkušeností. Návrhové postupy musí splňovat požadavky národních předpisů nebo opatření platných v místě užití. Obsah pojiva nesmí být nižší než minimální dle tabulky 4-1. [2]

Tabulka 4-1: *Minimální obsah pojiva* [1]

Maximální jmenovitá velikost zrna kameniva mm	Minimální obsah pojiva % hmotnosti
> 8,0 až 31,5	3
2,0 až 8,0	4
< 2,0	5

4.3.2 Vlhkost

Vlhkost směsi musí být stanovena návrhem směsi a/nebo na základě praktických zkušeností. Vlhkost směsi vhodná pro dostatečné zhutnění závisí na zrnitosti kameniva, obsahu pojiva, klimatických podmínkách v místě stavby, dopravní vzdáleností, použitém hutnícím zařízení apod. [2]

4.3.3 Zrnitost směsi

Zrnitost kameniva se musí vypočítat ze zrnitosti kameniva (stanovené v 4.2.2) a obsahu pojiva včetně příměsi mleté granulované vysokopecní strusky, pokud je použita. Ke kontrole zrnitosti směsi se musí použít zkušební postup podle EN 933-1. [2]

4.3.4 Pevnost a modul pružnosti

Pro stanovení pevnosti a modulu pružnosti se musí provést zkoušky na krychelných nebo válcových zkušebních tělesech. Krychle musí mít délku hrany 100 mm nebo 150 mm, průměr válců musí být 100 mm, 150 mm nebo 160 mm.

CBGM se klasifikují podle pevnostních charakteristik dané receptury jedním ze dvou způsobů:

- Charakteristickou pevností v tlaku R_{ck} zkušebního tělesa podle tabulky 4-2 a podle Systém I (stáří zkušebního tělesa je 28 dní)
- Charakteristickou pevností v prostém tahu R_{tk} nebo pevností v příčném tahu R_{itk} a modulem pružnosti E (výsledky se převedou na ekvivalentní hodnoty prostého tahu pomocí vzorce $R_{tk}=0,8\ R_{itk}$) zkušebního tělesa podle tab. 4-3 a podle Systém II (nejméně 3 zkušební tělesa o stáří 28 dní) [2]
- V ČR se používá pouze Systém I [2]

Tabulka 4-2: *Charakteristická pevnost v tlaku (Systém I)* [1]

Sloupec	1	2	3
Řádek	28denní pevnost v tlaku MPa		Třída pevnosti
	Charakteristická pevnost R_{ck}		
	Válce H/D[a] = 2,0	Válce nebo krychle H/D[a] = 1,0[b]	
1	Bez požadavku		C_0
2	1,5	2,0	$C_{1,5/2,0}$
3	3,0	4,0	$C_{3/4}$
4	5,0	6,0	$C_{5/6}$
5	8,0	10,0	$C_{8/10}$
6	12,0	15,0	$C_{12/15}$
7	16,0	20,0	$C_{16/20}$
8	20,0	25,0	$C_{20/25}$

[a] H/D = poměr mezi výškou a průměrem zkušebního vzorku.
[b] H/D = 0,80 až 1,21.

Tabulka 4-3: *Charakteristiky CBGM podle pevností v tahu a modulu pružnosti pod době zrání 28 dní (Systém II)* [1]

Kategorie	R_t (MPa) pro křivku kategorie					
E MPa	1 600	2 000	5 000	10 000	20 000	40 000
Kategorie	R_t MPa					
T5	0,64	0,70	1,00	1,23	1,46	1,59
T4	0,45	0,49	0,68	0,83	0,97	1,09
T3	0,33	0,36	0,48	0,58	0,68	0,75
T2	0,21	0,23	0,32	0,38	0,44	0,49
T1	0,12	0,13	0,18	0,22	0,26	0,29

POZNÁMKA Tabulka uvádí hodnoty R_t a E použité pro sestavení křivek, vymezujících kategorie T5, T4, T3, T2 a T1.

5. SMĚSI STMELENÉ STRUSKOU

Směs stmelená hydraulickým pojivem (HP) tuhne a tvrdne hydraulickou reakcí. Směs stmelená struskou obsahuje jednu nebo více zastoupených strusek a vody, která tvrdne při hydraulické reakci a/nebo karbonatací.

Vzduchem chlazená vysokopecní struska – kamenivo tvořené hlavně krystalickými křemičitany a hlinito-křemičitany vápníku a hořčíku. Získává se pomalým chlazením roztavené vysokopecní strusky vzduchem. (Vzduchem chlazená vysokopecní struska se získá pomalým chlazením roztavené vysokopecní strusky vzduchem. Procesu chlazení lze napomoci řízeným užitím vody. Vzduchem chlazená vysokopecní struska tvrdne hydraulickou reakcí a karbonatací.)

Vzduchem chlazená ocelárenská struska – kamenivo tvořené hlavně krystalickými křemičitany vápníku a železitany vápníku obsahujícími CaO, SiO_2, MgO a oxidy železa. Získává se pomalým chlazením roztavené ocelárenské strusky. (Procesu chlazení lze napomoci řízeným užitím vody. Vzduchem chlazená ocelárenská struska tvrdne hlavně karbonatací.)

Granulovaná vysokopecní struska – sklovitý, písčitý materiál tvořený hlavně CaO, SiO_2, Al_2O_3 a MgO. Vzniká prudkým ochlazením roztavené vysokopecní strusky vodou. (Granulovaná vysokopecní struska tvrdne hydraulickou reakcí. Peletizovaná a suchá granulovaná vysokopecní struska můžou mít podobné hydraulické vlastnosti.)

Částečně drcená granulovaná vysokopecní struska – granulovaná vysokopecní struska částečně rozdrcená, aby došlo ke zvýšení podílu materiálu jemnějšího než 0,063 mm (urychlení tvrdnutí a zvýšení pevnost směsi).

Drcená granulovaná vysokopecní struska – granulovaná vysokopecní struska zcela předdrcená, aby se co nejvíce zvýšil podíl materiálu jemnějšího než 0,063 mm. [8]

5.1 Struska

Vzniká jako nechtěná odpadní látka během výroby oceli, tavení a rafinaci kovů, spalováním uhlí, různých odpadů, dřevní hmoty a spontánně při vývěru lávy – přírodní vulkanická struska. Se struskou se můžeme setkat téměř všude – třeba ve stavebnictví a při údržbě chodníku v zimním období. [4]. Chemické složení strusky se obecně skládá z oxidů síry, fosforu, křemíku a kovů. [5]

5.1.1 Využití strusky

- Stavební materiál – výroba cementu
- Výroba tepelné izolace
- V dopravní a inženýrské výstavbě
- Součást stabilních podkladů vozovek
- Složka při budování podkladových vrstev
- Výstavba násypů a zásypů
- Posypový materiál pro zimní údržbu komunikací [5]

5.1.2 Druhy strusek

Je známo mnoho druhů strusek. Mezi nejznámější patří:

- Metalurgická struska (Vzniká při kovovýrobním procesu ve fázi roztavených kovů.):
  - Vysokopecní struska (Obrázek 5-2)
  - Ocelářská struska (Obrázek 5-1)
  - Slévárenská struska (Obrázek 5-3)
- Strusky z pevných paliv (Spalováním pevných paliv (škváry) v tepelných elektrárnách a spalovnách odpadů vzniká zbytkový popel. Struska je potom vedena do vodou chlazených komor ke granulaci a odsíření karbidem vápníku.)
- Vulkanická struska (Vzniká vývěrem lávy z magmatického prostoru zemského pláště a zemské kůry.) [5]

Obrázek 5-3: *Slévárenská struska-velikost cca 30mm* [15]

Obrázek 5-1: *Ocelárenská struska f.0-10mm* [7]

Obrázek 5-2: *Vysokopecní struska f.16-32mm* [7]

5.2 Požadavky na materiály stmelené směsi

Hydraulická aktivita

Hydraulická aktivita granulované vysokopecní strusky je funkcí chemického složení, obsahu jemných částic a aktivačních přísad tak, aby zvýšení obsahu drobných částic mohlo zvýšit reaktivitu strusek považovaných za relativně nereaktivní kvůli svému chemickému složení. [8]

Součin C.A

V podmínkách chemického složení je C.A součin důležitou charakteristikou hydraulické aktivity, kde C je obsah CaO a A je obsah Al_2O_3. Čím větší je podíl součinu C.A, tím reaktivnější je struska. Jsou popsány tři třídy založené na součinu C.A (Tabulka 5-1). [8]

Tabulka 5-1: *Kategorie podle součinu C.A* [8]

Třída	Součin C.A	Kategorie
1	> 550	CA 1
2	425 až 550	CA 2
3	< 425	CA 3

5.2.1 Granulovaná vysokopecní struska

Podíl jemných částic ve zhutněné směsi stmelené struskou užívající granulovanou vysokopecní strusku je v přímé závislosti ke „křehkosti (drobivosti)“ granulované vysokopecní strusky. Čím jemnější (drobnější) je struska, tím větší je výskyt jemných částic pod hutnícím válcem a zvyšuje se reaktivnost strusky. Drobivost granulované vysokopecní strusky je vyhodnocena určením jejího alfa koeficientu v souladu s EN 13286-44. Čím nižší je koeficient alfa, tím je granulovaná vysokopecní struska drobivější. [8]

Klasifikace podle alfa koeficientu je následující:

Tabulka 5-2: *Kategorie podle alfa koeficientu* [8]

Třída	Koeficient alfa	Kategorie
1	< 20	α1
2	20 až 40	α2
3	40 až 60	α3
4	> 60	α4

5.2.2 Částečně drcená granulovaná vysokopecní struska

Klasifikace popisuje čtyři třídy založené na obsahu jemných částic menších než 0,063 mm (nazývaných jemný podíl, příp. jemná frakce) stanovené podle EN 933-1. [8]

Tabulka 5-3: *Kategorie podle obsahu jemných částic* [8]

Třída	Jemné částice	Kategorie
1	1 až <5	PG 1
2	≥5 až <8	PG 2
3	≥8 až <14	PG 3
4	≥ 14	PG 4

5.2.3 Drcená granulovaná vysokopecní struska

Klasifikace popisuje čtyři třídy založené na Blainově čísle jemnosti stanoveném podle EN 196-6: [8]

Tabulka 5-4: *Kategorie podle čísla jemnosti (Blain)* [8]

Třída	Jemné mletí	Kategorie
1	<150	GG 1
2	≥150 až <300	GG 2
3	≥300 až <400	GG 3
4	> 400	GG 4

5.2.4 Kamenivo

Kamenivo musí odpovídat požadavkům EN 13242. Vlastnosti a vhodné kategorie kameniva se musí stanovit v závislosti na způsobu použití směsi v konstrukci vozovky a dopravním zatížení, kterému bude vozovka vystavena. Kamenivo musí být objemově stálé. Pokud to není splněno, použití směsi je možné za předpokladu, že existují spolehlivé záznamy nebo laboratorní hodnocení směsi podle požadavků platných v místě použití. [8]

5.2.5 Voda

Voda nesmí obsahovat příměsi, které nepříznivě ovlivňují tvrdnutí a chování směsí stmelených hydraulickým pojivem. [8]

5.3 Klasifikace podle laboratorních mechanických vlastností

5.3.1 Všeobecně

Pro stanovení funkčních charakteristik a jejich klasifikaci se musí zvolit jedna z těchto metod:

- kalifornský poměr únosnosti CBR;
- zkouška pevnosti v tlaku R_c
- kombinace R_t, E pevnosti v tahu R_t a modulu pružnosti E. [8]

5.3.2 Klasifikace podle kalifornského poměru únosnosti CBR

Směsi stmelené struskou musí být klasifikovány:

- okamžitým poměrem únosnosti (CBR_{imm});
- ΔCBR po 28 dnech (nebo 91 dne), vypočítaný podle následujícího vztahu:

$$\Delta\ CBR_{28}\ (\%) = ((CBR_{28} - CBR_{imm})/CBR_{imm})\ x\ 100$$

$\Delta\ CBR_{28}$ změna CBR v procentech po 28 dnech zrání

CBR_{28} hodnota CBR po 28 dnech zrání

CBR_{imm} okamžitý poměr únosnosti CBR

Směsi stmelené struskou jsou klasifikovány následovně:

$CBR_{50/25}$; $CBR_{30/25}$; $CBR_{50/35}$; $CBR_{30/35}$; $CBR_{50/50}$ $CBR_{30/50}$.

První indexové číslo označuje okamžitou hodnotu CBR a druhé číslo nárůst CBR po 28 dnech $\Delta\ CBR_{28}$. [8]

Třída CBR musí být určena podle tabulky 5-5.

Tabulka 5-5: *Klasifikace podle CBR* [8]

Kategorie	Typ směsi	CBR_{imm} (%)	$\Delta\ CBR_{28}$	Třída
1	A 1-3	> 50	> 25	CBR 50/25
2	A 4	> 30	> 25	CBR 30/25
3	A 1-3	> 50	> 35	CBR 50/35
4	A 4	> 30	> 35	CBR 30/35
5	A 1-3	> 50	> 50	CBR 50/50
6	A 4	> 30	> 50	CBR 30/50

V případě, že ΔCBR po 28 dnech nesplňuje požadavky zvolené třídy CBR, musí být stanovena hodnota ΔCBR po 91 dnech nebo dříve. Po této době musí ΔCBR splňovat hodnotu ΔCBR_{28}. [8]

5.3.3 Klasifikace podle pevnosti v tlaku

Směsi se klasifikují podle pevnosti v tlaku stanoveného podle EN 13286-41 prováděného na zkušebních vzorcích zhotovených podle EN 13286-50 až EN 13286-53.

Třída pevnosti se volí podle tabulky 5-6 v kombinaci se zvolenou metodou zhutnění a zrání zkušebního vzorku. (Různé metody zhutnění zkušebních vzorků vedou k různým rozměrům a objemovým hmotnostem a tím pro stejné směsi k různým pevnostem. Proto je na základě zkušeností důležité neoddělovat pevnost od metody přípravy a způsobu zrání zkušebních vzorků.)

Metoda přípravy a způsob zrání zkušebních vzorků se řídí podle předpisů v místě použití.

Pevnost v tlaku, jako parametr laboratorního návrhu směsi, je průměrná hodnota zjištěná alespoň ze tří zkušebních těles. Pokud se jedna z hodnot liší o více než 20 % průměru, musí být tato hodnota vyřazena a pevnost v tlaku se vypočítá jako průměr z ostatních hodnot. [8]

Tabulka 5-6: *Klasifikace podle pevnosti v tlaku* [8]

Kategorie	**Minimální hodnoty R_c pro válcová zkušební tělesa pro štíhlostní poměr 2[a] [MPa]**	**Minimální hodnoty R_c pro válcová zkušební tělesa pro štíhlostní poměr 1[a] a zkušební tělesa tvaru krychle [MPa]**	**Třída R_c**
1	0,4	0,5	$C_{0,4/0,5}$
2	0,8	1	$C_{0,8/1}$
3	1,5	2	$C_{1,5/2}$
4	3	4	$C_{3/4}$
5	6	8	$C_{6/8}$
6	9	12	$C_{9/12}$
7	12	16	$C_{12/16}$
8	15	20	$C_{15/20}$

9	18	24	$C_{18/24}$
10	21	28	$C_{21/28}$
11	24	32	$C_{24/32}$
12	27	36	$C_{27/36}$
13	Deklarovaná hodnota	Deklarovaná hodnota	C_{DV}
[a] Pokud se použijí válcová zkušební tělesa, kde je štíhlostní poměr jiný než 1 nebo 2, potom se musí před použitím stanovit korelace s válcovými tělesy na štíhlost 1 nebo 2.			

5.3.4 Klasifikace podle R_t, E

Směsi se klasifikují pomocí kombinace pevnosti v tahu R_t a modulu pružnosti E s označením R_t, E. Metoda přípravy a způsob zrání zkušebních vzorků se řídí podle předpisů v místě použití. Jako parametry laboratorního návrhu směsi jsou R_t, E průměrem stanoveným alespoň ze tří zkušebních těles. Pokud se jedna z hodnot liší o více než 20 % průměru, musí být tato hodnota vyřazena a R_t a E se vypočítá jako průměr z ostatních hodnot. [8]

R_t a E se získá použitím jedné z ekvivalentních metod:

Metoda zkoušky pevnosti v prostém tahu

R_t se stanovuje podle EN 13286-40.

E se stanovuje při prostém tahu E_t podle EN 13286-43.

Pro obě zkoušky se zkušební vzorky zhotovují vibrokompresí podle EN 13286-52.

Metoda zkoušky pevnosti v příčném tahu

R_t se odvozuje z R_{it}, které se stanovuje podle EN 13286-42 s použitím vztahu $R_t = 0{,}8\ R_{it}$.

E se odvozuje z E_{it} (E měřeno při příčném tahu) podle EN 13286-43 s použitím vztahu $E = E_{it}$.

Zkušební vzorky se zhutňují pomocí jedné z metod:

- hutnění pomocí proctorova pěchu pro obě zkoušky podle EN 13286-50;
- nebo hutnění vibračním pěchem pro obě zkoušky podle EN 13286-51;
- nebo hutnění vibrokompresí pro obě zkoušky podle EN 13286-52;
- nebo hutnění axiálním tlakem pro obě zkoušky podle EN 13286-53.

Metoda zkoušky pevnosti v příčném tahu a prostém tlaku

R_t se odvozuje z R_{it}, který se stanovuje podle EN 13286-42 s použitím vztahu

$R_t = 0{,}8\ R_{it}$.

E se odvozuje z E_c (E měřeno při tlaku) podle EN 13286-43 s použitím vztahu

$E = E_c$.

Zkušební vzorky se zhotovují pomocí jedné z metod:

- hutnění pomocí proctorova pěchu pro obě zkoušky podle EN 13286-50;
- nebo hutnění vibračním pěchem pro obě zkoušky podle EN 13286-51;
- nebo hutnění vibrokompresí pro obě zkoušky podle EN 13286-52;
- nebo hutnění axiálním tlakem obě zkoušky podle EN 13286-53.

Různé metody zhotovení zkušebních vzorků vedou k různým rozměrům a objemovým hmotnostem zkušebních vzorků a tak pro stejné směsi k různým pevnostem. Proto je na základě zkušeností důležité neoddělovat pevnost od metody přípravy a způsobu zrání zkušebních vzorků. [8]

6. SMĚSI STMELENÉ POPÍLKEM

Směs stmelená popílkem je směs, kde hlavní složkou pojiva jsou křemičitanové nebo vápenaté popílky. Tvrdnutí může být řízeno složkami přidanými do směsi. [9]

Obrázek 6-1: *Popílek* [13]

6.1 Popílek

6.1.1 Vznik popílku

Jemný prach vznikající při spalování mletého uhlí nebo lignitu v elektrárnách vyrábějících elektrickou energii a zachycený v mechanických nebo elektrostatických filtrech. [14]

6.1.2 Druhy popílku

- Křemičitý popílek (hlinito-křemičitý) – popílek, který obsahuje chemické složky: křemičitany, hlinitany a oxidy železa a vyjádřeny jsou jako SiO_2, Al_2O_3 a Fe_2O_3 a který má pucolánové vlastnosti. Může být skladován, dodáván a používán buď v mokrém nebo suchém stavu. [14]
- Vápenatý popílek (sírano-vápenatý) – popílek, který obsahuje chemické složky: křemičitany, hlinitany a oxid vápenatý a sírany (SiO_2, Al_2O_3, CaO a SO_3, a který má hydraulické a pucolánové vlastnosti). Je skladován a dodáván v suchém stavu. [14]

6.1.3 Využití popílku

Popílek nalézá široké uplatnění ve stavebnictví a při výrobě stavebních hmot.

- Ve stavebnictví při přípravě betonů a malt, přičemž popílek může působit jako aktivní i neaktivní složka (přispívá či nepřispívá k procesu tvrdnutí).
- Při výrobě stavebních hmot v největší míře při výrobě cementu, dále pak pórobetonu, ale také při výrobě umělého kameniva (za studena, nebo při vysokých teplotách spékáním). [10]

6.1.4 Vlhkost

Vlhkost se musí zvolit tak, aby se umožnilo hutnění na stavbě a dosáhlo optimálních mechanických vlastností směsi. Vlhkost se stanovuje Proctorovou nebo jinou zkouškou podle ČSN EN 13286-1 až 5 a omezuje interval vlhkosti vhodný pro zpracovatelnost směsi na stavbě v souladu s požadavky na hutnění a mechanické chování směsi. [9]

6.1.5 Poměr složek, zrnitost a suchá objemová hmotnost

Musí se deklarovat poměr složek vyjádřený v procentech suché hmotnosti směsi, zrnitost a suchá objemová hmotnost směsi. Deklarovaný poměr složek musí být stanoven na základě laboratorního návrhu směsi a/nebo praktických zkušeností se směsí ze stejných složek vyráběné za stejných podmínek způsobem aby směs vyhovovala požadavkům této normy. [9]

6.2 Požadavky na materiály stmelené směsi

6.2.1 Popílek

Křemičitanový nebo vápenatý popílek musí odpovídat požadavkům EN 14227-4. [9]

6.2.2 Vápno

Vápno musí být nehašené (CaO) nebo hašené ($Ca(OH)_2$) a musí odpovídat požadavkům EN 14227-11. [9]

6.2.3 Cement

Cement musí odpovídat požadavkům stanoveným v EN 197-1. [9]

6.2.4 Kamenivo

Kamenivo musí odpovídat požadavkům EN 13242. Vlastnosti a vhodné kategorie kameniva se musí stanovit v závislosti na způsobu použití směsi v konstrukci vozovky a dopravním zatížení, kterému bude vozovka vystavena. Kamenivo musí být objemově stálé. Pokud tomu tak není, použití směsi je možné za předpokladu, že existují spolehlivé záznamy nebo laboratorní hodnocení směsi podle požadavků platných v místě použití. [9]

6.2.5 Sádra

Podíl ($CaSO_4 \cdot 2\,H_2O$) musí být vyšší než 90 %. Maximální velikost nesmí překročit 5 mm. Sádra, přírodní nebo umělá, je činidlem tvrdnutí. I když jsou složky a směs velmi dobře známy a prověřeny, je nezbytné kontrolovat roztažnost směsi obsahující sádru. [9]

6.2.6 Granulovaná vysokopecní struska

Granulovaná vysokopecní struska musí odpovídat požadavkům EN 14227-2. [9]

6.2.7 Jiné složky

Složky obsahující chlorid vápenatý nebo uhličitan sodný lze použít k urychlení tuhnutí a tvrdnutí směsí stmelených popílky. [9]

6.2.8 Voda

Voda nesmí obsahovat příměsi, které nepříznivě ovlivňují tvrdnutí a chování směsí stmelených popílky. [9]

6.3 Klasifikace podle laboratorních mechanických vlastností

6.3.1 Všeobecně

Pro stanovení funkčních charakteristik a jejich klasifikaci se musí zvolit jedna z těchto metod:

– zkouška pevnosti v tlaku R_c;

– kombinace zkoušky pevnosti v tahu R_t a modulu pružnosti E. [9]

6.3.2 Klasifikace podle pevnosti v tlaku

Směsi se klasifikují podle pevnosti v tlaku stanoveného podle EN 13286-41 prováděného na zkušebních tělesech zhotovených podle EN 13286-50 až 53. Třída pevnosti v tlaku se musí zvolit podle tabulky 6-1 v kombinaci se zvolenou metodou zhotovení a zrání zkušebních těles. Metoda přípravy a způsob zrání zkušebních vzorků se řídí podle předpisů v místě použití. Pro charakteristiku nebo laboratorní návrh směsi musí být pevnost v tlaku vyjádřena jako průměr ze zkoušky alespoň tří vzorků. Pokud se jedna z hodnot liší o více než 20 % od průměru, musí být vyloučena a pevnost v tlaku se stanoví jako průměr z ostatních hodnot. [9]

Tabulka 6-1: *Klasifikace pevnosti v tlaku* [9]

Kategorie	**Minimální R_c pro válcová tělesa o štíhlostním poměru 2[a] MPa**	**Minimální R_c pro válcová tělesa o štíhlostním poměru 1 [a] a krychle MPa**	**třída R_c**
1	0,4	0,5	$C_{0,4/0,5}$
2	0,8	1	$C_{0,8/1}$
3	1,5	2	$C_{1,5/2}$
4	3	4	$C_{3/4}$
5	6	8	$C_{6/8}$
6	9	12	$C_{9/12}$
7	12	16	$C_{12/16}$
8	15	20	$C_{15/20}$
9	18	24	$C_{18/24}$
10	21	28	$C_{21/28}$
11	24	32	$C_{24/32}$
12	27	36	$C_{27/36}$
13	Deklarovaná	Deklarovaná	C_{DV}

a Pokud se použijí válcová tělesa o jiném štíhlostním poměru než je uveden ve sloupcích 1 nebo 2, musí se před použitím stanovit korelace s válci se štíhlostním poměrem uvedeným ve sloupcích 1 nebo 2.

6.3.3 Klasifikace podle pevnosti v tahu R_t a modulu pružnosti E

Směsi se musí klasifikovat kombinací pevnosti v tahu R_t a modulu pružnosti E označenou R_t, E. Metoda přípravy a způsob zrání zkušebních vzorků se řídí podle předpisů v místě použití. Pro charakteristiku nebo návrh směsi při zkoušení v laboratoři musí být pevnost v tlaku vyjádřena jako průměr ze zkoušky alespoň tří vzorků. Pokud se jedna z hodnot liší o více než 20 % od průměru, musí být vyloučena a R_t a E se stanoví jako průměr z ostatních hodnot. [9]

R_t a E se musí stanovit pomocí jedné z ekvivalentních metod:

Metoda zkoušením pevnosti v prostém tahu

R_t se stanoví podle EN 13286-40.

E se stanoví zkouškou v prostém tahu E_t podle EN 13286-43.

Pro obě metody se zkušební tělesa vyrobí vibrokompresí podle EN 13286-52.

Metoda zkoušením pevnosti v příčném tahu

R_t se odvodí od R_{it} stanovené podle EN 13286-42 za použití rovnice $R_t = 0{,}8\ R_{it}$.

E se odvodí od E_{it} (E se měří v příčném tahu) stanoveného podle EN 13286-43 za použití rovnice $E = E_{it}$.

Zkušební tělesa se vyrobí pomocí:

– hutnění podle Proctora pro obě zkoušky podle EN 13286-50;

– nebo vibračním kladivem pro obě zkoušky podle EN 13286 51;

– nebo vibrokompresí pro obě zkoušky podle EN 13286-52;

– nebo axiálním tlakem pro obě zkoušky podle EN 13286-53.

Metoda zkoušením pevnosti v příčném tahu a v tlaku

R_t se odvodí od R_{it} stanovené podle EN 13286-42 za použití rovnice $R_t = 0{,}8\ R_{it}$.

E se odvodí od E_c (E se měří v tlaku) stanoveného podle EN 13286-43 za použití rovnice $E = E_c$.

Zkušební tělesa se vyrobí pomocí:

– hutnění podle Proctora pro obě zkoušky podle EN 13286-50;

– nebo vibračním kladivem pro obě zkoušky podle EN 13286 51;

– nebo vibrokompresí pro obě zkoušky podle EN 13286-52;

– nebo axiálním tlakem pro obě zkoušky podle EN 13286-53.

Stanovené různé metody zhotovení zkušebních vzorků vedou k různým rozměrům a objemovým hmotnostem zkušebních vzorků a tak pro stejné směsi

k různým pevnostem. Proto je na základě zkušeností důležité neoddělovat pevnost od metody přípravy a způsobu zrání zkušebních vzorků. [9]

7. SMĚSI STMELENÉ DOROPORTEM

V České republice má úprava zemin dlouhou historii. Za několik posledních desetiletí se vývoj posunul od úpravy písčitých zemin cementem až po úpravu plastických jílů pro násypy a aktivní zónu silničních konstrukcí. Technologie zpracování zemin se stále vyvíjí. Zařízení na úpravu jsou stále výkonnější a zlepšila se kvalita promísení. Tak, jak jsme postupně získávali stále více poznatků o působení mezi zeminami a pojivy, mohou být nyní výsledné vlastnosti pojiv přizpůsobeny maximálním požadovaným parametrům. V roce 2003 resp. 2004, vstoupil na trh v České republice výrobek Doroport firmy Holcim. [11]

7.1 GEOROC DOROPORT TB 25

7.1.1 Oblast použití Doroportu TB 25

Jedná se o hydraulické pojivo pro podkladní vrstvy, používané v souladu s technickými normami pro hydraulicky propojené podkladní spojovací vrstvy, stabilizaci zemin a zlepšování zemin pod nejrůznějšími druhy komunikací.

Vzhledem ke svým vlastnostem je ideálním pojivem pro podkladní spojovací vrstvy. Použitím tohoto materiálu vzniká zhutnitelná struktura, která neobsahuje spoje, většinou nepraská, má vysokou únosnost a odolnost proti působení mrazu. [12]

7.1.2 Vlastnosti

- vyrábí se kombinovaným mletím slínku a hydraulických komponentů dle normových specifikací a skládá se pouze ze složek s hydraulickou reakcí
- chování pojiva při tuhnutí je přizpůsobeno požadavkům na konečné vlastnosti podkladních vrstev
- je vysoce odolný proti síranům
- zeminy obsahující sírany se dají stabilizovat materiálem bez výskytu problémů způsobených rozpínáním [12]

7.1.3 Zpracování

Snadno se aplikuje za použití běžných zařízení a pracovních metod. Vmícháním do zeminy se provádí nejčastěji mísením na místě. Doroport TB 25 reaguje s vlhkostí alkalicky, takže při kontaktu s pokožkou se musí důkladně

opláchnout vodou a dostane-li se do očí, je zapotřebí vyhledat lékařskou pomoc. [12]

Obrázek 7-1: *Pokládka Doroportu* [11]

Tabulka 7-1: *Technické parametry-dosažení pevností* [12]

	[N/mm^2]	[N/mm^2]
Pevnost v tahu a ohybu	po 7 dnech	po 28 dnech
Pevnost v tlaku	po 7 dnech	po 28 dnech

ČÁST 2. – PRAKTICKÁ ČÁST

8. PEVNOST V PROSTÉM TLAKU

Směsný recyklát jsem zlepšila vybranými druhy pojiva a ze vzniklé směsi jsem vytvořila zkušební tělesa, která byla podrobena laboratorní zkoušce a to pevnosti v prostém tlaku. Následně jsem výsledky z laboratorních zkoušek vyhodnotila a porovnala.

8.1 Směsný recyklát

Použití směsného recyklátu je vhodné do konstrukčních vrstev zemních těles nebo pro terénní úpravy a zásypy. Vstupní surovina je získávána při demolici objektů. Jedná se o ekologicky nezávadný materiál, který se skládá z betonových a cihelných konstrukcí, upravený drcením a tříděním. Materiál je bez dřevěných a kovových příměsí. [16]

8.1.1 Sítový rozbor směsného recyklátu

Sítový rozbor slouží ke zjištění procentuálního zastoupení jednotlivých částic směsného recyklátu.

Směsný recyklát se nasypal na sestavu sít o různých velikostech a začalo se prolívat vodou. Nahoře bylo umístěno síto s největšími oky a jako poslední byla nádoba, ve které se zachytil propad pod nejmenším sítem. Po té co ze soustavy sít odtékala čistá voda bez známky jakéhokoliv znečištění, sítování se ukončilo. Soustava se rozebrala na jednotlivá síta a každá frakce se zvážila.

Tabulka 8-1: *Sítový rozbor-velikosti frakcí, hmotností a procent.vyjádření* [0]

Velikost síta [mm]	Hmotnost [g]	Propad zrn [%]
11,20	11,0	2,20
8,00	22,9	4,58
4,00	45,7	9,14
2,00	63,3	12,66
1,00	97,1	19,42
0,50	73,0	14,60
0,25	84,0	16,80
0,125	29,2	5,84
0,063	22,5	4,50
< 0,063	51,4	10,28
Celkem	500,1	100

Obrázek 8-1: *Soustava sít* [0]

Obrázek 8-2: *Ukázka síta velikosti 4,0 mm* [0]

8.2 Zkoušené směsi

- Směs ze směsného recyklátu a 5% doroportu
- Směs ze směsného recyklátu a 5% fluidního popílku
- Směs ze směsného recyklátu a 5% cementu CEM III/A 32,5R

Do směsného recyklátu jsem přidala 5 % vybraného pojiva a destilovanou vodu a pomocí lopatky a lžíce jsem směs řádně promísila (Obrázek 8-3).

Obrázek 8-3: *Směsný recyklát + pojivo + destilovaná voda* [0]

8.2.1 Výroba zkušebních těles

Výroba zkušebních těles se prováděla pomocí hutnící metody podle Proctor standard (Obrázek 8-4), kde je předepsána válcová nádoba=zhutňovací forma (150 mm na výšku a 150 mm průměr) známého objemu a hmotnosti. Do této nádoby jsem postupně nasypala 3 vrstvy směsi a každá z nich byla zhutněna 25 dobře rozmístěnými údery pěchu (942 cm^3) z výšky 305 mm. Poté jsem nádobu vyjmula z přístroje a ořízla jsem přebývající část poslední zhutněné vrstvy. Pro vyjmutí tělesa z nádoby se použil přístroj, který je zobrazen na obrázku 8-5. Takto jsem vytvořila všech 18 vzorků ze zadaných směsí potřebných ke zkoušce pevnosti v prostém tlaku (Obrázek 8-6).

Obrázek 8-4: *Hutnící přístroj pro Proctor standard* [0]

Obrázek 8-5: *Vyjmutí tělesa z nádoby* [0]

Obrázek 8-6: *Zkušební tělesa* [0]

8.3 Laboratorní zkouška

8.3.1 Pevnost v prostém tlaku

Zkouška pevnosti v prostém tlaku byla prováděna na přístroji InfraTest (Obrázek 8-7) v laboratoři ústavu pozemních komunikací FAST VUT v Brně. Zkoušený vzorek se umístil do přístroje a byl postupně zatěžován tlakem. Výsledkem bylo přetvoření v milimetrech od působícího tlaku v kN, které bylo možné přečíst na počítači.

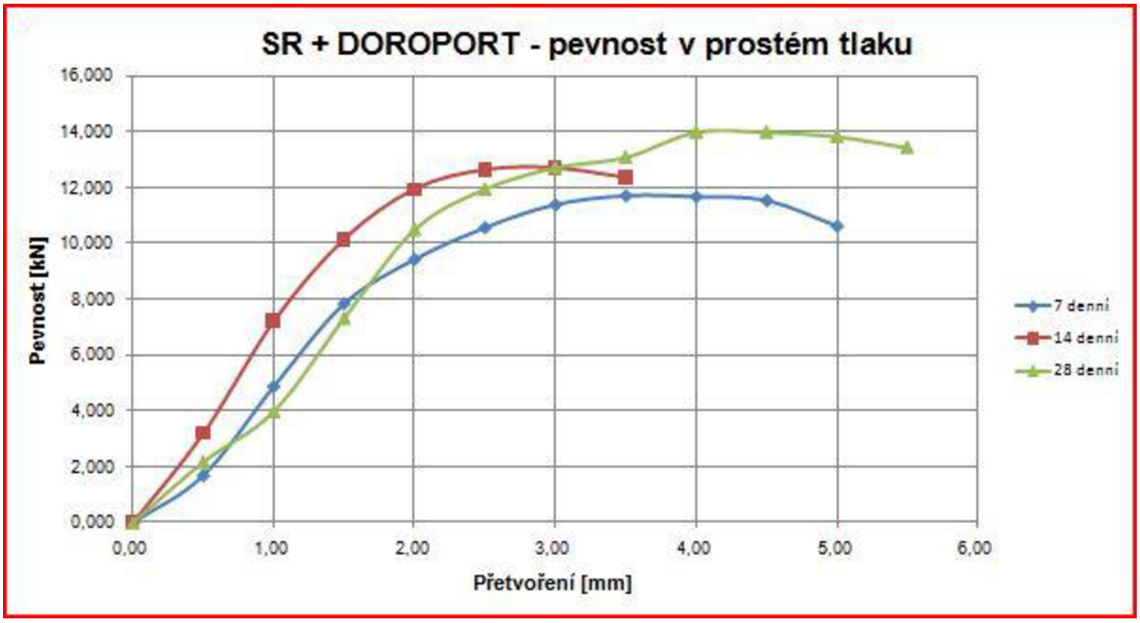
Obrázek 8-7: *InfraTest pro zkoušení pevnosti v prostém tlaku* [0]

SMĚSNÝ RECYKLÁT+DOROPORT:

Tabulka 8-2: *Naměřené hodnoty ze zkoušky pevnosti v prostém tlaku* [0]

7denní	přetvoření [mm]	pevnost [kN]	přetvoření [mm]	pevnost [kN]	průměr.pevnost [kN]
	0,00	0,000	0,00	0,000	0,000
	0,50	1,950	0,50	1,440	1,695
	1,00	5,920	1,00	3,840	4,880
	1,50	9,410	1,50	6,290	7,850
	2,00	10,820	2,00	8,050	9,435
	2,50	11,740	2,50	9,410	10,575
	3,00	12,410	3,00	10,380	11,395
	3,50	12,610	3,50	10,820	11,715
	4,00	12,420	4,00	10,940	11,680
	4,50	12,130	4,50	10,960	11,545
	5,00		5,00	10,630	10,630
max	3,47	12,620			12,620
max			4,14	10,960	10,960
14denní	přetvoření [mm]	pevnost [kN]	přetvoření [mm]	pevnost [kN]	průměr.pevnost [kN]
	0,00	0,000	0,00	0,000	0,000
	0,50	5,320	0,50	1,080	3,200
	1,00	10,380	1,00	4,030	7,205
	1,50	12,230	1,50	8,050	10,140
	2,00	13,600	2,00	10,260	11,930
	2,50	14,320	2,50	10,910	12,615
	3,00	14,460	3,00	10,900	12,680
	3,50	14,120	3,50	10,560	12,340
max	2,86	14,480			14,480
max			2,72	10,970	10,970
28denní	přetvoření [mm]	pevnost [kN]	přetvoření [mm]	pevnost [kN]	průměr.pevnost [kN]
	0,00	0,000	0,00	0,000	0,000
	0,50	0,490	0,50	3,870	2,180
	1,00	1,510	1,00	6,460	3,985
	1,50	4,980	1,50	9,680	7,330
	2,00	9,010	2,00	11,990	10,500
	2,50	11,170	2,50	12,730	11,950
	3,00	12,650	3,00	12,800	12,725
	3,50	13,670	3,50	12,510	13,090
	4,00	13,990	4,00		13,990
	4,50	13,990	4,50		13,990
	5,00	13,840	5,00		13,840
	5,50	13,440	5,50		13,440
max	4,28	14,060			14,060
max			2,77	12,890	12,890

Obrázek 8-8: *Porušené těleso ze SR+Doroportu po 28denní pevnosti* [0]



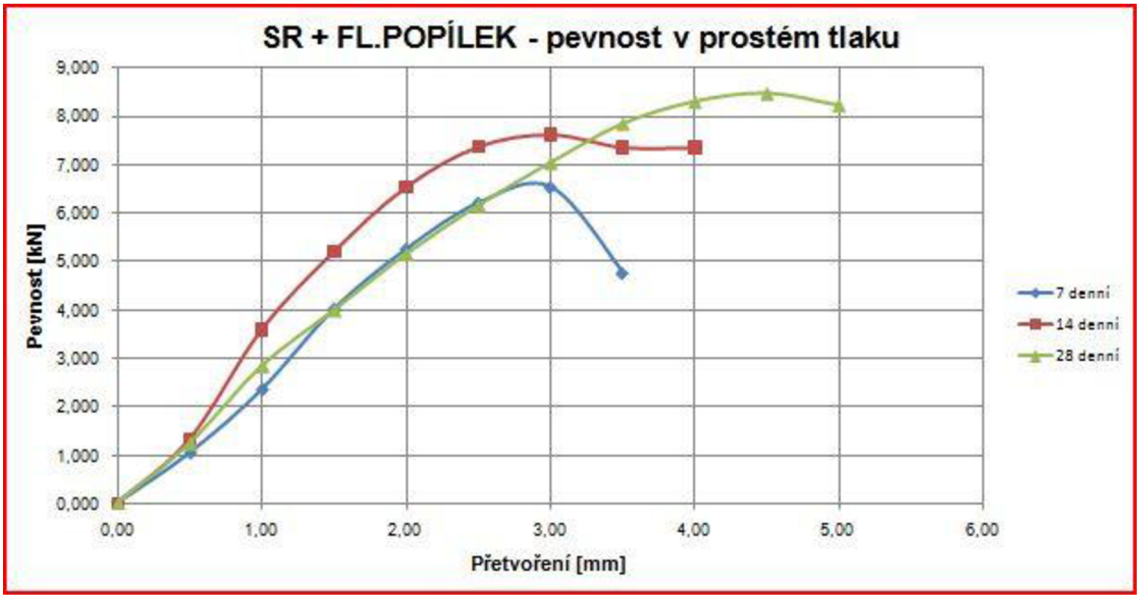
Graf 8-1: *Graf srovnání pevností po 7, 14, 28 dnech* [0]

SMĚSNÝ RECYKLÁT+FLUIDNÍ POPÍLEK

Tabulka 8-3: *Naměřené hodnoty ze zkoušky pevnosti v prostém tlaku* [0]

7denní	přetvoření [mm]	pevnost [kN]	přetvoření [mm]	pevnost [kN]	průměr.pevnost [kN]
	0,00	0,000	0,00	0,000	0,000
	0,50	1,210	0,50	0,870	1,040
	1,00	2,020	1,00	2,680	2,350
	1,50	2,800	1,50	5,230	4,015
	2,00	3,530	2,00	6,970	5,250
	2,50	4,260	2,50	8,140	6,200
	3,00	4,740	3,00	8,310	6,525
	3,50	4,750	3,50		4,750
max	3,25	4,830			4,830
max			2,82	8,376	8,376
14denní	přetvoření [mm]	pevnost [kN]	přetvoření [mm]	pevnost [kN]	průměr.pevnost [kN]
	0,00	0,000	0,00	0,000	0,000
	0,50	0,870	0,50	1,780	1,325
	1,00	2,300	1,00	4,890	3,595
	1,50	3,610	1,50	6,800	5,205
	2,00	4,860	2,00	8,220	6,540
	2,50	6,030	2,50	8,720	7,375
	3,00	6,870	3,00	8,380	7,625
	3,50	7,360	3,50		7,360
	4,00	7,350	4,00		7,350
max	3,71	7,437			7,437
max			2,55	8,732	8,732
28denní	přetvoření [mm]	pevnost [kN]	přetvoření [mm]	pevnost [kN]	průměr.pevnost [kN]
	0,00	0,000	0,00	0,000	0,000
	0,50	1,280	0,50	1,190	1,235
	1,00	2,810	1,00	2,860	2,835
	1,50	3,920	1,50	4,050	3,985
	2,00	5,070	2,00	5,220	5,145
	2,50	6,100	2,50	6,200	6,150
	3,00	7,060	3,00	7,010	7,035
	3,50	7,980	3,50	7,700	7,840
	4,00	8,560	4,00	8,040	8,300
	4,50	8,840	4,50	8,110	8,475
	5,00	8,630	5,00	7,820	8,225
max	4,59	8,860			8,860
max			4,35	8,125	8,125

Obrázek 8-9: *Porušené těleso ze SR+fluidního popílku po 28denní pevnosti* [0]



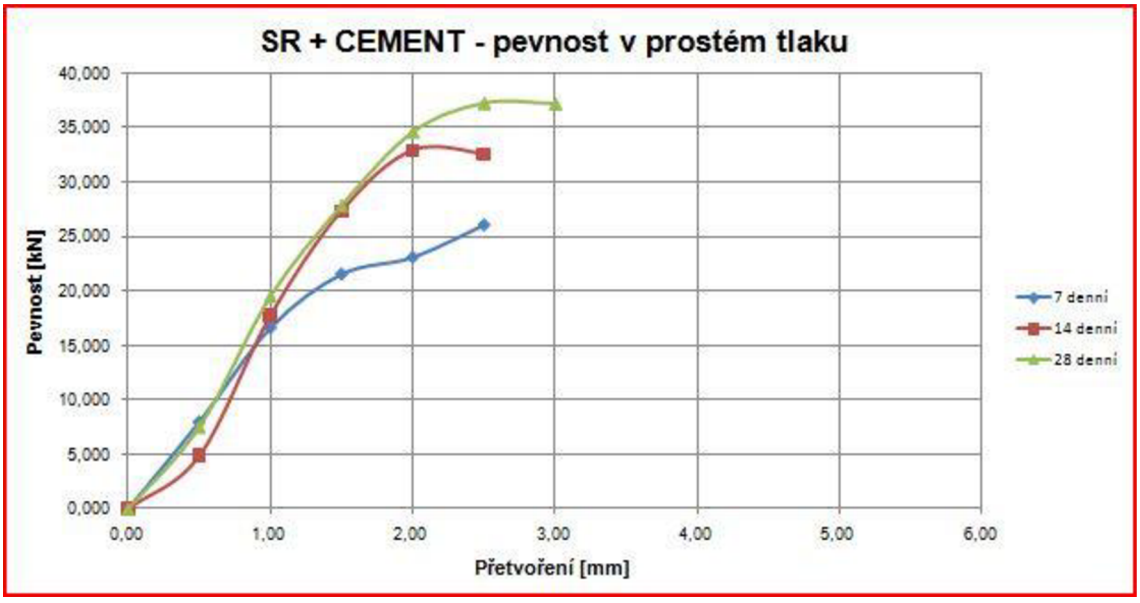
Graf 8-2: *Graf srovnání pevností po 7, 14, 28 dnech* [0]

SMĚSNÝ RECYKLÁT+CEMENT CEM III/A 32,5R

Tabulka 8-4: *Naměřené hodnoty ze zkoušky pevnosti v prostém tlaku* [0]

7denní	přetvoření [mm]	pevnost [kN]	přetvoření [mm]	pevnost [kN]	průměr.pevnost [kN]
	0,00	0,000	0,00	0,000	0,000
	0,50	12,580	0,50	3,380	7,980
	1,00	19,110	1,00	14,090	16,600
	1,50	21,200	1,50	21,840	21,520
	2,00	20,060	2,00	26,070	23,065
	2,50		2,50	26,020	26,020
	3,00		3,00		
	3,50		3,50		
max	1,47	21,280			21,280
max			2,27	26,610	26,610
14denní	přetvoření [mm]	pevnost [kN]	přetvoření [mm]	pevnost [kN]	průměr.pevnost [kN]
	0,00	0,000	0,00	0,000	0,000
	0,50	2,230	0,50	7,480	4,855
	1,00	16,890	1,00	18,520	17,705
	1,50	28,930	1,50	25,680	27,305
	2,00	35,210	2,00	30,490	32,850
	2,50	34,280	2,50	30,750	32,515
	3,00		3,00		
	3,50		3,50		
max	2,21	35,990			
max			2,28	31,370	
28denní	přetvoření [mm]	pevnost [kN]	přetvoření [mm]	pevnost [kN]	průměr.pevnost [kN]
	0,00	0,000	0,00	0,000	0,000
	0,50	8,780	0,50	6,270	7,525
	1,00	19,930	1,00	19,080	19,505
	1,50	29,310	1,50	26,370	27,840
	2,00	37,220	2,00	31,920	34,570
	2,50	39,830	2,50	34,610	37,220
	3,00	39,310	3,00	35,030	37,170
	3,50		3,50		
max	2,53	39,740			
max			2,79	35,220	

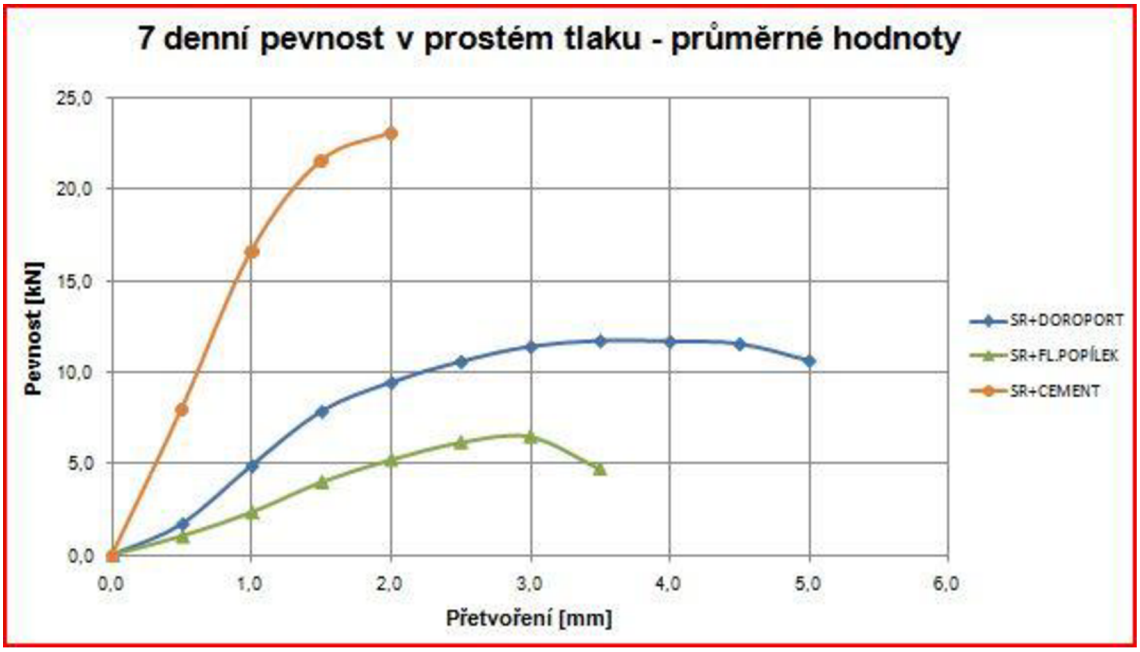
Obrázek 8-10: *Porušené těleso ze SR+CEM III/A 32,5R po 28denní pevnosti* [0]



Graf 8-3: *Graf srovnání pevností po 7, 14, 28 dnech* [0]

8.3.2 Vyhodnocení zkoušky

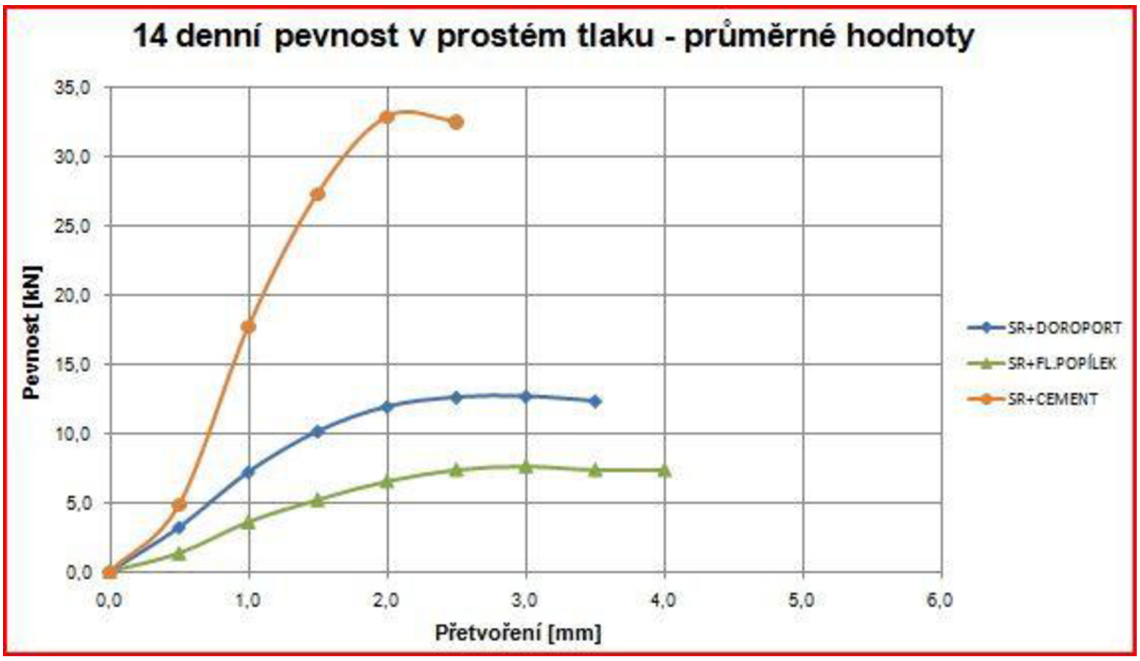
Jak vyplývá z grafů (graf 8-4, graf 8-5, graf 8-6) nejodolnější směs byla SR+CEM III/A 32,5R a nejméně odolná byla směs SR+fluidní popílek v 7 denní, 14 denní i 28 denní pevnosti v prostém tlaku.



Graf 8-4: *Graf srovnání 7 denní pevnosti, SR+ doroportu, fl.popílku a cementu* [0]

a) b) c)

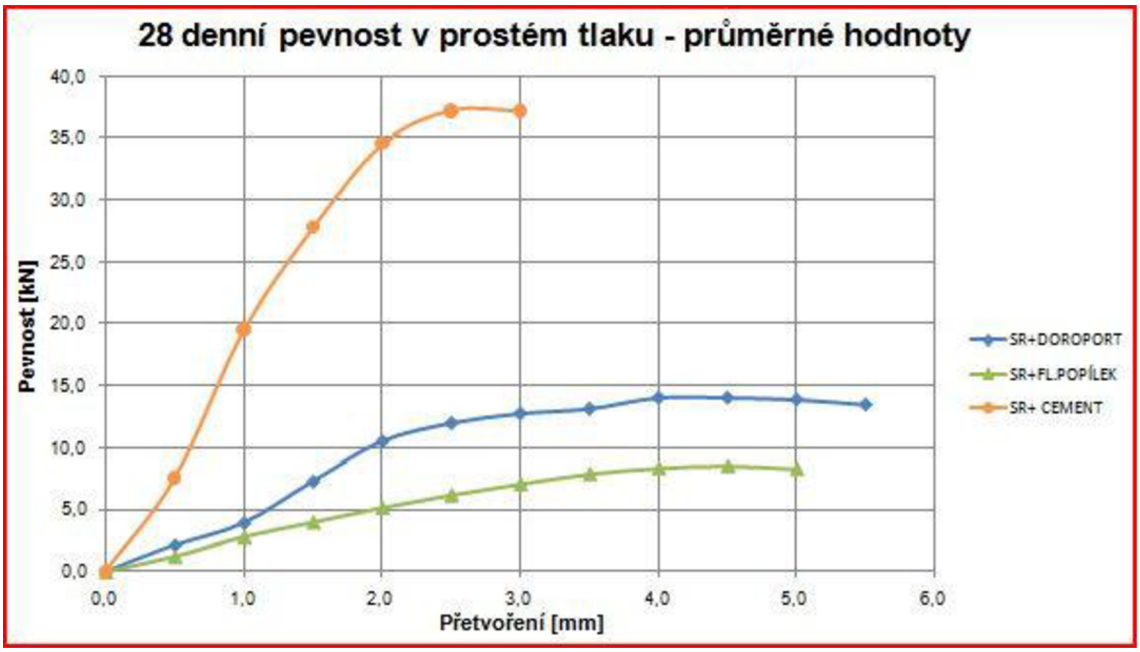
Obrázek 8-11: *Porušení těles po 7denní pevnosti, SR+ a)doroport b)fl.popílek c)cement* [0]



Graf 8-5: *Graf srovnání 14 denní pevnosti, SR+ doroportu, fl.popílku a cementu* [0]

a) b) c)

Obrázek 8-12: *Porušení těles po 14denní pevnosti, SR+ a)doroport b)fl.popílek c)cement* [0]



Graf 8-6: *Graf srovnání 28 denní pevnosti, SR+ doroportu, fl.popílku a cementu* [0]

a) b) c)

Obrázek 8-13: *Porušení těles po 28denní pevnosti, SR+ a)doroport b)fl.popílek c)cement* [0]

9. ZÁVĚR

V této bakalářské práci bylo zjištěno, že nejpoužívanějším hydraulickým pojivem je cement. Avšak používání ostatních pojiv se dále rozvíjí a jsou vyvíjeny nové a nové směsi, které vedou ke zlepšení mechanických a fyzikálních vlastností původních zemin. V praxi se zlepšování a stabilizace zemin uplatňuje stále víc, jelikož jde o rychlý technologický postup výstavby a především snížení ekonomie celé stavby.

V praktické části jsem provedla laboratorní zkoušky pevnosti v prostém tlaku po 7 dnech, 14 dnech a 28 dnech zrání těles ze tří různých směsí: SR a doroportu, SR a fluidního popílku, SR a cementu CEM III/A 32,5R. Výsledkem těchto zkoušek bylo zjištěno, že nejvíce odolné těleso proti prostému tlaku bylo ze směsi SR a cementu CEM III/A 32,5R ve všech třech pevnostech (po 7, 14, 28 dnech zrání těles) a to výrazně proti zbývajícím směsím. Již při zkoušce, kterou jsem provedla po 7 dnech zrání vzorku ze směsi SR a cementu, byla pevnost mnohem vyšší než u ostatních dvou směsí. To jen dokazuje, proč je cement jako hydraulického pojiva pro stmelené směsi podkladních vrstev nejpoužívanější.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

[0] *Autorské fotografie a tabulky,* pořízené v laboratoři VUT Brno, FAST, Ústavu pozemních komunikací, Veveří 95, 662 37 Brno, 2012

[1] DOC. DR. ING. MICHAL VARAUS. *Pozemní komunikace II - Nestmelené a stmelené podkladní vrstvy.* VUT Brno, FAST, Ústav pozemních komunikací, Veveří 95, 662 37 Brno.

[2] ČSN EN 14227-1. *Směsi stmelené hydraulickými pojivy – Specifikace – Část 1: Směsi stmelené cementem.* 7/2004.

[3] *Základní charakteristika cementu,* citace: 30.3.2012. Dostupné z: http://www.ebeton.cz/pojmy/cement

[4] *Struska,* citace: 31.3.2012. Dostupné z: http://www.strusky.cz

[5] *Prodej strusky, Druhy strusek,* citace: 31.3.2012. Dostupné z: http://www.kiwak.cz/prodej-strusky/

[6] KOLEKTIV AUTORŮ: ING. MARIE BIRNBAUMOVÁ; ING. JAROSLAV HAUSER, CSc; ING. JAROSLAV HAVELKA; ING. DUŠAN STEHLÍK, PH.D.; ING. JAN ZAJÍČEK. *Školení o evropských normách pro stavbu vozovek 3 – Směsi stmelené hydraulickými pojivy (SENS 3).* Vydává Sdružení pro výstavbu silnic Praha, Prosecká 74, 190 00 Praha 9. Redakce PRAGOPROJEKT, a.s., Oddělení publikačních a školících činností, Prosecká 74, 190 00 Praha 9 v Praze 2008.

[7] *Obrázky strusky ocelárenské a vysokopecní*, 31.3.2012. Dostupné z: http://www.dk1.cz/126/prodej-drobneho-kameniva

[8] ČSN EN 14227-2. *Směsi stmelené hydraulickými pojivy – Specifikace – Část 2: Směsi stmelené struskou.* 2006.

[9] ČSN EN 14227-3. *Směsi stmelené hydraulickými pojivy – Specifikace – Část 2: Směsi stmelené popílkem.* 2006.

[10] *Popílek, Vznik popílku a použití,* citace: 9.4.2012. Dostupné z: http://www.ptas.cz/vedlejsi-energeticke-produkty/popilek/

[11] *Doroport, Základní informace,* citace: 14.5.2012. Dostupné z: http://double-m.cz/userfiles/file/brozura.pdf

[12] *GEOROC DOROPORT TB 25,* citace: 14.5.2012. Dostupné z: http://www.holcim.cz/cz/produkty-a-sluzby/cement/georoc-doroport-tb-25

[13] *Obrázky elektrárenského popílku,* 15.5.2012. Dostupné z: http://www.pe.cz/energie-a-sluzby/stavebni-materialy

[14] ČSN EN 14227-4. *Směsi stmelené hydraulickými pojivy – Specifikace – Část 4: Popílky pro směsi stmelené hydraulickými pojivy.* 2006.

[15] *Obrázky strusky slévárenské*, 14.5.2012. Dostupné z: http://www.cactusmineral.wbs.cz/strusky.html

[16] *Směsný recyklát, Základní informace,* citace: 15.5.2012. Dostupné z: http://www.incon-f.cz/katalog/pdf_vyrobky/ZSD.pdf

SEZNAM TABULEK

Tabulka 3-1	Přehled Evropských norem pro směsi kameniva stmelené HP
Tabulka 4-1	Minimální obsah pojiva
Tabulka 4-2	Charakteristická pevnost v tlaku (Systém I)
Tabulka 4-3	Charakteristiky CBGM podle pevnosti v tahu a modulu pružnosti po době zrání 28 dní (Systém II)
Tabulka 5-1	Kategorie podle součinu C.A
Tabulka 5-2	Kategorie podle alfa koeficientu
Tabulka 5-3	Kategorie podle obsahu jemných částic
Tabulka 5-4	Kategorie podle čísla jemnosti (Blain)
Tabulka 5-5	Klasifikace podle CBR
Tabulka 5-6	Klasifikace podle pevnosti v tlaku
Tabulka 6-1	Klasifikace pevnosti v tlaku
Tabulka 7-1	Technické parametry-dosažení pevností
Tabulka 8-1	Sítový rozbor-velikosti frakcí, hmotnosti a procentuální vyjádření
Tabulka 8-2	Naměřené hodnoty ze zkoušky pevnosti v prostém tlaku
Tabulka 8-3	Naměřené hodnoty ze zkoušky pevnosti v prostém tlaku
Tabulka 8-4	Naměřené hodnoty ze zkoušky pevnosti v prostém tlaku

SEZNAM GRAFŮ

Graf 8-1	Graf srovnání pevností po 7, 14, 28 dnech
Graf 8-2	Graf srovnání pevností po 7, 14, 28 dnech
Graf 8-3	Graf srovnání pevností po 7, 14, 28 dnech
Graf 8-4	Graf srovnání 7 denní pevnosti doroportu, fl.popílku a cementu

Graf 8-5 Graf srovnání 14 denní pevnosti doroportu, fl.popílku a cementu

Graf 8-6 Graf srovnání 28 denní pevnosti doroportu, fl.popílku a cementu

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 2-1 Mohrova kružnice – nestmelené a stmelené směsi

Obrázek 4-1 Výroba cementu

Obrázek 4-2 Zpracování složek cementu

Obrázek 4-3 Cementová pec

Obrázek 4-4 Druhy cementů

Obrázek 4-5 Normalizované označení cement

Obrázek 4-6 Obory zrnitosti kameniva

Obrázek 5-1 Ocelárenská struska f.0-10mm

Obrázek 5-2 Vysokopecní struska f.16-32mm

Obrázek 5-3 Slévárenská struska, velikost cca 30mm

Obrázek 6-1 Popílek

Obrázek 7-1 Pokládka Doroportu

Obrázek 8-1 Soustava sít

Obrázek 8-2 Ukázka síta velikosti 4,0 mm

Obrázek 8-3 Směsný recyklát + pojivo + destilovaná voda

Obrázek 8-4 Hutnící přístroj pro Proctor standard

Obrázek 8-5 Vyjmutí tělesa z nádoby

Obrázek 8-6 Zkušební tělesa

Obrázek 8-7 InfraTest pro zkoušení pevnosti v prostém tlaku

Obrázek 8-8 Porušené těleso ze SR+Doroportu po 28denní pevnosti

Obrázek 8-9 Porušené těleso ze SR+fluidního popílku po 28denní pevnosti

Obrázek 8-10 Porušené těleso ze SR+CEM III/A 32,5R po 28denní pevnosti

Obrázek 8-11 Porušení těles po 7denní pevnosti,SR+ a)doroport b)fl.popílek c)cement

Obrázek 8-12 Porušení těles po 14denní pevnosti,SR+ a)doroport b)fl.popílek c)cement

Obrázek 8-13 Porušení těles po 28denní pevnosti,SR+ a)doroport b)fl.popílek c)cement

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

HSS	Hydraulicky stmelená směs
HP	Hydraulické pojiva
CBGM	Směs stmelená cementem
SR	Směsný recyklát