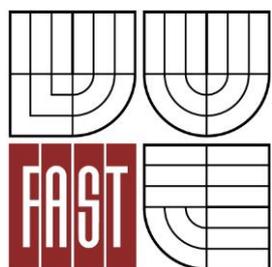




**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STAVEBNÍ**  
**ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

## **SMĚSNÝ RECYKLÁT V PODLOŽÍ VOZOVEK** THE WASTE BUILDINGS MATERIAL TO SUBGRADE OF THE PAVEMENT

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**JAN ŠEVC**

**VEDOUcí PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Ing. DUŠAN STEHLÍK, Ph.D.**

BRNO 2014



# 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** Jan Ševc  
**Název** Směsný recyklát v podloží vozovek  
**Vedoucí bakalářské práce** Ing. Dušan Stehlík, Ph.D.  
**Datum zadání bakalářské práce** 30. 11. 2013  
**Datum odevzdání bakalářské práce** 30. 5. 2014

V Brně dne 30. 11. 2013

doc. Dr. Ing. Michal Varaus  
Vedoucí ústavu



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



### Podklady a literatura

bakalářské, diplomové a doktorské práce 2005-2013  
odborné a vědecké publikace z českých a zahraničních sborníků z konferencí a seminářů  
výzkumné práce řešící podobné téma  
odborné a vědecké publikace  
on-line informace z internetu

### Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Rešeršní přehlednou formou zpracovat dostupné informace o využití směsných recyklátů do konstrukce vozovek pozemních komunikací. Zdůraznit problémy některých vlastností směsných recyklátů. V samostatné kapitole se očekává uvedení zahraničních zkušeností s použitím těchto materiálů do konstrukčních vrstev a podloží vozovek pozemních komunikací a možnosti dalšího vývoje.

Požadované výstupy:

Úvod se specifikací cílů bakalářské práce

Teoretická část zahrnující široké aktuálně dostupné informace na dané téma. (80% náplně bakalářské práce)

Praktická část - popis konkrétních praktických úkonů provedených v bakalářské práci (výpočtové modely, laboratorní nebo polní zkoušky, empirické statistické výpočty, apod.) (20% náplně bakalářské práce)

Zhodnocení výsledků práce

Závěr (odpověď na stanovené cíle práce)

Literatura

Přílohy

### Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

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

### **Abstrakt**

Práce řeší využití směsného recyklátu v podloží vozovek. Detailně se zabývá sledováním únosností tohoto materiálu použitého jako náhrada nevhodných zemin v podloží vozovky především intravilánových komunikací. Prakticky ověřuje kalifornský poměr únosnosti a dále odolnost proti mrazu a vodě recyklátu stmeleného cementem pro případné použití do spodních podkladních vrstev. Zásadní pro pozitivní výsledky z hlediska těchto vlastností materiálů v podloží vozovky bude množství cihelných zbytků v recyklátech.

### **Klíčová slova**

směsný recyklát, podloží vozovky, aktivní zóna, okamžitý index únosnosti, kalifornský poměr únosnosti, odolnost proti mrazu a vodě, pevnost v tlaku

### **Abstract**

The thesis is focused on the use of waste buildings materials to subgrade of the pavement. In detail it deals with monitoring the carrying capacity of the material used to replace unsuitable subgrade mainly of the urban road communications. It practically verifies California bearing ratio and resistance to frost and water of the waste buildings materials firmed by cement for possible use in subbase layers. The amount of residues in recycled bricks is essential for positive results in terms of the properties of materials in subgrade of the pavement.

### **Keywords**

waste buildings material, subgrade of the pavement, capping layer, immediate bearing index, California bearing ratio, frost and water resistance, compressive strength

## **Bibliografická citace VŠKP**

Jan Ševc *Směsný recyklát v podloží vozovek*. Brno, 2014. 70 s., 7 s. příl. 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 zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 28.5.2014

.....  
podpis autora  
Jan Ševc

**Poděkování:**

Tímto způsobem bych rád poděkoval panu Ing. Dušanu Stehlíkovi, Ph.D. za poskytnuté materiály k vypracování této bakalářské práce, dále za čas, který mi věnoval a především za rady a připomínky směřované k mé práci. Mé poděkování také patří panu Pavlu Strakovi za pomoc a trpělivost při provádění laboratorních zkoušek.

# OBSAH

1	ÚVOD A CÍLE PRÁCE .....	10
2	TEORETICKÁ ČÁST .....	11
2.1	Definice důležitých pojmů .....	11
2.2	Recykláty v pozemních komunikacích .....	14
2.2.1	Výroba .....	14
2.2.2	Užití recyklátu v pozemních komunikacích .....	16
2.2.3	Ekonomické zhodnocení .....	17
2.3	Směsný recyklát .....	18
2.3.1	Podloží vozovky pozemních komunikací .....	18
2.3.2	Nestmelené podkladní vrstvy .....	22
2.3.3	Stmelené podkladní vrstvy .....	29
2.3.4	Vláknobeton .....	32
2.3.5	Zkoušky .....	35
2.3.6	Problematické vlastnosti .....	39
2.3.7	Zahraniční použití .....	41
3	PRAKTICKÁ ČÁST .....	42
3.1	Použité materiály .....	42
3.1.1	Směsný recyklát .....	42
3.1.2	Nevhodná zemina .....	43
3.1.3	Pojivo .....	43
3.2	Úprava nevhodné zeminy .....	43
3.2.1	Navržené směsi .....	43
3.2.2	Zrnitost .....	44
3.2.3	Zhutnitelnost .....	47
3.2.4	Hodnota IBI a $CBR_{sat}$ .....	51

3.2.5	Namrzavost – nepřímá metoda .....	53
3.3	směs stmelená hydraulickým pojivem .....	55
3.3.1	Navržené směsi .....	55
3.3.2	Pevnost v tlaku .....	55
3.3.3	Odolnost proti mrazu a vodě .....	58
4	ZÁVĚR .....	60
	SEZNAM POUŽITÝCH ZRDOJŮ .....	62
	SEZNAM TABULEK .....	65
	SEZNAM OBRÁZKŮ .....	66
	SEZNAM GRAFŮ .....	67
	SEZNAM ROVNIC .....	67
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK .....	68
	SEZNAM PŘÍLOH .....	70

# 1 ÚVOD A CÍLE PRÁCE

Při projednávání stavebního díla je cena asi tou nejdiskutovanější položkou. Tato práce je věnována druhotným surovinám, především směsnému recyklátu, který je dnes bohužel stále zřídka používán v silničním stavitelství. Směsný recyklát je směs drceného kameniva vyrobeného ze stavebně demoličního odpadu. Druhotné suroviny se za správného předpokladu a při správném použití mohou používat jako plnohodnotné přírodní materiály. Mezi hlavní důvody proč použít tyto materiály do liniových staveb patří nejen nízká cena, která může významně ovlivnit celkovou cenu prováděného díla, ale i myšlenka využít odpadní hmoty znovu do konstrukce vozovky, případně do jejího podloží a tím šetrněji nakládat s přírodními zdroji.

Cílem teoretické části práce je shrnout poznatky ohledně směsného recyklátu, jeho složení, výrobu ale především možnosti použití toho materiálu v podloží vozovky a v konstrukčních stmelěných a nestmelěných vrstvách. Dále upozornit na možné problémy a nedostatky tohoto materiálu.

Cílem praktické části je klasifikovat směsný recyklát mezi „klasické“ materiály do podloží vozovek, zabývat se jeho vlastnostmi, zejména těmi rozhodujícími o možném použití recyklátu. Tyto vlastnosti ověřit podle platných předpisů a norem a na jejich základě vyhodnotit vhodnost použít tento druhotný materiál pro liniovou stavbu. Pro pozitivní výsledek bude zásadní složení použitého směsného recyklátu.

## 2 TEORETICKÁ ČÁST

Teoretická část se zabývá výrobou recyklovaného kameniva, jeho rozdělením a dále způsoby využití směsných recyklátů při výstavbě pozemních komunikací. Použití směsného recyklátu je rozděleno do tří kapitol. První se zabývá využitím toho materiálu do podloží vozovek, druhá kapitola nestmelenými podkladními vrstvami a třetí kapitola uvádí možné použití směsného recyklátu ve stmelených směsích podkladních vrstev pozemní komunikace. Samostatná kapitola je věnována zkouškám prováděných na těchto směsích. Zbylá teoretická část práce je věnována vlastnostem, zejména těm problematickým jako je obsah nebezpečných látek a odolnost proti drcení. Dále uvádí orientační použití směsného recyklátu v ostatních zemích Evropy.

### 2.1 DEFINICE DŮLEŽITÝCH POJMŮ

„**Stavební demoliční odpad (SDO)** je ve smyslu vyhlášky č. 294/2005 Sb., znění vyhlášky č. 61/2010 Sb., § 2, písmeno a) interní odpad, který nemá nebezpečné vlastnosti a u něhož za normálních klimatických podmínek nedochází k žádným významným fyzikálním, chemickým nebo biologickým změnám“ [1, s. 5].

„**Recyklovaný stavební materiál – recyklát (RSM)** je materiálový výstup ze zařízení k využívání a úpravě SDO, kategorie ostatní odpad a odpadů podobných SDO, spočívají ve změně zrnitosti a jeho roztřídění na velikostní frakce v zařízeních k tomu určených“ [1, s. 5].

„**Recyklát z betonu** je recyklované kamenivo získané drcením a tříděním betonu a betonových výrobků, obsah složky  $R_c \geq 90$  % hm., obsah  $(R_u + R_b) \leq 6$  %, maximální obsah složky  $R_g \leq 1$  % hm. Maximální obsah jiných, ostatních a plovoucích částic  $(X + Y + FL)$  je 3 % hm. FL se stanovuje objemově podle ČSN EN 933-11. Pozn. Maximální množství plovoucích částic (FL) je 1 %“ [1, s. 5].

„**Recyklát z vozovek** je recyklované kamenivo získané drcením a tříděním betonu, vrstev stmelených asfaltem nebo hydraulickým pojivem případně nestmelených vrstev a hrubozrnných zemin s celkovým obsahem složek  $R_c + R_a + R_u \geq 90$  % hm. Maximální obsah složky  $R_a$  je 30 % hm. Maximální obsah jiných, ostatních a plovoucích částic  $(X + Y + FL)$  je 5 % hm.“ [1, s. 5].

„**Recyklát ze zdiva** je recyklované kamenivo získané drcením a tříděním pálených a nepálených zdících prvků (např. cihly, obkladačky, vápenopískové prvky, pórobetonové

tvárnice) a betonu s celkovým obsahem složek  $R_b + R_a + R_u \geq 90$  % hm. Složka jiných, ostatních a plovoucích částic ( $X + Y + FL$ ) je maximálně 10 % hm.“ [1, s. 5].

„**Recyklát směsný** je recyklát, získaný drcením a tříděním SDO, který se nepovažuje za kamenivo ve smyslu ČSN EN 12620+A1, ČSN EN 13043 nebo ČSN EN 13242+A1. Podíl hlavních složek není určen a obsah jiných, ostatních plovoucích částic ( $X + Y + FL$ ) je  $\leq 10$  % hm. Recyklát směsný je určen převážně jako náhrada zemin pro stavbu násypů a úpravy podloží pozemních komunikací podle ČSN 73 6133, zásyp rýh, terénní úpravy apod.“ [1, s. 5].

„**R-materiál** je asfaltová směs znovuzískaná odfrézováním asfaltových vrstev nebo drcením desek vybouraných z asfaltových vozovek nebo velkých kusů asfaltové směsi a asfaltové směsi z neshodné nebo nadbytečné výroby. Jedná se o více jak 95% asfaltových materiálů ( $R_a$ ), s max. obsahem 5 % hm. ostatních recyklovaných materiálů ( $R_c + R_b + R_u + X + Y + FL$ )“ [1, s. 5].

„**Recyklát asfaltový** je recyklát z vozovek, kde je podíl  $30$  %  $< R_a \leq 95$  % hm.“ [1, s. 5].

Tabulka 2.1 - Vysvětlivky ke zkratkám [1, s. 21]

Ozn.	Vysvětlení, význam
Rc	beton, betonové výrobky, malta, betonové zdící prvky
Rb	pálené zdící prvky např. cihly a tvárnice, kamenivo ze směsi stmelené hydraulickým pojivem
Ru	nestmelené kamenivo, přírodní kámen, kamenivo ze směsi stmelené hydraulickým pojivem
Rg	sklo
X	jiné částice (% hm.) jako jíla a další přilnavé nečistoty, kovy (železné a neželezné), neplovoucí dřevo, stavební plasty a pryž, sádrová omítka
Y	ostatní částice (% hm.) jako papír, polyetylenové obaly, textil, organické materiály, apod. Z hlediska stanovení obsahu ostatních částic (Y) se tyto přiřazují při zkoušce podle ČSN EN 933-11 ke složce jiných částic (X).
FL	plovoucí částice ( $\text{cm}^3/\text{kg}$ ) podle ČSN EN 933-11 – plovoucí dřevo, polystyrén, apod.

„**Zemní těleso** je součást pozemní komunikace, tvořící spodní stavbu vozovky v kontaktu s terénem; zemní těleso je tvořeno z násypu nebo zářezu (včetně svahů)“ [2, s. 12].

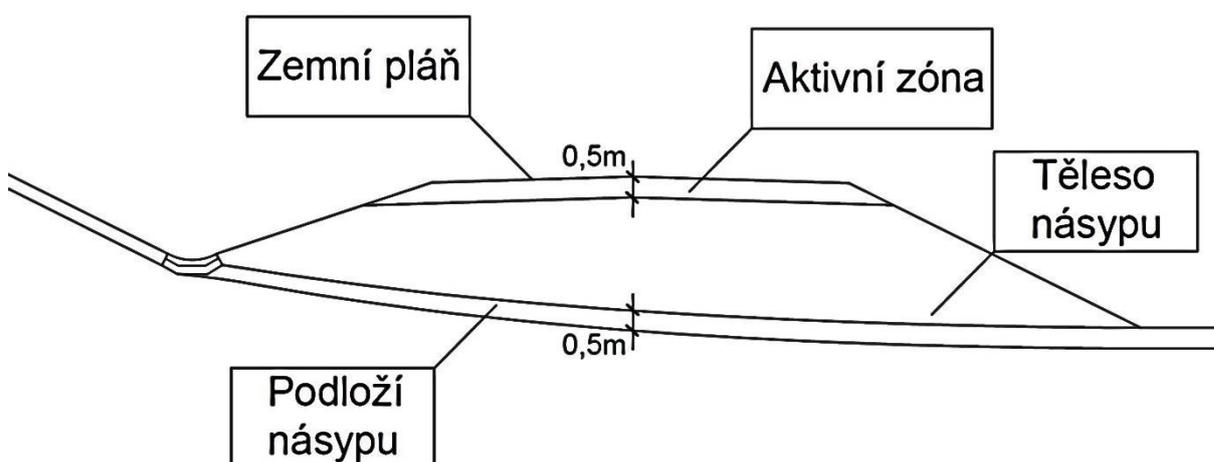
„**Podloží násypu** je část terénu pod násypem, zpravidla po odstranění orniční vrstvy; podloží násypu se zpravidla omezuje hloubkou, do níž působí vlivy přetížení násypem, do zemního tělesa se zahrnuje pouze hloubka, do níž zasahují případné stavební úpravy

(např. odvodnění, náhrada nevhodné zeminy do stanovené hloubky, úprava zeminy apod.)“ [2, s. 13].

„**Aktivní zóna** je horní vrstva zemního tělesa na násypu i v zářezu, o tloušťce zpravidla 0,5 m, do níž zasahují vlivy dopravního zatížení a klimatické vlivy“ [2, s. 13].

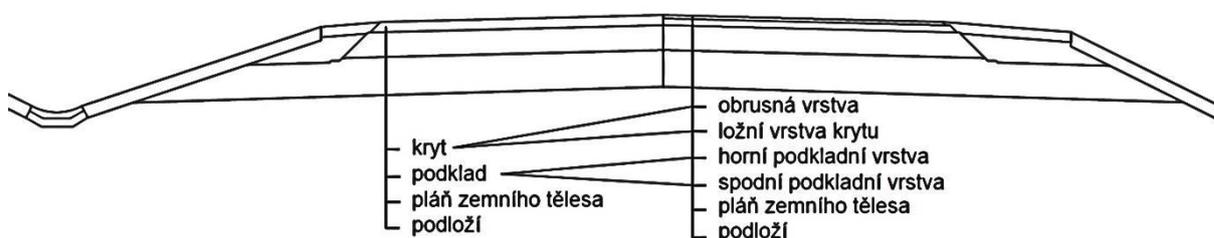
„**Namrzavost** je vlastnost zeminy, projevující se postupným zvětšováním objemu při teplotách pod bodem mrazu a stálém přísunu vody způsobené kapilárním vztlínáním“ [16, s. 4].

„**Směs stmelená cementem** je hydraulicky stmelená směs kameniva s řízenou zrnitostí a cementu nebo hydraulického silničního pojiva typu E jako pojiva, vyráběná způsobem, který zajišťuje homogenitu směsi“ [21, s. 9].



Obrázek 2.1 – Příčný řez pozemní komunikací [5]

### Schéma konstrukce vozovky



Obrázek 2.2 – Schéma konstrukce vozovky [5]

## 2.2 RECYKLÁTY V POZEMNÍCH KOMUNIKACÍCH

Stavební a demoliční odpad představují hmotnostně cca 25 % produkce všech odpadů v České republice, proto je recyklace SDO stále aktuálnější. Mezi důvody recyklace patří snížení objemu odpadů, nebo například šetrnost k přírodním neobnovitelným zdrojům (přírodní kamenivo), úspora energie s těžbou přírodního kameniva spojená a především získání druhotných surovin pro výstavbu pozemních komunikací. Recyklovaný stavebně demoliční odpad slouží stejně kvalitně jako přírodní materiály za předpokladu správného použití. Technické podmínky TP 210 se zabývají využitím recyklovaných odpadů z demolic pozemních staveb nebo odpadů z pozemních komunikací do podloží vozovek, popřípadě do konstrukčních vrstev pozemních komunikací.

Minerální stavební odpad se po odpovídajícím zpracování, využívá zejména v těchto oblastech: protihlukové stěny, zásypy výkopů, nahrazení nevhodné zeminy, podkladní vrstvy vozovek, plochy parkovišť, zpevňování lesních a zemědělských cest a v omezené míře jako náhrada přírodního kameniva ve stmelovaných podkladních vrstvách vozovek. Cihelný a betonový recyklát je jako nejvhodnější náhrada přírodního kameniva pro výrobu vláknobetonu, kde recyklát tvoří plnohodnotnou kostru. Směsný recyklát tvoří plnohodnotnou náhradu přírodního kameniva při výrobě vláknobetonových desek. [3]

### 2.2.1 Výroba

Výrobní proces recyklátů má zásadní vliv na jejich kvalitu pro použití do pozemních komunikací. Při běžných demoličních pracích je důležité (z hlediska dalšího využití vybouraného materiálu) provádět důsledné třídění, které začíná již při samotné demolici. Organizace práce, logistický systém chodu recyklování a v neposlední řadě skladování a způsob dopravy těchto materiálů ovlivňuje jejich kvalitu. [1]

V procesu recyklace stavební suti je možné použít velké množství strojů. Při výběru se bere zřetel na druh a objem stavebního odpadu. Drcení drobné suti (omítka, cihly, beton) a další středně tvrdých materiálů se provádí drtiči drobné suti. Drtící jednotky můžeme rozdělit na čelistové a odrazové. Čelistové jednotky slouží ke zpracování betonu nebo železobetonu a cihelné suti. Velikost materiálu před drcením je cca 50 až 100 cm. Čelistové drtiče jsou spolehlivé, mají nízké provozní náklady, snadno se mění opotřeбенé části a mají vysoký výkon. Odrazové jednotky drtí beton, železobeton, cihelnou suť a živičné kry do velikosti 80 cm. Výhodou je velký stupeň zdobnění, dobrý tvarový index, nenáročná údržba a obsluha. Třídící jednotky jsou vibrační nebo rezonanční. Tyto třídíče je možné použít na třídění kameniva, štěrků, písku, cihelné suti, drceného betonu, zeminy a dalších

materiálů. Tříděné materiály lze rozdělit do několika frakcí. Magnetické separátory jsou dalším zařízením v recyklační lince a mají za úkol odstraňovat ze suti kovové části. [9]

„Recyklační linky se podle technologie dělí:

- stacionární
- semimobilní
- mobilní“ [9].

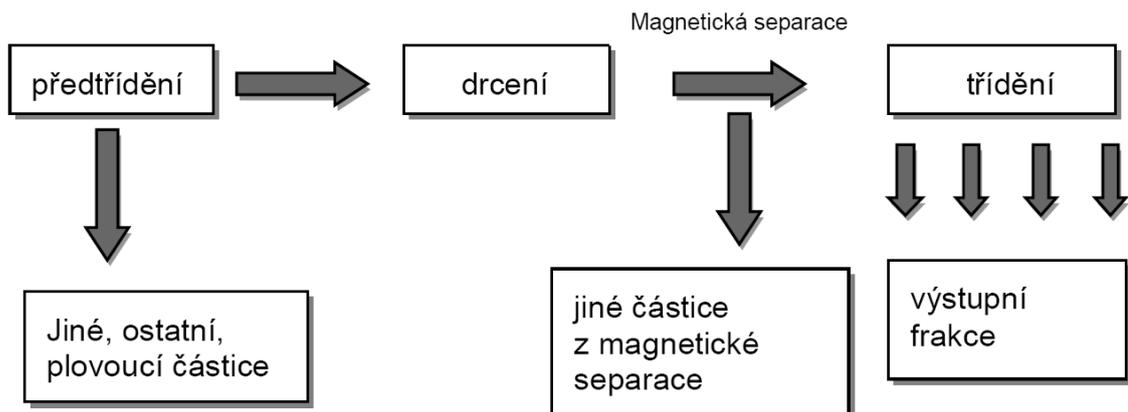
Stacionární linky jsou stabilní nepřemístitelné zřízené, většinou ve velkých městech, na místě s dlouhodobým přísunem stavebního odpadu a jeho následného odběru po recyklačním procesu. Semimobilní linky jsou zřizovány na určité časové období na vhodné místo (rekonstrukce dálnice), je možné je demontovat a přesunout na vhodnější místo. Linky mobilní bývají opatřeny podvozkem, nebo se dají k podvozku snadno připojit a zpracovávají stavební odpad přímo na stavbě. [9]

Je jednoznačně prokázáno, že třídění na stavbě je mnohem účinnější a také levnější, než u výrobce recyklátů. Je to dáno zejména tím, že při demolici lze snadněji oddělit od minerální suti veškeré cizorodé materiály – zejména dřevo, plasty, dehtové lepenky, kovy apod., než je to možné z netříděné suti, která může vzniknout při nešetrné celkové demolici. [9]

„Ukázalo se jako účelné, klást při třídění během demoličních prací důraz zejména na:

- oddělení kontaminovaných materiálů od nekontaminovaných
- oddělení cizorodých materiálů od minerálních suti určených k recyklaci (dřevo, lepenka, sádrokarton, plát, kovy, apod.)
- zejména oddělit nebezpečný odpad ( nátěrové hmoty, azbest, ropné látky, apod.)
- roztřídit minerální suti na tyto druhy:
  - cihelná suti
  - betonová suti
  - živičné suti
  - vykopaná zemina“ [4].

Z hlediska získání kvalitního recyklátu se v České republice ustálila všeobecně uznávaná a používaná konfigurace orientačně naznačena na obr. 2.3: [1]



Obrázek 2.3 – Schéma recyklačního procesu [1, s. 14]

Recyklované stavební materiály musí být skladovány odděleně tak, aby se zabránilo jejich smíchání. Musí se dbát na opatření, které zabrání znehodnocení materiálů například znečištěním nebo vyplavováním jemných částic. Jako u každých stavebních materiálů tak i u recyklátu se při pravidelném používání sleduje jejich kvalita, homogenita a stejnorodost. [1]

## 2.2.2 Užití recyklátu v pozemních komunikacích

Použití recyklovaných stavebních materiálů lze orientačně rozdělit podle tab. 2.2.

Tabulka 2.2 – Doporučené užití RSM podle zastoupeného základního materiálu [1, s. 6]

Typ RSM	Konstrukční vrstvy pozemní komunikace									Podloží, zemního těleso
	AB	CB	Nestmelené podkladní vrstvy (NV)				SV	PV a VŠ		
			MZK	ŠD <sub>A</sub>	ŠD <sub>B</sub>	MZ		Kostra	Výplň	
Recyklát z betonu	+	0/-	+	+	+	+/0	+	+/0	+/0	+/0
Recyklát ze zdiva	-	-	-	0/-	+	+/0	+	-	+	+
<b>Recyklát směsný</b>	-	-	-	-	-	+	+	-	+	+
Recyklát z vozovek	+	+/0	+	+	+	+/0	+	+/0	+/0	+/0
Recyklát asfaltový	+	-	+/0	+	+	0/-	+	0/-	0/-	0/-

Vysvětlivky k tab. 2.2:

+ doporučuje se používat

- nedoporučuje se používat

0 podmíněčně použitelný (omezené např. z technologických, ekonomických nebo ekologických důvodu)

„Užití recyklátů do zemního tělesa a podloží vozovky PK musí splňovat požadavky ČSN 73 6133. Směsný recyklát je vhodné použít do zemního tělesa a především do aktivní zóny pozemní komunikace jako náhrada nevhodné zeminy nebo pro mechanickou úpravu nevhodné zeminy“ [1, s. 7].

### 2.2.3 Ekonomické zhodnocení

Správné používání kvalitních recyklátů pro daný účel je ekonomicky velmi výhodné. V porovnání s přírodním kamenivem vychází recykláty mnohem levněji. Přibližné ceny recyklátů a přírodního kameniva:

- betonový recyklát
  - frakce 0/63 130,-Kč/t
  - frakce 32/63 150,-Kč/t
  - frakce 63/125 180,-Kč/t
- směsný recyklát
  - frakce 0/63 50,-Kč/t
  - frakce 32/63 50,-Kč/t
  - frakce 63/125 50,-Kč/t
- přírodní kamenivo
  - frakce 0/63 332,-Kč/t
  - frakce 32/63 352,-Kč/t

Pozn.: Uvedené ceny jsou bez DPH získané ze zdroje 6 a mohou se od jiných recyklačních linek výrazně lišit.

## 2.3 SMĚSNÝ RECYKLÁT

### 2.3.1 Podloží vozovky pozemních komunikací

Jestliže recyklované materiály z vozovek, inženýrských staveb a pozemních staveb neobsahují nežádoucí organické minerální látky, které by negativně ovlivňovaly životní prostředí, tak se mohou použít pro stavbu zemního tělesa jako klasická zemina nebo kamenitá sypanina. Dále recykláty nesmějí obsahovat látky (ocelový odpad, dřevo, sádra, sklo, pryž apod.), které vlivem klimatických jevů mění svůj objem pevnost a tvar. [2]

„Přítomnost cihelného drceného materiálu způsobí snížení vlhkosti zeminy v podloží a po promíchání upraví nevhodnou zrnitost zeminy do přijatelných hodnot. Dosáhne se tím lepší zpracovatelnosti, vyšší smykové pevnosti a nižší stlačitelnosti. Navíc obsah zbylých maltovin, které se v recyklátu z cihelného zdiva mohou objevovat, působí po zhutnění jako stabilizační složka. V případě směsných recyklátů s významnou přítomností cihelné drtě je důležitá odolnost proti zmrazování a rozmrazování, která přímo souvisí s nasákavostí recyklované kameniva. Ve stavu přirozené vlhkosti SDO je odolnost proti zmrazování a rozmrazování, avšak při nasycení vodou, nejhůře s obsahem soli, odolnost proti mrazu rapidně klesá. Hrozí nebezpečí rozpadu zrn kameniva a objemových změn, s nimiž souvisí vznik mrazových zdvihů“ [8].

Tabulka 2.3 – Použitelnost zemin pro stavbu zemního tělesa [2, s. 16]

Podmínky použití	Nepoužitelné <sup>a)</sup> k jakémukoli použití	Nevhodné k přímému použití bez úpravy
	nelze upravit běžnými technologiemi, použití se zpravidla vylučuje	musí se vždy upravit <sup>c)</sup>
Aktivní zóna	organické zeminy s obsahem organických látek větším než 6% <sup>b)</sup> , bahna, rašelina, humus,	ML, MI, CL, CI, MH, MV, CH, CV
Násyp	ornice, CE, ME	MH, MV, CH, CV

Vysvětlivky:

- Netýká se podloží násypu a svahů zářezu
- Obsah 6% je hranice pro středně organické zeminy dle ČSN EN ISO 14688-2
- Neplatí pro poddajnou vrstvu vrstevnatého násypu

Označení zemin z tab. 2.3:

ML – hlína s nízkou plasticitou	CL – jíł s nízkou plasticitou
MI – hlína se střední plasticitou	CI – jíł se střední plasticitou
MH – hlína s vysokou plasticitou	CH – jíł s vysokou plasticitou
MV – hlína s velmi vysokou plasticitou	CV – jíł s velmi vysokou plasticitou
ME – hlína s extrémně vysokou plasticitou	CE – jíł s extrémně vysokou plasticitou

„Použitelnost zemin pro stavbu zemního tělesa se musí posoudit podle skutečných vlastností následujícím postupem:

- 1) Pokud  $w_l > 50\%$  nebo  $I_c \leq 0,5$  nebo  $\rho_{d \max, PS} < 1\ 500 \text{ kgm}^{-3}$  (násyp);  
 $\rho_{d \max, PS} < 1\ 600 \text{ kgm}^{-3}$  (aktivní zóna), zeminy se musí upravit;
- 2) Musí se upravit objemově nestabilní zeminy a horniny (bobtnavé jíly a jílovité břidlice)
- 3) Pokud zeminu nelze zpracovat protože  $w_n$  není v intervalu přípustné vlhkosti a tuto vlhkost nelze ovlivnit, nebo se jedná o zeminu stejnozrnnou (např. vátý písek), zemina se musí upravit
- 4) Další posouzení se rozlišuje podle účelu použití:
  - a) při použití do aktivní zóny se zeminy dále posoudí podle únosnosti CBR. Zeminu je možné použít bez úpravy, pokud je hodnota CBR (po sycení ve vodě po dobu 96h) rovna minimálně 15 % pro podloží P III, 30 % pro podloží P II, 50 % pro podloží PI;
  - b) při použití do násypu se zeminy dále posoudí podle IBI, v případě ztužující vrstvy vrstevnatého násypu podle CBR. Zeminu je možné použít i bez úpravy, pokud je hodnota IBI rovna min. 10 % pro násyp a 5 % pro podloží násypu. Pro ztužující vrstvu vrstveného násypu musí být hodnota CBR (po nasycení ve vodě po dobu 96 h) min. 10%. Pro účely návrhu se použitelnost posoudí podle dalších vlastností (např. zhutnitelnost, pevnostní parametry, stlačitelnost apod.)“ [2, s. 15-16].

Pozn.: „Optimální vlhkost stanovená při zkoušce Proctor standard je v některých případech z hlediska reálné hutnicí práce na stavbě příliš vysoká, proto se může interval přípustné vlhkosti přiměřeně upravit“ [2, s. 15].

Tabulka 2.4 – Typy podloží vozovky [7, s. A-3]

Typ podloží	Návrhový modul pružnosti <sup>1)</sup>	Minimální modul přetvárnosti <sup>2)</sup>	Namrzavost podloží
PI	120 MPa	90 MPa	nenamrzavé
PII	80 MPa	60 MPa, 45 MPa <sup>3)</sup>	mírně namrzavé
PIII	50 MPa	45 MPa, 30 MPa <sup>3)</sup>	nebezpečně namrzavé

Vysvětlivky:

- 1) Návrhový modul pružnosti pro výpočet vozovky zastupuje chování podloží pod vozovkou za vlhkosti odpovídající návrhovému vodnímu režimu při krátkodobém zatížení přejezdem vozidla. Modul přetvárnosti stanovený podle normy ČSN 72 1006 charakterizuje chování podloží vozovky pod statickým zatížením po dokončení podloží a představuje kontrolní (přejímací) zkoušku dokumentující vhodnost použitého materiálu a jeho dostatečné zhutnění za vlhkosti při zpracování (v blízkosti vlhkosti optimální). Proto nemůže existovat obecný matematický vztah mezi takto definovanými moduly. Za stejných podmínek je modul pružnosti vždy vyšší než modul přetvárnosti, který zahrnuje nepružnou složku přetváření.
- 2) Modul přetvárnosti zemní pláně při použití zlepšených zemin příměsí vápna se zkouší minimálně po třech dnech po provedení a při zlepšení cementem po 7 dnech po provedení. Dosažení požadovaného modulu přetvárnosti dříve, než je uvedeno, není na závadu díla.
- 3) Platí pro D1 a v případě třídy dopravního zatížení IV a pro D2, hodnota 45 MPa u podloží PII platí pro zeminy S a G, neplatí pro zlepšené zeminy.

Tabulka 2.5 - Požadované hodnoty únosnosti CBR pro upravené zeminy pro aktivní zónu [2 s. 18]

Způsob použití		Požadované hodnoty <sup>a)</sup>		
		CBR <sup>b)</sup>	Minimální vlhkost směsi	Okamžitý index únosnosti
Aktivní zóna	Podloží P III	CBR <sub>15</sub>	W <sub>0,9</sub>	IBI <sub>DV</sub>
	Podloží P II	CBR <sub>30</sub>	W <sub>0,9</sub>	IBI <sub>DV</sub>
	Podloží P I	CBR <sub>50</sub>	W <sub>0,9</sub>	IBI <sub>DV</sub>

Vysvětlivky:

- a) kategorie podle ČSN EN 14227-10, 11, 12, 13 a 14
- b) zhotovení a zrání zkušební vzorku se provádí podle příslušné ČSN EN 14227-10 až 14

Tabulka 2.6 - Požadované hodnoty únosnosti CBR, IBI pro upravené zeminy na násypu [2, s. 18]

Způsob použití	Požadované hodnoty <sup>a)</sup>	
	Okamžitý index únosnosti	CBR
Podloží násypu	min. IBI <sub>10</sub>	-
Každá technologická vrstva násypu	min. IBI <sub>10</sub>	-
Ztužující vrstva vrstveného násypu z materiálu upraveného pojivy	-	min. CBR <sub>15</sub> <sup>b)</sup>

Vysvětlivky:

- a) kategorie podle ČSN EN 14227-10, 11, 12, 13 a 14, stanovené při vlhkosti w<sub>opt</sub>
- b) zhotovení a zrání zkušební vzorku se provádí podle příslušné ČSN EN 14227-10 až 14

### 2.3.2 Nestmelené podkladní vrstvy

Nestmelená směs je čistý zrnitý materiál, u kterého se kontroluje zrnitost od dolního síta  $d=0$  mm a neobsahuje žádné příměsi, přísady a neb přidané. Nutnost zkoušet všechny vlastnosti je omezena podle určení nebo konečného použití nebo původu směsi. Nestmelená vrstva vozovky se vyrábí z nestmelené směsi nebo zeminy bez použití pojiva. [5]

Podle výše uvedené tab. 2.2 je směsný recyklát vhodný jako výplňové kamenivo do vibrovaného štěrku a pro mechanicky zpevněnou zeminu.

„**Vibrovaný štěrk (VŠ)** je vrstva vytvořená kostrou z hrubého kameniva se zavibrovaným výplňovým materiálem (směsným recyklátem). Kostra je tvořena frakcí 32/63, výplňové kamenivo do velikosti zrna max. 16 mm (např. 4/8). Únosnost vibrovaného štěrku je postavena na únosnosti hrubého štěrku a má vyšší únosnost než štěrkodrt' a štěrkopísek. Tuto vrstvu nelze klást na podloží, z důvodu nesplnění filtračního kritéria“ [5, s. 11].

„**Mechanicky zpevněná zemina (MZ)** je vrstva vozovky z nestmelené zeminy nebo náhradních materiálů (SDO) zrnitosti  $G_E$ , splňující předepsané vlastnosti jako je únosnost  $CBR_{SAT} = \text{min. } 20\%$  a ekvivalent písku = min. 20%“ [5, s. 11].

Užití recyklátů (RSM) bez použití pojiva v konstrukci vozovky je stejné jako u nestmelených vrstev podle ČSN 73 6126-1, ČSN 73 6126-2 a je uvedeno v tab. 2.7.

Tabulka 2.7 – Užití RSM do nestmelených vrstev [1, s. 7]

Vrstva		Doporučená třída dopravního zatížení podle ČSN 73 6114, Z1	
		Podkladní vrstva	Ochranná vrstva
VŠ z recyklovaného kameniva	VŠ – R	V, VI	V, VI
MZ z recyklátu	MZ - R	V, VI	V, VI

Pozn.: Očekávaná třída dopravního zatížení je uvedena v tab. 2.8.

Tabulka 2.8 – Návrhová úroveň porušení vozovky [7, s. 5]

Návrhová úroveň porušení vozovky	Dopravní význam pozemní komunikace	Očekávaná třída dopravního zatížení	Plocha s konstrukčními poruchami v %
D0	D, R, rychlostní místní komunikace, S I. třídy	S, I, II, III	< 1
D1	S II. a III. třída, sběrné místní komunikace, odstavné a parkovací plochy	III, IV, V, VI	< 5
D2	obslužné místní komunikace, nemotoristické komunikace, odstavné a parkovací plochy	V, VI	< 25
	Dočasné komunikace a účelové komunikace	IV, V, VI	

Zrnitost nestmelených směsí je určována v kategoriích  $G_A$ ,  $G_B$ ,  $G_C$ ,  $G_O$  a  $G_P$ . Průměrná hodnota počítaná ze všech zrnitostí musí ležet uvnitř intervalu pro dodavatelem deklarované hodnoty. Požadavky na příslušné kategorie, jsou uvedené v tab. 2.9.

Tabulka 2.9 – Požadavky na zrnitost nestmelené směsi [5, s. 14]

Označení směsi	Propad v procentech hmotnosti						Kategorie
Interval zrnitosti	Síto A	Síto B	Síto C	Síto E	Síto F	Síto G	
0/31,5	16	8	4	2	1	0,5	
0/45	22,4	11,2	5,6	2	1	0,5	
0/63 (jen pro G <sub>E</sub> )	31,5	16	8	-	2	-	
<b>Normálně zrněné směsi</b>							
Všeobecný	55 - 85	35 - 55	22 - 50	15 - 40	10 - 35	0 - 20	G <sub>A</sub>
Deklarovaný (S)	63 - 77	43 - 57	30 - 42	22 - 30	15 - 30	5 - 15	
Všeobecný	55 - 85	35 - 68	22 - 60	16 - 47	9 - 40	5 - 35	G <sub>B</sub>
Deklarovaný (S)	63 - 77	43 - 60	30 - 52	23 - 40	14 - 35	10 - 30	
Všeobecný	50 - 90	30 - 75	20 - 60	13 - 45	8 - 35	5 - 25	G <sub>C</sub>
Deklarovaný (S)	61 - 79	41 - 64	31 - 49	22 - 36	13 - 40	10 - 20	
<b>Otevřené směsi</b>							
Všeobecný	50 - 78	31 - 60	18 - 46	18 - 46	10 - 35	6 - 26	G <sub>O</sub>
Deklarovaný (S)	58 - 70	39 - 51	26 - 38	26 - 38	17 - 28	11 - 21	
<b>Ostatní směsi</b>							
Všeobecný	50 - 90	30 - 75	15 - 60	-	0 - 35	-	G <sub>E</sub>
Deklarovaný (S)	bez požadavků						
Všeobecný	bez požadavků						G <sub>N</sub>
Deklarovaný (S)							

Dodavatel materiálu v kategoriích G<sub>A</sub>, G<sub>B</sub>, G<sub>C</sub>, G<sub>O</sub> a G<sub>P</sub> musí navrhnout svojí deklarovanou hodnotu, pro řízení zrnitostí jednotlivých dávek směsí. Kategorie používané v České republice jsou G<sub>A</sub>, G<sub>C</sub>, G<sub>O</sub>, G<sub>E</sub> a G<sub>N</sub>. Při použití kameniva náchylného k namrzání, citlivosti na vodu nebo na jeho nehomogenní složení je důležité nezapomínat na další vlastnosti jako propustnost, namrzavost, vyluhovatelnost a chemické složení. V případě složitých geotechnických poměrů v podloží, se právě tyto vlastnosti ověřují. [5]

Vlastnosti recyklovaného kamenivo pro nestmelené směsi musí být deklarovány podle ČSN EN 13242+A1, pro vibrovaný štěrk podle ČSN 73 6126-2. Konkrétní požadavky na recyklované kamenivo a směsi jsou uvedeny v národní příloze ČSN EN 13285 a jsou uvedeny v tab. 2.10.

Tabulka 2.10 – Požadavky na recyklované kamenivo pro nestmelené směsi a vibrovaný štěrk [1, s. 8-9]

Článek normy ČSN EN 13285	Vlastnost	Požadavky				
		MZK	ŠD <sub>A</sub>	ŠD <sub>B</sub>	VŠ <sup>3)</sup> (kostra)	VŠ <sup>4)</sup> (výplň)
4.3.1	Označení směsi	0/32; 0/45	0/32; 0/45;0/63	0/32; 0/45; 0/63	32/63	max. D 16
NA.4.5 tab. NA.1	Všeobecné požadavky na zrnitost <sup>1)</sup>  HK DK směs	G <sub>c</sub> 85/15  G <sub>F</sub> 85 G <sub>A</sub> 85	G <sub>c</sub> 80/20  G <sub>F</sub> 80 G <sub>A</sub> 80	G <sub>c</sub> 85/15  - -	G <sub>c</sub> 80/20  G <sub>F</sub> 80 G <sub>A</sub> 80	
NA.4.5 tab. NA.1	HK – na střed. síť <sup>1)</sup>  D/d < 4  D/d ≥ 4	GT <sub>C</sub> 25/15  GT <sub>C</sub> 20/17,5	GT <sub>C</sub> 25/15	-	GT <sub>C</sub> 25/15 nebo GT <sub>C</sub> 20/1 5	-
NA.4.5 tab. NA.1	Typická zrnitost <sup>1)</sup>  DK směs	GT <sub>F</sub> 10 GT <sub>A</sub> 10	GT <sub>F</sub> 20 GT <sub>A</sub> 20	-	-	
NA.4.5 tab. NA.1	Max. obsah jemných částic <sup>1)</sup>  HD DK směs	f <sub>4</sub> f <sub>16</sub> f <sub>9</sub>	f <sub>4</sub> f <sub>22</sub> f <sub>12</sub>	f <sub>2</sub> - -	f <sub>2</sub> f <sub>7</sub> f <sub>7</sub>	
NA.4.5 tab. NA.1	Kvalita jemných částic <sup>2)</sup>	I <sub>p</sub> ≤ 4, w <sub>L</sub> ≤ 25%, SE <sub>30</sub>			-	
kap. 4.4 tab. 7 ČSN EN 13242A1	Procentní podíl drcených zrn v hrubém kamenivu	C <sub>90/3</sub>				
kap. 5.2 tab. 9 ČSN EN 13242	Odolnost proti drcení Los Angeles max. (LA)	LA <sub>40</sub>	LA <sub>50</sub>	LA <sub>40</sub>	LA <sub>50</sub>	

Tabulka 2.10 - pokračování

kap. 7.3.3 tab. 20 ČSN EN 13242	Odolnost proti zmrazování a rozmrazování (F) <sup>5)</sup>	F <sub>4</sub>
kap. 7.3.3 tab. 20 ČSN EN 13242	Trvanlivost síranem hořečnatým (MS) <sup>5)</sup>	MS <sub>18</sub>

Vysvětlivky:

- 1) platí pro frakce recyklovaného kameniva podle ČSN EN 13242+A1
- 2) I<sub>p</sub> index plasticity a w<sub>L</sub> mez tekutosti podle ČSN CEN ISO/TP 17892-12. Pokud vzhledem k charakteru materiálu zkoušky nelze provést, pak platí IP= 0
- 3) požadavky pro VŠ (kamenná kostra) jsou uvedeny v ČSN 73 6126-2
- 4) požadavky pro VŠ (výplňové kamenivo) jsou uvedeny v ČSN 73 6126-2
- 5) k posouzení odolnosti kameniva proti zmrazování a rozmrazování se může použít zkouška zmrazování a rozmrazování podle ČSN EN 1367-1 nebo zkouška síranem hořečnatým podle ČSN EN 1367-2 splňuje uvedené požadavky, lze kamenivo považovat za mrazuvzdorné a není nutné stanovovat odolnost proti zmrazování a rozmrazování podle ČSN EN 1367 -1

Požadavky na nestmelené směsi z RSM jsou uvedeny v tab. 2.11.

Tabulka 2.11 – Požadavky na nestmelené směsi z RSM [1, s. 17]

Vlastnost	Požadavky, kategorie				
	Směs MZK-R (G <sub>A</sub> , G <sub>C</sub> )	Směs MZKO-R (G <sub>A</sub> , G <sub>C</sub> )	ŠD <sub>A</sub> -R	ŠD <sub>B</sub> -R	MZ-R <sup>1)</sup>
Doporučené směsi	0/32; 0/45		0/32; 0/45; 0/63	0/32; 0/45; 0/63; 0/125	0/32; 0/45
Maximální obsah jemných částic (≤0,063 mm)	UF <sub>9</sub>			UF <sub>12</sub>	UF <sub>15</sub>
Minimální obsah jemných částic (≤0,063 mm)	LF <sub>2</sub>			LF <sub>N</sub>	LF <sub>N</sub>
Nadsítné	OC <sub>90</sub>		OC <sub>85</sub>	OC <sub>80</sub>	OC <sub>85</sub>
Kategorie zrnitosti podle ČSN EN 13285	G <sub>A</sub> ; G <sub>C</sub>	G <sub>O</sub>	G <sub>E</sub>	G <sub>N</sub>	G <sub>E</sub>
Odchytky zrnitosti jednotlivých dávek podle ČSN EN 13285	požaduje se splnění požadavků ČSN EN 13285, tabulky 7 a 8		bez požadavků		
Namrzavost podle ČSN 3 6133, příp. ČSN 72 1191	bez požadavků				β <sub>0,25</sub> <sup>2)</sup>
CBR po sycení ve vodě po dobu 96 hodin	min. 100 %		bez požadavků		min. 20 %
Laboratorní srovnávací objemová hmotnost a optimální vlhkost (nejčastěji z Proctorovy zkoušky modifikované)	deklarovaná hodnota				
Vlhkost	Povolené hodnoty vlhkosti směsi od deklarované hodnoty: - 3 % až+ 2 %		bez požadavků		
Deklarace vodou rozpustného obsahu síranů	bez požadavků				

Vysvětlivky k tab. 2.11:

- 1) směs MZ-R (mechanicky zpěvněná zemina z RSM) musí dále splňovat tyto parametry: ekvivalent písku (SE) podle ČSN EN 933-8 min. 25 %, vlhkost na mezi tekutosti a index plasticity podle ČSN CEN ISO/TS 17892-12,  $w_L$  max. 25 % a index plasticity  $I_p \leq 6$
- 2) hodnocení namrzavosti MZ-R se provádí podle zrnitosti (Scheibleho) kritéria podle ČSN 73 6133: 2010. U sporných případů se doporučuje stanovit hodnotu součinitele namrzavost  $\beta$  podle ČSN 72 1191, musí být max. 0,25, případně hodnota mrazového zdvihu max. 3 mm

Složení směsi, obsahující recyklované kamenivo se posuzuje vizuálně, pomocí metody podrobně popsané v příloze A.2 normy EN 13285. [5]

Složení směsného recyklátu je uvedené v tab. 2.12.

*Tabulka 2.12 – Složení směsi drceného recyklovaného kameniva [5, s. 18]*

Komponenty		Procento hmotnosti
Hlavní	Drcený beton (objemová hmotnost > 2,1 Mgm <sup>-3</sup> ) a kamenivo (včetně strusky)	≥ 50
Ostatní zrnité	Drcené zdivo	≤ 50
	Drcená recyklovaná asfaltová směs	≤ 5
	Zrnité materiály o objemové hmotnosti > 1,6 Mgm <sup>-3</sup>	≤ 10
Příměsi	Soudržné materiály (včetně jílu)	≤ 1
	Organické materiály	≤ 0,1

Pozn.: Objemové hmotnosti uvedené v tabulce jsou pro vysušený materiál stanovené podle EN 1097-6.

Nestmelené vrstvy přispívají k únosnosti podloží. Jejich pevnost závisí na druhu použitého kameniva a jeho vlastností jako je zrnitost a mezerovitost. Vhodná je plynulá čára zrnitosti. Tloušťka nestmelených vrstev ve vozovce závisí na návrhové úrovni porušení, dopravním zatížením a únosnosti podloží. Použitá technologie rozhoduje o minimální a maximální tloušťce vrstvy. Provedení nestmelené vrstvy v tloušťce 50 mm až 150 mm eliminuje kopírování reflexních trhlin do krytu vozovky. [7]

Minimální tloušťky a očekávaný modul přetvárnosti nestmelených vrstev v závislosti na druhu zeminy v podloží vozovky je uvedena v tab. 2.13.

Tabulka 2.13 – Minimální tloušťky nestmelených vrstev [7, s. B-18]

Druh podkladní vrstvy		Minimální tloušťka nestmelených vrstev v mm pro vozovky návrhovou úrovní porušení			
		D2 a D1 TDZ VI			
		pro zeminy v podloží vozovky o uvedeném modulu přetvárnosti $E_{def,2}$			
		30	45	60	90
Ochranná vrstva	ŠP <sup>1)</sup>	200	200	-	-
	MZ	150 <sup>2)</sup>	150 <sup>2)</sup>	150 <sup>2)</sup>	-
	ŠD	150	150	150	-
Podkladní vrstva	ŠD	150 <sup>3)</sup>	150 <sup>3)</sup>	150 <sup>3)</sup>	150

Vysvětlivky:

- 1) Štěrkopísek s obsahem jemných částic do 5 % hmotnosti není vhodný, porušuje se staveništní dopravou, povrch se musí zpevňovat drceným kamenivem nebo recyklovatelnou asfaltovou směsí a obvykle se nedoporučuje používat.
- 2) Namísto MZ může být použit cihelný recyklát splňující požadavky ČSN 76 6126.
- 3) Minimální tloušťka, v případě ochranné vrstvy z ŠD lze podklad nahradit zvýšením tloušťky ŠD na 200 mm.

Nestmelené vrstvy mohou výjimečně sloužit jako kryt vozovky. Například u nemotoristických, účelových komunikací nebo na stavbě dočasných komunikací. Používají se vrstvy s uzavřeným povrchem, který je vyplněný drobným kamenivem nebo recyklovatelnou asfaltovou směsí. Výhodné je použít mechanicky zpevněnou zeminu, stěrkoдрť nebo mechanicky zpevněné kamenivo v tloušťce nejméně 200 mm. Dešťová voda je odváděna povrchově zvýšeným minimálním sklonem. [7]

### 2.3.3 Stmelené podkladní vrstvy

Stmelená směs je zrnitý materiál smíchaný s pojivem, nejčastěji hydraulickým. Vrstvy ze stmelených směsí mají relativně vysoký modul pružnosti, ale zároveň jsou náchylné k trhlinám. Vrstva spolupůsobí s podkladem, ten omezuje její průhyb a vzniká velké napětí, při kterém dojde k porušení. Tyto trhliny se šíří až k asfaltovým vrstvám a dochází k poruchám krytů vozovek. Tyto jevy se eliminují použitím správné technologie, dodržením technologické kázně jako je pokládání, hutnění a ošetřování. [10]

„Dělení stmelovaných směsí podle použitého pojiva a jejich označení:

- stmelené směsi kameniva do konstrukce vozovky
  - stmelené směsi cementem SC
  - stmelené směsi struskou SS
  - stmelené směsi popílkem SP
  - stmelené směsi hydraulickými silničními pojivy SH
- upravené zeminy do podloží vozovky
  - zlepšené zeminy cementem
  - zlepšené zeminy vápnem
  - zlepšené zeminy struskou
  - zlepšené zeminy hydraulickými silničními pojivy
  - zlepšené zeminy popílkem

Dělení stmelovaných směsí třídy pevnosti v tlaku:

- $C_{0,8/1,0}$ ,  $C_{1,5/2,0}$ ,  $C_{3/4}$ ,  $C_{5/6}$ ,  $C_{6/8}$ ,  $C_{8/10}$ ,  $C_{9/12}$ ,  $C_{12/15}$ ,  $C_{16/20}$ ,  $C_{20/25}$  [11, s. 5].

„V technické dokumentaci se za označením SC (SS, SP, SH) uvádí navíc zrnitost směsi. Např. 0/32. Příklad: SC 0/32;  $C_{3/4}$ ; 200 mm; ČSN 73 6124-1“ [11, s. 5].

Mezi hydraulická pojiva patří například Doroport TB 25. Je to směsné hydraulické pojivo pro stmelené podkladní vrstvy. Má vysokou odolnost proti síranům, které se mohou v recyklátech vyskytovat. Další vlastnost tohoto pojiva je pozvolný nárůst pevnosti, která eliminuje vznik reflexních trhlin při hydrataci stmelené směsi. Minimální obsah tohoto pojiva je 5 % hm. Při tomto množství pojiva je možné splnit minimální pevnost v prostém tlaku 2 MPa a tudíž směs použít do konstrukce vozovky. [12]

Použití recyklátů stmelnými hydraulickým pojivem ve vozovce uvádí tab. 2.14.

Tabulka 2.14 – Užití RSM do vrstev stmelených hydraulickým pojivem a prolévaných vrstev [1, s. 7]

Směs recyklovaného kameniva vyrobená v míchacím centru	Doporučená třída dopravního zatížení		
	Obrusná vrstva	Ložní vrstva <sup>1)</sup>	Podkladní vrstva
s použitím cementu nebo jiného hydraulického pojiva jako stmelená vrstva <sup>1)</sup>	-	-	bez omezení

„Vlastnosti recyklátu pro stmelené směsi musí být deklarovány podle ČSN EN 13242+A1, pro podloží vozovky podle ČSN 73 6133. Konkrétní požadavky na recyklát a směsi jsou uvedeny v tabulce 2.15 jako doporučené pro usnadnění splnění závazných požadavků na recyklované směsi“ [1, s. 9].

**Pozn.: Pokud směsný recyklát nevyhoví požadavkům pro recyklované kamenivo (tab. 2.10) je možnost ho klasifikovat jako zeminu, nebo materiál vhodný do stmelených směsí hydraulickým pojivem, při splnění podmínek pro směsi z RSM (tab. 2.16).**

Tabulka 2.15 – Doporučené požadavky na RSM pro stmelené směsi a prolévané vrstvy [1 s. 7]

Vlastnost	Požadavky na RSM pro směsi z míchacího centra s použitím pojiva	
	cement nebo jiné hydraulické pojivo	prolévané vrstvy asfaltem, asfaltovou emulzí nebo cementovou suspenzí
Označení směsi	0/16; 0/22; 0/32; 0/45	16/32; 32/63
Max. obsah jemných částic	$f_{15}$	$f_{15}$
Kvalita jemných částic	$I_p \leq 17$	$I_p \leq 17$
Nadsítné	15 %	15 %

Pozn.: Požadavky na zrnitost směsi řeší technické podmínky TP 210.

Vysvětlivky:

- 1) Platí pro směs recyklátu (RSM) bez přidaného pojiva

Požadované fyzikálně mechanické vlastnosti směsí jsou uvedeny v tab. 2.16.

Tabulka 2.16 – Požadavky na stmelené směsi z RSM [1, s. 13]

Vlastnost		Požadavky pro směsi s použitím pojiva
		cement nebo jiné hydraulické pojivo
		ČSN EN 14227-1, 2, 3, 4 a 5
Optimální frakce směsi		0/22; 0/32; 0/45
Laboratorní srovnávací objemová hmotnost a optimální vlhkost		deklarovaná hodnota
Vlhkost <sup>1)</sup>		-3 % až +2 % $w_{opt}$
Min. pevnost v tlaku $R_c$ po 28 dnech <sup>2)</sup>		$C_{3/4}$ <sup>3)</sup>
Min. odolnost proti mrazu a vodě		85 % hodnoty pevnosti v tlaku
Min. pevnost v příčném tahu $R_{it}$ <sup>2)</sup>	po 7 dnech	0,3 MPa
Odolnost proti mrazu a vodě (7 dní na vzduchu + 7 dní ve vodě)	po 14 dnech	70 % $R_{it}$

Vysvětlivky:

- 1) Doporučené požadavky pro směs z RSM před přidáním pojiva.
- 2) Zkouší se směs stmelená cementem podle ČSN EN 14227-1 včetně možnosti provedení stanovení pevnosti v příčném tahu. Pokud je výsledná pevnost v tlaku navržené směsi větší než 6 MPa, nemusí se provádět zkoušení odolnosti proti mrazu a vodě podle ČSN EN 14227-1 NA.
- 3) Třídy pevnosti podle ČSN EN 14227-1, ČSN EN 14227-2, ČSN EN 14227-3 a ČSN EN 14227-5.

#### 2.3.4 Vláknobeton

Nejvýhodnější náhrada přírodního kameniva je ze stavebního demoličního odpadu betonový, cihelný recyklát a směsný recyklát. Mají podobné materiálové charakteristiky jako přírodní těžené kamenivo. Vláknobeton je nový kompozit, ve kterém je přírodní kamenivo, které má funkci plniva, plně nahrazeno recykláty. Hlavními vstupními složkami pro výrobu vláknobetonu je kamenivo (recykláty), syntetická vlákna, cement a voda. Nevylučuje se přidávání dalších příměsí pro zlepšení zpracovatelnosti. Trvanlivost a spolehlivost vláknobetonové konstrukce se zaručí správným výběrem komponentů, vytypovaných pro konkrétní použití. Hlavní myšlenka výroby vláknobetonu vychází z efektivního zpracování

stavebně demoličního odpadu, proto není kladen velký důraz na kontrolování veškerých vlastností recyklátů. Nejvíce se sleduje hmotnostní charakteristiky, křivka zrnitosti a přítomnost cizorodých nebo zdravotně závadných látek. [3]

Při výrobě vláknobetonu je důležité používat recyklát z prověřeného recyklačního centra se zvýšenou kontrolou třídění cizorodých látek. Tyto látky, by negativně ovlivňovali samotný výrobek. Z hlediska návrhu je velký problém s proměnlivou objemovou hmotností. Používají se frakce 0/16 nebo 0/32. Úzké frakce (0/4, 4/8 mm) mají technologický náročnější proces třídění a drcení a tímto by nenaplněvalo hlavní myšlenku, kterou je efektivní zpracování stavebně demoličního odpadu. Pro výrobu vláknobetonu lze použít recyklát s čarou zrnitosti o větším rozptýlu, než při použití přírodního kameniva. Sleduje se obsah jemných částic, které jsou potřebné pro vytvoření tmelící složky. Dávkování široké frakce zaručí výrobu mezerovitého betonu a právě mezerovitost je předností vláknobetonu, nebo umožní výrobu kompozita na mobilních betonárnkách. [3]

Použití syntetických vláken je zapříčiněno velkou mezerovitostí, u které se použití kovových vláken vylučuje z důvodu možné koroze. Množství vláken vychází z experimentálních pokusů a stanovuje se na 0,5 – 1,0 % z celkového objemu a to odpovídá cca 4,5 – 9,1 kgm<sup>-3</sup>. Délka vláken musí být optimální, aby došlo k provázání hrubých a jemných zrn kameniva. Dostupná jsou polymerová vlákna v délkách do 55 mm, a proto se omezuje maximální zrno recyklátu na 16 mm. Polymerová vlákna dosahují vysokých pevností v tahu, okolo 650 MPa. Mnohem levnější alternativou použitých polymerových vláken se stávají vlákna z PET lahví. Nevýhodou je však výrazně nižší pevnost v tahu cca 50 – 80 MPa. Optimální délka vláken je mezi 60 a 90 mm o šířce 1 – 2 mm. Myšlenkou použití vláken z PET lahví je snaha vytvořit takřka 100 % recyklovaný výrobek. [3]

Používané pojivo je cement, který se dává od 150 – 400 kgm<sup>-3</sup>. Vodní součinitel je oproti betonu z přírodního kameniva vyšší v rozmezí 0,5 – 0,8 v závislosti na nasákavosti recyklátu. [3]

Předpokládaná oblast využití vláknobetonu se nabízí v podobě výztužných desek v zemních tělesech, ve vrstvách méně namáhavých vozovek nebo v konstrukcích protipovodňových hrází. „Jednou ze zmiňovaných variant možného použití kompozitu jsou ztužující vrstvy v zemních tělesech. Vložení vláknobetonových desek do zemního svahu přispívá k získání maximální subtilnosti, čímž lze získat značnou úsporu objemu zemních prací a k rovnoměrnému sedání násypu“ [3, s. 58].

Zkoušením stmelěných vrstev a vláknobetonem se ve své diplomové práci zabýval Ing. Radim Pokluda. Zkoušel několik směsí směsného recyklátu stmelěným hydraulickými

pojivy, do jedné směsi vzorků byly přidány vlákna z PET lahví. Práce se zabývala pevnostními charakteristikami zkoušených vzorků.

Označení zkoušených směsí je v tab. 2.17.

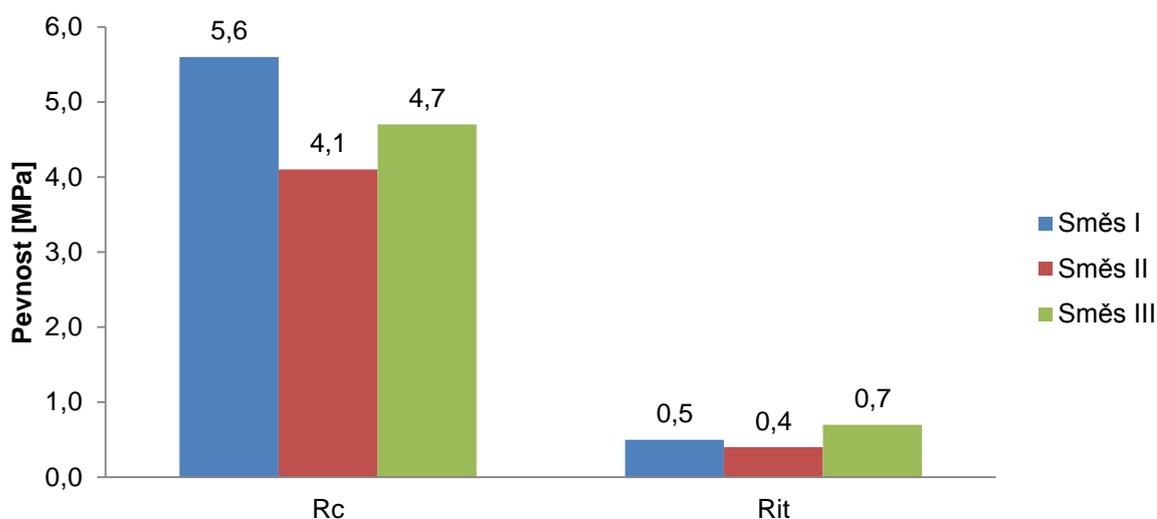
Tabulka 2.17 -Označení zkoušených směsí [14, s. 28]

Označení směsi	Recyklát	Pojivo		Druhotná surovina	
		Druh	Množství	Druh	Množství
I	směsný	CEM III/A 32,5 R	6 % hm.	-	-
II	směsný	DOROPORT TB 25	6 % hm.	-	-
III	směsný	CEM III/A 32,5 R	6 % hm.	vlákna z PET lahví	1 % hm.

Výsledky pevností v tahu a tlaku jsou uvedeny v tab. 2.18 v grafu 2.1.

Tabulka 2.18 -Výsledné pevnosti jednotlivých směsí [14, s. 46]

Směs	Pevnost v tlaku $R_c$			Pevnost v tahu $R_{it}$		
	Přetvoření [mm]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]	Přetvoření [mm]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]
I	1,48	44087	5,6	0,52	83282	0,5
II	1,49	32443	4,1	0,47	6868	0,4
III	2,47	37270	4,7	1,19	10219	0,7



Graf 2.1 – Výsledné pevnosti jednotlivých směsí [14, s. 46]

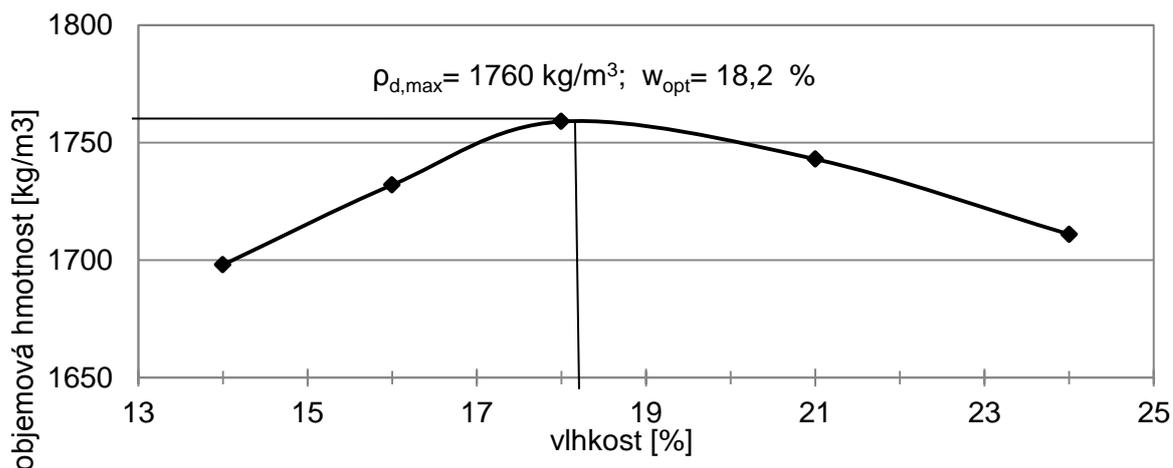
„ Z výsledků je patrné, že nejvyšší pevnosti v tlaku dosahuje referenční směs I. Přidáním druhotné suroviny došlo ke snížení pevnosti v tlaku  $R_c$ . Nejnižší pevnost podle očekávání dosáhla směs II, kde byl jako pojivo použit Doroport TB25. Tato skutečnost je dána pomalejším nárůstem pevnosti, jak ostatně uvádí samotný výrobce tohoto pojiva. Za zmínku stojí výrazné zvýšení hodnoty přetvoření při porušení zkušebních vzorků u směsi III, kde PET vlákna provázala jednotlivá zrna směsného recyklátu a zabránila rozpadu vzorku (fungovala jako výztuž)“ [14, s. 46].

### 2.3.5 Zkoušky

Zkoušky směsného recyklátu a směsí z něj vyrobeného jsou stejné jako u standardních (přírodních) materiálů. Zde jsou vybrány ty nejzásadnější pro zatřídění a použití směsného recyklátu.

**Zhutnitelnost.** Stanovení zhutnitelnosti se provádí v závislosti na vlhkosti zhutněné zeminy a objemové hmotnosti suché zeminy. Objemová hmotnost narůstá se zvyšující se vlhkostí do okamžiku, kdy množství vody nahrazuje pevné částice. Od té chvíle se objemová hmotnost snižuje. Okamžik přelomu nárůstu a klesání objemové hmotnosti je právě maximální míra zhutnění za optimální vlhkosti. „Pro zhutnění v laboratoři se dnes nejčastěji používá Proctorova metoda hutnění zeminy rázem s kruhovou základnou pěchu určité hmotnosti. Zemina dovezená do laboratoře se nejdříve vysuší, po vysušení se vzorek rozdělí na několik dílčích vzorků, z nichž se každý přivlhčí jiným množstvím vody. Tyto se pak zhutní pomocí pěchu, který váží 2,5 kg a dopadá z výšky 305 mm, do Proctorovy formy (malé o průměru 100 mm, velká s průměrem 150 mm). Hutní se 25 údery ve 3 vrstvách. Z hmotnosti zhutněné zeminy ve formě a známých rozměrů formy, se vypočítá objemová hmotnost vlhké zeminy, která se na základě zjištěné vlhkosti přepočítá na objemovou hmotnost suché zeminy. Ta se pak vynesou do grafu pro jednotlivé vlhkosti dílčích vzorků. Přes body v grafu se proloží křivka a z vrcholu křivky se odečte maximální hodnota objemové hmotnosti ( $\rho_{d, max}$ ) při optimální vlhkosti ( $w_{opt}$ ). Porovnáním objemové hmotnosti zhutněné zeminy ve vrstvě na stavbě s objemovou hmotností zjištěnou z Proctorovy zkoušky se stanoví míra hutnění. Např. u podloží násypu je tento poměr 92 %“ [5, s. 6-7].

Ukázka výsledku Proctorovy zkoušky pro písčité jíly je patrná v grafu 2.2.



Graf 2.2 - Ukázka výsledku zkoušky Proctor - Standard

**Stanovení únosnosti – kalifornský poměr únosnosti CBR.** Tato metoda byla původně vyvinuta jako funkční zkouška, simulující statické zatížení. Současně se zkouška provádí jako konvenční parametr únosnosti. Stanovení hodnoty CBR je základní parametr pro návrh netuhých vozovek. Zkouška porovnává pevnost zkoušené zeminy s pevností drceného materiálu a vyjadřuje se v procentech. Zhutněné vzorky neupravené zeminy před zkouškou CBR saturují 4 dny pod vodou. Upravené vzorky se nechají 3 dny zrát na vzduchu a poté stejně jako neupravené zeminy saturují 4 dny pod vodou. „Zkouška se provádí tak, že ocelový trn o průměru 50 mm se zatlačuje do povrchu zeminy zhutněné v CBR-formě. Rychlost penetrace ocelového trnu je 1,27 mm/min. Hodnota CBR v % je pak poměr síly, kterou je nutno vyvinout k zatlačení trnu do výše uvedené hloubky k známé síle potřebné k zatlačení trnu do vztažného materiálu“ [7, s. 7].

*Rovnice 1 - Kalifornský poměr únosnosti [7]*

$$\text{CBR} = \left( \frac{F}{F_{\text{STANDARD}}} \right) \times 100 [\%] \quad (1)$$

kde  $F$  je síla při penetraci 2,5mm a 5,0mm [kN];

$F_{\text{STANDARD}}$  je síla tabulkové hodnoty uvedená v normě ČSN EN 13286-47 [kN]

„Z hodnoty CBR se často odvozuje modul pružnosti materiálu podloží. V literatuře lze najít převodní vztah k modulu pružnosti podloží. Vztahy jsou obecné a ne vždy se hodí pro každý zkoušený materiál. Přesnější modul pružnosti se zjistí z cyklické zatěžovací zkoušky“ [7, s. 7].

Rovnice 2 - Vztah pro stanovení modulu pružnosti var. A [7]

$$E \cong 10 \times \text{CBR} [\text{MPa}] \quad (2)$$

kde CBR je kalifornský poměr únosnosti [%]

Pozn.: Rovnice je v hodná pro materiál s hodnotou CBR > 50 %

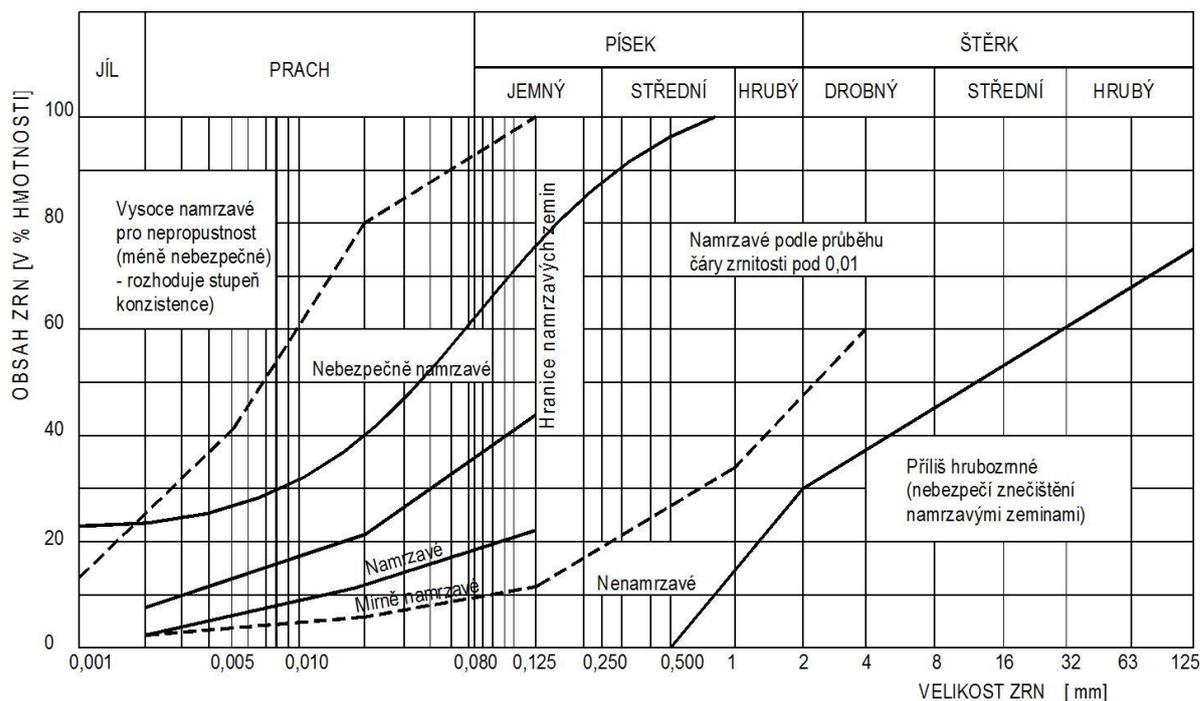
Rovnice 3 - Vztah pro stanovení modulu pružnosti var. B [7]

$$E \cong 17,6 \times \text{CBR}^{0,64} [\text{MPa}] \quad (3)$$

kde CBR je kalifornský poměr únosnosti [%]

Pozn.: Rovnice je v hodná pro materiál s hodnotou CBR ≤ 10 %

**Nepřímá metoda namrzavosti – Scheibleho zrnitostní kritérium.** „Nebezpečí zdvihu vlivem mrazu je stanoveno podle obsahu jemných částic. Scheibleho kritérium: zemina je namrzavá, pokud množství částic menších jak 0,002 mm je větší jak 3 %, zemina je nebezpečně namrzavá, pokud množství částic menších jak 0,06 mm je větší jak 35 %. [7, s. 8]



Graf 2.3 – Scheibleho kritérium namrzavosti [7, s. 8]

**Namrzavost – přímá metoda.** Přímá metoda namrzavosti patří do skupiny funkčních zkoušek. Simuluje prostředí v podloží vozovky při vysoké hladině podzemní vody. Dále simuluje promrzání vozovky v chladných a zároveň vlhkých měsících roku. Zkouška doplňuje

Scheibleho kritérium a provádí se na zeminách, zlepšených zeminách a materiálech které mají obsah jemných částic menších než 0,125 mm více jak 5 %. Pro vyhodnocení metody A se používá lineární vztah mezi zdvihem vzorku a mezi přírůstkem druhé odmocniny indexu mrazu. Zdvih je zapříčiněn tvorbou ledových čoček v průběhu zkoušky. Míra namrzavosti se vyjádří pomocí součinitele  $\beta$ . [13]

Metoda B se používá při zkoušení namrzavosti upravených pojivy je příprava vzorků stejná jako u metody A. Vzorky se nechají zrát 28 dní, aby dosáhly předepsaných pevností.

Průběh zkoušky je následující. „Čtyři měřící buňky, ve kterých jsou umístěny zkoušené vzorky, se uloží do chladicího boxu. V chladicím boxu se udržuje teplota  $(5 \pm 1) ^\circ\text{C}$ . Vzorek se shora ochlazuje teplotou  $(- 4 \pm 1) ^\circ\text{C}$ . Spodní plocha vzorku a voda v pórovité desce mají kladnou teplotu, která je o něco nižší než teplota v chladicí skříni,  $(2 \pm 1) ^\circ\text{C}$ . Ochlazování probíhá po dobu 5 dnů, v průběhu se měří časový průběh zdvihu v milimetrech“ [13, s. 2].

Kritéria míry namrzavosti zemin a jiných materiálů udává tab. 2.19.

*Tabulka 2.19 – Kritérium namrzavost [13, s. 3]*

Míra namrzavosti	Průměrná hodnota $\beta$
Nenamrzavé	$< 0,25$
Namrzavé	$0,25 - 0,5$
Nebezpečně namrzavé	$> 0,5$

**Pevnost v tlaku** se zkouší na směsích stmelých hydraulickým pojivem, které se všeobecně používají v podkladních vrstvách, spodních podkladních vrstvách a v podloží vozovky. Podstatou zkoušky je vystavit zkušební těleso takové síle, která způsobí porušení. Maximální zatížení při porušení se zaznamená a vypočítá se pevnost v tlaku. Zkušební tělesa mohou být válcová nebo krychlová s rozměry od 50 mm (průměr) a do 300 mm (výška). Výroba zkušebních těles se provádí podle normy EN 13286-50, EN 13286-51, EN 13286-52 nebo EN 13286-53. Zvážená a osušená tělesa se uloží do zkušebního lisu na čistou dosedací podložku. Zatěžování musí být plynulé bez rázů a nastavené tak aby došlo k porušení tělesa v průběhu 30 až 60 sekund po zahájení zatěžování. [20]

Rovnice 4 - Pevnost v tlaku [20]

$$R_c = \frac{F}{A_c} [\text{MPa}] \quad (4)$$

kde  $F$  je maximální síla při porušení zkušební tělesa [N];

$A_c$  je plocha průřezu zkušební tělesa [ $\text{mm}^2$ ]

**Odolnost proti mrazu a vodě** se stejně jako pevnost v tlaku zkouší zejména u stmelovaných směsí. „Příprava směsí, výroba zkušebních těles a způsob zrání jsou stejné jako u zkoušky pevnosti v tlaku. Po skončení 28denního zrání se zkušební tělesa umístí na plstěnou podložku částečně ponořenou ve vodě a nechají se kapilárně nasytit do ustálené hmotnosti tak aby přírůstek hmotnosti po dobu 1 hodiny nepřekročil 1 %. Přitom zkušební tělesa nesmí přijít do přímého styku s vodou. Pak se uloží do mrazicí skříně na dobu  $(6 \pm 0,5)$  hodin při teplotě  $(- 20 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$ . Po zmrazení se zkušební tělesa z mrazicí skříně vyjmou a uloží na dobu  $(18 \pm 0,5)$  hodin opět na plstěnou podložku částečně ponořenou ve vodě, aby bylo umožněno jejich další kapilární nasycování. Současně s tím probíhá rozmrazování při teplotě  $+ 20 \text{ }^\circ\text{C}$  až  $+ 25 \text{ }^\circ\text{C}$ . Zkouška pokračuje novým zmrazením a opakuje se v předepsaném počtu cyklů nejméně na 3 zkušebních tělesech. Po skončení posledního cyklu se zkouší pevnost v tlaku podle ČSN EN 13286-41“ [21, s. 31].

### 2.3.6 Problematické vlastnosti

Vlastnosti směsného recyklátu se liší podle zdroje surovin, podle způsobu výroby, skladování a přepravy. Vstupní suroviny ovlivňují vlastnosti nejvíce, je třeba si dát pozor zejména na ty problematické a brát je v potaz. Tyto vlastnosti rozhodují o použitelnosti směsného recyklátu do pozemních komunikací.

**Obsah nebezpečných látek.** Problematická vlastnost, kterou mají veškeré recyklované materiály, je obsah cizorodých látek hlavně těch životu nebezpečných. Tato vlastnost rozhoduje o použití recyklovaného kameniva. Vhodnost použití se podle ekologického hlediska prokazuje chemickým složením a podle obsahu škodlivých látek a možnosti jejich vylučování do okolního prostředí. Stanovuje se obsah těchto látek v sušině a ve výluhu, limity jsou dané vyhláškou 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu. V rámci evropské unie není jednotný systém pro hodnocení environmentálních vlivů, třídění a zkoušky recyklovaného kameniva. [15]

Srovnání legislativních limitů ve stavebních odpadech v České republice a v zahraničí je v tab. 2.20.

Tabulka 2.20 – Srovnání legislativních limitů ve stavebních odpadech [15, s. 20]

	ČR	Belgie	Finsko	Dánsko		Rakousko			Švédsko
Sušina				CAT 1	CAT 2 CAT 3	A+	A	B	
Jednotka	[mg/ kg]								
Kovy									
Arsen	10	-	50	0-20	>20	20	30	30	10
Chrom	200	1250	400	0-500	>500	40	90	90	40
Kadmium	1	10	10	0-0,5	>20	0,5	1,1	1,1	0,2
Měď	-	375	400	0-500	>500	30	90	90	40
Nikl	80	250	-	0-30	>30	30	55	55	35
Olovo	100	1250	300	0-40	>40	30	100	100	20
Rtuť	0,1	5	-	0-1	>1	0,2	0,7	0,7	0,1
Vanad	180	1250	700	0-500	>500	100	450	450	-
Zinek	-	450	700	0-500	>500	100	450	450	120
Ostatní									
PAU	6	-	20	-	-	4	12	20	-
PCB	0,2	0,5	1	-	-	-	-	-	-

Vysvětlivky:

PAU – polycyklické aromatické uhlovodíky (suma antracenu, benzo(a)antracenu, benzo(a)pyrenu, benzo(b)fluoranthenu, benzo(ghi)perylenu, benzo(k)fluoranthenu, fluoranthenu, fenanthrenu, chrysenu, indeno(1,2,3 cd)pyrenu)

PCB – polychlorované bifenyly

CAT - kategorie recyklátů rozlišených podle podmínek použití (viz odstavec 2.3.7 Zahraniční použití)

**Odolnost proti drcení (otlukovost).** Směsný recyklát obsahuje vyšší obsah jemných částic a cihelné střepy. Přítomnost těchto látek snižuje odolnost proti otluku. Odolnost proti drcení zkouškou Los Angeles (LA) se u směsných recyklátů pohybuje okolo 60 až 70 %. Oproti přírodnímu kamenivu je odolnost velmi malá, maximální hodnota LA přírodního kameniva je 40 % v ojedinělých případech 50 %. [8]

### 2.3.7 Zahraniční použití

Přesné porovnání použití směsného recyklátu s ostatními státy je obtížné. Každý stát klasifikuje směsný recyklát jiným způsobem, některé ho klasifikují jako recyklát cihelný, jiné zase jako stavebně demoliční suť. Zde je alespoň uvedena produkce, míra recyklace a orientační použití ve vybraných státech.

**Švédsko** klasifikuje stavebně demoliční odpad jako konkrétní druh průmyslového odpadu. Produkce stavebně demoličního odpadu se ve Švédsku pohybuje okolo 1,5 – 2,0 milionů tun ročně. Ve výstavbě pozemních komunikací se však používá v malé míře a to jako zásypový materiál, materiál do podloží nebo na některých testovacích úsecích. [18]

**Dánsko** dělí recykláty do 3 kategorií. Každá kategorie má předepsáno, kdy a za jakých podmínek smí být materiál z dané kategorie použit. Limitní hodnoty obsahu škodlivých látek uvádí tabulka č. 2.20. „Materiály kategorie 1 nepotřebují žádné schválení pro použití. Materiály z kategorie 2 potřebují povolení s výjimkou těch, co obsahují zákonem schválený asfalt, drcený beton, popel a létavý popílek, popel z WTE. Materiály z kategorie 2 nesmí být použity blíže, než 20 metrů od pitné vody dále pak nesmí být použity v nezpevněné vrstvě s větší mocností než 0,3 metru nebo ve vrstvě s větší mocností než 1 až 2 metry pod dlážděným povrchem. Materiály z kategorie 3 musí být komplexně přezkoumány a pak je rozhodnuto o jejich použití“ [19, s. 4].

Celková produkce odpadu v Dánsku se pohybuje okolo 4,2 milionů tun ročně. Z toho je 1,5 milionu tun cihelná a betonová suť a přibližně 20 % z této produkce skončí na skládce. Směsný recyklát je v Dánsku použit nejvíce jako materiál do podloží a jako zásyp, dále je podmíněčně vhodný pro násyp silničního tělesa. [18]

**Německo** ročně produkuje okolo 23 milionů tun smíšené stavební suti. Ta je dále použita pro akustické bariéry, nezpevněné plochy a komunikace, do násypů, dále pro stabilizaci zeminy a za určitých podmínek vhodné pro nestmelené podkladní směsi. Využití stavební suti v pozemních komunikacích je 17 % z celkové produkce. [18]

**Nizozemí** vyprodukuje za rok 9,2 milionů tun stavebně demoličního odpadu a ten se všechen využije v nizozemských silnicích. 9 milionů tun pro podkladní vrstvy a zbylých 0,2 tun do betonu. [18]

### 3 PRAKTICKÁ ČÁST

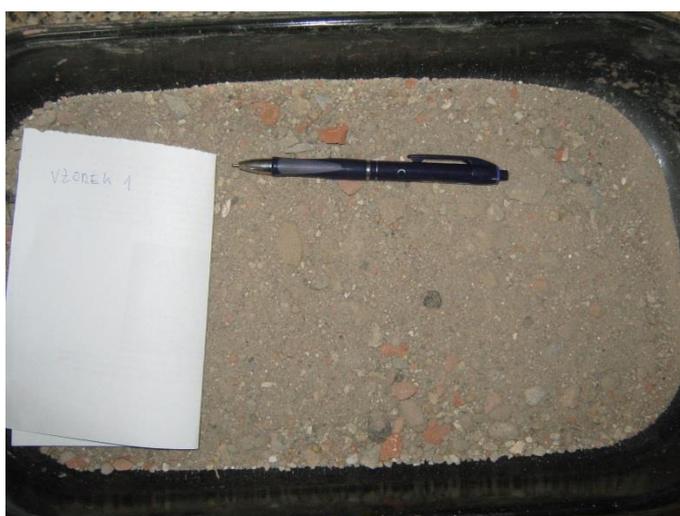
Praktická část práce navazuje na teoretické poznatky a zabývá se dvěma hlavními body. V prvním ověřuje směsný recyklát jako náhradu nevhodné zeminy. Recyklát klasifikován podle normy ČSN 73 6133, jako zemina vhodná do násypu a do podloží vozovky (aktivní zóny). Ověřuje se únosnost doplněná namrzavostí nepřímou metodou samotného směsného recyklátu, směsného recyklátu s nevhodnou (nahrazenou) zeminou a recyklátu zlepšeného cementem. Druhý bod je věnovaný hydraulicky stmeleným směsím, kde se ověřuje pevnost směsného recyklátu stmeleného cementem v prostém tlaku s odolností proti mrazu a vodě. Pevnost v tlaku je významný faktor ovlivňující použití stmelených směsí do konstrukčních vrstev vozovky.

#### 3.1 POUŽITÉ MATERIÁLY

##### 3.1.1 Směsný recyklát

Pro ověření možnosti použití druhotných surovin do podloží vozovky byl zvolen směsný recyklát získaný z recyklační linky DUFONEV R. C., a. s. v Brně – Černovicích. Recyklát obsahoval převážně zeminy, ve které se nacházeli zbytky betonu, zdiva, malty, částečně i keramické střeby a ojediněle zbytky dřeva, asfaltu a polyuretanové pěny. Pro laboratorní zkoušení se směsný recyklát ručně přesel na frakci 0/16. Prodejní cena frakce 0/16 na lince DUFONEV R. C., a. s. je 5 Kč/t bez DPH (cena aktuální k 1. 1. 2014). [22]

Pozn.: Cena 5 Kč/t bez DPH byla potvrzena panem Ing. Martinem Vajdíkem, vedoucím střediska Černovice.



Obrázek 3.1 – Směsný recyklát frakce 0/16

### 3.1.2 Nevhodná zemina

Jako nevhodná zemina v podloží vozovky byla vybrána zemina klasifikována jako jíla se střední plasticitou (F6Cl). Tato zemina se podle normy ČSN 73 6133 dá použít do násypu jen podmíněně, ale nedá se použít do aktivní zóny.



Obrázek 3.2 – Jíla se střední plasticitou (F6Cl)

### 3.1.3 Pojivo

Jako pojivo byl zvolen směsný cement s označením CEM V/A (S-V) 32,5 R s obsahem slínku, vysokopecní strusky, křemičitého úletu, přírodních pucolánů a křemičitého popílku. Zaručená 7denní pevnost v tlaku použitého cementu je  $\geq 16$  MPa.

## 3.2 ÚPRAVA NEVHODNÉ ZEMINY

Tato kapitola práce je zaměřena na porovnání, okamžitého indexu únosnosti a kalifornského poměru únosnosti na třech zkušebních směsích (viz kapitola 3.2.1). Nejprve se zjistila zrnitost reprezentativních vzorků směsného recyklátu frakce 0/16. Dále se určila zrnitost směsného recyklátu smíchaného s nevhodnou zeminou. Následovalo zjištění zhutnitelnosti při optimální vlhkosti a výroba zkušebních těles pro zkoušku IBI a  $CBR_{SAT}$ . Dále byla zjištěna namrzavost nepřímou metodou pomocí Scheibleho kritéria.

### 3.2.1 Navržené směsi

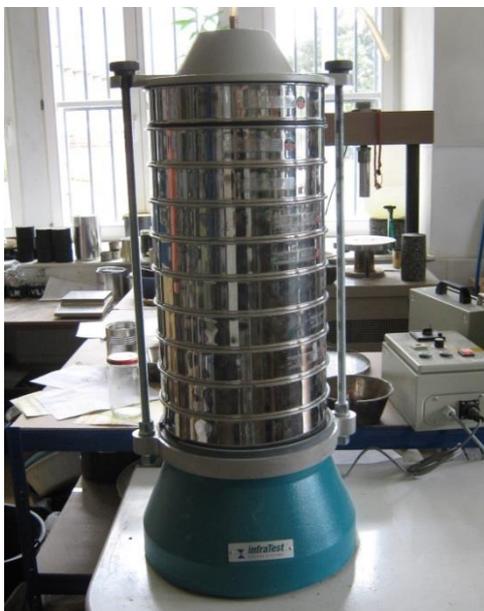
Pro úpravu nevhodné zeminy (F6Cl) byly navrženy 3 zkušební směsi. První směs se skládala ze samotného směsného recyklátu, druhá směs obsahovala směsný recyklát a jíla se střední plasticitou. V poslední směsi byl použit směsný recyklát s hydraulickým pojivem jako zlepšená zemina. Pro přehlednost jsou jednotlivé směsi uvedeny v tab. 3.1.

Tabulka 3.1 – Přehled zkoušených směsí

Směs	Recyklát	Pojivo		Zemina	
		Druh	Množství	Druh	Množství
I	Směsný	-	-	-	-
II	Směsný	-	-	F6CI	50 % hm.
III	Směsný	CEM V/A (S-V) 32,5 R	1 % hm.	-	-

### 3.2.2 Zrnitost

Zkouška probíhala v souladu s platnou normou ČSN CEN ISO/TS 17892-4. Nejprve se odebraný vzorek při teplotě  $105 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ , dále se rozdělil na dvě části o stejné hmotnosti (1 kg). Následovalo proplachování přes síta o velikosti ok 2 mm a 0,063 mm pro stanovení obsahu jemných částic ( $< 0,063 \text{ mm}$ ). Proplachování se ukončilo, jakmile odplavovaná voda byla téměř čistá. Po dalším vysušení do ustálené hmotnosti začalo prosévání na sítích s velikostí ok uvedené v příloze A. Bylo použito mechanické prosévání, které se doplnilo ručním prosetím pro snížení možné chyby výsledku. Zaznamenali se hmotnosti materiálu na jednotlivých sítích a vyhodnotila se křivka zrnitosti.

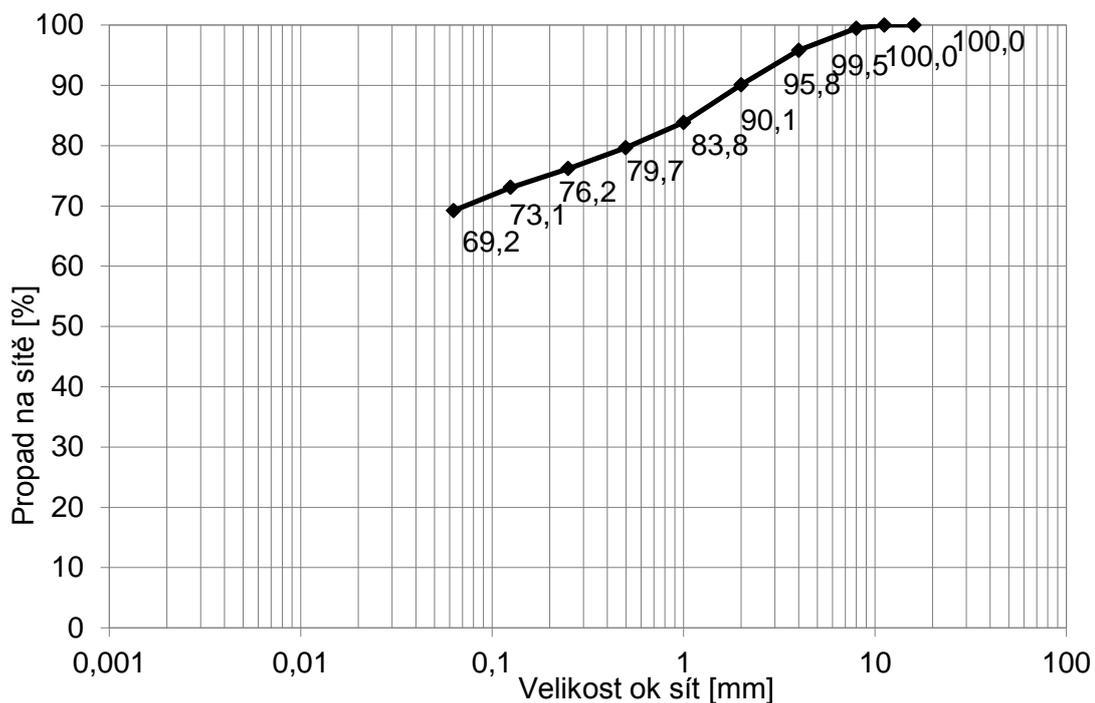


Obrázek 3.3 – Sada zkušebních sítí v mechanickém prosévači



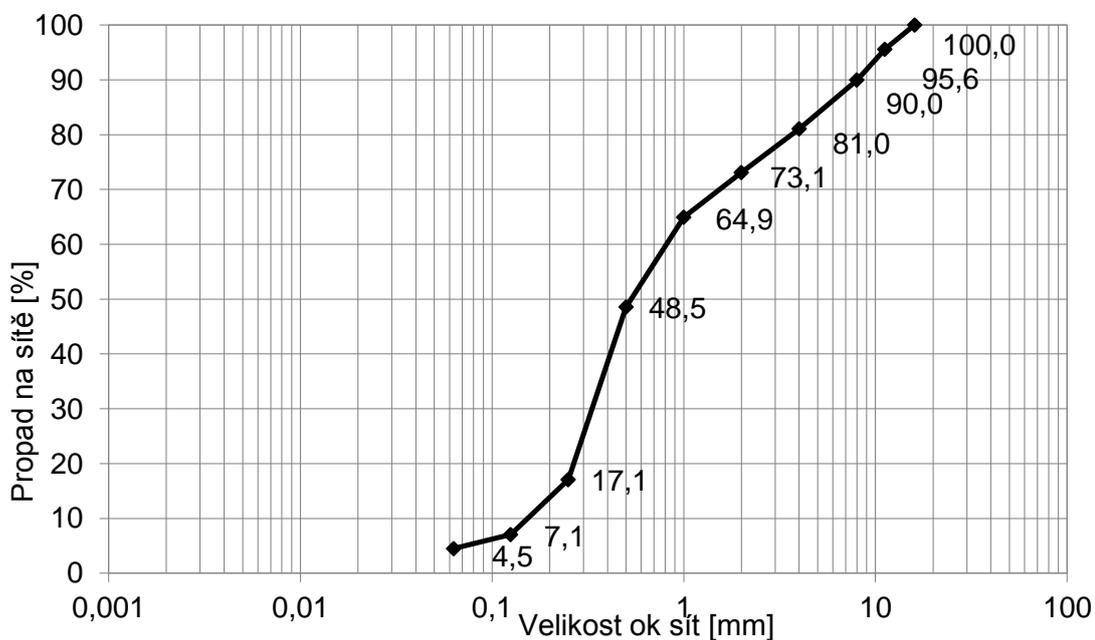
Obrázek 3.4 – Horkovzdušná sušící komora

### Zemina F6CI



Graf 3.1 – Křivka zrnitosti zeminy F6CI [17, s. 81]

### Směs I



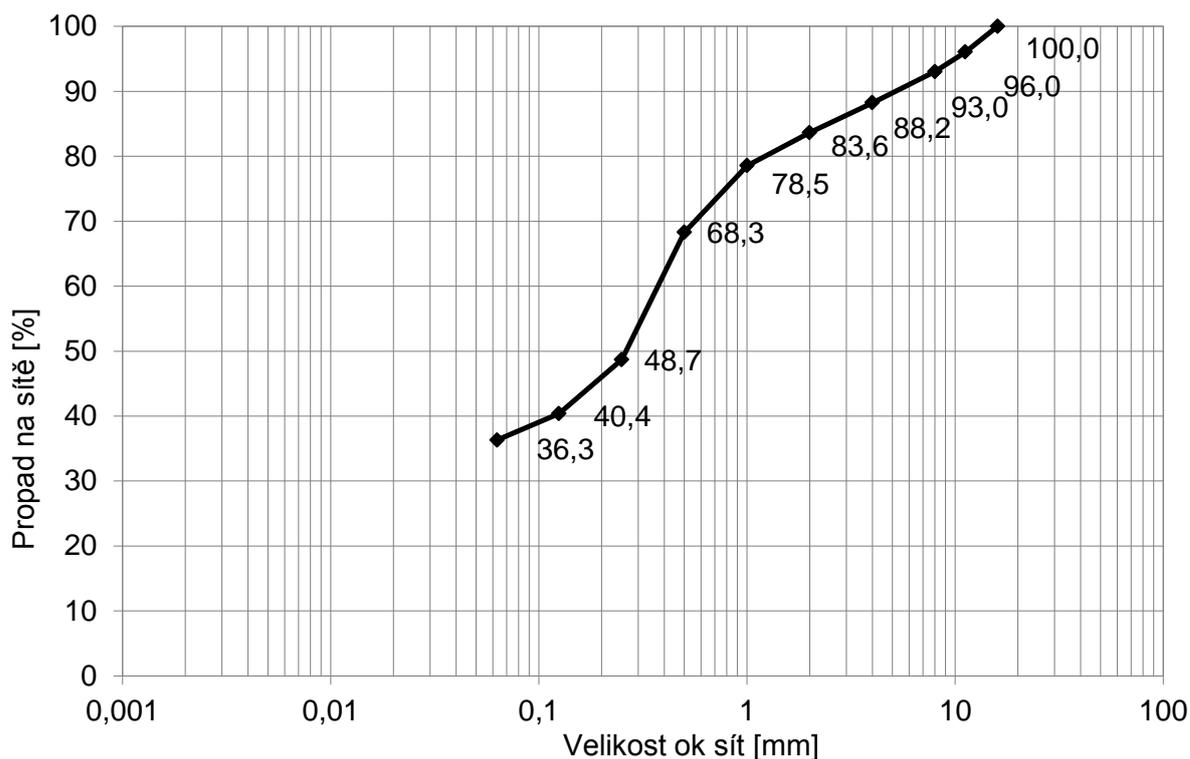
Graf 3.2 – Křivka zrnitosti směsného recyklátu

Pozn.: Křivka zrnitosti uvedená v grafu 3.2 je získaná průměrem ze dvou zkušebních vzorků.

Obsah jemných částic menších než 0,063 mm byl stanoven na 4,5 %, obsah písčité složky (< 2 mm) 68,6 % a obsah šterkovité složky (> 2 mm) 26,9 %. Zatříděním podle normy ČSN 73 6133 odpovídá směsný recyklát zemině která je klasifikována jako písek se špatnou zrnitostí (S1 SP). Tato zemina je vhodná do násypu a do podloží vozovky (aktivní zóny).

## Směs II

Postup zkoušky je totožný jako u směsi I. Křivka zrnitosti směsného recyklátu s obsahem 50 % hm. F6CI uvedená v grafu 3.3 je získaná průměrem ze dvou zkušebních vzorků.



Graf 3.3 – Křivka zrnitosti směsného recyklátu se zeminou F6CI

Obsah jemných částic menších než 0,063 mm byl stanoven na 36,3 %, obsah písčité složky (< 2 mm) 47,3 % a obsah šterkovité složky (> 2 mm) 16,4 %. Zatříděním podle normy ČSN 73 6133 odpovídá směsný recyklát se zeminou F6CI zemině, která je klasifikována jako písčité jílo (F4 CS). Tato zemina je vhodná do násypu a podmíněčně vhodná do podloží vozovky (aktivní zóny).

Pozn.: Zrnitost zkušební směsi III se nezjišťovala. Nepředpokládá se velké odchýlení od křivky zrnitosti směsného recyklátu ze zkušební směsi I.

### 3.2.3 Zhutitelnost

Zhutitelnost byla provedena Proctorovou zkouškou podle normy ČSN EN 13286-2 s hutnícím pěchem o hmotnosti 2,5 kg (typ A) v Proctorově moždíři A o průměru 100 mm a výšce 120 mm. Pěch dopadal z výšky 305 mm a hutnil 3 stejně velké vrstvy 25 úderů. Celkem 75 úderů. Po hutnění byl materiál zarovnan s horní hranou moždíře a zvážen. Následovalo odstranění formy a odebrání materiálu přibližně ze středu vzorku do předem zvážených váženek. Zaznamenala se hmotnost vlhkého vzorku s váženou, po následném vysušení do ustálené hmotnosti se zaznamenala hmotnost suchého vzorku s váženou a hodnota se zaznamenala. Pro zjištění zhutitelnosti bylo namícháno 5 dílčích vzorků s odlišným množstvím vody a postup se opakoval. Vypočítala se vlhkost vzorku a objemová hmotnost suchého zhutněného materiálu. Tyto hodnoty se vynesly do grafu, ze kterého se odečetla optimální vlhkost ( $w_{opt}$ ) při maximální objemové hmotnosti ( $\rho_{d max}$ ).



Obrázek 3.5 – Hutnící přístroj Proctor  
Standard



Obrázek 3.6 – Zhutněný vzorek

## Vyhodnocení zkoušky

Objem Proctorova moždíře (A):  $V = 942 \text{ cm}^3$

Hmotnost Proctorova moždíře (A) a základní desky:  $m_1 = 6,432 \text{ kg}$

*Rovnice 5 – Objemová hmotnost vlhkého materiálu [23, s. 25]*

$$\rho = \frac{(m_2 - m_1)}{V} \times 1000 \text{ [kgm}^{-3}\text{]} \quad (5)$$

kde  $V$  je objem zhutněného materiálu [ $\text{cm}^3$ ];

$m_1$  hmotnost moždíře a základní desky [g];

$m_2$  hmotnost moždíře, základní desky a zhutněného materiálu [g]

*Rovnice 6 – Vlhkost vzorku [23, s. 25]*

$$w = \frac{(m_w - m_d)}{m_d} \times 100 \text{ [%]} \quad (6)$$

kde  $m_w$  hmotnost vlhkého materiálu [g], kde  $m_w = m_2 - m_1$ ;

$m_1$  hmotnost moždíře a základní desky [g]

$m_2$  hmotnost moždíře, základní desky a zhutněného materiálu [g]

$m_d$  hmotnost vysušeného materiálu [g]

*Rovnice 7 – Objemová hmotnost zhutněného suchého materiálu [23, s. 25]*

$$\rho_d = \frac{\rho}{(w+100)} \times 100 \text{ [kgm}^{-3}\text{]} \quad (7)$$

kde  $w$  vlhkost [%]

$\rho$  objemová hmotnost vlhkého materiálu [ $\text{kgm}^{-3}$ ]

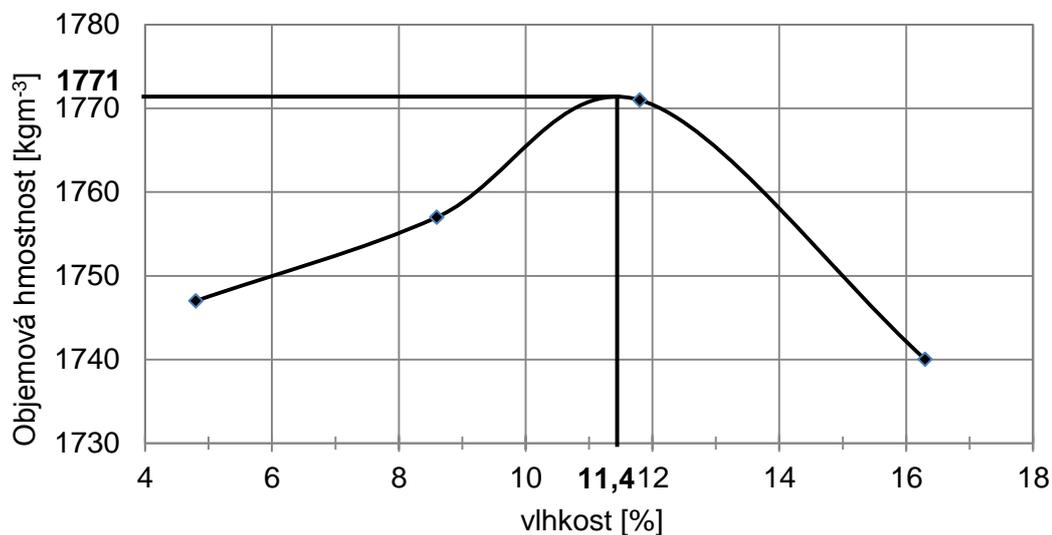
## Směs I

Tabulka 3.2 – Proctorova zkouška - směsný recyklát

Hmotnost materiálu v mozdíři	Hmotnost váženky	Hmotnost vlhkého materiálu bez váženky	Hmotnost suchého materiálu bez váženky	Vlhkost	Průměrná vlhkost	Objemová hmotnost vlhké zeminy	Objemová hmotnost suché zeminy
[kg]	[g]	[g]	[g]	[%]	[%]	[kgm <sup>-3</sup> ]	[kgm <sup>-3</sup> ]
1,725	18,6	54,2	51,5	5,2	<b>4,8</b>	1831	<b>1747</b>
	14,9	54,2	51,9	4,4			
1,797	18,8	52,7	48,5	8,7	<b>8,6</b>	1908	<b>1757</b>
	18,4	53,6	49,4	8,5			
1,865	18,5	53,3	47,7	11,7	<b>11,8</b>	1980	<b>1771</b>
	18,6	57,6	51,6	11,8			
1,907	18,6	70,0	59,8	17,1	<b>16,3</b>	2024	<b>1740</b>
	17,5	62,2	53,8	15,6			

Pozn.: Jeden zkušební vzorek byl ze zkoušky vyřazen, měl vyšší hmotnost než ostatní vzorky, patrně z důvodu špatně očištěné formy.

Pozn.: Hodnoty v tabulce uvedené tučně, jsou vyneseny v následujícím grafu.



Graf 3.4 – Zhutnitelnost směsného recyklátu

Maximální objemová hmotnost směsného recyklátu:  $\rho_{d \max} = 1770 \text{ kgm}^{-3}$  (zaokrouhleno)

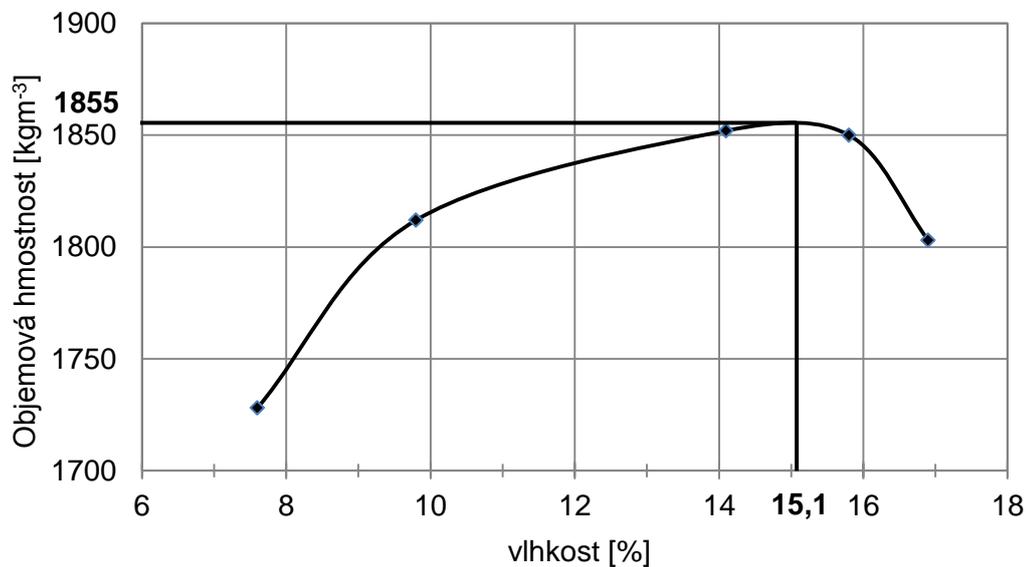
Optimální vlhkost směsného recyklátu:  $w_{\text{opt}} = 11,4 \%$

## Směs II

Tabulka 3.3 – Proctorova zkouška - směsný recyklát se zeminou F6C1

Hmotnost materiálu v moždíři	Hmotnost váženky	Hmotnost vlhkého materiálu bez váženky	Hmotnost suchého materiálu bez váženky	Vlhkost	Průměrná vlhkost	Objemová hmotnost vlhké zeminy	Objemová hmotnost suché zeminy
[kg]	[g]	[g]	[g]	[%]	[%]	[kgm <sup>-3</sup> ]	[kgm <sup>-3</sup> ]
1,874	18,6	46,1	42,2	9,2	<b>9,8</b>	1898	<b>1811</b>
	16,5	50,0	45,3	10,4			
1,990	16,6	44,2	38,8	13,9	<b>14,1</b>	2113	<b>1852</b>
	18,5	44,9	39,3	14,2			
2,019	18,8	41,8	36,2	15,5	<b>15,8</b>	2143	<b>1850</b>
	17,5	42,3	36,4	16,2			
1,985	18,6	49,2	42,4	16,0	<b>16,9</b>	2107	<b>1803</b>
	15,0	50,6	43,0	17,7			
1,751	18,4	50,6	46,7	8,4	<b>7,6</b>	1859	<b>1728</b>
	16,5	51,6	48,3	6,8			

Pozn.: Hodnoty v tabulce uvedené tučně, jsou vyneseny v následujícím grafu.



Graf 3.5 – Zhutnitelnost směsného recyklátu se zeminou F6C1

Maximální objemová hmotnost směsného recyklátu se zeminou F6C1:  $\rho_{d \max} = 1860 \text{ kgm}^{-3}$

Optimální vlhkost směsného recyklátu s nevhodnou zeminou:  $w_{\text{opt}} = 15,1 \%$

### 3.2.4 Hodnota IBI a $CBR_{sat}$

Hodnoty okamžitého indexu únosnosti (IBI) a kalifornského poměru únosnosti ( $CBR_{sat}$ ) byly stanoveny na základě zkoušek popsanych v normě ČSN EN 13286-47. Pro každou směs byl připraven zkušební vzorek, který byl hutněn pēchem o hmotnosti 2,5 kg při optimální vlhkosti do Proctorovy formy B o průměru 150 mm a výšky 120 mm. Hutnily se 3 stejně velké vrstvy 56 úderů, z toho 8 směřovalo na střed formy. Celkem 171 úderů z výšky 305 mm pro jeden vzorek. Po hutnění se zarovnal horní hrana vzorku a zaznamenala se hmotnost vzorku včetně formy. Ihned po zvážení byla provedena zkouška IBI. Vzorek se i s formou položil do lisu InfraTest ve firmě CONSULTTEST s. r. o. na očištěnou podložku. Válcový píst se rychlostí 1,27 mm/min. začal zatlačovat do vzorku a zaznamenávali se hodnoty sil při penetracích s krokem po 0,5 mm.

Po skončení zkoušky IBI byl vytlačený materiál vpraven zpět do formy, která se po obrácení umístila do nádoby s vodou, kde byl vzorek saturován po dobu 4 dnů. Forma ležela na děrované podložce s geotextilií a ze shora byl materiál přitížen pro simulování nadloží.

Pozn.: Vzorek stmelovaný cement ze směsi III byl před saturací umístěný 3 dny v komoře při ustálené teplotě a vlhkosti.

Pozn.: U směsného recyklátu s nevhodnou zeminou se předpokládá bobtnání způsobeným obsahem jílu ve vzorku. Z toho důvodu se při saturaci osadil indikátor zdvihu. Zdvih byl 0,13 mm a nijak neovlivnil zkoušku  $CBR_{sat}$ .

Zkouška  $CBR_{sat}$  probíhá obdobně jako u zkoušky IBI, s tím rozdílem že na horní povrch vzorku je umístěno závaží o hmotnosti 4,5 kg. Před zkouškou se vzorky vyndali z vody a nechali po dobu 15 odkapat.

Hodnoty sil v závislosti na penetraci se vynesli do grafu a spojili křivkou. Křivkám se provedla korekce předepsaným postupem v normě ČSN EN 13286-47. Průběhy měření jednotlivých zkušebních směsí jsou uvedeny v příloze B.



Obrázek 3.7 – Průběh zkoušky IBI



Obrázek 3.8 – Průběh zkoušky  $CBR_{sat}$

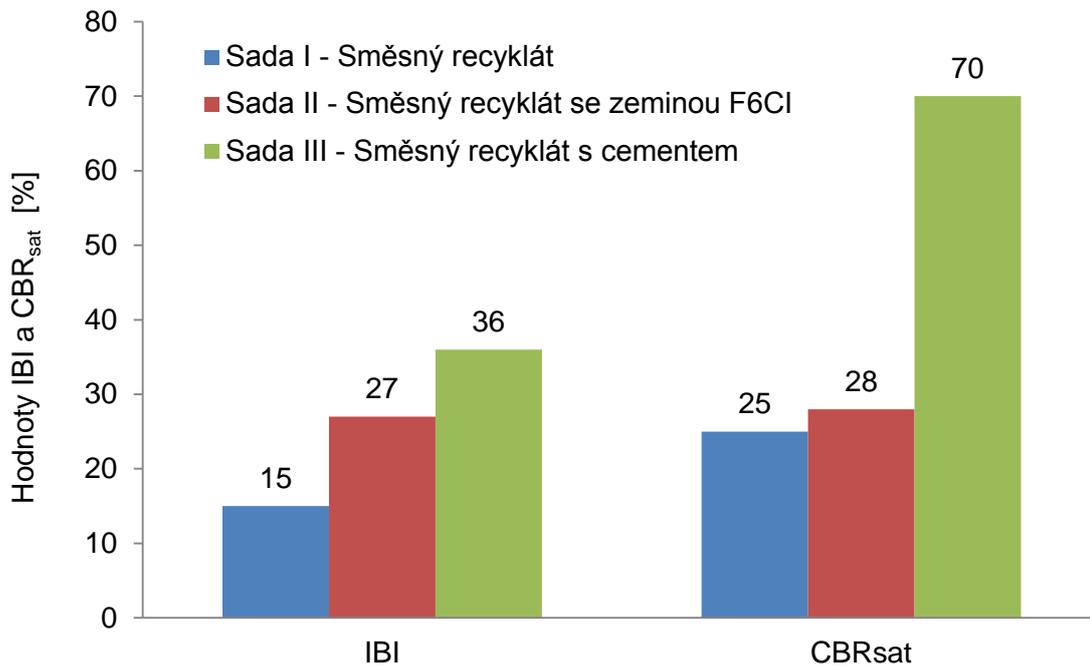
### Vyhodnocení zkoušky

Podle opravených křivek se odečetli síly při penetracích 2,5 mm a 5 mm. Hodnoty se vypočítaly podle rovnice 1, kde síla  $F_{STANDARD}$  je u penetrace 2,5 mm 13,2 kN, u penetrace 5 mm 20 kN. Rozhoduje vyšší ze dvou získaných hodnot. Výsledky jednotlivých směsí jsou uvedeny v následující tabulce a grafu.

Tabulka 3.4 – Výsledky zkoušky IBI a  $CBR_{sat}$

Směs	Penetrace	Síla $F_{STANDARD}$	Okamžitý index únosnosti		Kalifornský poměr únosnosti	
			Síla	IBI	Síla	$CBR_{sat}$
	[mm]	[kN]	[kN]	[%]	[kN]	[%]
I	2,5	13,2	1,6	12	2,6	20
	5,0	20,0	2,9	<b>15</b>	5,0	<b>25</b>
II	2,5	13,2	3,2	24	3,7	<b>28</b>
	5,0	20,0	5,4	<b>27</b>	5,1	26
III	2,5	13,2	4,7	<b>36</b>	8,0	61
	5,0	20,0	5,8	29	14,0	<b>70</b>

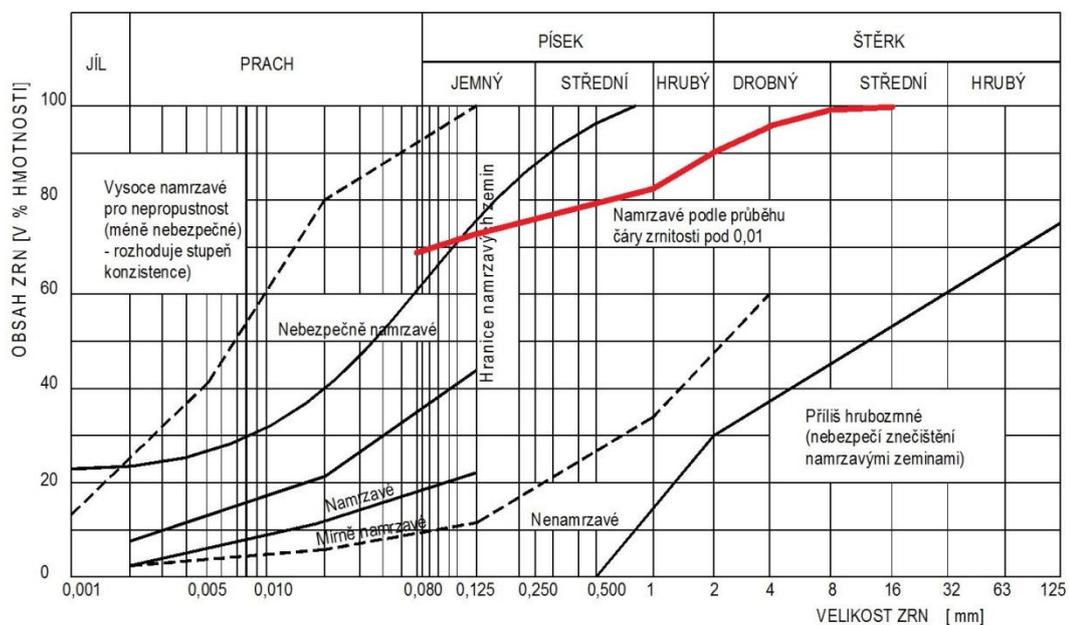
Pozn.: Hodnoty v tabulce uvedené tučně jsou použity v grafu číslo 3.6 a jsou směrodatné.



Graf 3.6 - Výsledky zkoušky IBI a CBR<sub>sat</sub>

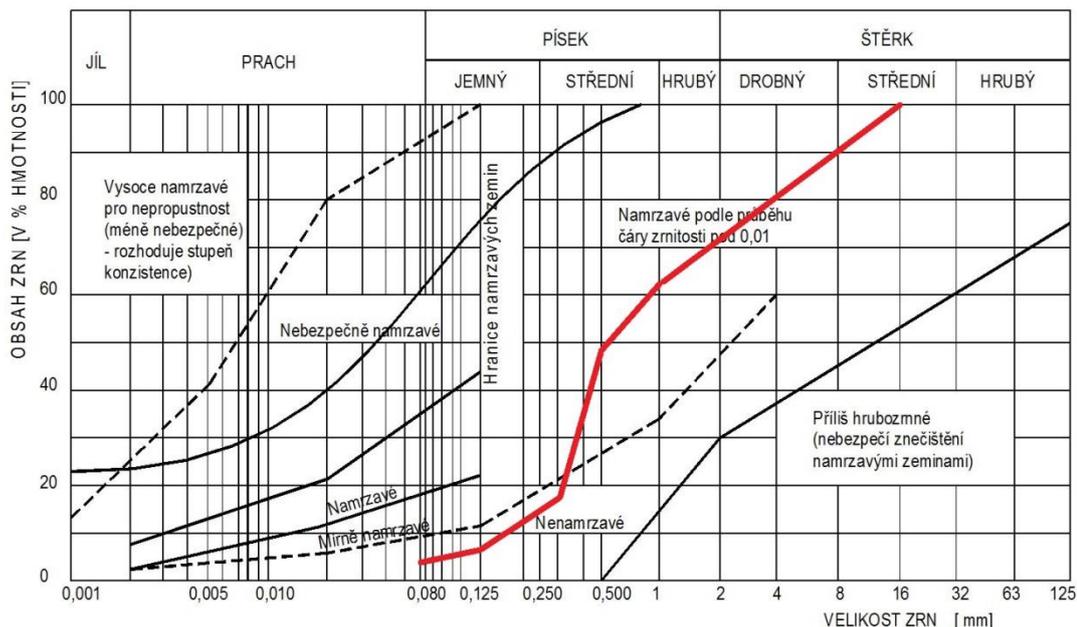
### 3.2.5 Namrzavost – nepřímá metoda

#### Zemina F6CI



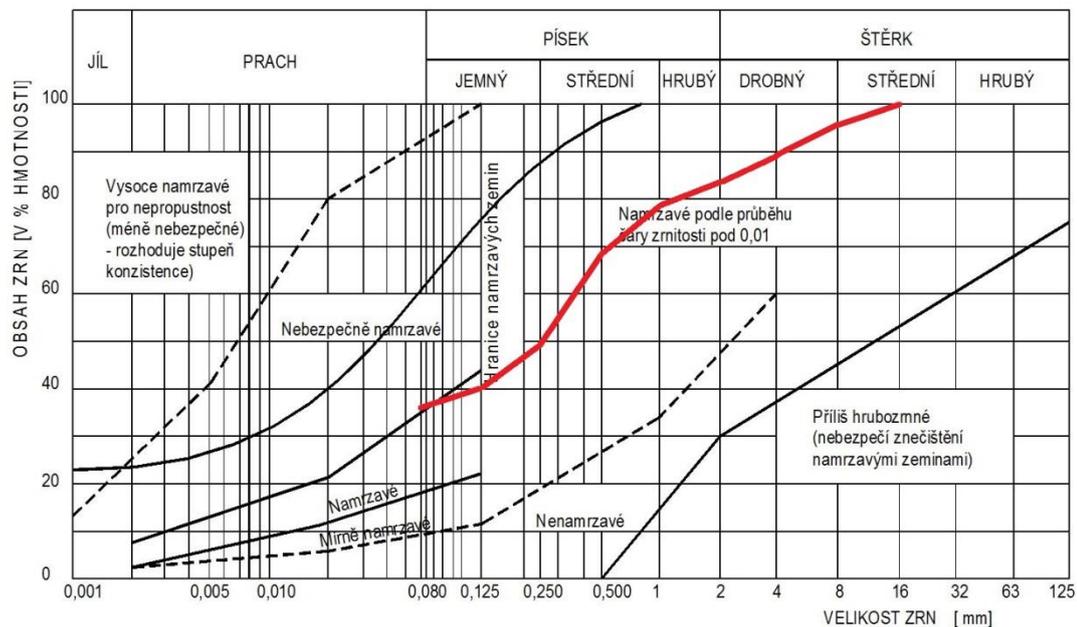
Graf 3.7 – Scheibleho kritérium – Zemina F6CI

## Směs I – Směsný recyklát



Graf 3.8 – Scheibleho kritérium – směsný recyklát

## Směs II – Směsný recyklát se zeminou F6C1



Graf 3.9 – Scheibleho kritérium – směsný recyklát se zeminou F6C1

## Směs III – směsný recyklát stmelovaný cementem

Namrzavost se předpokládá stejná jako u směsného recyklátu, Míru namrzavosti zlepšených zemin je vhodnější zkusit přímou metodou po předepsané době zrání.

### 3.3 SMĚS STMELENÁ HYDRAULICKÝM POJIVEM

#### 3.3.1 Navržené směsi

Pro zkoušení stmelené směsi byl použit stejný recyklát jako v předchozí kapitole a to směsný recyklát frakce 0/16 stmeleny cementem. V ojedinělých případech lze směsný recyklát použít pro směs s hydraulickým pojivem s očekávanou pevností v prostém tlaku  $R_c > 2$  MPa. Tyto směsi se dají použít do podkladních vrstev a podobají se směsím dříve klasifikovaným jako zeminy stabilizované cementem. Na této takto navržené směsi byly provedeny dvě zásadní zkoušky. Jedná se o zkoušku v prostém tlaku a zkoušku odolnosti proti mrazu a vodě. Pro každou zkoušku byly vyrobeny 3 zkušební tělesa, celkem tedy 6 totožných vzorků.

Tabulka 3.5 – Přehled směsí a prováděných zkoušek

Směs	Recyklát	Pojivo		Zkouška
		Druh	Množství	
A	Směsný	CEM V/A (S-V) 32,5 R	5 % hm.	pevnost v tlaku
				odolnost proti mrazu a vodě

#### 3.3.2 Pevnost v tlaku

Zkouška probíhala v souladu s normou ČSN EN 13286-41 podle následujícího postupu. Nejprve se materiál navlhčil na optimální vlhkost a nechal odležet, aby voda prostoupila celým materiálem. Dále se přidalo stanovené množství cementu a po krátkém odležení začalo hutnění hutnicím pěchem o hmotnosti 2,5 kg do Proctorovy formy A (průměr 100 mm, výška 120 mm). Hutnily se 3 stejně velké vrstvy 25 údery z výšky 305 mm. Celkem 75 úderů. Povrch se pečlivě zarovnal s horní hranou formy a v ručním lisu se zkušební těleso vytlačilo. Takto se postupovalo u všech vzorků. Hotová tělesa se uložila do komory s konstantní vlhkostí za stálé teploty po dobu 7 dnů. Zkoušela se tedy 7denní pevnost v prostém tlaku. Vyzrálá zkušební tělesa se zkoušela v lisu InfraTest ve firmě CONSULTTEST s. r. o. Tělesa se zatěžovala konstantní rychlostí až do jejich porušení. Maximální síla při porušení se zaznamenala.

#### Vyhodnocení zkoušky

Pro vyhodnocení zkoušky se použila rovnice 4. Síla  $F$  je síla zaznamenaná při porušení zkušebního tělesa, zatěžovací plocha  $A_c = 7854 \text{ mm}^2$ .

Pozn.: Výsledky zkoušky jsou uvedeny v následující tabulce a grafu, hodnota zvýrazněná tučně je výsledná hodnota pevnosti v tlaku získaná průměrem tří hodnot.



Obrázek 3.9 – Zrání zkušebních těles při stálé vlhkosti



Obrázek 3.10 – Zkušební lis InfraTest



Obrázek 3.11 – Průběh zatěžování



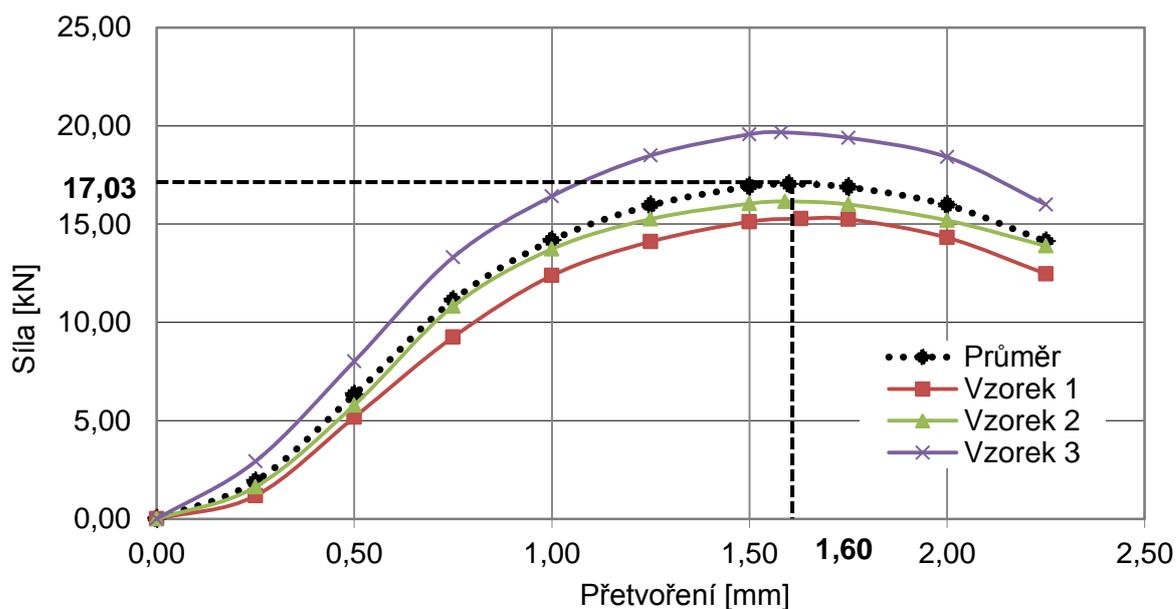
Obrázek 3.12 – Porušené zkušební těleso

Tabulka 3.6 – Výsledky zkoušky pevnosti v tlaku

Přetvoření [mm]	Síla [kN]			
	Vzorek 1	Vzorek 2	Vzorek 3	Průměr
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,25	1,18	1,63	2,93	1,91
0,50	5,17	5,79	8,02	6,33
0,75	9,25	10,82	13,31	11,13
1,00	12,38	13,73	16,42	14,18
1,25	14,11	15,26	18,49	15,95
1,50	15,12	16,04	19,57	16,91
1,75	15,25	16,00	19,39	16,88
2,00	14,31	15,19	18,41	15,97
2,25	12,47	13,89	15,99	14,12
Přetvoření při porušení [mm]	1,63	1,59	1,58	1,60
Síla při porušení [kN]	15,27	16,15	19,67	17,03
<b>Pevnost v tlaku <math>R_c</math> [MPa]</b>	1,94	2,06	2,50	<b>2,17</b>

Výsledná pevnost v tlaku  $R_c = 2,17$  MPa (2,71 MPa).

Pozn.: Hodnota uvedená v závorce odpovídá 28denní pevnosti za předpokladu 25 procentního nárůstu naměřené 7denní pevnosti.  $R_c = 2,17 \times 1,25 = 2,71$  MPa.



Graf 3.10 – Průběh křivek ze zkoušky pevnosti v tlaku

### 3.3.3 Odolnost proti mrazu a vodě

Zkouška probíhala v souladu s normou ČSN EN 17227-1 a ČSN EN 13286-4. Nejprve se připravily vzorky stejným způsobem jako u zkoušky v prostém talku. Po 7 dnech zrání, začali zmrazovací cykly. Před prvním cyklem zmražení se na 1 hodinu umístili vzorky na plstěnou podložku, tak aby nebyli v přímém kontaktu s vodou. Následoval první cyklus zmražení na teplotu  $(- 18 \pm 2) \text{ }^{\circ}\text{C}$ , který trval  $(6 \pm 0,5)$  hodiny. Po zmražení se zkušební tělesa vyjmuli a umístili opět na plstěnou podložku nasycenou vodou, kde při stálé teplotě začal cyklus rozmražení. Rozmrazování trvalo  $(18 \pm 0,5)$  hodin a zkušební tělesa byli kapilárně syceny vodou. Zkouška pokračovala dalším cyklem zmražení. Cyklů bylo celkem 5 a po skončení posledního cyklu se provedla zkouška pevnosti v tlaku stejným způsobem jako v předešlé kapitole.



Obrázek 3.13 – Kapilární sycení zkušebních těles při rozmrazovacím cyklu

#### Vyhodnocení zkoušky

Pro vyhodnocení zkoušky se použila rovnice 4.

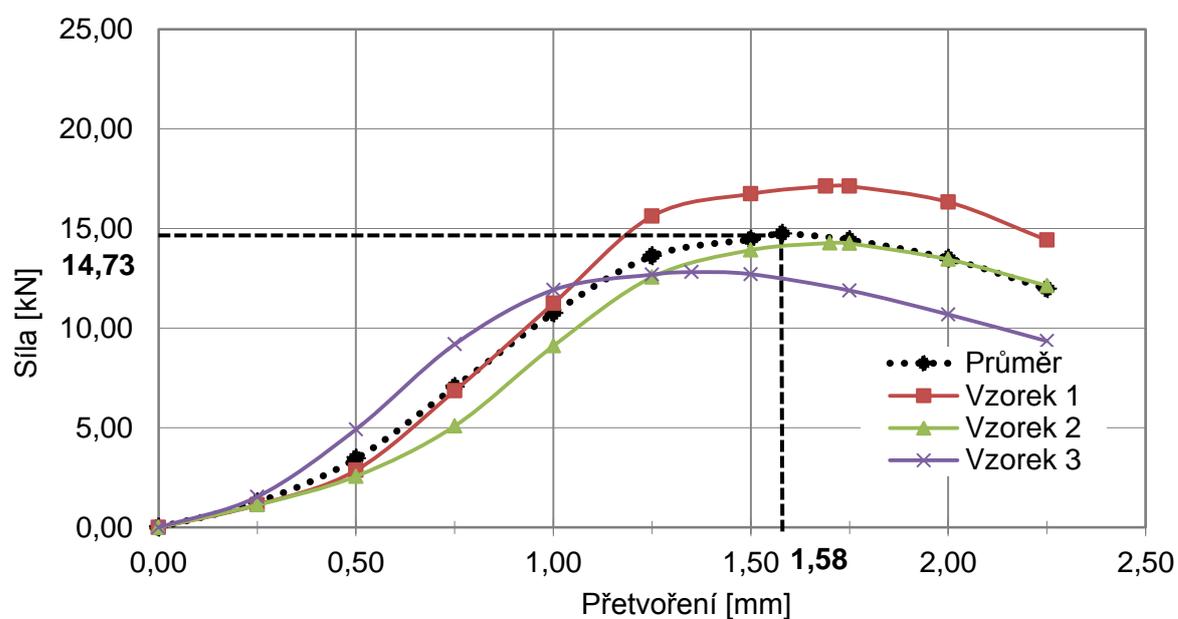
Síla  $F$  je síla zaznamenaná při porušení vzorku.

Zatěžovací plocha  $A_c = 7854 \text{ mm}^2$

Pozn.: Výsledky zkoušky jsou uvedeny v následující tabulce a grafu hodnota zvýrazněná tučně je výsledná hodnota pevnosti v tlaku po zmrazovacích cyklech a je získaná průměrem tří hodnot.

Tabulka 3.7 – Výsledky zkoušky odolnosti proti mrazu a vodě

Přetvoření [mm]	Síla [kN]			
	Vzorek 1	Vzorek 2	Vzorek 3	Průměr
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,25	1,13	1,13	1,54	1,27
0,50	2,87	2,57	4,92	3,45
0,75	6,85	5,09	9,19	7,04
1,00	11,24	9,11	11,92	10,76
1,25	15,62	12,56	12,69	13,62
1,50	16,74	13,92	12,71	14,46
1,75	17,12	14,25	11,89	14,42
2,00	16,33	13,45	10,69	13,49
2,25	14,42	12,13	9,35	11,97
Přetvoření při porušení [mm]	1,69	1,70	1,35	1,58
Síla při porušení [kN]	17,12	14,27	12,81	14,73
Pevnost v tlaku [MPa]	2,18	1,82	1,63	<b>1,88</b>
Pevnost vztažená k Rc	100 %	84 %	75 %	87 %
<b>Požadavek 85 % z Rc</b>	splněno	splněno	nesplněno	<b>SPLNĚNO</b>



Graf 3.11 – Průběh křivek pevnosti ze zkoušky odolnosti proti mrazu a vodě

## 4 ZÁVĚR

Cílem práce bylo shrnout poznatky o směsném recyklátu, zařadit ho mezi „standardní“ materiály a upozornit na problémy které nastávají při jeho používání do pozemních komunikací.

V teoretické části bylo zjištěno, že složení směsného recyklátu není pevně stanovené. Je pouze omezen obsah cizorodých látek, především zbytků dřeva, stavebních plastů, pryže, skla, kovů a dalších nečistot. Tyto látky mohou tvořit významné nehomogenity v používaných směsích a negativně je ovlivňovat. Na kvalitu recyklátů má hlavní vliv, již zmíněné složení, ale také způsob výroby a uskladnění. Způsob a průběh recyklace je pouze doporučený a ne všechny recyklační linky se jím musí řídit, z toho vyplývá, že směsný recyklát může mít pokaždé jiné složení a jinou kvalitu, je potřeba se tomuto aspektu věnovat ještě před samotným použitím, například důkladným laboratorním rozbořem. Další problém nastává v klasifikaci recyklátu. Jestliže chceme směsný recyklát klasifikovat, jako směs drceného kameniva je důležité splnit veškeré podmínky na toto kamenivo. Například odolnost proti síranům se splňuje velice obtížně z důvodů nehomogenity materiálu, apod. Pokud směsný recyklát nevyhoví požadavkům pro recyklované kamenivo, je možnost ho klasifikovat jako zeminu nebo materiál vhodný do stmelěných směsí hydraulickým pojivem, při splnění podmínek pro směsi z recyklovaných stavebních materiálů. Mezi problematické vlastnosti patří již zmíněný obsah cizorodých látek, dále problém s nasákavostí a odolností proti otluku která je ovlivněná množstvím cihelných střeptů v recyklátu.

Cílem praktické části bylo ověřit využití směsného recyklátu použitého jako náhrada nevhodné zeminy zkouškami zrnitosti a únosnosti a dále ověřit možnost použití do konstrukce vozovky zkouškou pevnosti v prostém tlaku na směsi recyklátu stmelené hydraulickým pojivem.

Závěr praktické části byl shrnut do několika bodů:

### Úprava nevhodné zeminy

Směs I – směsný recyklát

- Naměřená hodnota únosnosti  $CBR_{sat} = 25 \%$ , což odpovídá **podloží PIII**
- Namrzavost zeminy dle Scheibleho kritéria – **nenamrzavá až mírně namrzavá**

Směsný recyklát vyhovuje podmínce únosnosti podloží PIII, je tedy vhodný jako náhrada nevhodné zeminy.

Směs II – směsný recyklát se zeminou F6Cl

- Naměřená hodnota únosnosti  $CBR_{sat} = 28 \%$ , což odpovídá **podloží PIII**
- Namrzavost zeminy dle Scheibleho kritéria – **namrzavá**

Úpravou nevhodné zeminy směsným recyklátem se zvýší hodnota únosnosti a tuto směs lze zařadit do podloží PIII. Směsný recyklát také upravuje křivku zrnitosti směsi a tím redukuje míru namrzavosti. Zemina F6Cl je dle Scheibleho kritéria **nebezpečně namrzavá**. Směs recyklátu a zeminy F6Cl je dle tohoto kritéria **namrzavá** zemina.

Směs III – směsný recyklát s cementem

- Naměřená hodnota únosnosti  $CBR_{sat} = 70 \%$ , což odpovídá **podloží PI**
- Namrzavost zeminy dle Scheibleho kritéria – **nenamrzavá až mírně namrzavá**

Ze zjištěných výsledků je patrné, že směs III je nejvýhodnější pro úpravu nevhodné zeminy z hlediska únosnosti. Musíme brát v potaz celou technologii provádění, pro aplikaci směsi III je nutné odtěžit materiál z pláň silničního tělesa o celou tloušťku navržené vrstvy. Tím se zvýší objem zemních prací a následně cena díla. Při mísení směsného recyklátu s cementem na stavbě se zvyšuje prašnost a ta je při stavbě intravilánových komunikací nežádoucí. Tato směs je tedy vhodná pro úpravy ploch menšího rozsahu v nezastavěné části, například pro stání těžkých nákladních vozidel.

Použití směsného recyklátu jako náhradu nevhodné zeminy nelze zobecnit. Každá stavba je ojedinělá a směsný recyklát se ne vždy hodí, nebo není v dané lokalitě dostupný.

### **Směs stmelená hydraulickým pojivem**

Pevnost v tlaku navržené směsi  $R_c = 2,17 \text{ MPa}$  (**2,71 MPa**) odpovídá třídě pevnosti  $C_{1,5/2,0}$ . Tuto směs **nelze použít** do konstrukčních vrstev vozovky. Technické podmínky TP 210 uvádějí minimální pevnostní třídu stmelených směsí z recyklovaného kameniva  $C_{3/4}$ , pro použití do vozovky. Navržená směs tomuto kritériu nevyhověla, patrně z důvodu vysokého obsahu písčité složky v recyklátu. Pro splnění kritéria TP 210 by bylo vhodné zvýšit množství hydraulického pojiva a upravit zrnitost použitého směsného recyklátu.

Požadavek odolnosti proti mrazu a vodě je 85 % pevnosti v prostém tlaku. Naměřená pevnost v tlaku po 5 zmrazovacích cyklech  $R_c = 1,88 \text{ MPa}$ , tedy 87 % pevnosti v prostém tlaku a směs **splňuje** tento požadavek.

Navržená směs směsného recyklátu stmeleného hydraulickým pojivem je **nevhodná** pro použití v konstrukčních vrstvách vozovky.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZRDOJŮ

- [1] TP 210. *Užití recyklovaných stavebních demoličních materiálů do pozemních komunikací*. 2011. vyd. VUT v Brně: Fakulta stavební, Ustav pozemních komunikací; Schváleno ministerstvem dopravy dne 15.12.2010 s účinností od 1.1.2011.
- [2] ČSN 73 6133. *Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací*. Únor 2010.
- [3] VYTLAČILOVÁ, Vladimíra, Alena KOHOUTKOVÁ a Jan VODIČKA. *Vláknobetony s plnou náhradou přírodního kameniva recykláty*. 1. vydání. Praha: ČVUT, 2011. ISBN 978-80-01-04968-6.
- [4] ARSM: Asociace pro rozvoj recyklace stavebních materiálů v České republice. [online]. [cit. 2014-03-15]. Dostupné z: <http://www.arasm.cz>
- [5] STEHLÍK, Dušan. *Praktické aplikace v pozemních komunikacích*; Skriptum k přednáškám. 2006. vyd. VUT v Brně: Fakulta stavební, Ustav pozemních komunikací
- [6] ASA DOCK s.r.o. [online]. [cit. 2014-03-22]. Dostupné z: <http://www.asadock.cz/images/files/cenik%20-%20ASA%20DOCK%20-%20recyklaty.pdf>
- [7] TP 170. *Navrhování vozovek pozemních komunikací*. Listopad 2004.
- [8] STEHLÍK, Dušan. Stavební a demoliční odpad v konstrukci pozemních komunikací. In: *Časopis stavebnictví* [online]. [cit. 2014-03-22]. Dostupné z: <http://www.casopisstavebnictvi.cz/clanek.php?detail=718>
- [9] Recyklace vzniklé stavební suti s možností jejího využití. In: *Silnice železnice* [online]. 16.8.2013. [cit. 2014-03-30]. Dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/recyklace-vznikle-stavebni-suti-s-moznosti-jejeho-vyuziti/>
- [10] STEHLÍK, Dušan. Recykláty do stmelených podkladních vrstev vozovek pozemních komunikací. In: *Recycling 2013: "možnosti a perspektivy recyklace stavebních odpadů jako zdroje plnohodnotných surovin" : sborník přednášek 18. ročníku konference*. Brno: VUT, 2013, s. 45-50. ISBN 978-80-214-4688-5.
- [11] Dodatek TP 170. *Navrhování vozovek pozemních komunikací*. 2010.

- [12] STEHLÍK, Dušan a Karel PECHA. Recykláty pro stmelené směsi podkladních vrstev pozemních komunikací. In: *Recycling 2012: "Možnosti a perspektivy recyklace stavebních odpadů jako zdroje plnohodnotných surovin"* : Brno 15.-16. března 2012 : sborník přednášek 17. ročníku konference. Brno: VUT, 2012, s. 33-39. ISBN 978-80-214-4432-4. Dostupné z: [http://www.arasm.cz/dok/Sbornik\\_RECycling\\_2012.pdf](http://www.arasm.cz/dok/Sbornik_RECycling_2012.pdf)
- [13] STEHLÍK, Dušan. Namrzavost zemin a zlepšených zemin v podloží pozemních komunikací. [online]. [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: [http://www.fce.vutbr.cz/veda/dk2004texty/pdf/02\\_Konstrukce%20a%20pozemni%20stavby/2\\_03\\_Pozemni%20komunikace/Stehlik\\_Dusan.pdf](http://www.fce.vutbr.cz/veda/dk2004texty/pdf/02_Konstrukce%20a%20pozemni%20stavby/2_03_Pozemni%20komunikace/Stehlik_Dusan.pdf)
- [14] POKLUDA, Radim. *Stavební recykláty pro stmelené směsi vozovek*. Brno, 2013. 82 s., 60 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce Ing. Dušan Stehlík, Ph.D.
- [15] VRBÍK, Ondřej a Vladimíra VYTLAČILOVÁ. Limitní hodnoty při posouzení environmentálních rizik recyklovaného kameniva. In: *Recycling 2013: "možnosti a perspektivy recyklace stavebních odpadů jako zdroje plnohodnotných surovin"* : sborník přednášek 18. ročníku konference. Brno: VUT, 2013, s. 17-24. ISBN 978-80-214-4688-5.
- [16] ČSN 72 1191. *Zkoušení míry namrzavosti zemin*. Praha, Květen 2013.
- [17] MAŠEK, Jakub. *Namrzavost zemin a materiálů v podloží vozovek*. Brno, 2012. 80 s., 97 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce Ing. Dušan Stehlík, Ph.D.
- [18] *Recycled Materials in European Highway Environments: Uses, Technologies, and Policies*. U.S. Department of Transportation, October 2000.
- [19] POSPÍŠIL, Karel a Radka RÁKOSNÍKOVÁ. Podmínky použití recyklovaných materiálů. In: *Centrum dopravního výzkumu* [online]. Brno, Zář 2002, Leden 2009 [cit. 2014-05-01]. Dostupné z: <http://www.cdv.cz/file/clanek-podminky-pouziti-recyklovanych-materialu/>
- [20] ČSN EN 13286-41. *Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy - Část 41: Zkušební metoda pro stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelených hydraulickými pojivy*. Březen 2003.
- [21] ČSN EN 14227-1. *Směsi stmelené hydraulickými pojivy - Specifikace - Část 1: Směsi stmelené cementem*. Březen 2008.

- [22] Dufonev R. C. akciová společnost: Ceník. [online]. [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://www.dufonev.cz/pdf/cenik/cenik.pdf>
- [23] ČSN EN 13286-2. *Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivky - Část 2: Zkušební metody pro stanovení laboratorní srovnávací objemové hmotnosti a vlhkosti - Proctorova zkouška*. 2005.

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 2.1 - Vysvětlivky ke zkratkám [1, s. 21].....	12
Tabulka 2.2 – Doporučené užití RSM podle zastoupeného základního materiálu [1, s. 6 ]...	16
Tabulka 2.3 – Použitelnost zemin pro stavbu zemního tělesa [2, s. 16] .....	18
Tabulka 2.4 – Typy podloží vozovky [7, s. A-3] .....	20
Tabulka 2.5 - Požadované hodnoty únosnosti CBR pro upravené zeminy pro aktivní zónu [2 s. 18] .....	21
Tabulka 2.6 - Požadované hodnoty únosnosti CBR, IBI pro upravené zeminy na násypu [2, s. 18] .....	21
Tabulka 2.7 – Užití RSM do nestmelených vrstev [1, s. 7] .....	22
Tabulka 2.8 – Návrhová úroveň porušení vozovky [7, s. 5] .....	23
Tabulka 2.9 – Požadavky na zrnitost nestmelené směsi [5, s. 14].....	24
Tabulka 2.10 – Požadavky na recyklované kamenivo pro nestmelené směsi a vibrovaný štěrk [1, s. 8-9] .....	25
Tabulka 2.11 – Požadavky na nestmelené směsi z RSM [1, s. 17] .....	27
Tabulka 2.12 – Složení směsi drceného recyklovaného kameniva [5, s. 18] .....	28
Tabulka 2.13 – Minimální tloušťky nestmelených vrstev [7, s. B-18] .....	29
Tabulka 2.14 – Užití RSM do vrstev stmelených hydraulickým pojivem a prolévaných vrstev [1, s. 7].....	31
Tabulka 2.15 – Doporučené požadavky na RSM pro stmelené směsi a prolévané vrstvy [1 s. 7] .....	31
Tabulka 2.16 – Požadavky na stmelené směsi z RSM [1, s. 13] .....	32
Tabulka 2.17 - Označení zkoušených směsí [14, s. 28].....	34
Tabulka 2.18 -Výsledné pevnosti jednotlivých směsí [14, s. 46].....	34
Tabulka 2.19 – Kritérium namrzavost [13, s. 3] .....	38
Tabulka 2.20 – Srovnání legislativních limitů ve stavebních odpadech [15, s. 20].....	40
Tabulka 3.1 – Přehled zkoušených směsí.....	44
Tabulka 3.2 – Proctorova zkouška - směsný recyklát.....	49
Tabulka 3.3 – Proctorova zkouška - směsný recyklát se zeminou F6Cl .....	50
Tabulka 3.4 – Výsledky zkoušky IBI a $CBR_{sat}$ .....	52
Tabulka 3.5 – Přehled směsí a prováděných zkoušek .....	55
Tabulka 3.6 – Výsledky zkoušky pevnosti v tlaku.....	57
Tabulka 3.7 – Výsledky zkoušky odolnosti proti mrazu a vodě.....	59

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 2.1 – Příčný řez pozemní komunikací [5] .....	13
Obrázek 2.2 – Schéma konstrukce vozovky [5].....	13
Obrázek 2.3 – Schéma recyklačního procesu [1, s. 14] .....	16
Obrázek 3.1 – Směsný recyklát frakce 0/16.....	42
Obrázek 3.2 – Jíl se střední plasticitou (F6Cl) .....	43
Obrázek 3.3 – Sada zkušebních sít v mechanickém prosévači.....	44
Obrázek 3.4 – Horkovzdušná sušící komora.....	44
Obrázek 3.5 – Hutnicí přístroj Proctor Standard.....	47
Obrázek 3.6 – Zhutněný vzorek .....	47
Obrázek 3.7 – Průběh zkoušky IBI.....	52
Obrázek 3.8 – Průběh zkoušky $CBR_{sat}$ .....	52
Obrázek 3.9 – Zrání zkušebních těles při stálé vlhkosti.....	56
Obrázek 3.10 – Zkušební lis InfraTest .....	56
Obrázek 3.11 – Průběh zatěžování .....	56
Obrázek 3.12 – Porušené zkušební těleso.....	56
Obrázek 3.13 – Kapilární sycení zkušebních těles při rozmrazovacím cyklu .....	58

## SEZNAM GRAFŮ

Graf 2.1 – Výsledné pevnosti jednotlivých směsí [14, s. 46].....	34
Graf 2.2 - Ukázka výsledku zkoušky Proctor - Standard .....	36
Graf 2.3 – Scheibleho kritérium namrzavosti [7, s. 8] .....	37
Graf 3.1 – Křivka zrnitosti zeminy F6Cl [17, s. 81] .....	45
Graf 3.2 – Křivka zrnitosti směšného recyklátu .....	45
Graf 3.3 – Křivka zrnitosti směšného recyklátu se zeminou F6Cl.....	46
Graf 3.4 – Zhutnitelnost směšného recyklátu .....	49
Graf 3.5 – Zhutnitelnost směšného recyklátu se zeminou F6Cl .....	50
Graf 3.6 - Výsledky zkoušky IBI a $CBR_{sat}$ .....	53
Graf 3.7 – Scheibleho kritérium – Zemina F6Cl .....	53
Graf 3.8 – Scheibleho kritérium – směšný recyklát .....	54
Graf 3.9 – Scheibleho kritérium – směšný recyklát se zeminou F6Cl.....	54
Graf 3.10 – Průběh křivek ze zkoušky pevnosti v tlaku .....	57
Graf 3.11 – Průběh křivek pevnosti ze zkoušky odolnosti proti mrazu a vodě .....	59

## SEZNAM ROVNIC

Rovnice 1 - Kalifornský poměr únosnosti [7] .....	36
Rovnice 2 - Vztah pro stanovení modulu pružnosti var. A [7] .....	37
Rovnice 3 - Vztah pro stanovení modulu pružnosti var. B [7] .....	37
Rovnice 4 - Pevnost v tlaku [20].....	39
Rovnice 5 – Objemová hmotnost vlhkého materiálu [23, s. 25].....	48
Rovnice 6 – Vlhkost vzorku [23, s. 25] .....	48
Rovnice 7 – Objemová hmotnost zhutněného suchého materiálu [23, s. 25] .....	48

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

RSM	Recyklované stavební materiál
SDO	Stavebně demoliční odpad
AB	Asfaltové (asfaltobetonové) vrstvy vozovek PK
CB	Cementobetonové kryty vozovek PK
MZK	Mechanicky zpevněné kamenivo podle ČSN EN 13285
MZKO	Mechanicky zpevněné kamenivo otevřené podle ČSN EN 13285
ŠD <sub>A</sub>	Štěrkodrt' podle ČSN EN 13285, kvalitativní kategorie A
ŠD <sub>B</sub>	Štěrkodrt' podle ČSN EN 13285, kvalitativní kategorie B
MZ	Mechanicky zpevněná zemina podle ČSN EN 13285 NA
VŠ	vibrovaný štěrk podle ČSN 73 6126-2
SV	Stmelená vrstva
NV	Nestmelená vrstva
PV	Prolévaná vrstva
w <sub>L</sub>	Vlhkost na mezi tekutosti podle ČSN EN ISO/TS 17892/12
w <sub>P</sub>	Mez plasticity
w <sub>n</sub>	Přirozená vlhkost
w <sub>opt</sub>	Optimální vlhkost stanovená zkouškou Proctor standard
I <sub>p</sub>	Index (číslo) plasticity ( $I_p = w_L - w_P$ ) podle ČSN EN ISO/TS 17892/12
I <sub>c</sub>	Číslo (stupeň) konzistence
ρ <sub>d max, PS</sub>	Maximální objemová hmotnost zeminy Proctor standard (laboratorní srovnávací suchá objemová hmotnost)
CBR <sub>xx</sub>	Kalifornský poměr únosnosti (xx – hodnota v %)
IBI <sub>yy</sub>	Okamžitý index únosnosti (yy – hodnota v %)
IBI <sub>DV</sub>	Okamžitý index únosnosti (DV – deklarovaná hodnota v %)
h <sub>PV</sub>	Vzdálenost úrovně hladiny podzemní vody od nivelety vozovky
d <sub>pr</sub>	Hloubka promrznutí vozovky a podloží
h <sub>s</sub>	Kapilární výška pro plně nasycenou zeminu
Im <sub>d</sub>	Návrhová hodnota indexu mrazu ve °C
d/D	Označení velikosti zrna dolní a horní meze (frakce) kameniva nebo směsi
HK	Hrubé kamenivo (HDK – hrubé drcené kamenivo nebo HTK – hrubé těžené kamenivo)
DK	Drobné kamenivo (DDK – drobné drcené kamenivo nebo DTK – drobné těžené kamenivo)

G	Zrnitost, často v souvislosti maximálně požadovaným propadem, např. G <sub>A</sub> 85/15, kde A je kategorie zrnitosti a max. 15% nadsítné a 15% podsítné
f	Obsah jemných částic menších než 0,063 mm
SE	Ekvivalent písku hodnotící kvalitu jemných částic zrněných materiálů podle ČSN EN 933-8
LA	Odolnost proti drcení kameniva metodou Los Angeles hodnotí drtitelnost materiálů, zejména při hutnění technologických vrstev násypu a konstrukce vozovky podle ČSN EN 1097-2
F	Odolnost proti zmrazování a rozmrazování kameniva v 10 zmrazovacích cyklech podle ČSN EN 1097-2
MS	Odolnost na síran hořečnatý v 5 cyklech podle ČSN EN 1367-2
E <sub>pd</sub>	Návrhový modul pružnosti v MPa
E <sub>def,2</sub>	Modul přetvárnosti podloží a nestmelených vrstev vozovky podle ČSN 72 1006 v MPa
C <sub>3/4</sub>	Návrhová kategorie zhutněné stmelené směsi
R <sub>it</sub>	Pevnost v nepřímém tahu (někdy pevnost v příčném tahu)
R <sub>c</sub>	Pevnost v prostém tlaku
PCB	Polychlorované bifenyly
PAU	Polycyklické aromatické uhlovodíky (suma antracenu, benzo(a)antracenu, benzo(a)pyrenu, benzo(b)fluoranthenu, benzo(ghi)perylenu, benzo(k)fluoranthenu, fluoranthenu, fenantrenu, chrysenu, indeno(1,2,3 cd)pyrenu)
CAT	Dánská klasifikace recyklovaných materiálů
hm.	Hmotnostně
cm <sup>3</sup>	Centimetr krychlový
kg	Kilogram
g	Gram
s.	Strana
Pozn.:	Poznámka
Tab.	Tabulka
Obr.	Obrázek

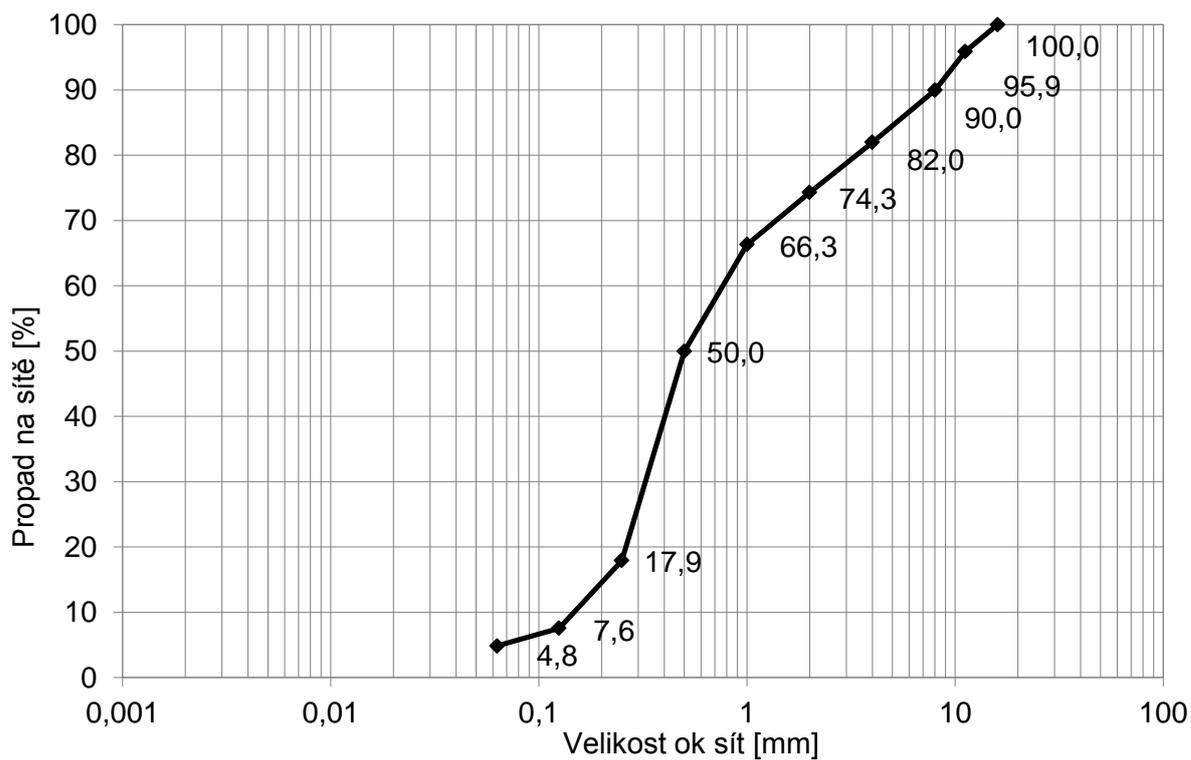
## SEZNAM PŘÍLOH

<b>Příloha A – Stanovení zrnitosti</b> .....	71
Příloha A1 – Zrnitosti směsného recyklátu 0/16 (vzorek 1) .....	71
Příloha A2 – Zrnitosti směsného recyklátu 0/16 (vzorek 2) .....	72
Příloha A3 – Zrnitosti směsného recyklátu 0/16 + 50 % hm. F6CI (vzorek 1) .....	73
Příloha A4 – Zrnitosti směsného recyklátu 0/16 + 50 % hm. F6CI (vzorek 2) .....	74
<b>Příloha B – Výsledky měření IBI, CBR<sub>sat</sub></b> .....	75
Příloha B1 – Okamžitý index únosnosti – směsný recyklát 0/16 .....	75
Příloha B2 – Kalifornský poměr únosnosti – směsný recyklát 0/16 .....	75
Příloha B3 – Okamžitý index únosnosti – směsný recyklát 0/16 + 50 %hm. F6CI .....	76
Příloha B4 – Kalifornský poměr únosnosti – směsný recyklát 0/16 + 50 %hm. F6CI .....	76
Příloha B5 – Okamžitý index únosnosti – směsný recyklát 0/16 + 1 % hm. cement .....	77
Příloha B6 – Kalifornský poměr únosnosti – směsný recyklát 0/16 + 1 % hm. cement .....	77

## PŘÍLOHA A – Stanovení zrnitosti

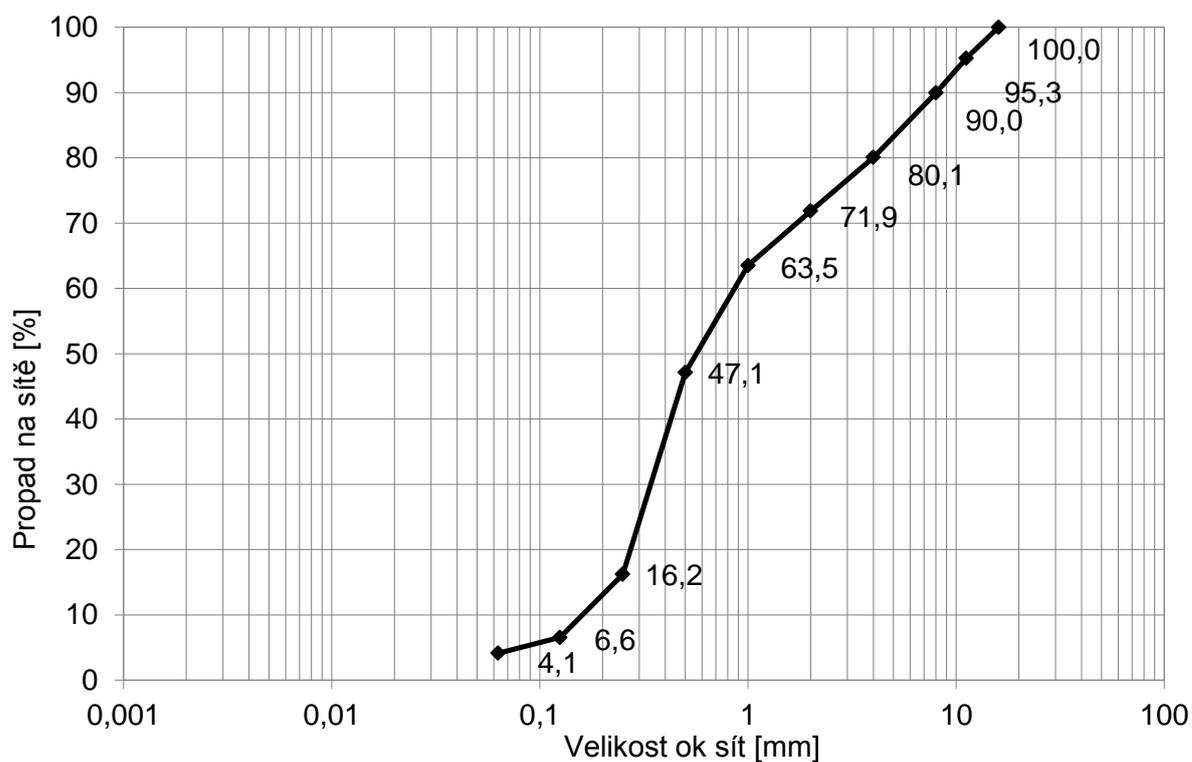
Příloha A1 – Zrnitosti směsného recyklátu 0/16 (vzorek 1)

Velikost síta	Nadsítné	Nadsítné	Celkem nadsítné	Propad
[mm]	[g]	[%]	[%]	[%]
16	0,0	0,0	0,0	100,0
11,2	41,1	4,1	4,1	95,9
8	59,4	5,9	10,0	90,0
4	79,6	8,0	18,0	82,0
2	76,9	7,7	25,7	74,3
1	79,8	8,0	33,7	66,3
0,5	163,8	16,4	50,0	50,0
0,25	320,4	32,0	82,1	17,9
0,125	103,6	10,4	92,4	7,6
0,063	27,2	2,7	95,2	4,8
0	48,5	4,8	100,0	0,0
Suma	1000,3	100,00		



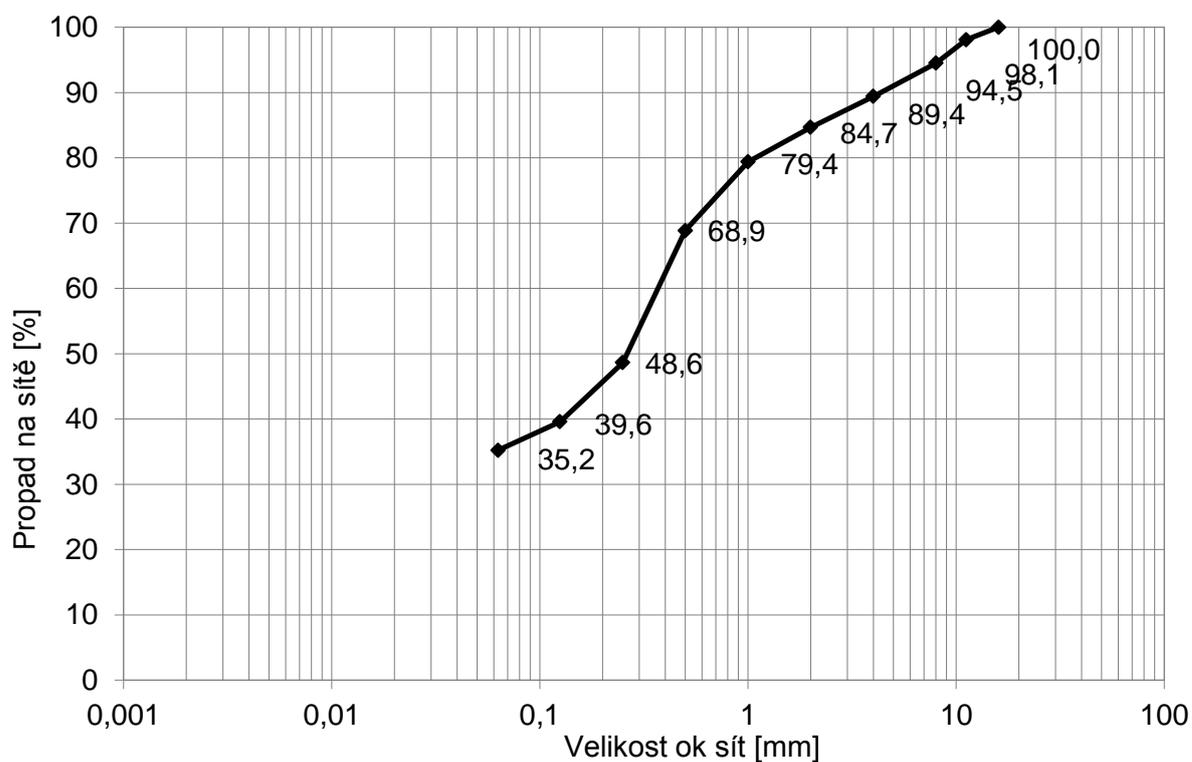
Příloha A2 – Zrnitost směsného recyklátu 0/16 (vzorek 2)

Velikost síta	Nadsítné	Nadsítné	Celkem nadsítné	Propad
[mm]	[g]	[%]	[%]	[%]
16	0,0	0,0	0,0	100,0
11,2	47,2	4,7	4,7	95,3
8	52,9	5,3	10,0	90,0
4	98,6	9,9	19,9	80,1
2	82,0	8,2	28,1	71,9
1	83,2	8,3	36,5	63,5
0,5	163,7	16,4	52,9	47,1
0,25	308,5	30,9	83,8	16,2
0,125	96,4	9,7	93,4	6,6
0,063	24,2	2,4	95,9	4,1
0	41,2	4,1	100,0	0,0
Suma	997,9	100,00		



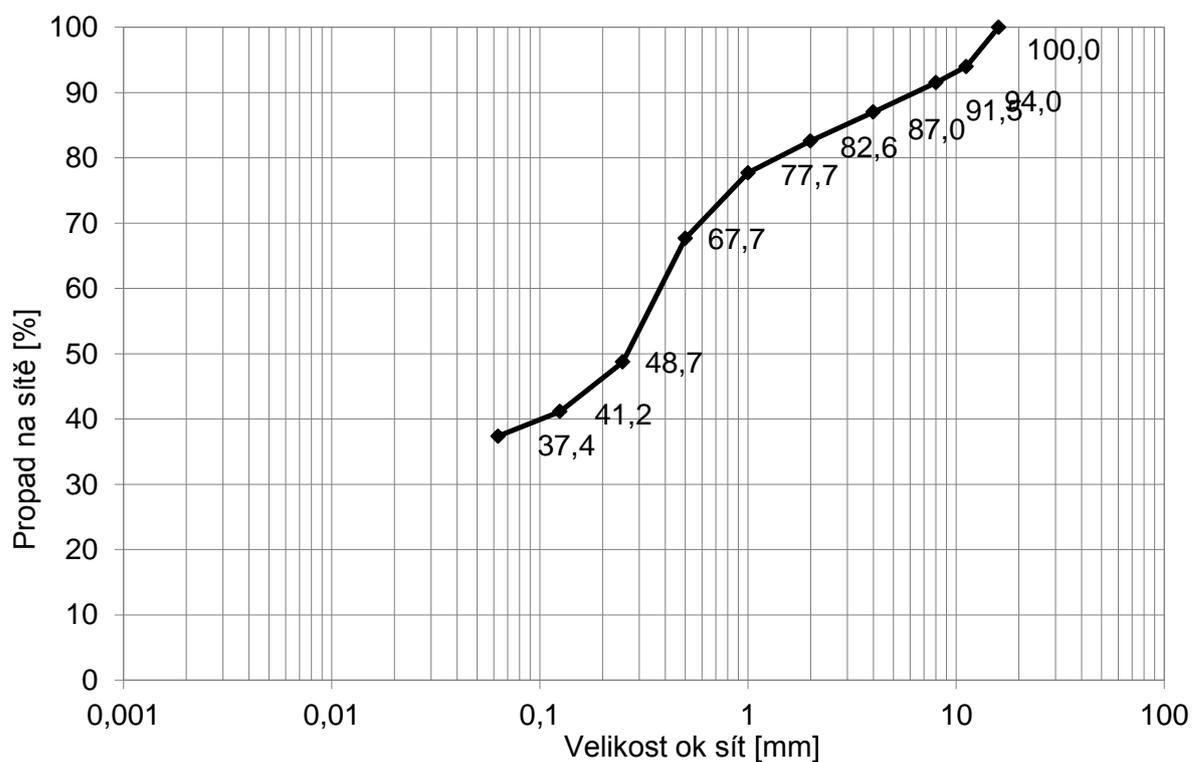
Příloha A3 – Zrnitost směsného recyklátu 0/16 + 50 % hm. F6Cl (vzorek 1)

Velikost síta	Nadsítné	Nadsítné	Celkem nadsítné	Propad
[mm]	[g]	[%]	[%]	[%]
16	0,0	0,0	0,0	100,0
11,2	18,0	1,9	1,9	98,1
8	33,8	3,6	5,5	94,5
4	48,0	5,1	10,6	89,4
2	44,8	4,7	15,3	84,7
1	50,0	5,3	20,6	79,4
0,5	99,4	10,5	31,1	68,9
0,25	191,1	20,2	51,4	48,6
0,125	85,3	9,0	60,4	39,6
0,063	41,3	4,4	64,8	35,2
0	332,6	35,2	100,0	0,0
Suma	944,3	100,0		



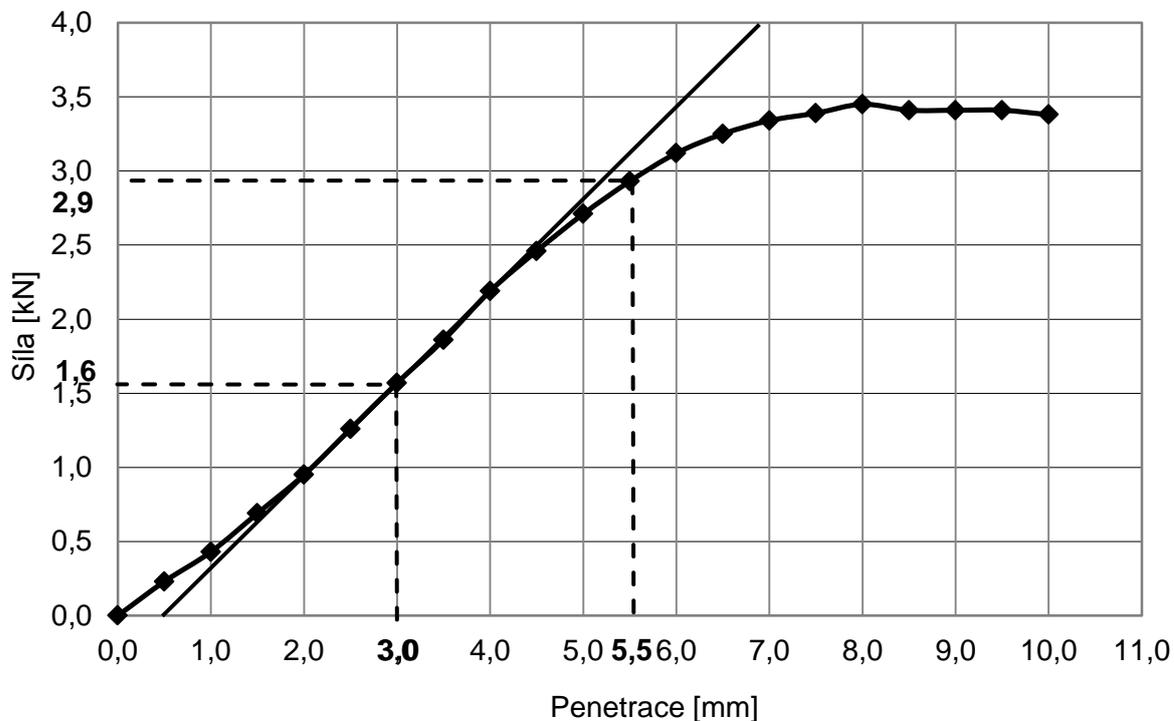
Příloha A4 – Zrnitost směsného recyklátu 0/16 + 50 % hm. F6CI (vzorek 2)

Velikost síta	Nadsítné	Nadsítné	Celkem nadsítné	Propad
[mm]	[g]	[%]	[%]	[%]
16	0,0	0,0	0,0	100,0
11,2	56,1	6,0	6,0	94,0
8	23,2	2,5	8,5	91,5
4	42,0	4,5	13,0	87,0
2	41,4	4,4	17,4	82,6
1	45,8	4,9	22,3	77,7
0,5	93,8	10,0	32,3	67,7
0,25	176,9	18,9	51,3	48,7
0,125	71,0	7,6	58,8	41,2
0,063	35,5	3,8	62,6	37,4
0	349,3	37,4	100,0	0,0
Suma	935,0	100,00		

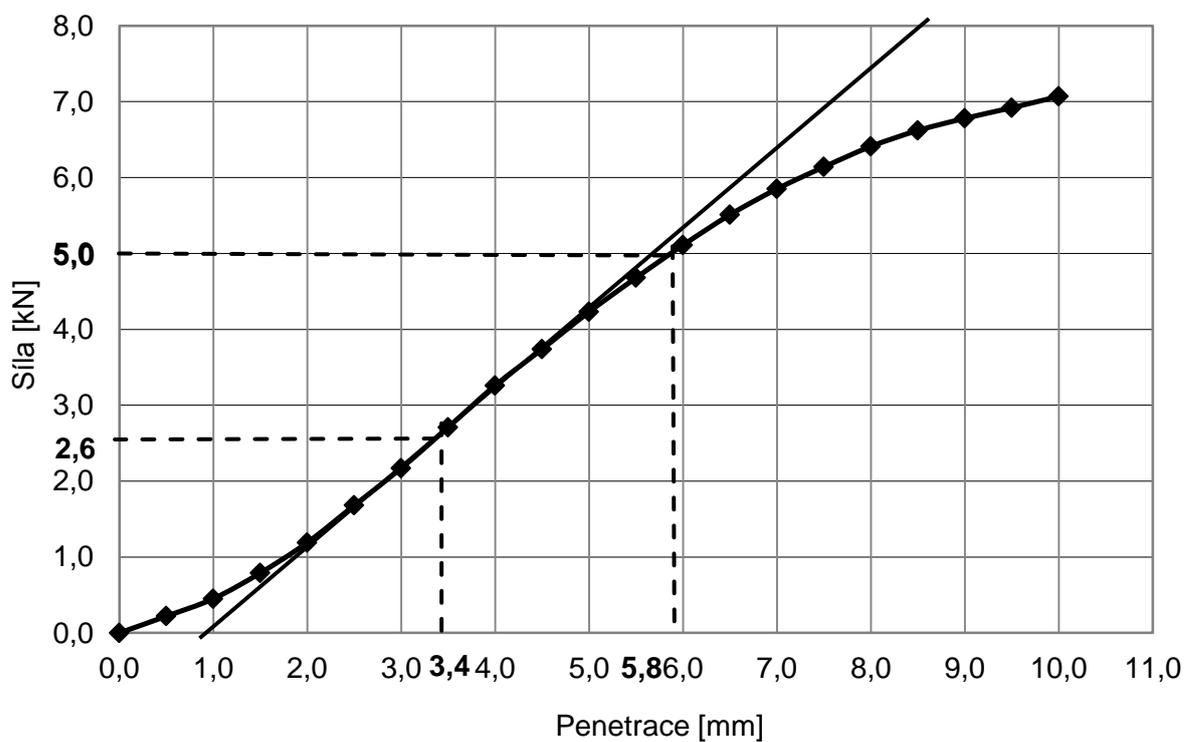


## PŘÍLOHA B – Výsledky měření IBI, CBR<sub>sat</sub>

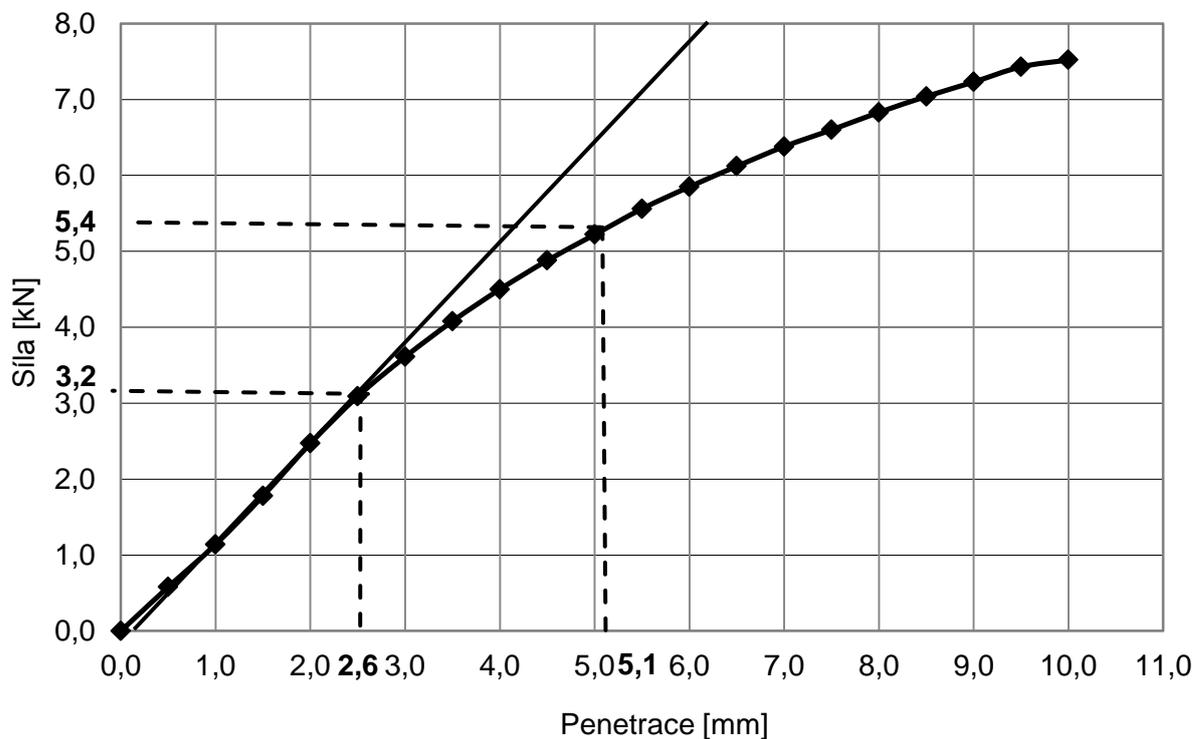
Příloha B1 – Okamžitý index únosnosti – směsný recyklát 0/16



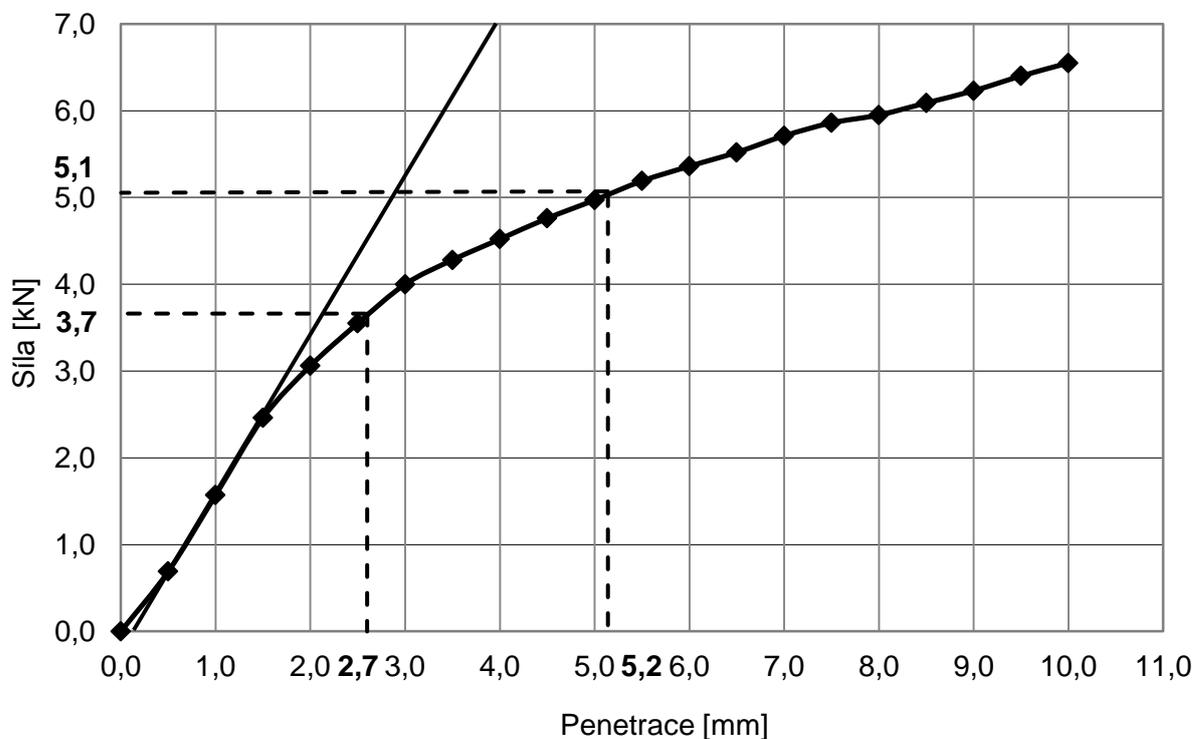
Příloha B2 – Kalifornský poměr únosnosti – směsný recyklát 0/16



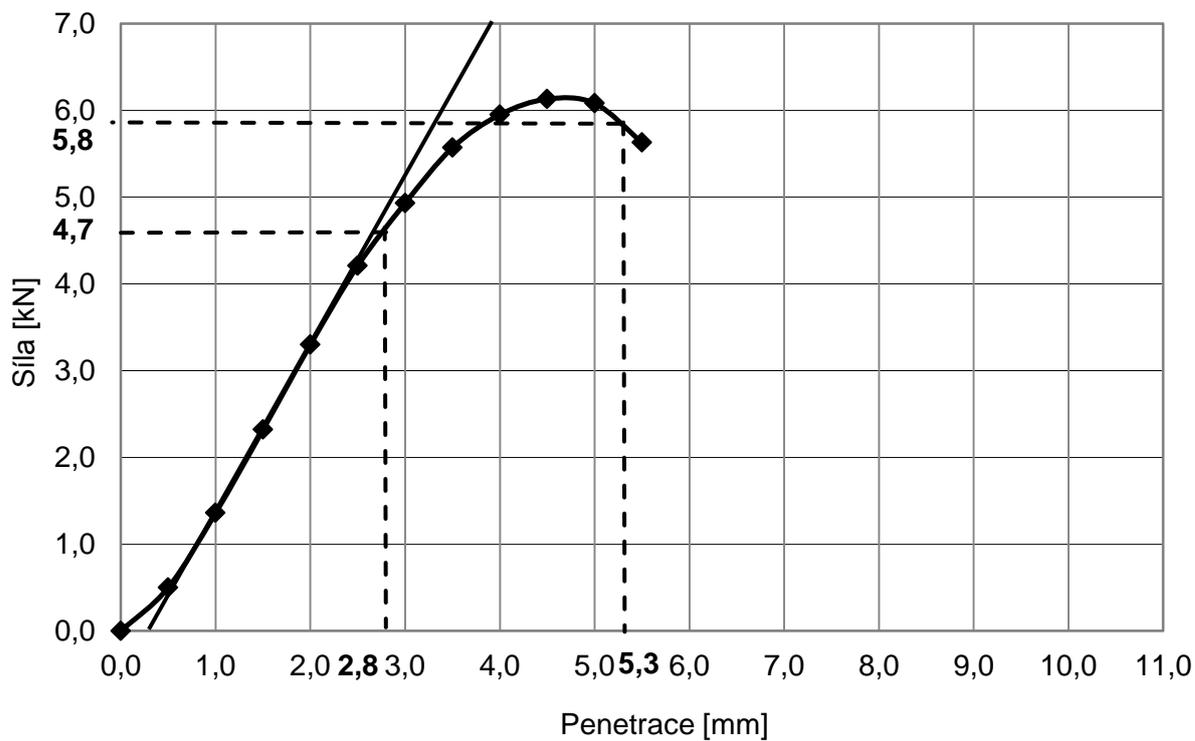
Příloha B3 – Okamžitý index únosnosti – směsný recyklát 0/16 + 50 %hm. F6CI



Příloha B4 – Kalifornský poměr únosnosti – směsný recyklát 0/16 + 50 %hm. F6CI



Příloha B5 – Okamžitý index únosnosti – směsný recyklát 0/16 + 1 % hm. cement



Příloha B6 – Kalifornský poměr únosnosti – směsný recyklát 0/16 + 1 % hm. cement

