



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ  
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ  
INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

## ASFALTOVÝ RECYKLÁT DO PODKLADNÍCH VRSTEV VOZOVEK

ASPHALT RECYCLED MATERIAL FOR BASE AND SUBBASE LAYERS  
OF PAVEMENTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

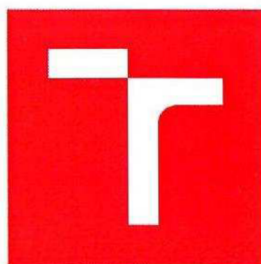
AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Karin Winterová

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. DUŠAN STEHLÍK, Ph.D.

BRNO 2017



# 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  
PRACOVNÍŠTĚ Ústav pozemních komunikací

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

STUDENT Karin Winterová  
NÁZEV Asfaltový recyklát do podkladních vrstev vozovek  
VEDOUCÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE Ing. Dušan Stehlík, Ph.D.  
DATUM ZADÁNÍ 30. 11. 2016  
DATUM ODEVZDÁNÍ 26. 5. 2017

V Brně dne 30. 11. 2016

  
.....  
doc. Dr. Ing. Michal Varaus

Vedoucí ústavu



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

## PODKLADY A LITERATURA

TP208 Recyklace konstrukčních vrstev netuhých vozovek za studena  
TP210 Užití recyklovaných stavebních demoličních materiálů do pozemních komunikací  
ČSN EN 13108-8 Asfaltové směsi - Specifikace pro materiály - Část 8: R-materiál  
odborné články z konferencí, výzkumné zprávy,  
odborné příspěvky z internetu na dané téma

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ (ZADÁNÍ, CÍLE PRÁCE, POŽADOVANÉ VÝSTUPY)

Zpracování aktuální rešerše o používání asfaltového recyklátu do podkladních vrstev vozovek. Shrnutí zahraničních zkušeností s využitím zkoušeného materiálu. Sledování aktuálně používaných technologií na zpracování asfaltových recyklátů do konstrukčních vrstev vozovek.  
Prakticky ověřit možnosti využití asfaltového recyklátu v nestmelené a stmelené podkladní vrstvě vozovky.

## 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**

Cílem bakalářské práce je zpracování aktuální rešerše o používání asfaltového recyklátu do podkladních vrstev vozovek. Kromě tuzemských poznatků se zabývá také zahraničními zkušenostmi využití zkoumaného materiálu a sleduje aktuálně používané technologie pro zpracování asfaltových recyklátů do konstrukčních vrstev vozovek. V praktické části jsou poté ověřeny možnosti využití asfaltového recyklátu v nestmelené a stmelené podkladní vrstvě vozovky.

## **Klíčová slova**

Recyklace netuhých vozovek, R-materiál, Popílek, síťový rozbor, Proctorova zkouška, IBI (Okamžitý index únosnosti), CBR (Kalifornský poměr únosnosti)

## **Abstract**

This bachelor thesis reviews the use of asphalt recycled material and its application in the base and subbase layers of pavements. In addition to domestic knowledge, a foreign experience with the use of tested material and also covers currently used technologies for the processing of asphalt recyclates into the constructional layers of roads is presented. Possible application of asphalt recyclates in the unblemished and coated subbase layer of the road are verified in the practical part.

## **Keywords**

Recycling flexible pavements, Reclaimed asphalt pavement (RAP), Fly Ash, Sieving method, Proctor compaction, IBI (Immediate Bearing Index) CBR (California Bearing Ratio)

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

WINTEROVÁ, Karin. *Asfaltový recyklát do podkladních vrstev vozovek*. Brno, 2017. s. 56. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce Ing. Dušan Stehlík, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 25. 5. 2017

---

Karin Winterová  
autor práce

## PODĚKOVÁNÍ

V první řadě bych ráda poděkovala svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Dušanu Stehlíkovi, Ph.D. za poskytnuté podklady pro vypracování práce, ochotu, nedocenitelné rady a především za příkladné vedení bakalářské práce a odbornou pomoc při její tvorbě. Dále bych ráda poděkovala panu Pavlu Strakovi za ochotu a cenné rady při práci v silniční laboratoři. A v neposlední řadě bych ráda poděkovala svým blízkým a rodině za podporu během celé délky studia.

## Obsah

Úvod.....	9
1 Teoretická část .....	10
1.1 Recyklace.....	10
1.1.1 Rozdělení recyklace .....	10
1.1.2 Recyklace v míchacím centru za horka .....	11
1.1.3 Recyklace v míchacím centru za studena .....	14
1.1.4 Recyklace na místě za horka .....	14
1.1.5 Recyklace na místě za studena .....	15
1.2 R-materiál .....	17
1.3 Užití recyklovaného stavebního materiálu do PK .....	18
1.3.1 Nestmelené vrstvy .....	19
1.3.2 Stmelené vrstvy .....	19
1.3.3 Maximální množství R-materiálu ve směsi .....	20
1.4 Výroba recyklátu z SDO .....	21
1.5 Požadavky na recyklované kamenivo.....	21
1.6 Poznátky ze zahraničí .....	22
1.6.1 Portugalsko .....	22
1.6.2 Jižní Afrika .....	23
1.6.3 USA.....	23
1.6.4 Austrálie.....	25
1.6.5 Thajsko.....	25
1.6.6 Indie.....	25
1.6.7 Čína .....	25
1.6.8 Kanada .....	26
1.7 Použití asfaltového recyklátu v ČR a zahraničí .....	27
2 Praktická část .....	28
2.1 Materiál.....	28
2.1.1 Asfaltový recyklát .....	28
2.1.2 Kamenivo.....	28
2.1.3 Fluidní popílek.....	28
2.2 Konvenční zkoušky.....	30
2.2.1 Sítový rozbor .....	30



2.2.2	Zhutnitelnost .....	35
2.2.3	CBR a IBI .....	42
	Závěr.....	48
	Seznam použitých pramenů a literatury .....	50
	Seznam tabulek.....	53
	Seznam obrázků.....	54
	Seznam grafů .....	55
	Seznam zkratk.....	56

## Úvod

Trvalé rozšiřování silniční infrastruktury, nejen v České republice, a její vliv na životní prostředí si vyžaduje zvláštní pozornost. Vzhledem ke zvyšujícím se nákladům na rekonstrukci a údržbu silnic se stále řeší aktuální potřeby jejich obnovy a rehabilitace. To je spojeno s požadavky na stále dražší materiály pro stavbu silnic. Proto musí být pro výstavbu silnic zváženy nejúčinnější a nejlevnější materiály a postupy, které jsou nyní k dispozici.

Recyklace asfaltových vrstev je proto logickým a praktickým způsobem, jak zachovat přírodní zdroje a přitom snížit náklady na opravy stávajících asfaltových vozovek. Při výstavbě a rekonstrukci netuhých vozovek se používá velké množství agregátů a pojiv. Tyto zdroje (převážně kvalitní kamenivo a ropa) jsou však omezené, a proto je začlenění a opětovné použití materiálu z asfaltových vozovek důležité i z hlediska životního prostředí. Právě posouzením vhodnosti použití asfaltového recyklátu do podkladních vrstev vozovek se bude zabývat tato bakalářská práce.

Bakalářská práce se skládá ze dvou hlavních částí, z části teoretické a praktické.

Teoretická část práce se zabývá dvěma důležitými kapitolami. První velká kapitola je literární rešerše, která se obecně zabývá jednotlivými druhy recyklací jako takovými a zhodnocením výroby, vlastností a použití asfaltového recyklátu do stmelěných a nestmelěných podkladních vrstev vozovek. Druhá část je zaměřena na poznatky a zkušenosti ze zahraničí, kde je také uvedeno srovnání použití R-materiálu v České republice a v zahraničí.

V praktické části bylo hlavním cílem praktické ověření použití R-materiálu do podkladních vrstev vozovky. Dále se praktická část zabývá ovlivněním vlastností asfaltového recyklátu frakce 0/22 po přidání přírodního kameniva, konkrétně bylo použito kamenivo frakce 0/4, nebo fluidního popílku. Tyto materiály byly přidávány do R-materiálu vždy po 20 %. Pro zkoumání parametrů takto stanovených směsí byly zvoleny tři konvenční zkoušky. A to síťový rozbor, stanovení zhutnitelnosti a stanovení okamžitého indexu únosnosti (dále jen IBI) a kalifornského poměru únosnosti (dále jen CBR).

V závěru bakalářské práce byly shrnuty poznatky zřejmé z výsledků zkoušek.

# 1 Teoretická část

## 1.1 Recyklace

Recyklace, z anglického slova recycling (znovupoužití materiálu), je ve stavebnictví jedním z nezbytných předpokladů pro zachování udržitelného rozvoje výstavby dopravních cest a překlenutí rozporu mezi ekonomickým růstem a ochranou životního prostředí.

Důvodem recyklace je zachování stavebních materiálů (kamenivo, asfalt) a energetických zdrojů (pohonné hmoty, topná média). Také má příznivý dopad na životní prostředí, ať už se jedná o redukci skleníkových plynů (CO<sub>2</sub>), snížení znečištění ovzduší (výfukové plyny, hluk) či omezení skládek. Pozitivně působí i na ekonomiku: snížení nákladů, snížení zatížení komunikace a zkrácení doby výstavby. [2]

### 1.1.1 Rozdělení recyklace

Dle místa provádění míchání

- v míchacím centru (mix in plant) = obalovna, mobilní jednotka
- na místě (mix in place, in situ)

Dle teploty procesu

- za horka
- za studena

Dle použitého pojiva

- asfalticky dominantní stmelení
- hydraulické stmelení

Dle hloubky

- celková (150 – 200 mm)
- částečná (do 150 mm)

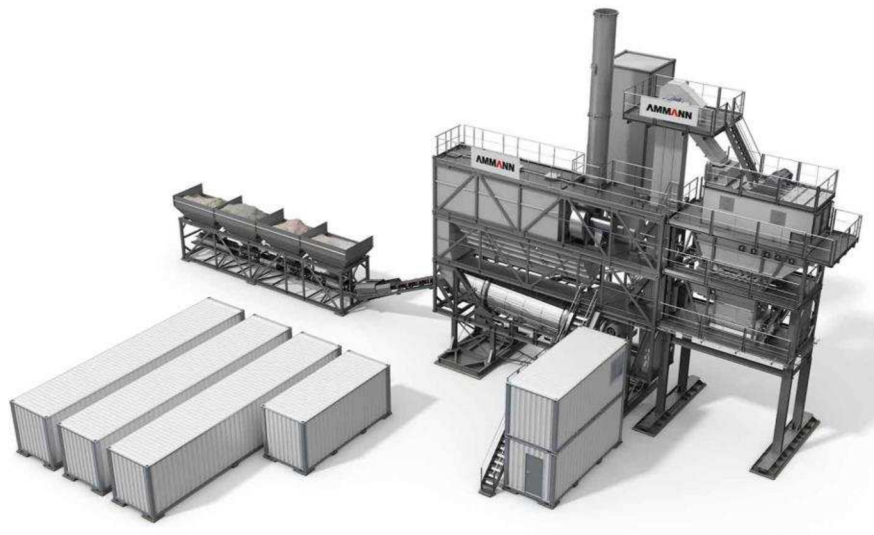
## Základní druhy recyklace

- v míchacím centru za horka
- v míchacím centru za studena
- na místě za horka
- na místě za studena [3]

### 1.1.2 Recyklace v míchacím centru za horka

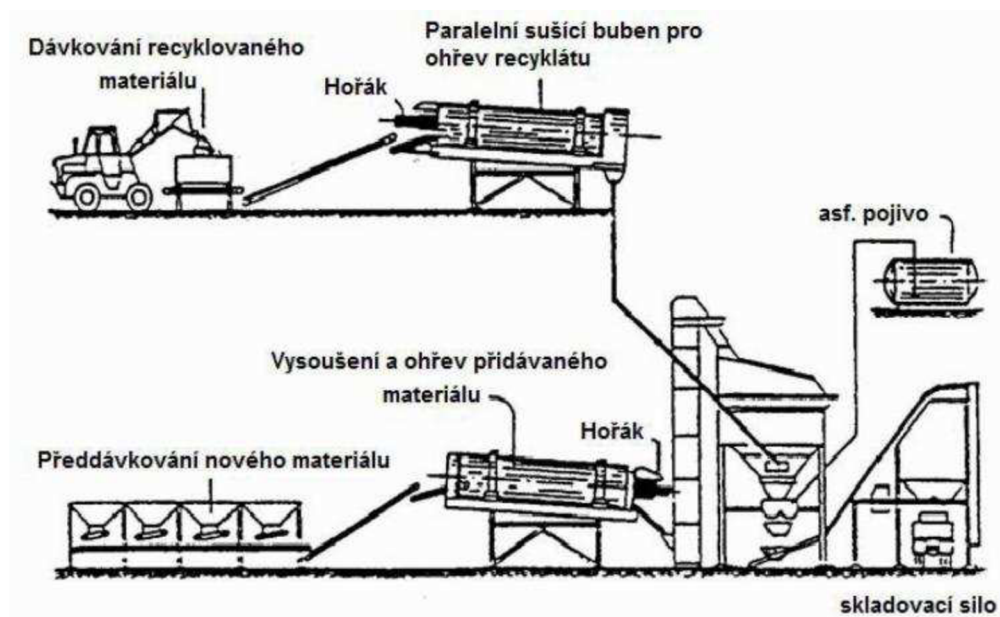
Tato metoda recyklace je omezena na asfaltové stmelené vrstvy. Rozlišujeme celkem tři možnosti jak materiál recyklovat v míchacím centru za horka.

Prvním a zároveň v České republice nejpoužívanějším způsobem je dávkování R-materiálu přímo do míchačky šaržové obalovny. V tomto případě je ohříváno kamenivo a vzhledem k nezastřešeným skládkám se zde objevují problémy s vlhkostí.



Obrázek 1.1: Šaržová obalovna [4]

Další metodou je předehřívání R-materiálu v paralelním bubnu šaržové obalovny, který umožňuje dávkování do asfaltových směsí ve výrazně vyšším množství než při dávkování za studena (až 80 % hmotnosti). Kvůli vyššímu dávkování je potřeba pravidelná kontrola vlastností pojiva v R-materiálu, používá se materiál s vyšší kvalitou, tu získáme frézováním R-materiálu po vrstvách s následným odděleným skladováním, zastřešením skládek a homogenizací.



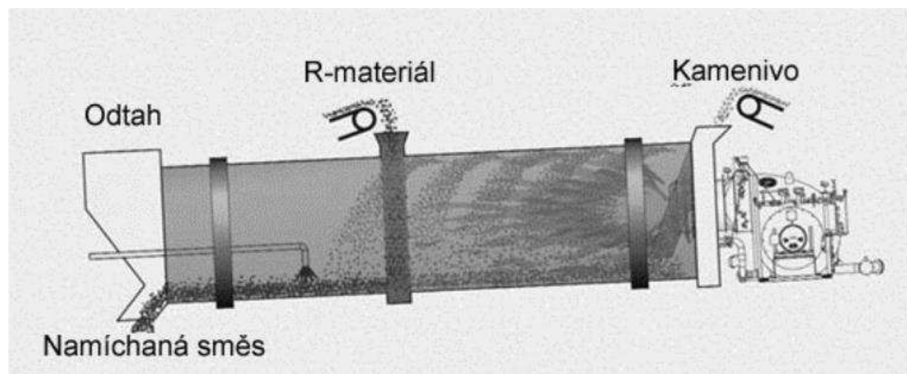
**Obrázek 1.2: Předehřívání v paralelním bubnu [3]**

Poslední technologií je technologie Drum-mix založená na kontinuální obalovně. Tento způsob vyžaduje konstantní kvalitu vstupního materiálu, čehož dosáhneme pomocí R-materiálu o vyšší kvalitě, o kterém bylo zmíněno již v předchozím odstavci.

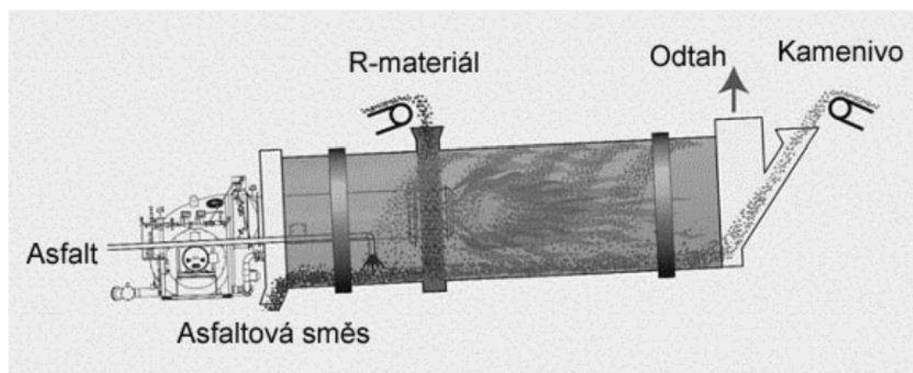


**Obrázek 1.3: Kontinuální obalovna [5]**

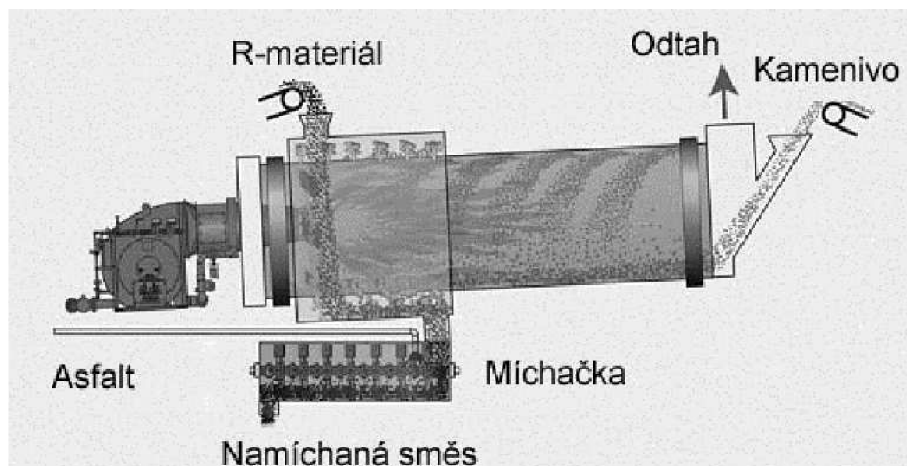
Tato metoda umožňuje R-materiál dávkovat třemi způsoby, a to přidáváním R-materiálu souběžně s proudem horkého vzduchu, dále proti proudu horkého vzduchu a nakonec separátním vysoušením R-materiálu ve vnějším bubnu a kameniva ve vnitřním sušícím bubnu s následným mícháním v míchačce. [3, 6]



Obrázek 1.4: Přidávání R-materiálu souběžně s proudem horkého vzduchu [3]



Obrázek 1.5: Přidávání R-materiálu proti proudu horkého vzduchu [3]



Obrázek 1.6: Separátní vysoušení R-materiálu, míchání v míchačce [3]

### 1.1.3 Recyklace v míchacím centru za studena

Jedná se o případ recyklace, při které se míchá R-materiál za studena s asfaltovou emulzí, popřípadě asfaltovou pěnou, a dalším materiálem, např. kamenivem. Kromě emulze je do směsi vmícháván cement nebo vápenný hydrát. Samotné míchání se děje v obalovně, která může být jak stacionární nebo semimobilní, tak mobilní. Dovězená směs na stavbu se pokládá běžnými finišery. Na vyzrálou vrstvu (délka zrání závisí na vlhkosti vzduchu, mezerovitosti a množství vody ve směsi) se položí horká asfaltová směs nebo se vrstva opatří nátěrem. [3]



Obrázek 1.7: Stacionární obalovna, BENNINGHOVEN [7]

### 1.1.4 Recyklace na místě za horka

Recyklace na místě za horka lze dle způsobu provádění rozdělit na 5 různých technologií: Regrip, Reshape, Repave, Remix a Remix plus. Všechny zmíněné technologie vychází ze stejného postupu. Nejprve se stávající vozovka nahřeje infrazářiči, poté se povrch rozpojí a promíchá s dalším materiálem (asfaltem, kamenivem, asfaltová směs), vrstva se rozprostře finišerem, předhutní a nakonec se směs zhutní pomocí válců. Veškeré práce se konají na místě, tzn. přímo na stavbě.

Technologie Regrip se používá zejména pro zlepšení protismykových vlastností obrusné vrstvy vozovky. Spočívá v nahřátí povrchu a podrcení úzké frakce kameniva se zaválcováním.

Reshape je metoda, která bývá užívána pro reprofilaci obrusné vrstvy, kdy se povrch nejprve zahřeje, směs se promíchá a bez jakýchkoliv dalších složek se opětovně položí a urovná.

Třetím způsobem recyklace na místě za horka je metoda Repave. Tato metoda se používá při přeformování stávající obrusné vrstvy jako u Reshape. Zde se ale po reprofilaci pokládá nová obrusná vrstva bez společného promísení směsí a spojovacího postřiku, tím se dosáhne zesílení stávající vozovky.

Další možností je metoda Remix, ta je založena na metodě Reshape, přičemž se do směsi přidává ještě další materiál, kterým může být např. kamenivo, častěji se ale používá asfaltové pojivo či asfaltová směs.

U metody Remix plus se nejprve provede metoda Remix a poté se ještě na horkou směs pokládá nová asfaltová vrstva. Tomu se říká systém tzv. horké na horké a dále se již nepoužívá spojovací postřik. Vrstvy jsou poté současně zhutněny. Touto metodou se podobně jako u metody Repave docílí zesílení původní vozovky. [3]



Obrázek 1.8: Recyklace na místě za horka pomocí stroje WIRTGEN [8]

### 1.1.5 Recyklace na místě za studena

Recyklace na místě za studena je omezena pro nestmelené a značně nehomogenní vrstvy, částečně stmelené a asfaltové vrstvy vozovky. U této metody rozlišujeme dva způsoby, které závisí na přidání pojiva do směsi.

U směsí, kde nepřidáváme pojivo, se dělá reprofilace, nebo se pokládá nová vrstva z recyklovaného kameniva. Výslednou vrstvou je poté mechanické zpevněné kamenivo (dále jen MZK), popřípadě štěrkodrt' (dále jen ŠD). Používá se pro vrstvy ochranné a podkladní.

Po přidání pojiva do směsi získáme větší únosnost celé konstrukce vozovky a tloušťky pokládaných konstrukčních vrstev se mohou redukovat. Pojivem může být, stejně jako u recyklací v centru za studena, asfaltová emulze, zpeňný asfalt nebo cement. [3]





**Obrázek 1.9: Recyklace na místě za studena pomocí stroje WIRTGEN [9]**

Technologie recyklace za studena na místě se nedělí pouze dle přidaného pojiva, ale také dle hloubky provádění, kdy rozdělujeme celkovou a částečnou recyklaci.

Celková recyklace bývá prováděna do hloubky 150 – 250 mm a to rozpojením původních vrstev vozovky pomocí půdní frézy. Rozpojený materiál bývá smíchán s pojivem, přísadami, vodou a případně dalším materiálem jako je kamenivo. Dávkování pojiva, kterým může být asfaltová emulze, zpěněný asfalt nebo cementová suspenze, a vody je prováděno v předepsaném množství v závislosti na rychlosti pojezdu a šířce úpravy přes recyklační frézu. Po promíchání se provádí reprofilace pomocí autograderu a zhutnění vrstvy těžkým vibračním válcem. Při práci by se z důvodu potřebných přesahů okrajů nemělo opomenout na odstupňované šířky. [2, 3]

Za částečnou recyklaci se považuje recyklace do hloubky 80 – 150 mm, přičemž se za hlavní složku pojiva považuje asfaltová emulze. Pro mělké frézování se používá fréza, která musí zajistit nejen rozfrézování recyklovaných vrstev, ale i vytřídění materiálu s následným předrcením, popřípadě dodáním dalšího materiálu (kameniva) pro dodržení požadované zrnitosti. Do takto připraveného materiálu se dávkuje pojivo, nejčastěji tedy asfaltová emulze, a směs se důkladně promíchá. Finišerem bývá směs pokládána a dále zhutněna s následným ošetřením povrchu nátěrem s podrcením, popřípadě se po vyžrání může položit další asfaltová vrstva. [2, 3]

## 1.2 R-materiál

R-materiál (dále jen RA), z anglického Reclaimed Asphalt, je homogenizovaná asfaltová směs asfaltu a kameniva, která se získává frézováním krytových asfaltových vrstev vozovek (kvalitnější materiál), vybouráním desek z asfaltových vozovek nebo z neshodné či nadbytečné výroby, následně je upraven drcením a tříděním. Jedná se o více jak 95 % asfaltových materiálů (Ra), s maximálním obsahem 5 % hmotnosti ostatních recyklovaných materiálů (Rc + Rb + Ru + X + Y + FL).

Recyklát asfaltový je poté recyklát z vozovek, kde je podíl Ra 30 % - 95 % hmotnosti. Do ostatních částí, z kterých je R-materiál složen, patří betonový recyklát (Rc), pálené zdící prvky (Rb) a nestmelené kamenivo, přírodní kámen, kamenivo ze směsi stmelné hydraulickým pojivem (Rc). Jinými částicemi (X) se rozumí částice přilnavé (tj. jemnozrné jílovité zeminy a nečistoty), různorodé jako kovy (železné i neželezné), neplovoucí dřevo, stavební plasty a pryž, sádrová omítka, apod. Ostatní částice (Y) jsou částice nestavebního charakteru, např. papír, polyetylenové obaly, textil, organické materiály, apod. Plovoucí částice (FL) jsou částice plovoucí ve vodě, např. plovoucí dřevo, polystyren, apod. [10]



Obrázek 1.10: Drcení a třídění R-materiálu [11]

### 1.3 Užití recyklovaného stavebního materiálu do PK

Stavební a demoliční odpad (dále jen SDO) upravený na recyklát může mít při správném použití v pozemních komunikacích dokonce stejně kvalitní vlastnosti jako přírodní materiál. Vrstvy z recyklovaných materiálů jsou tedy stejně hodnotné jako z materiálů přírodních. [10]

*„Problémem je špatná informovanost o možnostech těchto materiálů a nevhodný způsob uvádění recyklačních technologií do souvislosti s nakládáním s odpady. S tím souvisí vznik mnoha uměle vytvořených problémů a zbytečných překážek.“ [10]*

V technických podmínkách, konkrétně TP 210, se řeší využití recyklovaných minerálních odpadů z demolic staveb (SDO), do zemního tělesa, podloží vozovek a konstrukčních vrstev pozemních komunikací, dopravních a jiných ploch. Z recyklace SDO poté vzniká recyklát, který by měl plně nahrazovat přírodní materiál (kamenivo). [10]

V tabulce 1.1 TP 210 orientačně rozdělují užití dle procentuálního zastoupení hlavní složky recyklátu.

**Tabulka 1.1: Doporučené užití RSM podle zastoupeného základního materiálu [10]**

Recyklát	Konstrukční vrstvy pozemní komunikace									Podloží, zemní těleso
	AB	CB	Nestmelené podkladní vrstvy				Stmelené podkladní vrstvy	Prolévané a podkladní vrstvy a VŠ		
			MZK	ŠD <sub>A</sub>	ŠD <sub>B</sub>	MZ		Kostra	Výplň	
Z betonu	+	0/-	+	+	+	+/0	+	+/0	+/0	+/0
Ze zdiva	-	-	-	0/-	+	+/0	+	0/-	+/0	+/0
Směsný	-	-	-	-	-	+	+	-	+	+
Z vozovek	+	+/0	+	+	+	+/0	+	+/0	+/0	+/0
Asfaltový	+	-	+/0	+	+	0/-	+	0/-	0/-	0/-

Vysvětlivky:

+ ... doporučuje se používat

- ... nedoporučuje se používat

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

AB...asfaltové vrstvy vozovek PK

CB...cementobetonové kryty PK, po splnění požadavků ČSN EN 13877-1 možné použití do spodní vrstvy dvouvrstvového CB krytu.

### 1.3.1 Nestmelené vrstvy

V předchozí tabulce bylo uvedeno užití recyklovaných stavebních materiálů (dále jen RSM) v nestmelených vrstvách, tj. vrstvách bez použití pojiva. Použití recyklátu do takové vrstvy má ale omezení z ohledu třídy dopravního zatížení (dále jen TDZ) podle ČSN 73 6114, Z1. TDZ, pro které je nestmelená vrstva vhodná, lze vidět v tabulce 1.2. [10, 27]

**Tabulka 1.2: Užití RSM do nestmelených vrstev [10]**

Vrstva		Doporučená třída dopravního zatížení podle ČSN 73 6114, Z1	
		Podkladní vrstva	Ochranná vrstva
MZK z recyklovaného kameniva	MZK - R	Bez omezení	-
ŠD z recyklovaného kameniva	ŠD <sub>A</sub> - R	III, IV, V, VI	Bez omezení
	ŠD <sub>B</sub> - R	V, VI	V, VI
VŠ z recyklovaného kameniva	VŠ - R	V, VI	V, VI
MZ z recyklátu	MZ - R	V, VI	V, VI

### 1.3.2 Stmelené vrstvy

Stejně jako vrstvy nestmelené mají omezení z hlediska TDZ i vrstvy stmelené závislé na použitém pojivu. Užití recyklátu s použitím pojiva ve vozovce je uvedeno v tabulce 1.3.

**Tabulka 1.3: Užití RSM do asfaltových vrstev, vrstev stmelených hydraulickým pojivem a prolévaných vrstev [10]**

Směs recyklovaného kameniva vyrobená v míchacím centru nebo obalovně	Doporučená třída dopravního zatížení		
	Obrusná vrstva	Ložní vrstva	Podkladní vrstva
S použitím asfaltu jako asfaltové vrstvy	IV, V, VI	II, III, IV	II, III, IV
S použitím cementu nebo jiného hydraulického pojiva jako stmelená vrstva	-	-	Bez omezení
S použitím asfaltové emulze, zpěněného asfaltu v kombinaci s jiným např. hydraulickým pojivem nebo jako výplňová směs pro prolévané vrstvy	-	IV, V, VI	Bez omezení
S použitím asfaltové emulze nebo zpěněného asfaltu	-	IV, V, VI	Bez omezení

### 1.3.3 Maximální množství R-materiálu ve směsi

Pro Českou republiku je použití asfaltového recyklátu přípustné pouze do asfaltových směsí typu asfaltový beton. V následující tabulce je uvedeno maximální množství R-materiálu, které lze do takových směsí dávkovat. Tabulka převzata z národní přílohy NA-E normy ČSN EN 13108-1 Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 1: Asfaltový beton.

Tabulka 1.4: Nejvyšší přípustný obsah R-materiálu v asfaltové směsi [28]

Obrusné vrstvy		Ložné vrstvy		Podkladní vrstvy	
Druh směsi	Obsah R-materiálu [%]	Druh směsi	Obsah R-materiálu [%]	Druh směsi	Obsah R-materiálu [%]
ACO 8	25	ACL 16 S	30/15 <sup>1) 2)</sup>	ACP 16 S	50 <sup>1)</sup>
ACO 8 CH	25	ACL 16 +	30 <sup>1)</sup>	ACP 16 +	60
ACO 11 S	0	ACL 16	40	ACP 22 S	50 <sup>1)</sup>
ACO 11 +	0	ACL 22 S	30/15 <sup>1) 2)</sup>	ACP 22 +	60
ACO 11	25	ACL 22 +	30 <sup>1)</sup>		
ACO 16 S	0	ACL 22	40		
ACO 16 +	0				
ACO 16	25				

Vysvětlivky:

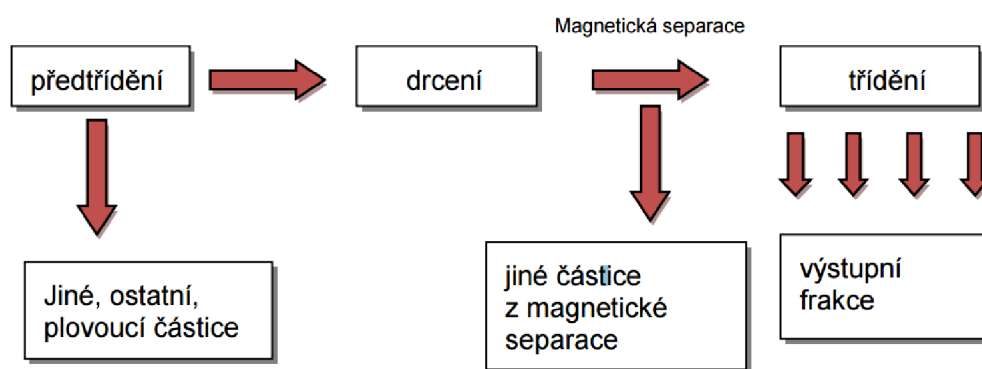
<sup>1)</sup> Pokud se R-materiál přidává do směsí vyráběných s užitím modifikovaných asfaltů, smí být použit v max. množství 10 % z celkové hmotnosti směsi pro obrusné vrstvy a v množství 20 % z celkové hmotnosti směsi pro ložní a podkladní vrstvy.

<sup>2)</sup> Při výrobě směsí z nemodifikovaných asfaltů lze použít 30% R-materiálu, u směsí vyráběných z modifikovaných asfaltů lze použít pouze 15 % R-materiálu z celkové směsi.

## 1.4 Výroba recyklátu z SDO

Výroba recyklátů a její způsob má značný vliv na vyrobený materiál, který je poté využit v pozemních komunikacích. Je proto velice důležité provést důkladné třídění vybouraného materiálu, který bude použit pro další použití.

Pro vytvoření kvalitního recyklovaného materiálu je třeba zvolit nejen správnou technologii a organizaci prací ale i logistický systém celého chodu recyklačního zařízení. Metody úpravy SDO na kvalitní recyklát jsou dnes již ustálené a používá se pro ně všeobecně uznávaná konfigurace, která je vyjádřena blokovým schématem na obrázku 1.1. [10]



Obrázek 1.11: Blokové schéma úpravy SDO na recyklát [10]

Skladování RSM je závislé na druhu a jakosti daného materiálu, přičemž nesmí dojít ke znečištění, smíchání, vyplavování či jinému znehodnocení. Při uplatnění recyklátu do pozemních komunikací (dále jen PK) je třeba sledovat homogenitu a stejnorodost z hlediska úrovně kvality. [10]

## 1.5 Požadavky na recyklované kamenivo

Pro užití recyklovaného kameniva do PK je nezbytné zajištění deklarace jeho vlastností, kterými se nemyslí pouze vlastnosti stavebně technické, ale důležité je i dodržení stanovených limitů obsahu nebezpečných látek.

Mezi základní požadavky na recyklované kamenivo patří:

- Požadavky na tvarové vlastnosti – zrnitost, tvar zrn hrubého kameniva – index plochosti a tvarový index, procentuální zastoupení ostrohranných a oblých zrn, obsah jemných částic
- Požadavky na fyzikální vlastnosti – odolnost proti drcení hrubého kameniva, odolnost hrubého kameniva proti otěru, objemová hmotnost zrn, nasákavost
- Trvanlivost [12]

Při obsahu dehtu v asfaltovém recyklátu je třeba dbát na konkrétní podmínky použití dané v TP 150. [10]

## **1.6 Poznatky ze zahraničí**

Při výstavbě a rekonstrukcích asfaltových vozovek se používá velké množství přírodních zdrojů, které jsou však omezené, a proto je začlenění a opětovné použití materiálů z asfaltových vozovek důležité vzhledem k životnímu prostředí.

V Evropě se každoročně z vozovek odstraní více než 50 milionů tun asfaltu, avšak v některých zemích je opětovné použití nežádoucí a důvody se mohou v jednotlivých zemích lišit.

Například v zemích jako je Nizozemsko, tzn. v zemích, kde je potřeba dovážet všechny agregáty (=kamenivo), existuje ekonomický nátlak na využití recyklovaných materiálů.

Z výzkumů za poslední léta je zřejmé, že vrstvy z recyklovaných materiálů jsou stejně adekvátní jako vrstvy z materiálů přírodních. [14]

### **1.6.1 Portugalsko**

V různých průmyslových odvětvích je výroba horké asfaltové směsi ovlivňována Kjótským protokolem, ve kterém se rozvinuté země zavázaly k snížení emisí skleníkových plynů. Za tímto účelem se hledají nové alternativy výroby nebo zlepšení stávajících produktů. Vytvořen byl recyklovaný asfalt za tepla (dále jen WMRA), který nejen snižuje emise a energie potřebné k výrobě, ale také zvyšuje bezpečnost pracovních podmínek. WMRA lze použít i při chladných klimatických podmínkách nebo při vysoké přepravní vzdálenosti.

Proto byla v Portugalsku provedena studie týkající se výroby WMRA za použití 100% asfaltového recyklátu zahřátého na teplotu v rozmezí 100 až 140°C s přidáním malého procenta asfaltové emulze při teplotě okolí. Studie měla prokázat náhradu WMRA za tradiční horké asfaltové směsi.

Navrhovaná metoda byla založena na modulu tuhosti získaného z nepřímé zkoušky tahem. Zkoumané byly i mechanické vlastnosti. Zjištěná tuhost a únava se příliš nelišily oproti horkým směsím, ale trvalé deformace byly mnohem vyšší. Výrazné zlepšení se objevilo až při teplotě 45°C, tzn. při teplotě, která odpovídá horkým letním dnům ve střední klimatické oblasti Portugalska.

WMRA obsahující 0 %, 1 % a 2 % emulze vykazují uspokojivé výsledky z hlediska mechanických vlastností. Je tedy možné říci, že WMRA je přijatelnou alternativou při opravách netuhých vozovek. [13, 14]

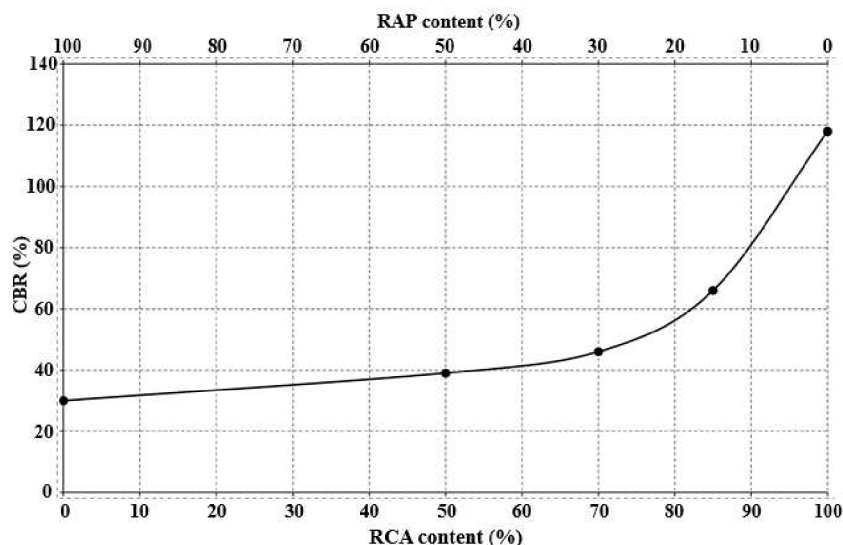
## 1.6.2 Jižní Afrika

V Jižní Africe specialisté analyzovali data z projektu použití pěnového asfaltu ve spojení s různým procentuálním zastoupením asfaltového recyklátu (dále jen RAP) a konstantního zastoupení obsahu cementu (1 %). Zkoumána byla pevnost ve smyku, pružné chování, odolnost proti trvalým deformacím a propustnost. Pro získání mechanických vlastností byly směsi zkoumány při různých teplotách. Vzhledem k různým zastoupením RAP se zde objevily rozdíly mezi jednotlivými směsmi.

Významné rozdíly mechanických vlastností se objevují při zrychleném a dlouhodobém vytvrzování. Klíčovou roli ve všech testech hraje teplota, kdy asfaltové pěny měnily své chování už při jednostupňovém rozdílu teploty. Proto musí být teplota zohledněna při návrhu směsi. Při zatěžovacím triaxálním testování bylo prokázáno, že rozdílné procentní podíly RAP mají vliv na soudržnost a adhezi, a to vyšší u směsi s vyšším podílem RAP. Dále byla u těchto směsí zjištěna taky větší propustnost, což vede k významnému zhoršení odolnosti proti vlhkosti. [15]

## 1.6.3 USA

V USA byla snaha o výrobu směsi z asfaltového recyklátu (dále jen RAP) a betonového recyklátu (dále jen RCA), kdy se zkoumaly směsi RCA s obsahem RAP 100 %, 50 %, 30 % a 15 %. Z laboratorního vyhodnocení bylo patrné, že směs s obsahem RAP 15 % splňovala požadavky pro trvalé namáhání a modul pružnosti při použití v podkladních vrstvách. Výsledky CBR pro tuto směs už požadavky nesplňovaly. U směsí s vyšším podílem RAP nebyly splněny požadavky pro použití do podkladních vrstev. Směs se 100 % RAP neměla vyhovující vlastnosti z hlediska pevnosti. Směsi RAP a RAP/ RCA teda zcela nebyly v souladu s místními požadavky, ale mohou být použity do vozovek s nižším dopravním zatížením. [16]



Obrázek 1.12: Výsledky CBR v závislosti na obsahu RAP/RCA [16]

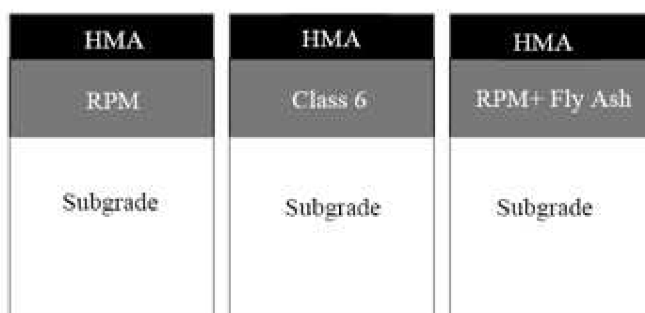


Mezi další Americké výzkumy patří také studie zabývající se mechanickými a hydraulickými vlastnostmi RAP a popílku (dále jen FA) v porovnání s přírodními materiály. Hodnoceny byly vlastnosti retence vody, hydraulická vodivost, modul pružnosti (dále jen MR) a smyková pevnost.

Výsledné křivky retence vody byly srovnatelné, hydraulická vodivost už byla u RAP i FA vyšší, což znamená, že při přidání těchto konkrétních recyklovaných materiálů se obecně zlepšily odvodňovací schopnosti. Lepší mají i smykovou pevnost nebo MR. Znamená to tedy, že při přidání hrubších recyklovaných materiálů do směsi se zlepšují jak mechanické, tak i hydraulické charakteristiky. FA má sice jemnější zrna, avšak určité cementové vlastnosti a výsledky byly dostačující při přidání 15% FA do směsi. Z této studie tedy vyplývá, že RAP i FA jsou kvalitními náhražkami původních agregátů do konstrukčních vrstev vozovek. [17]

Cílem další studie Američanů bylo vyhodnotit výkonnost cementového recyklovaného asfaltu, který obsahuje cement s vysokým obsahem uhlíku (dále jen CHCFA), na reálné vozovce.

Na zkušební dráze MnROAD v Minnesotě byly postaveny tři testovací vozovky. Tyto vozovky byly složeny ze stejných krytových asfaltových vrstev, ale s různými podkladními vrstvami. První vozovka měla podkladní vrstvu z přírodního kameniva, druhá z recyklovaného materiálu z vozovek (dále jen RPM) a třetí z RPM stabilizovaného právě CHCFA. Během i po skončení výstavby byly na vozovkách prováděny laboratorní a terénní testy pro určení vlastností daných materiálů. Výsledky testů byly použity pro mechanicko-empirický návrh vozovky (dále jen MEPDG) pro předpověď výkonnosti vozovky. Na základě této předpovědi byla provedena analýza životního cyklu nákladů, spotřeby energie a skleníkových plynů.



**Obrázek 1.13: Navržené skladby vozovek [24]**

Laboratorní testy ukázaly, že RPM stabilizovaná popílkem měla vyšší modul než zbývající dvě vozovky. Na základě MEPDG byla stanovena životnost RPM stabilizované CHCFA na 23,5 let, což je zhruba dvojnásobek oproti vozovce s nestabilizovaným RPM (11 let) a přibližně trojnásobek oproti vozovce z přírodního kameniva (pouhých 7,5 let). Lze tedy jednoznačně konstatovat, že vozovka se stabilizovaným RPM může výrazně snížit náklady na životní cyklus, spotřebu energie a emise skleníkových plynů. [24]

#### 1.6.4 Austrálie

Popílek jako vedlejší produkt pro zlepšení fyzikálních a geotechnických vlastností kameniva byl také zkoumán v Austrálii, kde se používal jako stabilizátor RAP do konstrukčních vrstev vozovky. Výzkumníci se zaměřili na zlepšení pevnosti a trvanlivosti tohoto recyklovaného materiálu. Vývoj pevnosti v tlaku a modulu pružnosti byl studován při pokojové teplotě a při zvýšené teplotě 40°C a byl porovnáván s klasickým RAP. Výsledky zkoušení ukázaly, že FA je životaschopným pojivem pro stabilizaci RAP. Nejvyšší pevnost v tlaku byla zjištěna při množství 15 % FA při obou z teplot. Dále bylo zjištěno, že vytvrzení při vyšší teplotě vedlo k vyšší únosnosti. [18]

#### 1.6.5 Thajsko

V Thajsku pracovali na výzkumu, kdy se výzkumníci snažili podpořit použití velkého množství RAP do směsi s použitím popílku. Jednalo se o směsi RAP-FA a o geopolymer RAP-FA. Z hlediska životního prostředí výsledky naznačují možnost použití obou typů, protože nepředstavují nebezpečí pro životní prostředí ani loužení do půdních, povrchových či podzemních vod. Lze tedy jak směs RAP-FA, tak i geopolymer RAP-FA považovat za ekologicky stabilizovaný materiál. [19]

#### 1.6.6 Indie

Národní technický institut v Indii se zabýval použitím popílku do konstrukčních vrstev vozovek a dospěl k následujícím závěrům.

Popílek je vhodné použít do betonových vozovek, kde se požadavky mění dle druhu popílku, podílu ve směsi, dalších složek směsi, postupu míchání, polních podmínek a umístění. Popílek a vápno lze kombinovat s kamenivem, nebo může být místo vápna použit portlandský cement pro zvýšení životnosti. Popílek je vhodným účinným činidlem pro chemickou či mechanickou stabilizaci zemin. Používá se také jako minerální pojivo do asfaltových vrstev za tepla. Po přidání popílku do směsi je možné snižovat tloušťky navrhovaných vrstev, což vede ke snížení celkových nákladů na vozovku. [20]

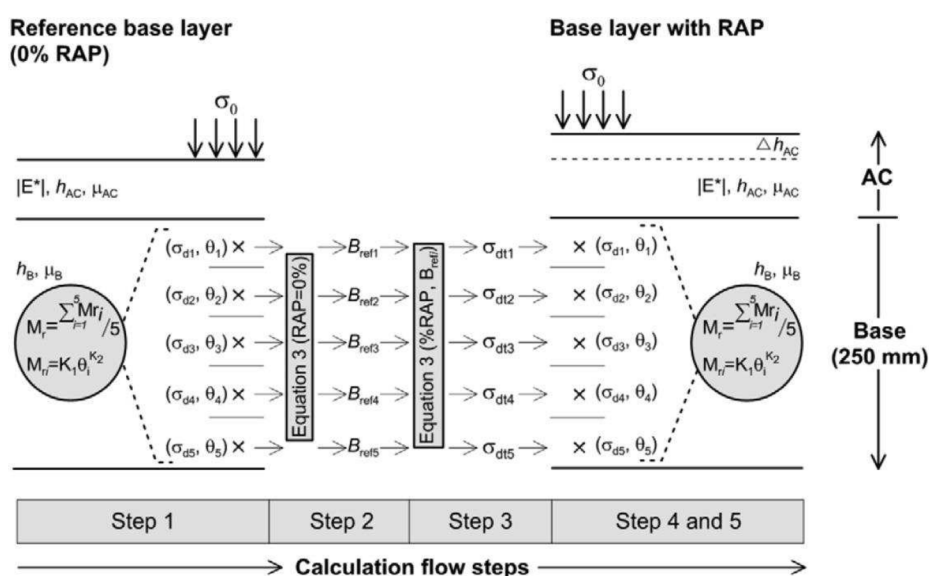
#### 1.6.7 Čína

Z důvodu zachování přírodních zdrojů a snížení nákladů na výstavbu se i v Číně snaží o opětovné využití stávajících vozovek. Proto byl proveden podrobný testovací program na RAP s cílem zhodnotit mechanické a konstrukční vlastnosti. Různé typy směsi RAP byly stabilizovány portlandským cementem a byla na nich provedena systémová analýza pro zjištění nákladů na životní cyklus. Ta ukázala, že přidáním malého procentuálního zastoupení portlandského cementu se zlepšují strukturální vlastnosti recyklovaných asfaltových materiálů použitých do nových konstrukčních vrstev, popřípadě použitých při rekonstrukcích. Výzkumem bylo potvrzeno, že použitím RAP se

sníží náklady na stavební materiál, což má za následek důležitý přínos pro životní prostředí a zachování přírodních zdrojů. [21]

### 1.6.8 Kanada

Co se týká odolnosti proti trvalé deformaci způsobené opakovaným zatížením, použití RAP v konstrukčních vrstvách vozovky oslabuje vrstvy. Za tímto účelem byl v Kanadě proveden laboratorní výzkumný program používající deformační testy pro kvantifikaci vlivu RAP. Výsledky zkoušky byly použity pro návrh metodiky návrhu asfaltového betonu z hlediska tloušťky tak, aby zohlednila obsah RAP. Byla navržena rovnice závislá právě na trvalé deformaci a obsahu RAP, rovnice byla použita pro vytvoření konstrukčního postupu pro určení zvýšení tloušťky potřebné k zajištění stejných vlastností jako má vrstva z přírodních materiálů. Dle rovnice bylo navrženo schéma k určení této tloušťky vrstvy. Tento návrh vyplynul jako plně vyhovující. [22]



Obrázek 1.14: Schéma postupu výpočtu potřebné výšky vrstvy s RAP [22]

## 1.7 Použití asfaltového recyklátu v ČR a zahraničí

V následující tabulce je znázorněno srovnání použití R-materiálu v ČR a v zahraničí. Z tabulky je patrné, že i když je v ČR technologie za horka používána, tak vzhledem k ostatním zemím stále zaostáváme a velké procento se ukládá na skládku. Například v Německu je důležitým aspektem pro znovupoužití materiálu do směsi nedostatek míst pro skládky. Navíc je R-materiál poskytován investorem bezúplatně a do směsi se poté přidat musí. V Nizozemí je nátlak ze strany nákladů, kdy je stejná cena za skládku jako novou vrstvou. [3]

Tabulka 1.5: Použití R-materiálu v ČR a zahraničí [23]

Země	Dostupný R-materiál [1000 t]	Použití R-materiálu [%]			
		Recyklace za horka a za tepla	Recyklace za studena	V nestmelených vrstvách	Uložení na skládku
Belgie	1 554	64	-	-	-
ČR <sup>1)</sup>	2 000	16	30	20	24
Finsko	1 160	100	-	-	-
Francie	7 000	68	-	-	-
Itálie	9 000	20	30	20	30
Německo	11 000	90	0	10	0
Nizozemsko	4 500	70	0	10	20
Norsko	932	38	-	61	-
SR	75	98	1	1	0
USA <sup>1)</sup>	69 700	91	0	6	1
VB	3 500	85	15	0	0

Vysvětlivky:

- ... data nebyla dohledána.

<sup>1)</sup> ... zbylé % použití R-materiálu je v jiném stavebním využití

## **2 Praktická část**

V praktické části bakalářské práce byl porovnáván čistý asfaltový recyklát frakce 0/22 (dále jen směs I) s dvěma druhy směsí. V prvním případě se jedná o směs asfaltového recyklátu s 20% podílem kameniva frakce 0/4 (směs II), v druhém směs asfaltového recyklátu s 20% podílem fluidního popílku (směs III). U navržených směsí se sleduje zvýšení obsahu jemných částic v asfaltovém recyklátu, což je důležité pro dodržení požadavků minimálního obsahu jemných částic jak pro nestmelené směsi, tak i stmelené a to z důvodu lepší zpracovatelnosti směsí.

Na jednotlivých vzorcích byly provedeny konvenční zkoušky pro zjištění základních parametrů zkoušeného materiálu. Jedná se o stanovení zrnitosti a zhutnitelnosti, okamžitý index únosnosti IBI a kalifornský poměr únosnosti CBR.

### **2.1 Materiál**

#### **2.1.1 Asfaltový recyklát**

Pro bakalářskou práci byl zvolen méně kvalitní nehomogenní asfaltový recyklát frakce 0/22, dovezený z Obalovny Rajhradice. Jedná se o Jihomoravskou obalovnu s.r.o. typu ASKOM VS 3T s míchačkou o objemu 3000 kg a výkonem až 160 tun/hod, která je společným podnikem společností Skanska a.s. a M Silnice.

#### **2.1.2 Kamenivo**

Ke zkoušení bylo zvoleno drcené kamenivo frakce 0/4 dopravené z lomu Zárubka (kamenolom Zárubka-Cejřov) od firmy Skanska a.s., jehož aktuální cena je po zaokrouhlení na celé koruny 200 Kč/t.

#### **2.1.3 Fluidní popílek**

Jako druhotná surovina byl použit fluidní popílek obsahující volné vápno, který se získává při fluidním spalování, kdy se uhlí mele nejemno a mísí s vápencem, který reaguje s oxidem siřičitým a vzniká tak anorganická směs.

Popílek pro tuto práci byl použit z uhelné elektrárny Elektrárna Poříčí od Skupiny ČEZ (EPO).



**Obrázek 2.1: Asfaltový recyklát frakce 0/22 [1]**



**Obrázek 2.2: Kamenivo frakce 0/4 [1]**



**Obrázek 2.3: Fluidní popílek [1]**

## 2.2 Konvenční zkoušky

### 2.2.1 Síťový rozbor

Základním kvalitativním znakem zemin je zrnitostní složení, které je určeno dle ČSN EN 933-1 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Síťový rozbor. Principem této zkoušky je mechanické roztřídění a oddělení materiálu pomocí sady sít se sestupnou velikostí čtvercových otvorů. Síťovým rozbořem získáme vzájemné zastoupení velikostí jednotlivých zrn v zemině. Výstupem této zkoušky je křivka zrnitosti, tzv. součtová čára, kde souřadnice každého bodu znázorňují, kolik procent z celkové hmotnosti vzorku činí hmotnost všech zrn menších než určitý průměr zrna  $d$  [mm]. Zrnitost využíváme pro pojmenování zeminy a určení charakteru chování v závislosti na velikosti pevných částic přítomných v zemině, k určení vhodnosti materiálů do jednotlivých směsí a hodnotíme stejnozrnnost či namrzavost. [25]

#### 2.2.1.1 Postup zkoušky

Vzhledem k množství jemných částic menších než 10 % byla zvolena metoda prosévání za sucha při laboratorní teplotě. Po zvážení 500 g vzorku z každé směsi bez předchozího sušení, bylo nejprve provedeno třepání mechanicky prosévacím přístrojem se sadou sít 0,063 až 11,2 mm seřazenými sestupně dle velikosti otvorů. Poté doplněno ručním proséváním každého síta zvlášť. Vzhledem k chybějícím sítům 16 a 22 mm, byl materiál zachycený na posledním síti, tj. 11,2 mm přeměřen pomocí posuvného měřítka. Následovalo zvážení zbytků na sítích včetně propadu pod sítím 0,063 mm a výpočet procentuálního podílu z celkové hmotnosti směsi s následným dopočtem souhrnného procenta propadu.

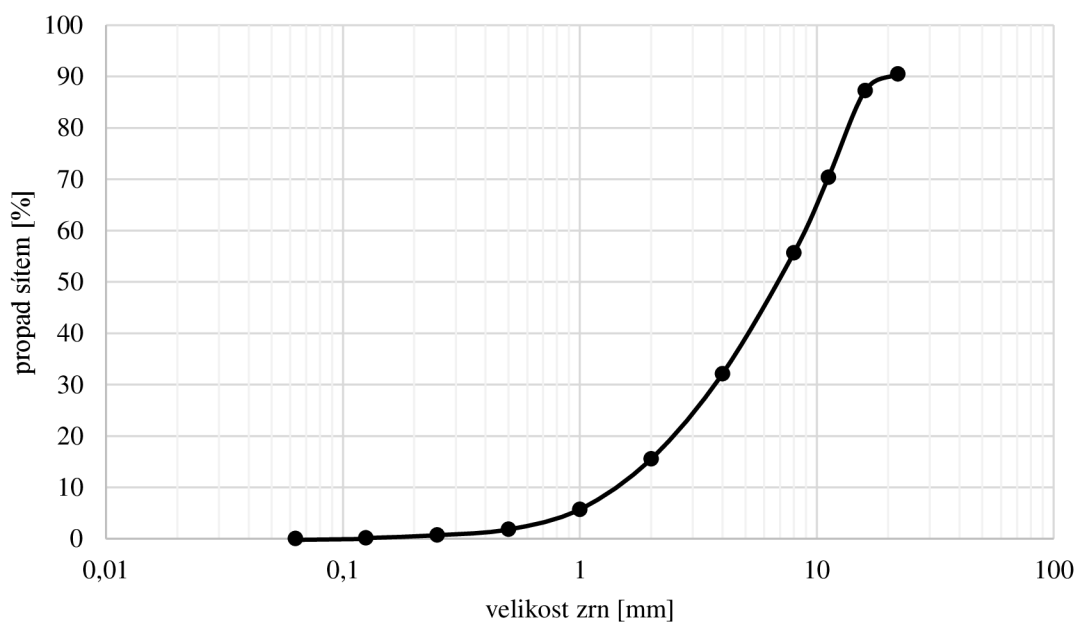


Obrázek 2.4: Sada zkušebních sít [1]

### 2.2.1.2 Vyhodnocení

Tabulka 2.1: Sítový rozbor směsi I

Síto [mm]	Hmotnost [g]	Dílčí zbytek na síť [%]	Celkový zbytek na síť [%]	Celkový propad sítem [%]
31,500	0,0	0,00	0,00	100,00
22,000	48,8	9,50	9,50	90,50
16,000	16,5	3,21	12,71	87,29
11,200	86,7	16,88	29,59	70,41
8,000	75,7	14,74	44,33	55,67
4,000	120,8	23,52	67,84	32,16
2,000	85,2	16,59	84,43	15,57
1,000	50,5	9,83	94,26	5,74
0,500	20,1	3,91	98,17	1,83
0,250	5,7	1,11	99,28	0,72
0,125	2,8	0,55	99,82	0,18
0,063	0,7	0,14	99,96	0,04
-	0,2	0,04	100,00	0,00
<b>Celkem</b>	<b>513,7</b>	<b>100,00</b>		

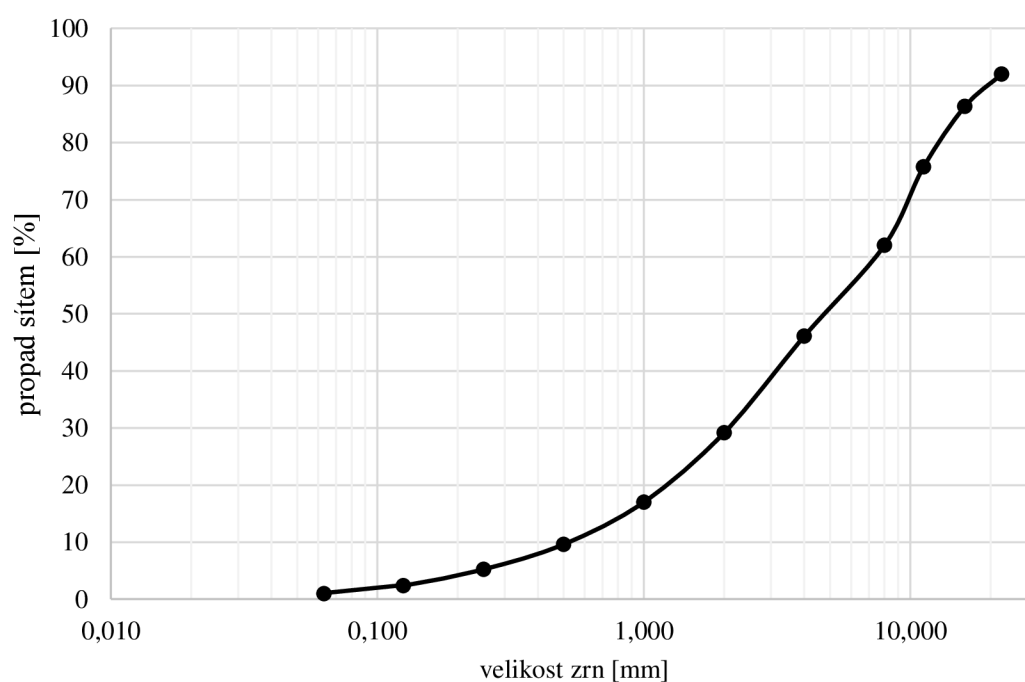


Graf 2.1: Křivka zrnitosti směsi I



**Tabulka 2.2: Sítový rozbor směsi II**

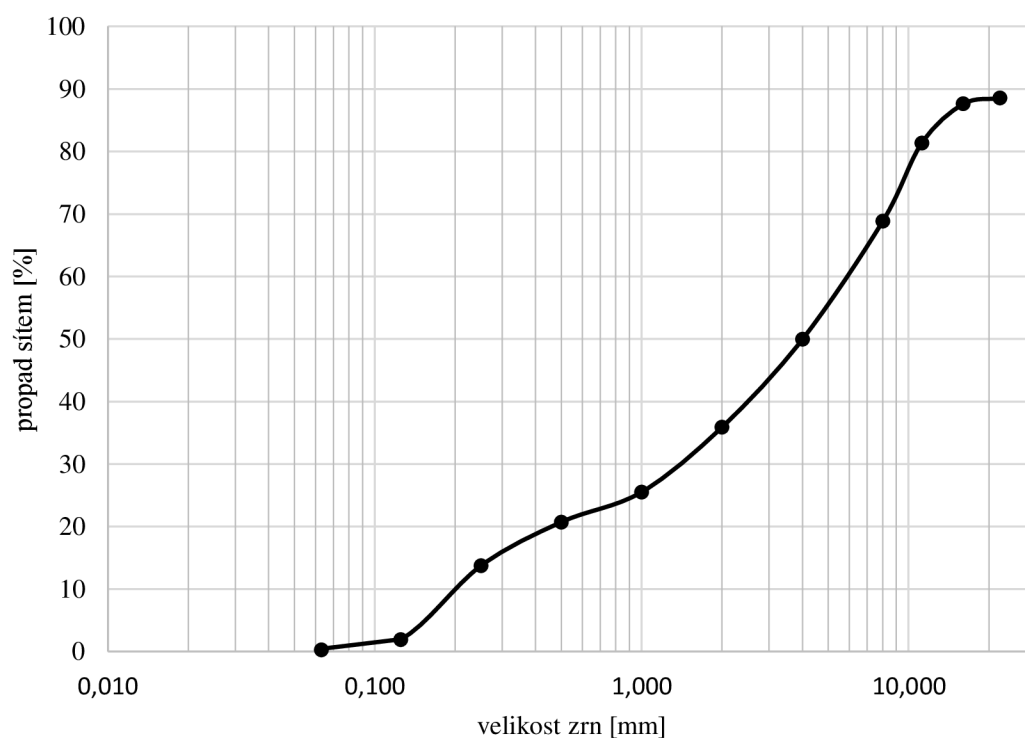
Síto [mm]	Hmotnost [g]	Dílčí zbytek na síť [%]	Celkový zbytek na síť [%]	Celkový propad sítem [%]
31,500	0,0	0,00	0,00	100,00
22,000	40,1	8,01	8,01	91,99
16,000	28,3	5,65	13,67	86,33
11,200	53,1	10,61	24,28	75,72
8,000	68,6	13,71	37,98	62,02
4,000	79,7	15,92	53,91	46,09
2,000	84,8	16,94	70,85	29,15
1,000	60,8	12,15	83,00	17,00
0,500	37,0	7,39	90,39	9,61
0,250	21,9	4,38	94,77	5,23
0,125	14,2	2,84	97,60	2,40
0,063	7,0	1,40	99,00	1,00
-	5,0	1,00	100,00	0,00
<b>Celkem</b>	<b>500,5</b>	<b>100,00</b>		



**Graf 2.2: Křivka zrnitosti směsi II**

Tabulka 2.3: Sítový rozbor směsi III

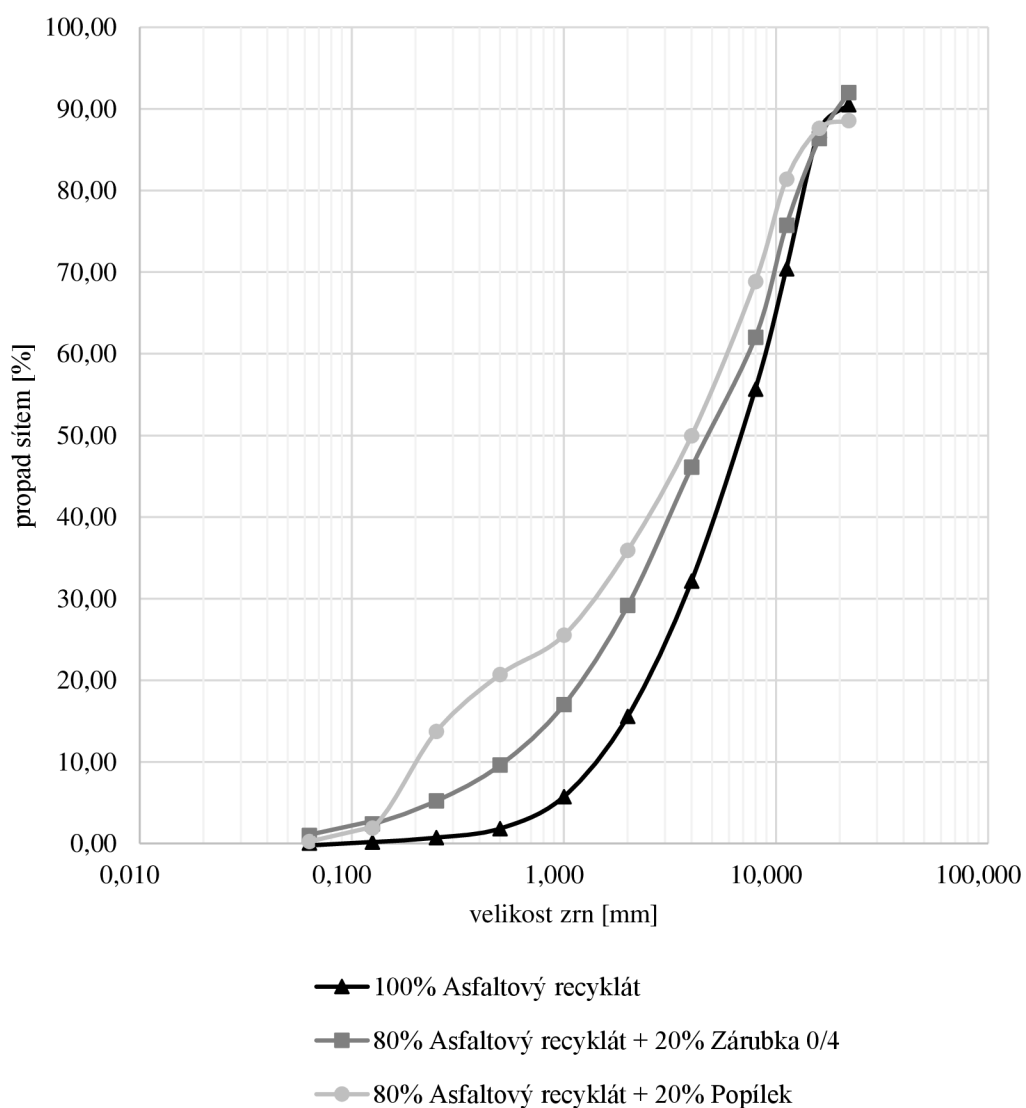
Síto [mm]	Hmotnost [g]	Dílčí zbytek na síti [%]	Celkový zbytek na síti [%]	Celkový propad sítem [%]
31,500	0,0	0,00	0,00	100,00
22,000	57,2	11,45	11,45	88,55
16,000	4,7	0,94	12,39	87,61
11,200	31,2	6,25	18,64	81,36
8,000	62,5	12,51	31,15	68,85
4,000	94,4	18,90	50,05	49,95
2,000	70,2	14,05	64,10	35,90
1,000	51,9	10,39	74,49	25,51
0,500	24,0	4,80	79,30	20,70
0,250	34,9	6,99	86,29	13,71
0,125	59,0	11,81	98,10	1,90
0,063	8,2	1,64	99,74	0,26
-	1,3	0,26	100,00	0,00
<b>Celkem</b>	<b>499,5</b>	<b>100,00</b>		



Graf 2.3: Křivka zrnitosti směsi III

Tabulka 2.4: Zrnitostní složení

	Obsah jemných částic < 0,06 mm [%]	Obsah písčité složky 0,06 – 2 mm [%]	Obsah šterkovité složky 2 – 60 mm [%]
Směs I	0,04	15,53	84,43
Směs II	1,00	28,15	70,85
Směs III	0,26	35,64	64,10



Graf 2.4: Srovnání křivek zrnitostí směsí

## 2.2.2 Zhutnitelnost

Při hutnění zeminy dochází ke změnám uspořádání zrn v zemině vyplněním pórů menšími zrny mezery mezi zrny většími, tím dochází ke zvýšení objemové hmotnosti. Celkový účinek hutnění závisí nejen na intenzitě hutnění, ale i na vlhkosti zkoušeného vzorku. I když z počátku platí, že je zemina tím hutnější, čím větší množství vody přidáme, tak později při jejím příliš velkém množství dochází k vyplnění pórů v zemině a zabránění tak jejich zmenšování. Proto je nutné stanovit optimální vlhkost, při které se dosáhne maximální objemové hmotnosti.

### 2.2.2.1 Popis zkoušky

Pro zhutnění směsí byla použita Proctorova metoda hutnění zeminy rázem s kruhovou základnou pěchu. Byl zvolen typ Proctor Standard s váhou pěchu 2,5 kg o dopadu 305 mm na 3 zhutňovací vrstvy, počet úderů byl 25 vzhledem k výběru formy o průměru 100 mm.

Po odebrání 2500 g vzorku z každé směsi bylo do každého přidáno a promícháno určité množství vody a tím bylo vytvořeno 5 dílčích vzorků o různém obsahu vody (respektive 2, 4, 6, 8 a 10 %). Dále byl stanoven objem a hmotnost zhutňovací nádoby. Ve smontovaném zhutňovacím zařízení byl vzorek hutněn po 3 vrstvách 25 údery. Poslední vrstva vyčnívající nad rozměr formy byla vodorovně oříznuta a vzorek byl zvážen. Pro zjištění přesné vlhkosti byl vzorek vytlačen z formy a byly odebrány 2 vzorky (30 – 50 g) do váženek, vysušeny v sušárně a následně opět zváženy. Z hmotností suchých a mokrých vzorků byla zjištěna vlhkost daného vzorku, díky které byla výpočtem stanovena suchá objemová hmotnost vzorku. Výsledky byly vyneseny do grafů, z kterých byla vyčtena optimální vlhkost při maximální objemové hmotnosti.



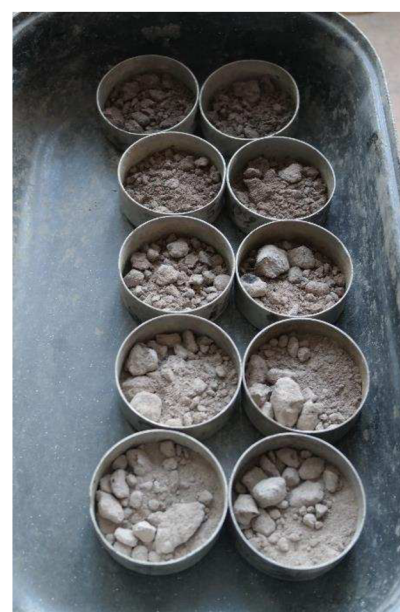
Obrázek 2.5: Horkovzdušná sušící komora [1]



**Obrázek 2.6: Hutnicí přístroj Proctor Standard [1]**



**Obrázek 2.7: Zhutněná směs [1]**



**Obrázek 2.8: Vysušené navážky [1]**

### 2.2.2.2 Vyhodnocení Proctorovy zkoušky

Pro zkoušku byla použita forma A:

Průměr formy:  $d = 100 \text{ mm}$   
 Výška formy:  $h = 120 \text{ mm}$   
 Objem formy:  $V = 942,5 \text{ cm}^3$   
 Hmotnost formy:  $m = 6396 \text{ g}$

Tabulka 2.5: Zhutnitelnost směsi I

Vzorek [-]	Obsah vody [%]	$m_s$ formou [g]	Dílčí vzorek [-]	$m_0$ [g]	$m_1$ [g]	$m_3$ [g]
1	2	8187	1	18,8	75,9	74,8
			2	16,5	74,0	72,9
2	4	8266	1	16,7	56,7	54,9
			2	18,8	64,3	62,2
3	6	8218	1	16,9	56,5	54,1
			2	17,2	53,4	51,1
4	8	8259	1	18,8	57,5	54,3
			2	16,8	53,7	51,2
5	10	8280	1	17,7	64,5	61,3
			2	19,1	59,6	56,5

Vzorek [-]	Obsah vody [%]	Vlhkost dílčího vzorku [%]	Průměrná vlhkost [%]	$m_{\text{bez formy}}$ [g]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\rho_d$ [kg/m <sup>3</sup> ]
1	2	1,96	1,96	1791	1900	1864
		1,95				
2	4	4,71	4,78	1870	1984	1894
		4,84				
3	6	6,45	6,62	1822	1933	1813
		6,78				
4	8	9,01	8,14	1863	1977	1828
		7,27				
5	10	7,34	7,81	1884	1999	1854
		8,29				

**Tabulka 2.6: Zhutnitelnost směsi II**

Vzorek [-]	Obsah vody [%]	$m_s$ formou [g]	Dílčí vzorek [-]	$m_0$ [g]	$m_1$ [g]	$m_3$ [g]
1	2	8209	1	16,5	65,2	64,2
			2	16,7	55,1	54,2
2	4	8294	1	18,6	52,0	50,9
			2	17,7	50,5	49,2
3	6	8276	1	16,6	52,7	50,8
			2	30,0	62,8	61,0
4	8	8344	1	18,6	56,4	53,8
			2	16,9	46,9	44,8
5	10	8423	1	18,7	58,2	54,8
			2	17,7	48,8	45,9

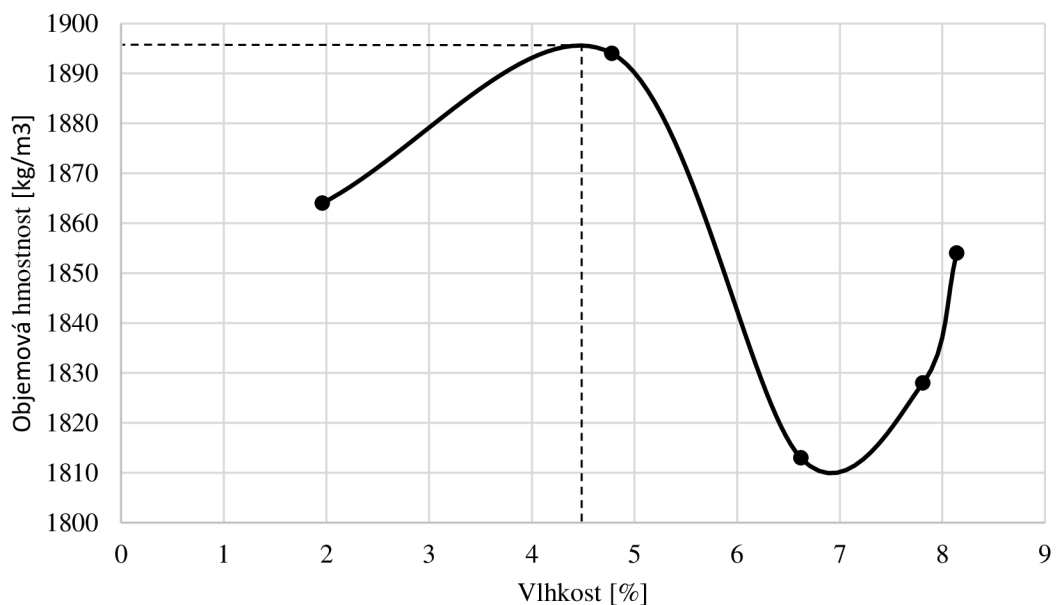
Vzorek [-]	Obsah vody [%]	Vlhkost dílčího vzorku [%]	Průměrná vlhkost [%]	$m_{\text{bez formy}}$ [g]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\rho_d$ [kg/m <sup>3</sup> ]
1	2	2,10	2,25	1813	1924	1881
		2,40				
2	4	3,41	3,77	1898	2014	1941
		4,13				
3	6	5,56	5,68	1880	1995	1888
		5,81				
4	8	7,39	7,46	1948	2067	1923
		7,53				
5	10	9,42	9,85	2027	2151	1958
		10,28				

**Tabulka 2.7: Zhutnitelnost směsi III**

Vzorek [-]	Obsah vody [%]	$m_s$ formou [g]	Dílčí vzorek [-]	$m_0$ [g]	$m_1$ [g]	$m_3$ [g]
1	2	8116	1	18,8	44,1	43,6
			2	16,9	44,9	44,3
2	4	8123	1	16,6	48,2	47,1
			2	16,6	46,7	45,8
3	6	8159	1	18,8	49,9	48,4
			2	16,5	45,1	43,5
4	8	8126	1	16,6	39,5	37,7
			2	16,6	42,2	40,3
5	10	8208	1	17,2	39,4	37,5
			2	15,0	38,4	36,1

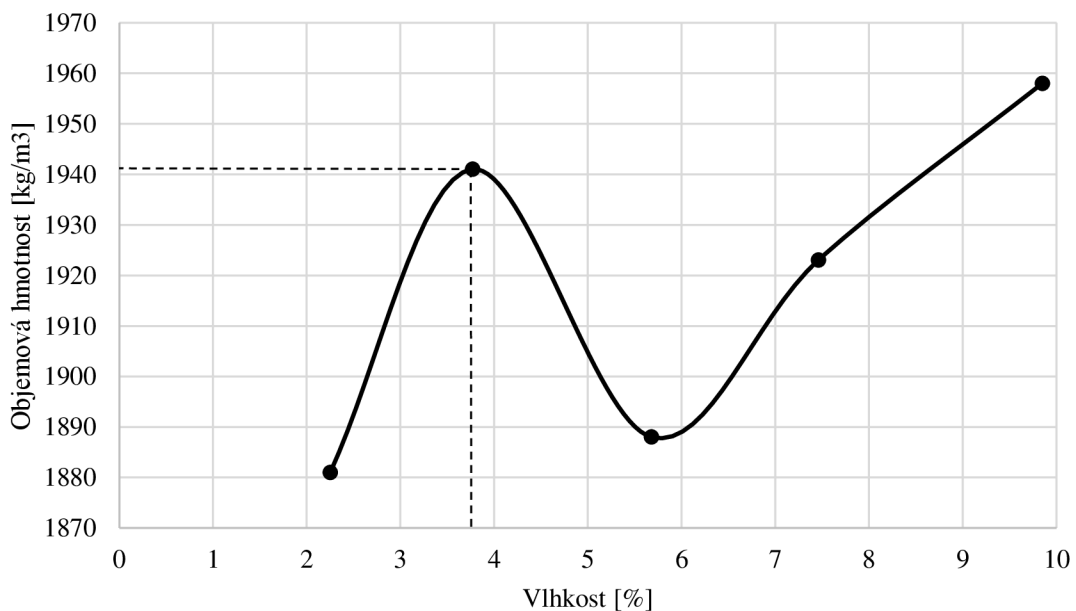
Vzorek [-]	Obsah vody [%]	Vlhkost dílčího vzorku [%]	Průměrná vlhkost [%]	$m_{\text{bez formy}}$ [g]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\rho_d$ [kg/m <sup>3</sup> ]
1	2	2,02	2,10	1720	1825	1787
		2,19				
2	4	3,61	3,34	1727	1832	1773
		3,08				
3	6	5,07	5,50	1763	1871	1773
		5,93				
4	8	8,53	8,27	1730	1836	1695
		8,02				
5	10	9,36	10,13	1812	1923	1746
		10,90				





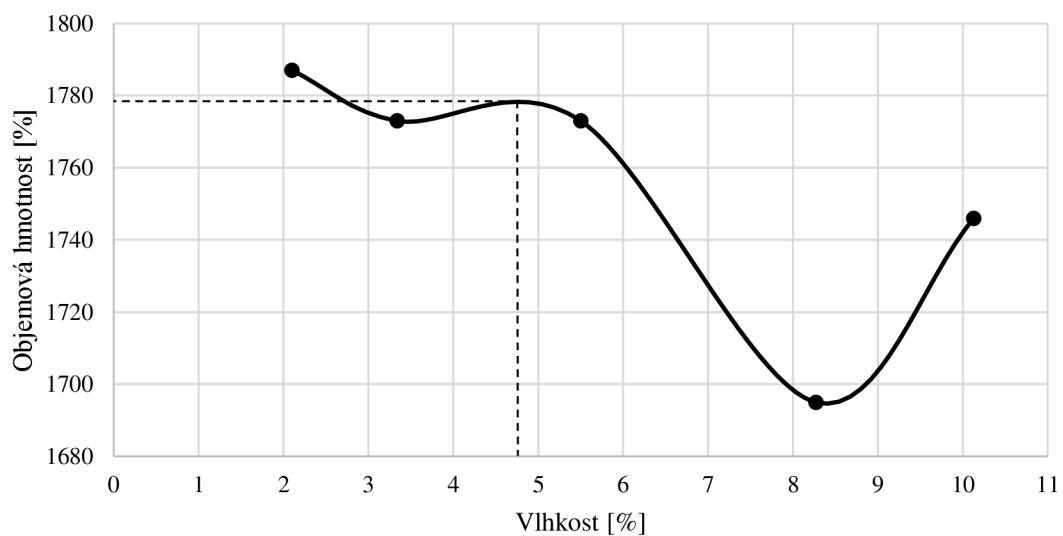
**Graf 2.5: Zhutnitelnost směsi I**

Optimální vlhkost čistého asfaltového recyklátu je 4,5 % při maximální objemové hmotnosti 1896 kg/m<sup>3</sup>.



**Graf 2.6: Zhutnitelnost směsi II**

Optimální vlhkost směsi asfaltového recyklátu s 20% podílem kameniva 0/4 je 3,75 % při maximální objemové hmotnosti 1941 kg/m<sup>3</sup>.



**Graf 2.7: Zhutnitelnost směsi III**

Optimální vlhkost směsi asfaltového recyklátu s 20% podílem fluidního popílku je 4,75 % při maximální objemové hmotnosti 1779 kg/m<sup>3</sup>.

**Tabulka 2.8: Vyhodnocení zhutnitelnosti**

	Maximální objemová hmotnost $\rho_a$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Optimální vlhkost $w_{opt}$ [%]
<b>Směs I</b>	1896	4,5
<b>Směs II</b>	1941	3,75
<b>Směs III</b>	1779	4,75

### **2.2.3 CBR a IBI**

Principem zkoušky Kalifornský poměr únosnosti (California Bearing Ratio – CBR) je zatlačování ocelového válcového trnu do zkušebního ztuhlého vzorku zeminy s optimální vlhkostí saturevaného 4 dny ve vodě zatíženého přitěžovacími prstenci. Stanoví se síla potřebná k zatlačení trnu, která se poté porovná s referenční hodnotou (dle celosvětového standardu). Hodnota CBR je poté poměr dosažené a referenční hodnoty vyjádřený v %. Zkouška se používá pro posouzení vhodnosti z hlediska únosnosti.

Od CBR byla odvozena zkouška okamžitý index únosnosti (Immediate Bearing Index – IBI), která se od CBR liší tím, že se provádí bezprostředně ihned po ztuhnutí vzorku bez nasycení vodou a bez použití zatěžovacích prstenců. Zkouška umožňuje rychlé posouzení, zda je čerstvě položená vrstva schopna přenést staveništní zatížení i bez dokončeného zrání.

#### **2.2.3.1 Postup zkoušky IBI**

Pomocí Proctorova zařízení byla dle ČSN EN 13286-2 každá navržená směs ve formě o průměru 150 mm ztuhněna ve 3 vrstvách 56 úderů (vždy po 8 cyklech, 6 úderů po stranách a 1 na střed) při optimální vlhkosti. Pěch o hmotnosti 2,5 kg a průměru 50 mm dopadal na vrstvu z výšky 305 mm. Ztuhlý vzorek byl zatlačován ocelovým válcovým trnem o průměru 50 mm rychlostí 1,27 mm/min a zaznamenána byla síla při odpovídajícím zatlačení. [26]

#### **2.2.3.2 Postup zkoušky CBR**

Příprava a ztuhnutí vzorku bylo stejné jako u zkoušky IBI, tj. dle ČSN EN 13286-2. Poté se vzorek ponechal úplně ponořený ve vodě 4 dny saturevat. Dále byl vzorek zatlačován ocelovým válcovým trnem identicky jako u IBI vlivem chybějících přitěžovacích prstenců. [26]



Obrázek 2.9: Zhutňovací přístroj InfraTest [1]



Obrázek 2.10: Zkušební lis InfraTest [1]

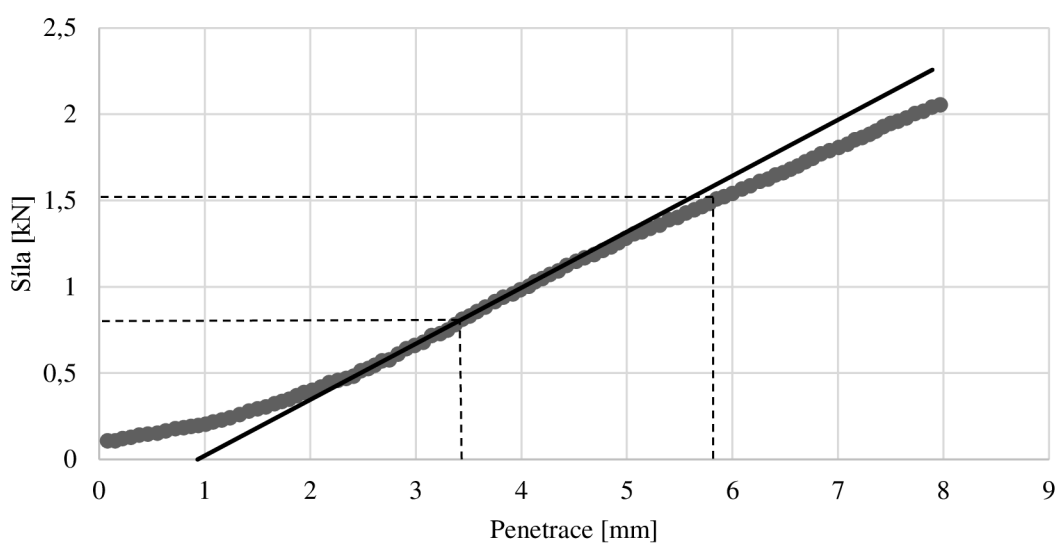


Obrázek 2.11: Průběh zkoušky IBI [1]

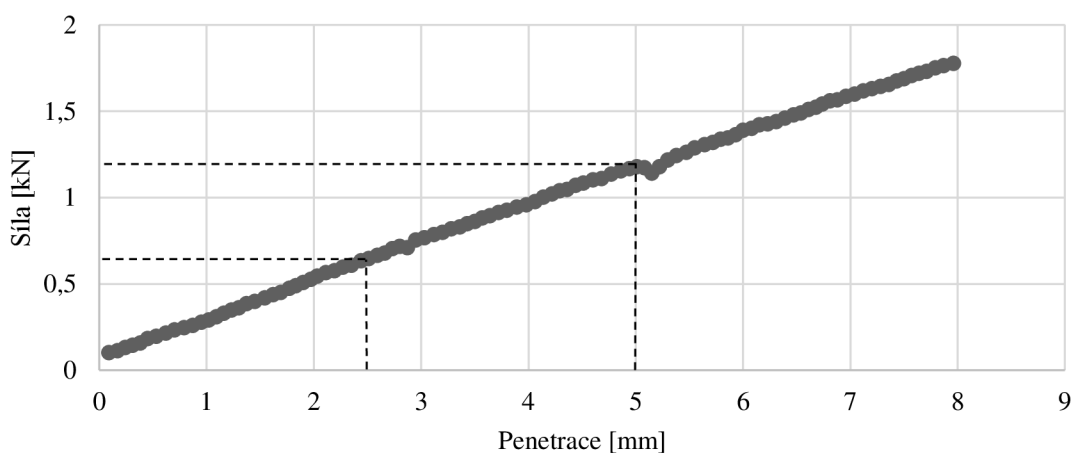
### 2.2.3.3 Vyhodnocení IBI a CBR

Síly odpovídající na daném zatížení byly v závislosti na penetraci vyneseny do grafů. Standardní (tedy konkávní) křivky byly ponechány původní, křivky konvexní byly opraveny. Výsledky měření jednotlivých směsí jsou zobrazeny v níže uvedených grafech.

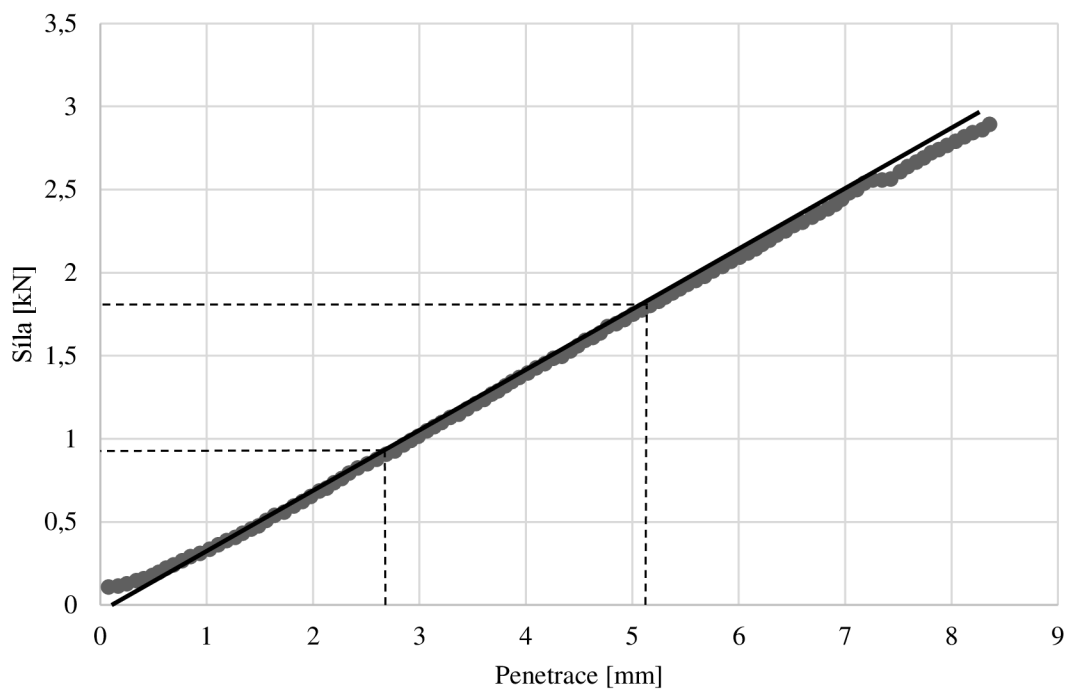
U korekturovaných křivek byly odečteny velikosti sil pro dané hodnoty penetrace 2,5 mm a 5 mm. Hodnoty naměřených sil byly porovnány s hodnotami sil standardních (tj. 13,2 kN pro penetraci 2,5 mm a 20 kN pro penetraci 5 mm). Výsledky IBI a CBR jsou potom poměry sil standardních a naměřených vyjádřené v procentech, kde rozhoduje vyšší ze dvou naměřených hodnot.



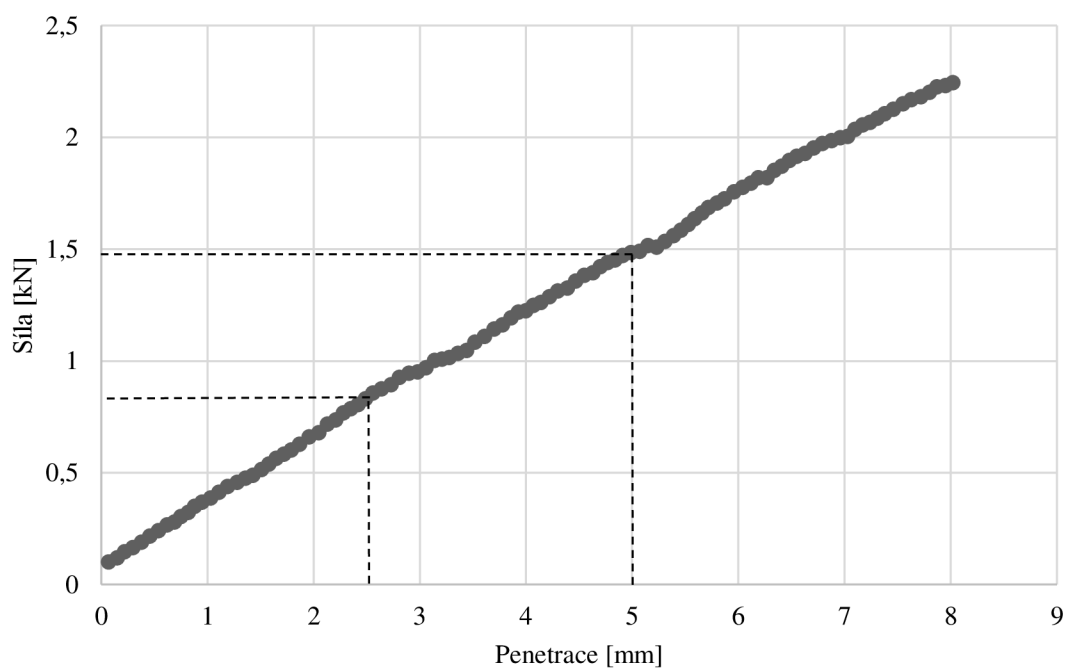
Graf 2.8: Penetrační křivka IBI směsi I



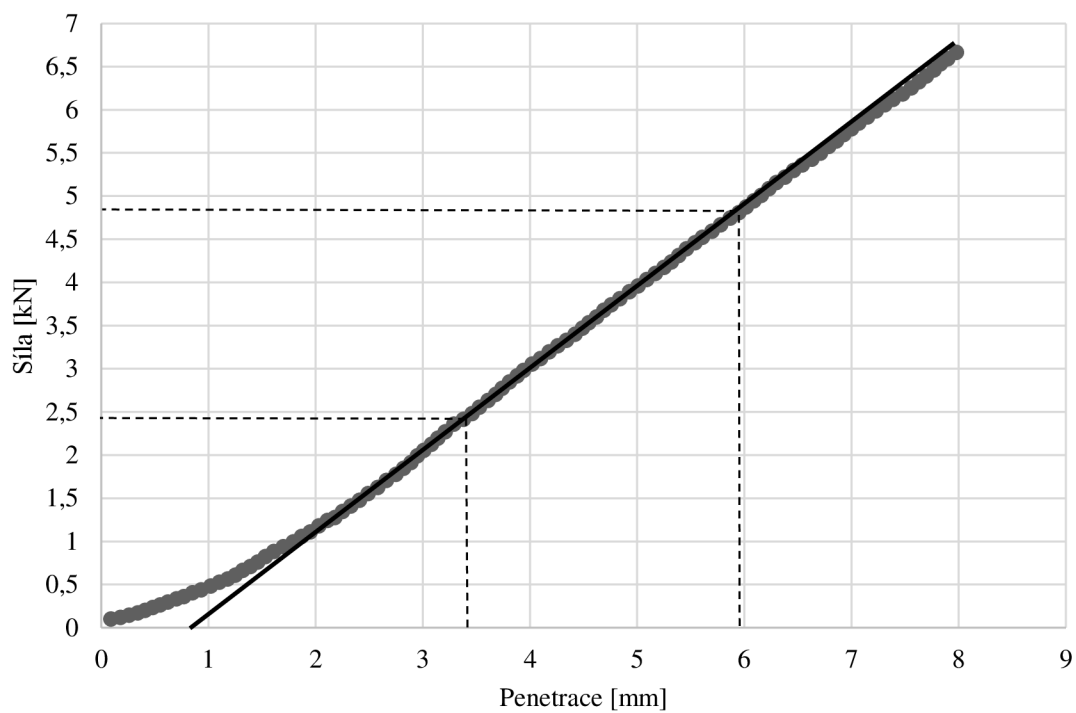
Graf 2.9: Penetrační křivka CBR směsi I



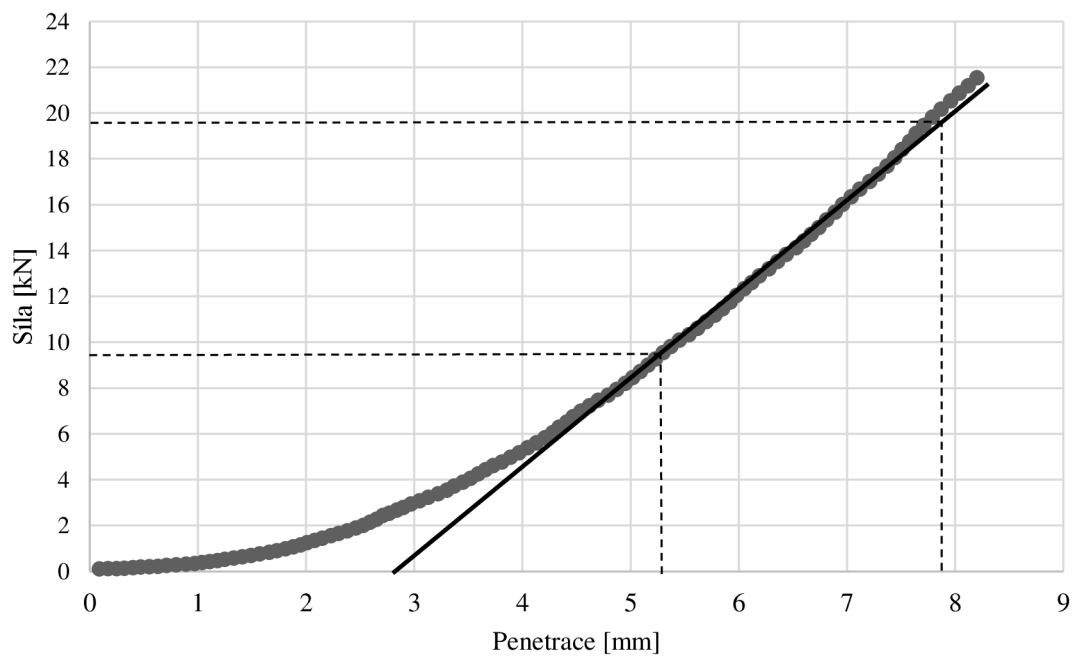
**Graf 2.10: Penetrační křivka IBI směsi II**



**Graf 2.11: Penetrační křivka CBR směsi II**



**Graf 2.12: Penetrační křivka IBI směsi III**

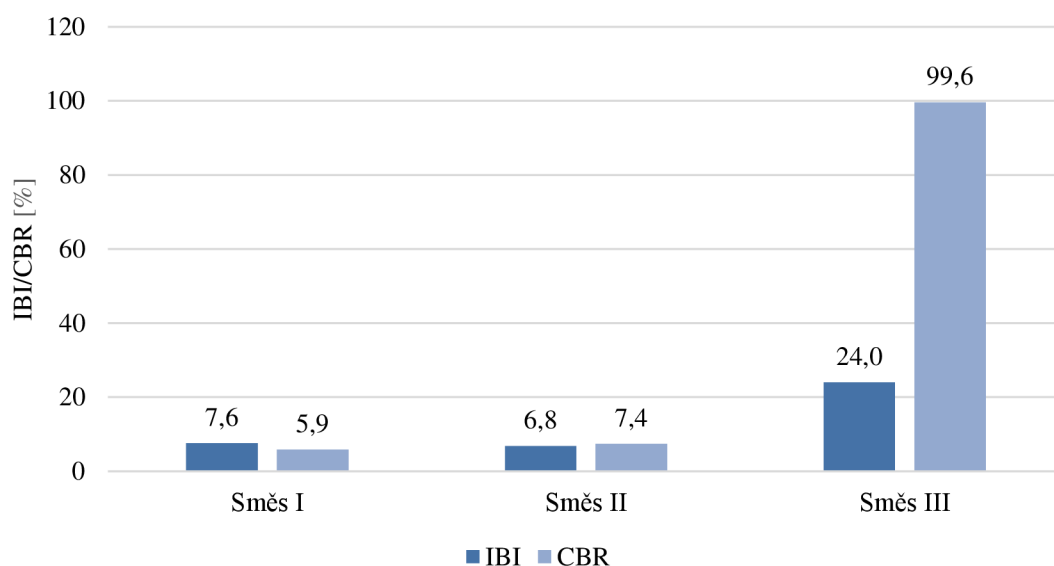


**Graf 2.13: Penetrační křivka CBR směsi III**

**Tabulka 2.9: Vyhodnocení IBI a CBR**

	Penetrace [mm]	Standardní síla [kN]	Síla [kN]	IBI [%]	Síla [kN]	CBR [%]
Směs I	2,5	13,2	0,8	6,0	0,7	5,0
	5,0	20,0	1,5	<b>7,6</b>	1,2	<b>5,9</b>
Směs II	2,5	13,2	0,9	<b>6,8</b>	0,8	6,4
	5,0	20,0	0,8	4,0	1,5	<b>7,4</b>
Směs III	2,5	13,2	2,5	18,7	9,6	72,7
	5,0	20,0	4,8	<b>24,0</b>	19,9	<b>99,6</b>

V tabulce 2.9 jsou výsledky z měření, kde tučně vyznačené hodnoty jsou konečnými hodnotami IBI (respektive CBR). Tyto hodnoty jsou vyneseny v následujícím grafu.



**Graf 2.14: Vyhodnocení IBI a CBR**

Z grafu 2.14 je zřejmé, že nejvyšší únosnosti dosahuje směs III. U této směsi se také objevil největší vliv saturace ve vodě na únosnost. Tato skutečnost je přisuzována obsahu fluidního popílku ve směsi jako hydraulickému pojivu.



## Závěr

Cílem bakalářské práce bylo zpracování aktuální rešerše o používání asfaltového recyklátu do podkladních vrstev vozovek s následným ověřením možností využití v praktické části. Bakalářská práce byla rozdělena na dvě části, teoretickou a praktickou část.

V teoretické části byl nejprve vysvětlen základní pojem recyklace včetně podrobnějšího popsání dílčích typů recyklací. Jednalo se o recyklace v míchacím centru za horka, v míchacím centru za studena, na místě za horka a na místě za studena. Poslední typ recyklace, tj. recyklace na místě za studena, byla ještě dále rozdělena a popsána jako recyklace celková a částečná. Dále se rešeršní část zabývala R-materiálem a jeho použitím v pozemních komunikacích, kde bylo podrobněji vysvětleno použití R-materiálu v nestmelených a stmelených směsích a řešen byl také maximální obsah R-materiálu ve směsích. Teoretická část se zabývala také výrobou asfaltového recyklátu a požadavky na recyklované kamenivo. Nedílnou součástí rešerše je souhrn poznatků o využití asfaltového recyklátu v zahraničí. Zde byly uvedeny nové technologie recyklací, provádění dílčích zkoušek různých typů směsí, zajímavá je například směs asfaltového recyklátu s betonovým, směs s popílkem nebo portlandským cementem. Na závěr teoretické části bylo uvedeno srovnání použití asfaltového recyklátu v České republice a v zahraničí.

V praktické části bakalářské práce byl nejprve klasifikován materiál pro následné zkoušení směsí, dále postupy zkoušek a samotné vyhodnocení. Porovnáván byl asfaltový recyklát frakce 0/22 s dalšími dvěma směsmi navrženými pro zvýšení obsahu jemných částic ve směsi, protože z hlediska zpracovatelnosti je největší problém v geometrickém složení recyklátu. Do první směsi bylo přidáno 20% kameniva frakce 0/4 a do druhé 20 % fluidního popílku (procentuální obsah byl vztažen k celkové hmotnosti směsi). Na těchto vzorcích byly provedeny celkem tři konvenční zkoušky. První zkouškou byl síťový rozbor dle ČSN EN 933-1, kterým byl vyhodnocen i podíl jemných částic. S nejvyšším podílem jemných částic byla stanovena směs II, tj. směs asfaltového recyklátu s kamenivem frakce 0/4. Směs stmelená popílkem byla vyhodnocena jako vyhovující dle doporučených požadavků na zrnitost směsí stmelených hydraulickým pojivem dle TP 208. Další zkouškou bylo stanovení zhutnitelnosti Proctorovou zkouškou. Výsledkem této zkoušky bylo nalezení tzv. optimální vlhkosti, při které bylo dosaženo maximální objemové hmotnosti zhutněné směsi. Tyto hodnoty byly použity pro poslední a rozhodující zkoušení, a to stanovení únosnosti IBI a CBR. U směsi I, tj. čistého asfaltového recyklátu, došlo na rozdíl od zbývajících směsí k poklesu únosnosti po čtyřdenní saturaci ve vodě. Nejvyšší hodnotu IBI dosáhla směs III, tj. směs asfaltového recyklátu s fluidním popílkem. Zde byl také pozorován nejvyšší vliv saturace ve vodě na zvýšení únosnosti směsi, kdy se hodnota CBR zvýšila oproti IBI více než čtyřikrát.

Dle zmíněných zkoušek byl vyhodnocen vzorek upravený hydraulickým pojivem, konkrétně fluidním popílkem jako nejvhodnější do podkladních vrstev. Před použitím se

ale ještě doporučuje ověření kontroly namrzavosti. Doplnění zrnitosti asfaltového recyklátu přírodním kamenivem frakce 0/4 nepřineslo žádné výrazné zlepšení únosnosti výsledné směsi.

## Seznam použitých pramenů a literatury

- [1] Vlastní zpracování
- [2] TP 208, *Recyklace konstrukčních vrstev netuhých vozovek za studena*. Ministerstvo dopravy ČR, 2009.
- [3] VARAUS, Michal. *Recyklace netuhých vozovek*. Vysoké učení technické v Brně, fakulta stavební, obor pozemních komunikací, 2016. Přednáška.
- [4] Šaržová obalovna asfaltových směsí ABT 140-180 QUICKBATCH. Ammann Group [online]. [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <https://www.ammann-group.com/cz-cz/plants/asphalt-plants/batch-asphalt-mixing/quickbatch>
- [5] Kontinální obalovna ACT 140 CONTIQUICK. Ammann Group [online]. [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <https://www.ammann-group.com/cz-cz/plants/asphalt-plants/continuous-asphalt-mixing/act-140-contiquick>
- [6] VARAUS, Michal. *Metodika aplikace R-materiálu v asfaltových směsích*, 2014.
- [7] Stationary asphalt mixing plants with RPP. Benninghoven Group [online]. [cit.2017-05-18]. Dostupné z: <https://www.benninghoven.com/en/product-catalogue/type-ba/?geo=LT&location=1000&lang=EN>
- [8] Hot recycling. Wirtgen Group [online]. [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <https://www.wirtgen.de/en/technologies/hot-recycling/heissrecycling.php>
- [9] Operating principle in situ. Wirtgen Group [online]. [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: [https://www.wirtgen.de/en/technologies/cold-recycling/operating-principle-cold-recycler/funktionsprinzip\\_15.php](https://www.wirtgen.de/en/technologies/cold-recycling/operating-principle-cold-recycler/funktionsprinzip_15.php)
- [10] TP 210, *Užití recyklovaných stavebních demoličních materiálů do pozemních komunikací*. Vysoké učení technické v Brně, fakulta stavební, obor pozemních komunikací, 2011.
- [11] Drcení a třídění R-materiálu. Kora – Vodostaving s.r.o. [online]. [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <https://www.betonserver.cz/kora-vodostaving-recyklace>
- [12] Demolition and Recycling International. KHL Group. Wathurst. 2011

- [13] Kjótský protokol k Rámcové úmluvě OSN o změně klimatu. Ministerstvo *životního prostředí*. [online]. [cit. 2017-05-20] Dostupné z: [http://www.mzp.cz/cz/kjotsky\\_protokol](http://www.mzp.cz/cz/kjotsky_protokol)
- [14] DINIS-ALMEIDA, Marisa, João CASTRO-GOMES, Maria DE LURDES ANTUNES a Luis VIEIRA. Mix design and performance of warm-mix recycled asphalt. Institution of Civil Engineers. 2013, 9.
- [15] DAL BEN, Matteo a Kim J. JENKINS. Performance of cold recycling materials with foamed bitumen and increasing percentage of reclaimed asphalt pavement. *Road Materials and Pavement Design*. 2014, 25. DOI: 10.1080/14680629.2013.872051.
- [16] ARULRAJAH, A., J. PIRATHEEPAN a M. M. DISFANI. Reclaimed Asphalt Pavement and Recycled Concrete Aggregate Blends in Pavement Subbases: Laboratory and Field Evaluation. American Society of Civil Engineering. 2014, 10. DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000850.
- [17] KANG, Dong-Hee, Satish C. GUPTA, Andry Z. RANAIVOSON, John SIEKMEIER a Ruth ROBERSON. Recycled Materials as Substitutes for Virgin Aggregates in Road Construction: I. Hydraulic and Mechanical Characteristics. Soil Science Society of America. 2011, 12.
- [18] MOHAMMADINIA, Alireza, Arul ARULRAJAH, Suksun HORPIBULSUK a Avirut CHINKULKIJNIWAT. Effect of fly ash on properties of crushed brick and reclaimed asphalt in pavement base/subbase applications. *Journal of Hazardous Materials*. 2017, 10.
- [19] HOY, Menglim, Suksun HORPIBULSUK, Runglawan RACHAN, Avirut CHINKULKIJNIWAT a Arul ARULRAJAH. Recycled asphalt pavement - flash ash geopolymers as a sustainable pavement base material: Strength and toxic leaching investigations. *Science of the Total Environment*. 2016, 8.
- [20] SEN, Tara a Umesh MISHRA. Usage of Industrial Waste Products in Village Road Construction. *International Journal of Environmental Science and Development*. 2010, (2), 6. ISSN 2010-0264.
- [21] SULTAN, Saud A. a Zhongyin GUO. Evaluating the performance of sustainable perpetual pavements using recycled asphalt pavement in China. *International Journal of Transportation Science and Technology*. 2017, 10.

- [22] BILODEAU, Jean-Pascal, Guy DORÉ a Jonas DEPATIE. Mitigation of permanent deformation in base layer containing recycled asphalt aggregates. NRC Research Press. 2013, 9.
- [23] REUSE AND RECYCLING. In: Asphalt In Figures 2015 [online]. Brussels: EUROPEAN ASPHALT PAVEMENT ASSOCIATION, 2016, version 23-1-2017 [cit. 2017-18-5]. Dostupné z:  
[http://eapa.org/userfiles/2/Asphalt%20in%20Figures/2016/AIF\\_2015\\_v6.pdf](http://eapa.org/userfiles/2/Asphalt%20in%20Figures/2016/AIF_2015_v6.pdf)
- [24] WEN, Haifang, Tuncer EDIL a Swapna DANDA. STTR: Utilize Cementitious High Carbon Fly Ash (CHCFA) to Stabilize Cold In-Place Recycled (CIR) Asphalt Pavement as Base Course. U.S. Department of Energy. 2011, 151.
- [25] ČSN EN 933-1. *Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Síťový rozbor*. Září 2009.
- [26] ČSN EN 13286-2. *Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy – Část 2: Zkušební metody pro stanovení laboratorní srovnávací objemové hmotnosti a vlhkosti – Proctorova zkouška*, 2011
- [27] ČSN 73 6114, Z1. *Vozovky pozemních komunikací. Základní ustanovení pro navrhování*. Květen 1995
- [28] ČSN EN 13108-1. *Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 1: Asfaltový beton*. 2008

## Seznam tabulek

Tabulka 1.1: Doporučené užití RSM podle zastoupeného základního materiálu [10] ...	18
Tabulka 1.2: Užití RSM do nestmelených vrstev [10].....	19
Tabulka 1.3: Užití RSM do asfaltových vrstev, vrstev stmelených hydraulickým pojivem a prolévaných vrstev [10] .....	19
Tabulka 1.4: Nejvyšší přípustný obsah R-materiálu v asfaltové směsi [28].....	20
Tabulka 1.5: Použití R-materiálu v ČR a zahraničí [23].....	27
Tabulka 2.1: Síťový rozbor směsi I .....	31
Tabulka 2.2: Síťový rozbor směsi II .....	32
Tabulka 2.3: Síťový rozbor směsi III.....	33
Tabulka 2.4: Zrnitostní složení .....	34
Tabulka 2.5: Zhutnitelnost směsi I.....	37
Tabulka 2.6: Zhutnitelnost směsi II .....	38
Tabulka 2.7: Zhutnitelnost směsi III .....	39
Tabulka 2.8: Vyhodnocení zhutnitelnosti .....	41
Tabulka 2.9: Vyhodnocení IBI a CBR.....	47

## Seznam obrázků

Obrázek 1.1: Šaržová obalovna [4].....	11
Obrázek 1.2: Předehřívání v paralelním bubnu [3].....	12
Obrázek 1.3: Kontinuální obalovna [5].....	12
Obrázek 1.4: Přidávání R-materiálu souběžně s proudem horkého vzduchu [3].....	13
Obrázek 1.5: Přidávání R-materiálu proti proudu horkého vzduchu [3] .....	13
Obrázek 1.6: Separátní vysoušení R-materiálu, míchání v míchačce [3] .....	13
Obrázek 1.7: Stacionární obalovna, BENNINGHOVEN [7].....	14
Obrázek 1.8: Recyklace na místě za horka pomocí stroje WIRTGEN [8] .....	15
Obrázek 1.9: Recyklace na místě za studena pomocí stroje WIRTGEN [9] .....	16
Obrázek 1.10: Drcení a třídění R-materiálu [11] .....	17
Obrázek 1.11: Blokové schéma úpravy SDO na recyklát [10] .....	21
Obrázek 1.12: Výsledky CBR v závislosti na obsahu RAP/RCA [16].....	23
Obrázek 1.13: Navržené skladby vozovek [24] .....	24
Obrázek 1.14: Schéma postupu výpočtu potřebné výšky vrstvy s RAP [22] .....	26
Obrázek 2.1: Asfaltový recyklát frakce 0/22 [1].....	29
Obrázek 2.2: Kamenivo frakce 0/4 [1].....	29
Obrázek 2.3: Fluidní popílek [1].....	29
Obrázek 2.4: Sada zkušebních sít [1].....	30
Obrázek 2.5: Horkovzdušná sušící komora [1].....	35
Obrázek 2.6: Hutnící přístroj Proctor Standard [1].....	36
Obrázek 2.7: Zhutněná směs [1] .....	37
Obrázek 2.8: Vysušené navážky [1].....	36
Obrázek 2.9: Zhutňovací přístroj InfraTest [1] .....	44
Obrázek 2.10: Zkušební lis InfraTest [1] .....	43
Obrázek 2.11: Průběh zkoušky IBI [1] .....	43

## Seznam grafů

Graf 2.1: Křivka zrnitosti směsi I.....	31
Graf 2.2: Křivka zrnitosti směsi II .....	32
Graf 2.3: Křivka zrnitosti směsi III .....	33
Graf 2.4: Srovnání křivek zrnitostí směsí .....	34
Graf 2.5: Zhutnitelnost směsi I.....	40
Graf 2.6: Zhutnitelnost směsi II .....	40
Graf 2.7: Zhutnitelnost směsi III .....	41
Graf 2.8: Penetrační křivka IBI směsi I .....	44
Graf 2.9: Penetrační křivka CBR směsi I.....	44
Graf 2.10: Penetrační křivka IBI směsi II .....	45
Graf 2.11: Penetrační křivka CBR směsi II .....	45
Graf 2.12: Penetrační křivka IBI směsi III.....	46
Graf 2.13: Penetrační křivka CBR směsi III .....	46
Graf 2.14: Vyhodnocení IBI a CBR.....	47



## Seznam zkratek

<b>AB</b>	Asfaltové (asfaltobetonové) vrstvy
<b>ACL</b>	Asfaltový beton pro ložné vrstvy
<b>ACO</b>	Asfaltový beton pro obrusné vrstvy
<b>ACP</b>	Asfaltový beton pro podkladní vrstvy
<b>CB</b>	Cementobetonový kryt
<b>CBR</b>	Kalifornský poměr únosnosti
<b>CHCFA</b>	Recyklovaný asfalt s cementem s vysokým obsahem uhlíku
<b>ČR</b>	Česká republika
<b>EAPA</b>	European Asphalt Pavement Association
<b>FA</b>	Popílek (Fly Ash)
<b>FL</b>	Plovoucí částice
<b>IBI</b>	Okamžitý index únosnosti
<b>MEPDG</b>	Mechanistic-empirical pavement design guide
<b>MZ</b>	Mechanicky zpevněná zemina
<b>MZK</b>	Mechanicky zpevněné kamenivo
<b>PK</b>	Pozemní komunikace
<b>RA</b>	Reclaimed Asphalt
<b>Ra</b>	Asfaltové materiály
<b>RAP</b>	Reclaimed Asphalt Pavement
<b>Rb</b>	Pálené zdící prvky
<b>RCA</b>	Betonový recyklát
<b>RPM</b>	Recycled Pavement Materials
<b>RSM</b>	Recyklovaný stavební materiál
<b>Ru</b>	Nestmelené kamenivo, přírodní kámen, kamenivo ze směsi stmelené hydraulickým pojivem
<b>SDO</b>	Stavební a demoliční odpad
<b>SR</b>	Slovenská republika
<b>ŠD</b>	Štěrkodrt' podle ČSN EN 13285
<b>ŠDA</b>	Štěrkodrt' podle ČSN EN 13285, kvalitativní kategorie A
<b>ŠDB</b>	Štěrkodrt' podle ČSN EN 13285, kvalitativní kategorie B
<b>TDZ</b>	Třída dopravního zatížení
<b>USA</b>	Spojené státy americké (United States of America)
<b>VB</b>	Velká Británie
<b>VŠ</b>	Vibrovaný štěrk
<b>WMRA</b>	Recyklovaný asfalt za tepla
<b>X</b>	Jiné částice
<b>Y</b>	Ostatní částice