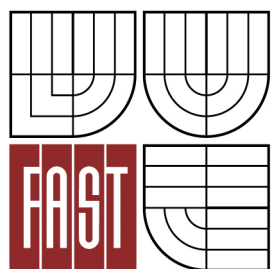




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

VYUŽITÍ R-MATERIÁLU V KRYTOVÝCH VRSTVÁCH VOZOVEK

USAGE OF RECYCLED MATERIAL IN ASPHALT SURFACE LAYERS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. MARKÉTA MALÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PETR HÝZL, Ph.D.

BRNO 2016



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav pozemních komunikací

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. Markéta Malá
Název	Využití R-materiálu v krytových vrstvách vozovek
Vedoucí diplomové práce	Ing. Petr Hýzl, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce	31. 3. 2015
Datum odevzdání diplomové práce	15. 1. 2016
V Brně dne 31. 3. 2015	

.....
doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Vedoucí ústavu

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

Podklady a literatura

Specifikační normy pro asfaltové směsi řady 13 108.

Zkušební normy pro asfaltové směsi za horka řady 12697.

Kniha Technologie stavby vozovek - Jan Zajíček a kol.

Internetové zdroje.

Zásady pro vypracování

Cílem práce bude zpracovat problematiku využití R - materiálu v asfaltových směsích pro obrusné vrstvy vozovek. Bude provedeno stanovení vybraných empirických a funkčních požadavků na laboratorně vyrobené asfaltové směsi.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).
- 3.

.....

Ing. Petr Hýzl, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Diplomová práce řeší problematiku přidávání R – materiálu do obrusných vrstev asfaltových vozovek, konkrétně do vrstvy SMA 11S. Je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části je popsáno využití R – materiálu při recyklacích vozovek, typy recyklací a způsob řešení této problematiky v České republice, praktická část se zabývá návrhem tří druhů asfaltových směsí s různými přidanými poměry R – materiálu, popisem provedených empirických a funkčních zkoušek na asfaltovém pojivu a navržených asfaltových směsích a výsledky těchto zkoušek.

Klíčová slova

asfaltová směs, asfaltové pojivo, asfaltový koberec mastixový, funkční zkoušky asfaltových směsí, empirické zkoušky asfaltových pojiv, kamenivo, obrusná vrstva, R – materiál, recyklace vozovek

Abstract

Diploma thesis deals with adding R - material to the wearing asphalt courses, specifically to the SMA 11S. It has two parts – theoretical and practical. The theoretical part describes using R - material in the recycling of roads, different types of recycling and how is this problem handled in the Czech Republic, the practical part deals with the design of three kinds of asphalt mixtures with different added ratios of R – material, describing empirical and functional tests on the bitumen binder and the designed asphalt mixtures and the results of those tests.

Keywords

asphalt mixture, bitumen binder, stone mastic asphalt, functional tests of asphalt mixtures, empirical tests of bitumen binder, aggregates, wearing course, R - material recycling of roads

Bibliografická citace VŠKP

Bc. Markéta Malá *Využití R-materiálu v krytových vrstvách vozovek*. Brno, 2015. 122 s., 38 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce Ing. Petr Hýzl, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 12.1.2016

.....
podpis autora

Bc. Markéta Malá

Chtěla bych poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. Petru Hýzlovi Ph.D. za cenné rady, připomínky a čas, který mi věnoval během zpracování diplomové práce, Ing. Ivě Krčmové za pomoc v silniční laboratoři a při zpracování diplomové práce a zaměstnancům školní laboratoře za ochotu a pomoc v laboratoři. Dále děkuji své rodině za veškerou podporu během mého studia.

OBSAH

1	ÚVOD	- 11 -
1.1	Recyklace asfaltových vozovek	- 11 -
2	CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE	- 13 -
3	TEORETICKÁ ČÁST	- 14 -
3.1	Rozdělení a zatřídění recyklovatelného materiálu	- 14 -
3.2	Získávání materiálů pro recyklaci	- 15 -
3.2.1	Frézování	- 15 -
3.2.2	Uplatnění frézování	- 16 -
3.3	Druhy recyklace netuhých vozovek	- 16 -
3.3.1	Recyklace na místě za studena	- 17 -
3.3.2	Recyklace na místě za horka	- 18 -
3.3.3	Recyklace na obalovně za studena	- 21 -
3.3.4	Recyklace na obalovně za horka	- 21 -
4	PRAKTICKÁ ČÁST	- 26 -
4.1	Asfaltový koberec mastixový	- 26 -
4.1.1	Modifikovaný asfalt	- 27 -
4.1.2	Použití R – materiálu ve směsích pro obrusné vrstvy	- 27 -
4.2	Použité materiály	- 28 -
4.2.1	Kamenivo	- 28 -
4.2.2	Vápencová moučka	- 29 -
4.2.3	Recyklovaný materiál	- 30 -
4.2.4	Asfaltové pojivo	- 32 -
4.2.5	Rejuvenátor	- 34 -
4.2.6	Celulózová vlákna	- 35 -
4.3	Použité zkoušky a zkušební metody	- 39 -

4.3.1	Homogenizace a kvartace	39 -
4.3.2	Stanovení zrnitosti kameniva.....	40 -
4.3.3	Znovuzískání extrahovaného pojiva.....	42 -
4.3.4	Stanovení penetrace jehlou	44 -
4.3.5	Stanovení bodu měknutí směsi - metoda kroužek a kulička	45 -
4.3.6	Stanovení vratné duktility.....	47 -
4.3.7	Stanovení stékavosti pojiva	48 -
4.3.8	Laboratorní výroba směsi	50 -
4.3.9	Stanovení maximální objemové hmotnosti směsi.....	53 -
4.3.10	Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem.....	57 -
4.3.11	Příprava zkušební těles zhutňovačem desek.....	60 -
4.3.12	Stanovení objemové hmotnosti a mezerovitosti směsi	62 -
4.3.13	Zkouška pojíždění kolem – stanovení odolnosti proti trvalým deformacím	63 -
4.3.14	Měření modulů tuhosti.....	66 -
4.3.15	Zkouška stanovení nízkoteplotních vlastností.....	69 -
4.4	Výsledky provedených zkoušek	73 -
4.4.1	Zkoušky asfaltových poživ	73 -
4.4.2	Návrh směsi.....	74 -
4.4.3	Stanovení stékavosti pojiva	88 -
4.4.4	Příprava zkušebních těles	90 -
4.4.5	Zkouška pojíždění kolem.....	91 -
4.4.6	Moduly tuhosti.....	98 -
4.4.7	Stanovení nízkoteplotních vlastností.....	106 -
5	ZÁVĚR DIPLOMOVÉ PRÁCE.....	110 -
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	112 -
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	115 -

SEZNAM TABULEK.....	- 117 -
SEZNAM GRAFŮ	- 120 -
SEZNAM ROVNIC.....	- 121 -
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	- 122 -
SEZNAM PŘÍLOH	- 123 -

1 ÚVOD

1.1 Recyklace asfaltových vozovek

Recyklace vozovek je technologický proces, při kterém se materiál dříve zabudovaný v konstrukci získává zpět za účelem jeho opětovného použití. V dnešní době, kdy jsou kladeny stále větší požadavky na ochranu životního prostředí a ekonomickou úsporu, například snížením objemu odpadů a tím i potřeby prostoru skládek, získává recyklace vozovek a využití recyklovaných materiálů stále významnější postavení.

Další přínosy recyklace vozovek mohou být například snížení nákladů na výstavbu při stejně kvalitním provedení vozovky a zvýšení její životnosti, snížení objemu přepravy na staveniště, tzn. nižší náklady na dopravu i méně škodlivých zplodin vypouštěných do ovzduší, využití druhotných surovin a snížení spotřeby neobnovitelných zdrojů, menší zásahy do krajiny a u některých druhů recyklace také snížení energetické náročnosti. Jedním z dalších důvodů může být i vývoj ceny ropy, který má z dlouhodobějšího hlediska spíše stoupající charakter.

Samotná recyklace vozovek si klade tyto cíle[1]:

- Homogenizace poškozené konstrukce vozovky se známkami degradace
- Zlepšení fyzikálně proměnlivých a reologických vlastností vozovek
- Prodloužení životnosti
- Zvýšení celkové únosnosti vozovky a odolnosti proti mechanickému působení
- Zvýšení protismykových vlastností a vyrovnaní nerovností krytu vozovky
- Odstranění konstrukcí vozovek, u kterých bylo použito jako pojivo dehet (dnes je již zakázáno z hlediska životního prostředí dehet do konstrukcí vozovek používat, protože je považován za karcinogenní).

Jak dochází k postupnému rozvoji této metody, zvyšuje se také podíl R - materiálu v konstrukcích vozovek, asfaltové vozovky se mohou považovat za zcela recyklovatelné a tím pádem bezodpadové. Rozvíjí se také technologie znovupoužití materiálu z krytů vozovek, kde bylo jako pojivo použito dehtu, jedná se především o recyklaci za studena. Mezi další postupy patří například využití pěnoasfaltové technologie a teplé asfaltové technologie.

V České republice se recyklovaný materiál při výrobě nových asfaltových směsí používá jen v omezeném množství, zejména v ložních a podkladních vrstvách. Použití v obrusné vrstvě české normy vůbec neumožňují, na rozdíl od těch evropských. Velmi rozšířené použití R – materiálu je například v sousedním Německu, kde se používá až 80 % recyklátu do podkladních vrstev.

Proč tomu tak je, je otázkou. Použití recyklátů vyžaduje poměrně náročnou technologickou kázeň, ať už se jedná o proces frézování či bourání konstrukčních vrstev vozovky, uskladnění takto získaného R – materiálu nebo samotné zpracování v obalovnách, že je mnohdy výhodnější, zejména co se týká náročnosti, R – materiály vůbec nevyužívat nebo pouze do nižších konstrukčních vrstev.

Dle evropských směrnic bychom měli do roku 2020 zajistit, aby bylo recyklováno 70 % stavebního odpadu. V roce 2013 vyprodukovala Česká republika 1,5 milionu tun recyklovatelného materiálu, avšak recyklovala pouze 10 % z tohoto množství.[2]

2 CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem diplomové práce je zjištění a porovnání vlastností asfaltových směsí typu SMA 11S s různým obsahem R – materiálu. Práce je členěna na dvě části – teoretickou a praktickou.

Cílem teoretické části je seznámení se s problematikou využívání R – materiálu, vybranými pojmy, které se týkají recyklací netuhých vozovek a popis možností recyklace vozovek využívaných v České republice s důrazem především na recyklace za horka na obalovně. V teoretické části je řešena i problematika a důvody nižšího využívání R – materiálu v České republice v porovnání s ostatními evropskými zeměmi.

Úkolem praktické části je návrh tří druhů směsí typu SMA 11S a jejich výroba v laboratorních podmínkách. První směs typu SMA 11S je bez obsahu R – materiálu, druhá obsahuje 10 % R – materiálu a třetí 20 % R – materiálu. Všechny směsi mají obsahovat stejné množství asfaltového pojiva a mít podobnou čáru zrnitosti. Na navržených asfaltových směsích s různým obsahem R – materiálu mají být provedeny tyto funkční zkoušky:

- Odolnost vůči trvalým deformacím – zkouška pojiždění kolem (dle ČSN EN 12697-22)
- Stanovení modulů tuhosti (dle ČSN 12697-26)
- Stanovení nízkoteplotních vlastností (dle ČSN EN 12697-46)
- Stanovení stékavosti pojiva (dle ČSN EN 12697 – 18)

Na asfaltových pojivech použitých při výrobě asfaltových směsí mají být pro zjištění jejich vlastností použity tyto zkoušky:

- Stanovení penetrace jehlou (dle ČSN EN 1426)
- Stanovení bodu měknutí (dle ČSN EN 1427)
- Stanovení vratné duktility modifikovaného pojiva (dle ČSN EN 13398)

Pro přidávání R – materiálu do obrusných vrstev neexistuje v České republice žádný zvláštní předpis a zkušenosti s výrobou směsí SMA s obsahem R – materiálu nejsou velké ani v ostatních zemích.

3 TEORETICKÁ ČÁST

3.1 Rozdělení a zařazení recyklovatelného materiálu

Na úvod je potřeba definovat několik důležitých pojmů vztahujících se k recyklování vozovek.

Za R – materiál považujeme asfaltovou směs znovuzískanou odfrézováním asfaltových vrstev nebo drcením desek vybouraných z asfaltových vozovek nebo velkých kusů asfaltové směsi. Dále se může jednat o asfaltové směsi z neshodné nebo nadbytečné výroby. Obsahuje více jak 95% asfaltových materiálů (Ra), s max. obsahem 5 % hmotnosti ostatních recyklovaných materiálů (Rc + Rb + Ru + X + Y + FL). Řadíme ho mezi recyklovaný stavební materiál (RSM).[3]

Je určený pro použití především v technologiích recyklace za horka. Vyšší kvality dosahuje ten R – materiál, který je získáván odděleným frézováním ložní a obrusné vrstvy, kvalitu R-materiálu ovlivňuje také způsob jeho skladování. Použitím R – materiálu se zabývá norma ČSN EN 13108-8 Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 8: R-materiál.[1]

Dále rozeznáváme tyto termíny:

- **Stavební a demoliční odpad (SDO)** – inertní odpad bez nebezpečných vlastností, u něhož za normálních klimatických podmínek nedochází k žádným významným fyzikálním, chemickým nebo biologickým změnám
- **Recyklovaný stavební materiál (RSM)** – recyklát, který dále rozdělujeme:
 - Recyklát z betonu (Rc) – recyklované kamenivo získané drcením a tříděním betonu a betonových výrobků
 - Recyklát z vozovek – recyklované kamenivo získané drcením a tříděním betonu, vrstev stmelených asfaltem nebo hydraulickým pojivem, případně nestmelených vrstev a hrubozrnných zemin.
 - Recyklát ze zdiva (Rb) – recyklované kamenivo získané drcením a tříděním pálených a nepálených zdících prvků (cihly, obkladačky, pórobeton) a betonu.
 - Recyklát směsný – získáme ho drcením a tříděním SDO, který se nepovažuje za kamenivo

- Jiné částice (X) – jedná se o přilnavé částice (jemnozrnné jílovité zeminy a nečistoty), různorodé částice (železné a neželezné kovy), dřevo, plasty apod.
- Ostatní částice (Y) – částice nestavebního charakteru, např. papír, textil, organické materiály apod.
- Plovoucí částice (FL) – jedná se o částice, které plavou na vodě, například plovoucí dřevo nebo polystyrén[3]

3.2 Získávání materiálů pro recyklaci

R - materiál získáváme nejčastěji frézováním starých vozovek a to buď vybouráním celé konstrukce vozovky, nebo jejich jednotlivých vrstev. V jednom záběru můžeme vybourat vrstvy stmelené asfaltovým pojivem, v dalším záběru poté zbývající vrstvy. Toto separované vybourání umožňuje opětovné zabudování asfaltem stmelených vrstev v asfaltových směsích. [1]

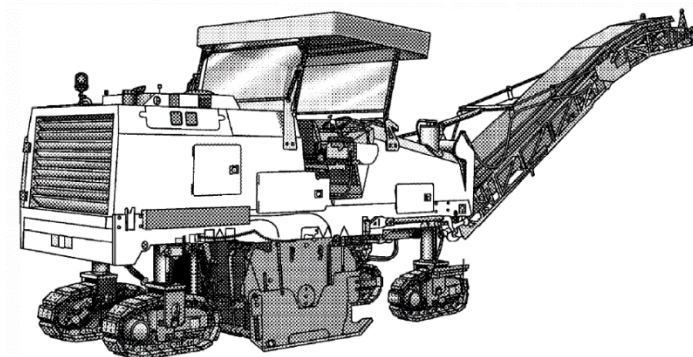
3.2.1 Frézování

Při frézování můžeme materiál získávat studenou nebo teplou cestou. Frézovat by se mělo po jednotlivých vrstvách, aby nedošlo k promíchání materiálu o různé kvalitě a o různém zrnitostním složení. Toto se však v praxi často neděje.

Pro frézování můžeme používat různé druhy silničních fréz:

- malé
 - šířka frézovacího válce do 500 mm
 - záběrová hloubka do 100 mm
 - střední
 - šířka frézovacího válce 500 až 1000 mm
 - záběrová hloubka do 180 mm
 - velké
 - šířka frézovacího válce nad 1000 mm
 - záběrová hloubka do 350 mm
 - speciální (využití při sanačních pracích na frézování porušeného krytu v blízkosti kanalizačních poklopů, rigolů, uličních vpustí apod.)
-

- šířka frézovacího válce do 350 mm
- záběrová hloubka do 100 mm[1]



Obr. 1 Příklad silniční frézy [4]

3.2.2 Uplatnění frézování

Frézování lze uplatnit na vozovkách, u kterých skončila životnost obrusné vrstvy, u vozovek kde při opravách či rekonstrukcích nelze změnit niveletu z důvodu návaznosti na okolní konstrukce (především místní komunikace – návaznost vozovky na chodníky či odvodnění a z tohoto důvodu nelze zvyšovat tloušťku vozovky), u mostních objektů, kde bychom navyšováním asfaltových vrstev zvyšovali také stálé zatížení mostu, pokud upravujeme příčný profil u malých nerovností a deformací do 10 mm (při následném použití mikrokoberce či nátěru) či při provizorní obnově drsnosti frézováním do 10 mm. [1]

3.3 Druhy recyklace netuhých vozovek

Recyklace netuhých vozovek může probíhat z hlediska místa provádění buď na místě (in place) nebo v míchacím centru čili na obalovně (in plant), z hlediska technologie potom buď za studena, nebo za horka. Kombinací těchto aspektů získáváme čtyři druhy recyklace vozovek – na místě za studena, v obalovně za studena, na místě za horka a v obalovně za horka. V následující kapitole se budu věnovat popisu těchto čtyř druhů recyklace.

Recyklaci na místě můžeme rozdělit dle hloubky a charakteru recyklace na recyklaci krytu a podkladních vrstev do hloubky až 250 mm a na recyklaci asfaltových vrstev na místě.

V prvním případě musí dojít ještě před samotnou recyklací k odstranění krytu z asfaltových vrstev například frézováním, protože cílem je recyklovat především podkladní vrstvy. Výsledkem tohoto procesu je dle použití pojiva stmelená nebo nestmelení podkladní vrstva.

Recyklace asfaltových vrstev se provádí za horka nebo za studena a výsledkem je nová asfaltová vrstva.[5]

3.3.1 Recyklace na místě za studena

Jedná se o technologický proces, při kterém se zhotoví recyklovaná vrstva rozpojením a úpravou staré vrstvy recyklačním zařízením přímo na místě za studena.[6]

Recyklace na místě za studena (Cold in – Place Recycling) má několik výhod. Je především ekologická, protože se při ní používá recyklát ze stávající konstrukce vozovky (100 % využití materiálu na vozovkách), do kterého se může přidat pojivo. Odpadá tedy dovážení kameniva na stavbu a s tím spojená hluchnost, prašnost a přetěžování silnic v okolí stavby. Jako pojivo se používají asfaltové emulze nebo zpěněný asfalt.

Recyklace může probíhat i bez použití pojiva a to za účelem reprofilace a homogenizace nestmelené vrstvy. Pro zlepšení zeminy se může přidávat další materiál, např. kamenivo, který se rozprostře ještě před frézováním na nestmelenou vrstvu. Výsledná vrstva odpovídá parametrům štěrkodrtě.[5]

Další výhodou je krátká doba opravy a tím i značné finanční úspory a efektivní využití strojů. Jediným průjezdem tzv. recyklačního vlaku dochází pomocí speciální silniční frézy k rozpojení vozovky, její smíchání s vodou a dalšími pojivy a opětovné položení zpět. Rychlost recyklace je asi 1 km vozovky za 2 dny a vozovku lze ihned používat, navíc technologie může probíhat i za částečného omezení provozu. [7]

Dochází také k homogenizaci podkladní vrstvy v celé její šířce, k zamezení vzniku příčných trhlin a v neposlední řadě k časovým i finančním úsporám.

Recyklační vlak je tvořen několika stroji. Motorem tohoto vlaku je speciální silniční fréza, která táhne celou soustavu. Uprostřed se nachází stroj, který vyfrézovaný materiál třídí, drtí a promíchává a tím zabezpečuje výrobu homogenní směsi se správnou velikostí zrn a

rovnoměrnou křivkou zrnitosti. Do směsi jsou přidávány přísady, jejichž dávkování zajišťuje počítačová jednotka dle vstupních údajů a pásové váhy. Homogenní směs poté vypadává přímo na zem a sběračem je podávána do násypky finišeru a v požadovaných sklonech pokládána k následnému zhutnění hutním válcem. [8]



Obr. 2 Recyklační vlak při technologii recyklace za studena na místě [8]

3.3.2 Recyklace na místě za horka

Tato metoda opravy asfaltových vozovek (Hot in – Place Recycling) spočívá v ohřátí asfaltové směsi vrstvy určené k recyklaci, jejím rozpojení, promícháním s přidávanými materiály, jako jsou změkčující přísady, asfaltové pojivo, kamenivo či asfaltová směs a zpětným položením a zhutněním. Recyklovat můžeme jak obrusné, tak i ložní a podkladní asfaltové vrstvy vozovek.

Výhody této technologie jsou především zvýšení pohodlí jízdy a bezpečnosti účastníků silničního provozu a prodloužení životnosti vozovky.[9]

Častým problémem při recyklaci za horka je odstranění vody z povrchu vozovky, protože vozovka i při suchém počasí obsahuje většinou 1 – 2 % vody. Proto by teplota asfaltové vrstvy při ohřevu neměla přesáhnout 100 °C, dokud nedojde k odpaření přebytečné vody. Z těchto důvodů se při moderních postupech používá místo infračervených zářičů ohřev horkým vzduchem se zpětným odsávání vzduchu a vlhkosti s využitím vakua. [1]



Obr. 3 Recyklace na místě za horka (Hot-in-place recycling) [10]

Rozeznáváme pět kategorií recyklace na místě za horka:

Reshape

Jedná se o technologii úpravy příčného profilu vozovky, kdy dochází k ohřátí asfaltové směsi vrstvy určené k recyklaci, k jejímu rozpojení a nakypření, urovnání nakypřené směsi v příčném i podélném směru a zhutnění urovnané směsi. [9]

Výhodou této technologie je minimální spotřeba stavebního materiálu, vysoký výkon a s tím související nízké náklady. Metoda se však používá pouze při malých deformacích vozovky, které nezasahují do ložní a horní podkladní vrstvy, rozrytí se zpravidla provádí do hloubky 40 – 50 mm. Mrazové trhliny, které procházejí více vrstvami je nutno nejdříve opravit na celou výšku, aby se zpětně nedocházelo k jejich prokopírování. [1]

Repave

Tato metoda, stejně jako Reshape, spočívá v úpravě příčného profilu vozovky, na rozdíl od předešlé však u ní dochází i k položení nové asfaltové vrstvy. Nejprve dochází k ohřátí asfaltové směsi určené k recyklaci, k jejímu rozpojení a nakypření, urovnání v příčném i podélném směru. Poté se na tuto směs položí nová asfaltová vrstva, aniž by došlo k vzájemnému promísení. Obě vrstvy se zhutní současně. [9]

Nová vrstva se přidává ihned po přeformování staré vrstvy jedním zařízením nebo odděleně pomocí běžného finišeru, který jede po položené přeformované směsi. Tato nová

vrstva bývá obvykle tenká, po zhutnění cca 20 – 30 mm a bývá vysoké kvality. Vlastnosti původní směsi se při této technologii neupravují. [1]

Remix

Při této metodě se přidává na povrch vozovky kamenivo, které se po něm nejprve rozprostře. Poté dochází k ohřátí recyklované asfaltové vrstvy a k jejímu rozpojení. Do vrstvy se přidávají různé látky, například změkčovadla, silniční asfalt, předobalené kamenivo, které se s touto vrstvou promíchají. Takto upravená vrstva se poté položí zpět a zhutní se. [9]

Remix Plus

Tato technologie odpovídá metodě Remix, avšak po položení upravené asfaltové směsi dochází k položení nové obrusné vrstvy (vtlačovaná vrstva) systémem horké na horké. Poté se celé asfaltové souvrství, tedy zpětně položená recyklovaná vrstva a nová obrusná vrstva, zhutní.

Technologie Remix a Remix plus jsou vhodné tehdy, pokud má stará úprava nevhodné složení a špatné fyzikálně – mechanické vlastnosti, jako špatnou čaru zrnitosti, nevyhovující vlastnosti pojiva apod. Metoda umožňuje recyklaci asfaltových vrstev do hloubky 50 mm, při přidání nové směsi může být výsledná vrstva v tloušťce až 70 mm.[1]

Technologie recyklace	Doporučená třída dopravního zatížení ¹⁾		
	Obrusná vrstva	Ložní vrstva	Podkladní vrstva
Remix	IV - VI	I - VI	S - III
Remix Plus	-	I - IV	-
¹⁾ Třídy dopravního zatížení podle ČSN 73 6114, Z1 se vztahují na recyklovanou vrstvu			

Tab. 1 Užití recyklovaných asfaltových vrstev v konstrukci vozovky [9]

Strojní sestava pro recyklaci na místě za horka při technologiích Remix a Remix plus se stává z infrazářičů (nebo zařízení pro ohřev vzduchem), které nahřívají recyklovanou asfaltovou vrstvu na potřebnou teplotu pro hutnění, recyklačního zařízení s frézou, kontinuální míchačkou a rozhrnovací lištou, kde dochází k rozrušení vrstvy a promíchání s přidávanými materiály a jedné nebo dvou sestav šnekových rozhrnovačů, urovnávacích a hutnicích lišt.

3.3.3 Recyklace na obalovně za studena

Recyklace v míchacím centru za studena (Cold in-Plant Recycling) je technologie, při které se zhotovují recyklované vrstvy především z recyklovaného kameniva, které se před dovezením na staveniště upravuje v míchacím centru.

Do recyklovaného kameniva se na obalovně dávkuje pojivo, přísady, voda a případně další doplňující materiál, například přírodní či umělé kamenivo. Takto zpracovaná směs se převeze na stavbu a dále se zpracovává běžnými postupy. Během dopravy nesmí docházet ke znečištění směsi, segregaci kameniva a takové změně vlhkosti, při které by směs nebylo možno zhutnit na požadovanou míru zhutnění.

Jako pojivo se do těchto směsí přidává cement, asfaltová emulze, zpěněný asfalt, případně kombinace těchto pojiv nebo se může jednat o nestmelenou vrstvu bez pojiva. [11]

Recyklace za studena je úspornější technologií, protože směs nemusí být zahřívána.

3.3.4 Recyklace na obalovně za horka

Tento způsob recyklace vozovek je nejčastější a také nejefektivnější. R – materiál používaný v této metodě recyklace za horka bývá nejčastěji předrcený na frakce 0/11 (resp. 0/8) při použití do obrusných vrstev nebo 0/22 (resp. 0/16) při použití do ložních a podkladních vrstev.

V zásadě rozlišujeme tři druhy recyklace za horka na obalovně (Hot in-Plant Recycling), a to:

- Dávkování R – materiálu za studena přímo do míchačky šaržové obalovny
- Předehřívání R – materiálu v paralelním bubnu šaržové obalovny
- Metoda Drum – mix používaná v kontinuálních obalovnách

3.3.4.1 Dávkování R – materiálu přímo do míchačky šaržové obalovny

Tato metoda se od druhé metody používané v šaržových obalovnách liší především tím, že R – materiál není nutné předehřívát a můžeme ho dávkovat přímo do bubnu šaržové obalovny. Z tohoto důvodu je však nutné předehřát kamenivo na vyšší teplotu, než je teplota míchání, aby nedošlo ke snížení teploty pod předepsanou hodnotu. Čím více chceme použít "R -

materiálu, tím vyšší musí být teplota, na kterou budeme předehtřívát kamenivo, což značně omezuje množství R – materiálu, které lze do nové asfaltové směsi přidávat. V současné době je v České republice vybaveno zařízením pro přidávání R – materiálu za studena asi 40 % šaržových obaloven.[12]

R – materiál je buď uskladněn v zásobnících a dávkován stejně jako kamenivo nebo se přidává do míchačky přes samostatnou váhu. Při této metodě se doporučuje přidávat maximálně 25 % R – materiálu, při vyšším dávkování je potřeba vypočítat gradaci přidávaného pojiva. R – materiál bývá často uskladněn v nevyhovujících podmínkách v nezastřešených skládkách a často obsahuje velké množství vlhkosti. Tato vlhkost se při kontaktu s horkým kamenivem začne odpařovat a velké množství vodní páry je poté nutné odvádět odvětrávacím zařízením. Dalším důvodem pro omezené použití R – materiálu při této metodě výroby asfaltových směsí je také to, že recyklát často pochází z různých konstrukčních vrstev vozovky a tím pádem má značně různorodé složení, které by negativně ovlivňovalo kvalitu výsledné asfaltové směsi.[13]



Obr. 4 Skládka recyklovaného materiálu [14]

3.3.4.2 Předehtřívání R – materiálu v paralelním bubnu šaržové obalovny

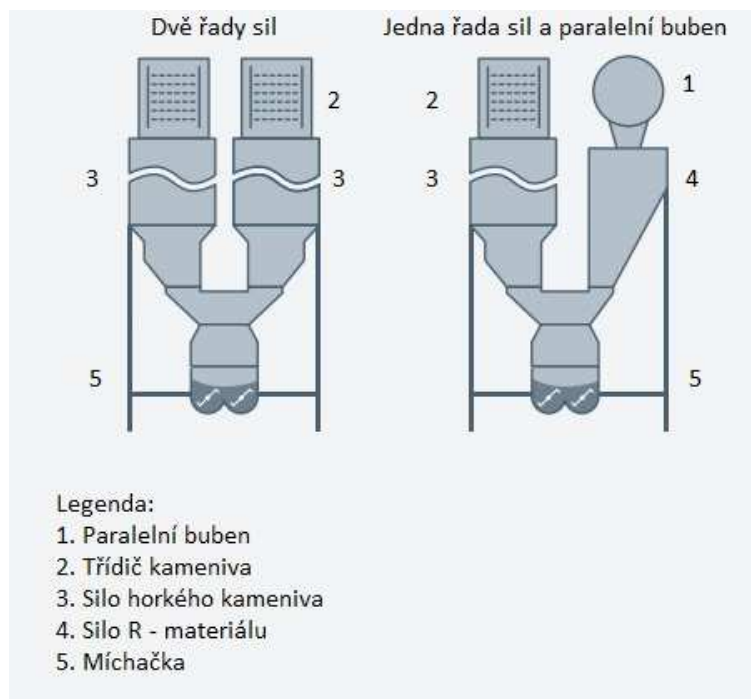
Hlavní rozdíl proti přímému dávkování do míchačky šaržové obalovny je v tom, že recyklovaný materiál je nejprve předehtříván v paralelním bubnu. Paralelním sušícím bubnem disponují v současné době pouze čtyři obalovny v České republice. Způsob zpracování R –

materiálu umožňuje na rozdíl od přímého přidávání do bubnu šaržové obalovny použít při výrobě směsi až 80 % recyklátu.



Obr. 5 Šaržová obalovna vybavená paralelním bubnem k předehřívání R – materiálu [15]

R – materiál je tedy nejdříve umístěn do paralelního bubnu nacházejícího se v horní části obalovny. Poté jsou do něj přimíchány tzv. omlazovače pojiva neboli rejuvenátory. Tyto látky slouží ke znovuoživení neboli změkčení zestárlého pojiva, které se v R – materiálu nachází. Následně je recyklát předehříván na teplotu asi 120 – 135 °C a potom skladován v silu, z kterého může být již dávkován do míchačky šaržové obalovny a smíchán s kamenivem, pojivem, dalšími přísadami apod.



Obr. 6 Dvě možnosti použití R - materiálu - velké množství horkého kameniva a studený recyklát nebo horké dávkování recyklátu[15]

3.3.4.3 Metoda Drum – mix používaná v kontinuálních obalovnách

Kontinuální výroba asfaltových směsí není v České republice příliš rozšířena, existuje u nás pouze jedna obalovna využívající tuto technologii. Hodí se především pro velké stavby s konstantní recepturou směsi, výrobní proces probíhá v nepřetržitém procesu a bez přestávky, přičemž jednotlivé komponenty jsou do mísícího procesu přidávány kontinuálně. Tento typ obaloven je rozšířen zejména v USA, kde tvoří asi 80 % z celkového množství míchacích center a umožňuje přidávání zhruba 50 % R - materiálu.[16]



Obr. 7 Kontinuální obalovna využívající metodu Drum – mix[17]

3.3.4.4 Skladování R – materiálu

Jak již bylo řečeno v předchozích kapitolách, použití R – materiálu v konstrukčních vrstvách a zvláště v obrusných, na které jsou kladeny nejvyšší požadavky ohledně kvality, úzce souvisí i s kvalitou přidávaného R – materiálu. R – materiál je tedy nutné frézovat po jednotlivých vrstvách, takto vyfrézovaný ho poté skladovat ve vyhovujících podmínkách, tzn. v zastřešených skládkách s pevných podkladem, chránící proti vlhkosti a postřikem či posypem vápnem nebo pískem, chránícím před účinkem slunečního záření. R – materiál by měl být uskladněn do výšky maximálně 4 metrů, aby bylo zabráněno samozhutňování. Před dalším zpracováváním R – materiálu je důležitá také jeho homogenizace, aby bylo dosaženo jeho konstantní zrnitosti.[13]

V České republice dochází k frézování a skladování všech asfaltových konstrukčních vrstev dohromady, tedy jak obrusné, tak ložné a podkladní, ale často také například litého asfaltu. U těchto vrstev neznáme jejich původ a kvalitu, proto se dále předrcují na frakce 0/11 či 0/22 dle použití do konstrukčních vrstev. Vlivem skladování R – materiálu v nevyhovujících podmínkách a tím jeho značné vlhkosti, je reálné množství přidávaného R – materiálu cca 25%.[2]

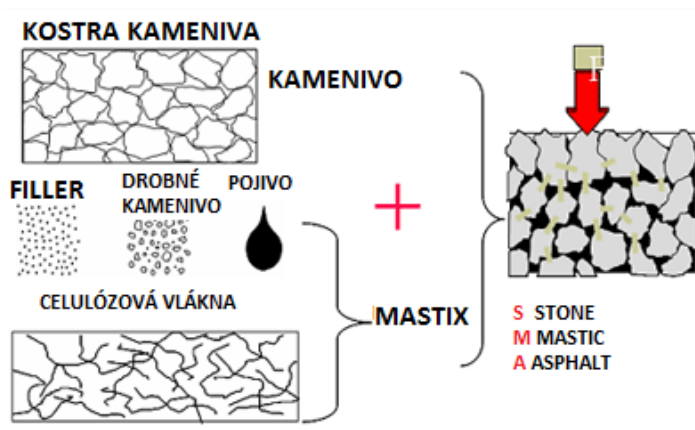
4 PRAKTICKÁ ČÁST

Úkolem praktické části byl návrh tří druhů asfaltového koberece mastixového (Stone Mastic Asphalt) SMA 11S s různým procentuálním zastoupením R – materiálu, tedy bez recyklovaného materiálu, s 10 % R - materiálu a s 20 % R - materiálu a porovnání výsledků laboratorních zkoušek provedených na těchto třech směsích.

Označení SMA 11S znamená, že se jedná o asfaltový koberec mastixový, s maximální velikostí zrna 11 mm a písmeno S značí asfaltovou směs se zvýšenou odolností proti tvorbě trvalých deformací.[18]

4.1 Asfaltový koberec mastixový

Asfaltový koberec mastixový (SMA) je asfaltová směs určená do obrusných vrstev netuhých vozovek pozemních komunikací, které jsou vysoce zatíženy dopravou, například vytížené křižovatky, dálnice nebo letištní plochy. Vyznačuje se přerušovou čarou zrnitosti, nosnou kostru směsi tvoří nejhrubší a případně druhá nejhrubší frakce kameniva, zbývající kamenivo je výplňové a s asfaltovým pojivem a kamennou moučkou tvoří asfaltovou maltu neboli mastix. Mastix je tedy směs drobného kameniva s velikostí do 2 mm a kamenné moučky obalené asfaltovým pojivem. Mezerovitost směsi je podle druhu a intenzity dopravního zatížení od min. 2,0 % do max. 4,5 %. [19]



Obr. 8 SMA - princip

Tato asfaltová směs byla vyvinuta v 60. a 70. letech v Německu a byla původně určena pro pneumatiky s hřeby. Ve směsi je potřeba z důvodu vzájemného dotyku velkých zrn použít

kvalitní kamenivo, a také obsah asfaltového pojiva je ve srovnání s asfaltovým betonem vyšší (asi 6 – 8 %), přičemž se používají především modifikované asfalty a stabilizační přísady, např. celulózní vlákna, která zabraňují stékání pojiva z povrchu kameniva.[19]

4.1.1 Modifikovaný asfalt

Modifikované asfalty jsou asfaltová pojiva, která mají upravené fyzikální a mechanické vlastnosti přísadou polymeru. Při normální teplotě jsou polotuhé až tuhé, homogenní, stabilní při skladování. Neobsahují vodu ani jiné mechanické nečistoty. Zpracovávají se za horka, teplota pro obalování bývá cca o 5 °C vyšší než u nemodifikovaných silničních asfaltů stejné gradace. Teplota zpracování se pohybuje mezi 150 °C – 180 °C. [20]

Základní charakteristiky směsí typu SMA jsou tedy především vysoká odolnost proti tvorbě trvalých deformací, odolnost proti tvorbě mrazových trhlin, díky příznivé makrotextuře také útlum dopravního hluku, pomalý proces stárnutí a dobrá přilnavost k podkladu. [18]

4.1.2 Použití R – materiálu ve směsích pro obrusné vrstvy

V současné době česká norma neumožňuje přidávání recyklovaného materiálu do krytové vrstvy SMA. Návrhy směsí a testy, které jsou popsány v této diplomové práci, byly zpracovány dle postupů obalovny Froněk spol. s.r.o., aby se co nejvíce přiblížili reálnému stavu a zacházení se směsí.

Do kvalitních směsí používaných do obrusných vrstev s označením S, se tedy R - materiál nesmí používat, ale například do vrstvy ACP + (podkladní vrstva z asfaltového betonu) lze přidávat až 60 % recyklátu. Evropské normy přesto povolují používání recyklátu do všech obrusných vrstev. U nás toto není umožněno zejména z důvodů obav před technologickou nekázní, nekvalitní výrobou apod.

Pro efektivní využívání R – materiálu v obrusných vrstvách, jako je například vrstva z SMA 11S, je tedy nutné dodržet několik podmínek. Musí být k dispozici obalovna, která umožňuje zpracování většího množství recyklátu v recepturách, musíme mít dostatečnou znalost o přidávaném recyklátu, recyklát musí být vyfrézován po jednotlivých konstrukčních vrstvách a to v takových celcích, které nejsou znehodnoceny lokálními výsypkami, musí být zaručena dostatečná kvalita používaného kameniva v R - materiálu, zejména odolnost vůči

obrusu, proti mechanickému poškození a odolnost proti cyklickému zmrazování a rozmrazování. Pokud tyto znalosti o daném kamenivu nemáme, je nutné provést zkoušky, které ověří vlastnosti a případnou možnost použití kameniva. Vyfrézovaný materiál je také nutné samostatně skladovat, nejlépe v zastřešených a izolovaných prostorech. [18]

4.2 Použité materiály

4.2.1 Kamenivo

Kamenivo použité při laboratorní výrobě všech tří směsí bylo z kamenolomu Sýkořice ve Zbečně ve frakcích 0/2, 2/5, 4/8, 8/11 a vápencová moučka. Nejprve byla provedena homogenizace a kvartace, poté bylo kamenivo vysušeno při 110°C a provedeny síťové rozborů jednotlivých frakcí. Tyto postupy jsou popsány v kapitole 4.3.1 *Homogenizace a kvartace* a 4.3.2 *Stanovení zrnitosti kameniva*.

Frakce	16	11,2	8	5,6	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
8/11	2,1	188,8	1976,7	257,7	26,0	15,3	4,0	2,3	3,0	4,2	4,6
4/8	0,0	0,0	35,9	275,6	303,7	71,8	3,4	0,9	0,6	0,8	0,8
2/5	0,0	0,0	0,7	16,3	111,4	141,8	14,0	2,6	1,2	1,7	2,6
0/2	0,0	0,0	0,0	0,0	5,5	56,1	59,6	44,7	30,5	21,6	10,9
moučka	0	0	0	0	0	0,05	0,15	0,5	2,15	9,65	18,25

Tab. 2 Síťový rozbor jednotlivých frakcí kameniva v gramech (zprůměrováno)

Frakce	16	11,2	8	5,6	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
8/11	100%	92%	13%	3%	2%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
4/8		100%	95%	56%	12%	2%	1%	1%	1%	1%	1%
2/5		100%	100%	95%	57%	10%	6%	5%	4%	4%	3%
0/2		100%	100%	100%	98%	75%	52%	34%	21%	13%	8%
moučka							100%	99%	97%	88%	69%

Tab. 3 Síťový rozbor jednotlivých frakcí kameniva v procentech (zprůměrováno)



Obr. 9 Kamenivo Zbečno, frakce 0/2



Obr. 10 Kamenivo Zbečno, frakce 2/5



Obr. 11 Kamenivo Zbečno, frakce 4/8



Obr. 12 Kamenivo Zbečno, frakce 8/11

4.2.2 Vápencová moučka

Vápencová moučka (tzv. filer) je kamenivo, u kterého většina zrn propadne sítem o velikosti 0,063 mm.



Obr. 13 Vápencová moučka použitá v této diplomové práci

4.2.3 Recyklovaný materiál

Při výrobě směsi s obsahem R-materiálu (10% a 20%) byl použit recyklovaný materiál od firmy Froněk spol. s.r.o., který byl získán odfrézováním asfaltových vrstev a předrcením na frakci 0/11.

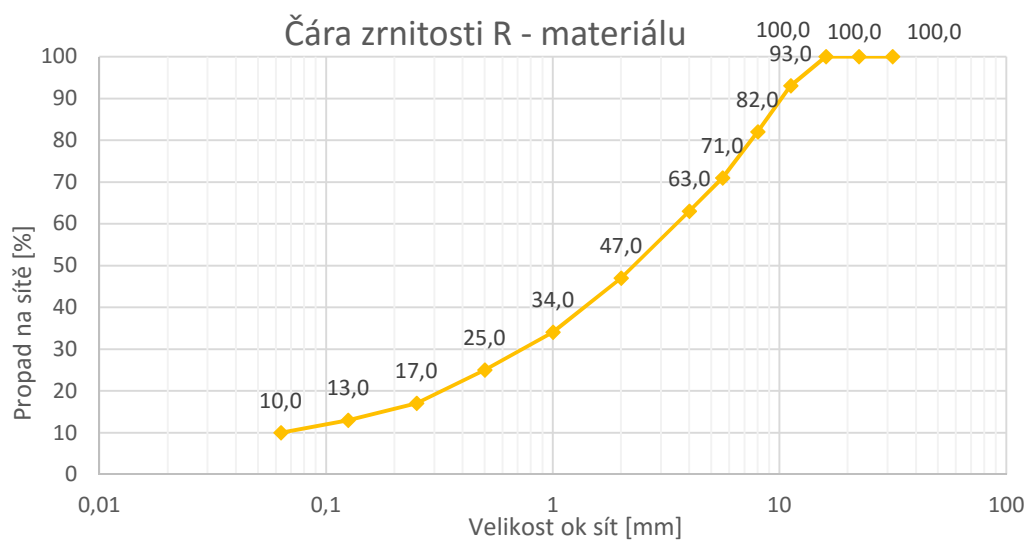


Obr. 14 R – materiál frakce 0/11

Recyklovaný materiál byl vysušen do ustálené hmotnosti při teplotě 50°C a byl proveden jeho síťový rozbor a stanovena čára zrnitosti.

Frakce	22	16	11,2	8	5,6	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
R-mat [g]	0	2,9	77,65	131,95	130,2	103,85	183,15	151,65	111	88,7	55,9	37,7
R-mat [%]	100	100	93	82	71	63	47	34	25	17	13	10

Tab. 4 Síťový rozbor jednotlivých frakcí R-materiálu v gramech a procentech (zprůměrováno)



Graf 1 Čára zrnitosti použitého R – materiálu



Obr. 15 Froněk spol. s.r.o. – Obalovna BRANT v Rakovníku s nainstalovaným paralelním bubnem pro přidávání R – materiálu

4.2.4 Asfaltové pojivo

1.) Modifikované asfaltové pojivo

Pro návrh krytu vozovek ze směsi asfaltového koberce mastixového, určeného pro vozovky s vyšší třídou dopravního zatížení, se standardně používá modifikovaný asfalt z důvodu zajištění vysokých požadavků na celkovou kvalitu směsi.

V praktické části této práce bylo pro návrh SMA 11S použito modifikované asfaltové pojivo Colflex 45/80 – 55 vyráběné firmou COLAS CZ a.s., označení 45/80 – 55 značí penetraci v rozmezí 45 – 80 penetračních jednotek a minimální bod měknutí 55 °C. Dle naměřených hodnot ze zkoušek provedených v laboratoři, se zjistilo, že dané pojivo má penetraci 65 penetračních jednotek (p. j.) a bod měknutí 61,6 °C. Protažení asfaltového pojiva při zkoušce vratné duktility je 201 mm s mezerou 172 mm, tedy s vratností 86%, která dokazuje modifikaci asfaltového pojiva. Podrobnější výsledky jsou uvedeny v kapitole 4.4.1. *Zkoušky asfaltových pojiv.*



Obr. 16 Asfaltové pojivo Colflex 45/80 - 55 od firmy COLAS CZ a.s.

Addibit L300

Pro zlepšení přilnavosti asfaltového pojiva ke kamenivu bylo do něho přidáváno tekuté smáčedlo a adhezní přísada Addibit L300, která zlepšuje přilnavost díky své nízké viskozitě. Dávkování Addibitu L300 je 0,2% hmotnosti asfaltového pojiva přidávaného do směsi.

Vliv přidávání Addibitu L300 do asfaltového pojiva na jeho stékavost byl zjištěn pomocí zkoušky stékavosti pojiva. Výsledky této zkoušky jsou uvedeny v kapitole 4.4.3 *Stanovení stékavosti asfaltového pojiva*.



Obr. 17 Adhezní přísada Addibit L300

Dávkování pojiva bylo nejdříve zvoleno 6,3% a 6,6% hmotnosti směsi SMA 11S. Na základě zjištění maximálních objemových hmotností a objemových hmotností z Marshallových těles, vyrobených rázovým zhutňovačem (viz kapitola 4.3.10 *Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem*), bylo nakonec jako optimální množství pojiva pro návrh směsi SMA 11S stanoveno 6,3 % hmotnosti směsi.

Po stanovení maximálních objemových hmotností směsí bez R – materiálu a s 10 % R – materiálu byla však zjištěna nevyhovující mezerovitost směsi. Množství pojiva tedy bylo stanoveno na 6,5 %. Ve směsi bez R – materiálu byl tedy obsah modifikovaného pojiva 6,5 %, ve směsích s 10 % a s 20 % byl obsah modifikovaného asfaltového pojiva úměrně zmenšen dle obsahu silničního pojiva v R – materiálu zjištěného extrakcí pojiva z recyklátu tak, aby celkový obsah asfaltového pojiva byl 6,5 %. Podrobnější výsledky jsou uvedeny v kapitole 4.4.2 *Návrh směsi*.

2.) Asfaltové pojivo v R-materiálu

Po extrakci pojiva bylo v R-materiálu zjištěno množství asfaltového pojiva 5,16 % z celkové hmotnosti recyklovaného materiálu (extrakce pojiva je popsána v kapitole 4.3.3 *Znovuzískání extrahovaného pojiva*). Dané pojivo má penetraci 25 p. j. a bod měknutí 64,4 °C. Tento R - materiál byl získán frézováním různých asfaltových vrstev, tedy jak ohrusné, tak ložní i pokladní a proto se předpokládá, že se jedná o nemodifikovaný silniční asfalt. Z tohoto důvodu se u tohoto pojiva nestanovovala vratná duktilita. Naměřená penetrace pojiva získaného z R – materiálu prokazuje, že toto asfaltové pojivo je již zestárlé.

Výsledky všech zkoušek provedených na asfaltovém pojivu jsou uvedeny v kapitole 4.4.1 *Zkoušky asfaltových pojiv*.

4.2.5 Rejuvenátor

Pro změkčení zestárlého (oxidovaného) asfaltového pojiva obsaženého v R-materiálu se používají tzv. rejuvenátory. V praktické části této práce byl použit rejuvenátor Storflux. Jedná se o derivát ropy získaný ze sekundární rafinace, který patří do fluxačních olejů jako je Storflash, Storbite a Storelastic. Množství použitého změkčovadla se dávkuje dle množství použitého asfaltového pojiva, které je potřeba změkčit nebo podle technického minima pro dobrou zpracovatelnost na obalovně a to tak, aby recyklovaný materiál nezůstával v paralelním bubnu obalovny, kde se rejuvenátor dávkuje. Určené množství se zjistí podle bodu měknutí, pokud chceme snížit bod měknutí o 1°C, musíme dávkovat 1% změkčovadla z obsahu asfaltového pojiva. Technické minimum je stanoveno dle zkušeností obalovny Froněk spol. s.r.o. na 2 kg Storfluxu na 1 t R-materiálu.

Postup použití rejuvenátoru při přípravě směsi v laboratorních podmínkách, který byl při zpracování této diplomové práce použit:

- Zahřátí kameniva na teplotu míchání (teplota míchání byla stanovena na 165°C)
- Zahřátí R-materiálu na teplotu 135°C
- Po dosažení teploty 135°C se do R-materiálu přidá změkčovadlo Storflux a ručně se promíchá, např. kovovou lžičkou

- Po promíchání se R-materiál přikryje, např. alobalem, vloží se do pece a nechá působit minimálně 10 min
- Po 10 minutách se opět promíchá a přidá do míchačky ke kamenivu, které je již navážené a promíchané s celulózovými vlákny
- Další postup výroby asfaltové směsi je popsán v kapitole 4.3.8 *Laboratorní výroba směsi*

Dávkování rejuvenátoru se zjistilo porovnáním dvou kritérií. Podle bodu měknutí asfaltového pojiva obsaženého v R – materiálu se obsah rejuvenátoru zjišťuje z množství pojiva v R – materiálu, teploty bodu měknutí asfaltu v R – materiálu a požadované teploty podle výpočtu:

$$m_R = \frac{m_{R-mat}(t_1 - t_2)}{100}$$

Rovnice 1 Výpočet dávkování rejuvenátoru

m_R je množství rejuvenátoru, v %

m_{R-mat} je hmotnost přidávaného R – materiálu, v g

t_1 je teplota bodu měknutí v asfaltu, v °C

t_2 je požadovaná teplota, v °C

Druhé kritérium je technické minimum, které říká, že dávkování rejuvenátoru Storflux by mělo být ve množství 2 kg Storfluxu na 1 t R – materiálu.

Použité kritérium bylo zvoleno podle toho, které určovalo použití většího množství rejuvenátoru.

4.2.6 Celulózová vlákna

Použití těchto vláken v asfaltových směsích typu SMA umožňuje zvýšení obsahu asfaltu v obalovaných směsích, snižuje stékavost asfaltu z kameniva a také zvyšuje měrný povrch a tím udržení asfaltu ve směsi.

Celulózové vlákno, které se používá jako přísada do asfaltové směsi, se vyrábí z výběrového tříděného papíru technologií zpětného rozvláknění v turbíně na základní celulózová vlákna. Celulózová vlákna nejsou zdraví škodlivá, neobsahují žádné škodlivé látky a

v případě likvidace či náhodného úniku do okolního prostředí, například při dávkování, jsou biologicky odbouratelná.

Postup výroby podle směrnice ISO 9001 společnosti CIUR a.s. – „Řízení výroby – kroky výrobního procesu“:

- Papír je z prostoru skladu tříděného papíru malým čelním nakladačem dopraven na dávkovací stůl.
- Dávkovací stůl zajistí rozmělnění ve hmotě obsažených shluků a zároveň zajistí kontinuální dávkování papíru do drtiče přes dopravník.
- Na procházející papír působí magnet, který zachycuje kovové přísady.
- Rozdrcený papír prochází přes pneumatickou separaci a ventilátor jej dopravuje do dávkovacího zásobníku.
- Z dávkovacího zásobníku je dále pomocí dopravních šneků dávkován přes pásový dopravník se srovnávačem vrstvy na průběžnou tenzometrickou váhu.
- Po vyhodnocení váhy je papírová drť dopravena ke konečnému zpracování v turbíně.
- Po zpracování je finální produkt oddělen od přebytečného vzduchu v odlučovači a znečištěný vzduch se pomocí ventilátoru vhání k čištění do filtrační jednotky.
- Finální produkt je pomocí ventilátoru dopraven do zásobníku hotového výrobku. Z tohoto zásobníku je produkt dopraven do pytlovače.
- V pytlovači je produkt slisován a je vtlačen do polyethylenových pytlů, které jsou automaticky váženy a baleny. Hotové pytle ukládá pracovník v prostoru skladu na palety.
- Odloučené prachové částice ve filtru odcházejícího vzduchu se zpětně vrací do výroby šnekovým dopravníkem nebo se dopravují do sběrného kontejneru.

Po dokončení výroby se mají celulózová vlákna skladovat v suchém prostředí (relativní vlhkost do 50%) a v prostředí chráněném před sluncem a při teplotě od -5°C do 50°C. Pokud se dodrží tyto požadavky na skladování, není doba použité omezená. Doporučuje se však výrobek spotřebovat do 2 let od jeho výroby.

Při výrobě asfaltových směsí použitých v této diplomové práci, bylo použito průmyslové vlákno S-CEL 7G od firmy CIUR a.s..

Jedná se o vláknitý granulát pro silniční stavitelství s přísadou speciálního vosku a primárně se používá jako stabilizační přísada do asfaltového koberce mastixového. Po výrobě se balí do PE pytlů o hmotnosti 1 – 15 kg nebo 500 kg a bývá expedován na EUR paletách. Výroba probíhá podle ČSN EN IS 9001, ČSN EN ISO 14001 A ČSN OHSAS 18001.

Použití celulóзовých vláken do asfaltových směsí přináší nejen umožnění zvýšení obsahu asfaltu v obalovaných směsích a snížení stékavostí z kameniva, ale také zvýšení zpracovatelnosti při pokládce, zlepšení tepelné odolnosti směsi, zlepšení fyzikálně – mechanických vlastností asfaltových směsí, zlepšení nízkoteplotních vlastností směsi a snížení teploty pokládky.

V praxi dle výrobce tedy zejména zvyšuje životnost vozovky, odolnost proti průniku vody, vylepšuje tvarovou stálost při vysokém dopravním zatížení a tím i snižuje riziko vyjíždění kolejí. Snižuje hlučnost komunikace a zvyšuje její odolnost proti obrusu. [23]

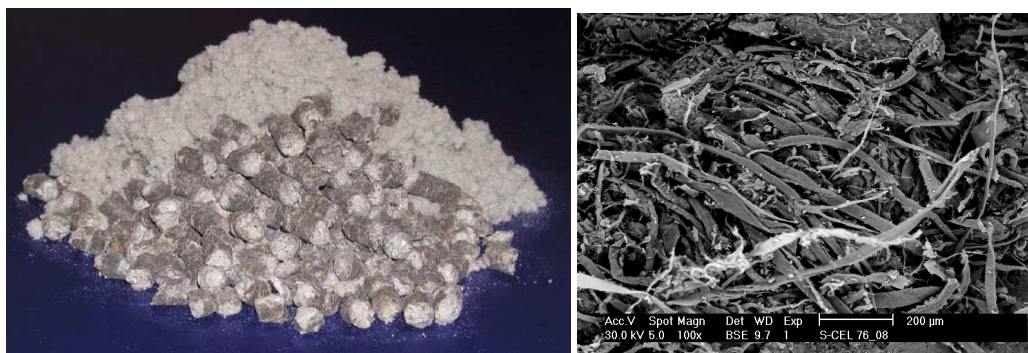
Technické parametry:	
průměrná délka vlákna	cca 1,2 mm
tloušťka vlákna	cca 35 µm
objemová hmotnost volná	cca 480 kg / m ³
pH vodního výluhu	7,5 ± 1
obsah popela – hmotnostní %	18 ± 2
průměrná expediční vlhkost	5,5 % hmotnosti
vzhled	šedočerný granulát
průměr granulí	6 mm
průměrná délka granulí	2 – 8 mm
(rozmezí je dáno jednotlivými podtypy výrobku dle zadání odběratele)	

Obr. 18 Technické informace o celulóзовém vlákně S-CEL 7 G od firmy CIUR a.s. [23]

Frakce	Propad sítem [%]
32 µm	≤ 15
800 µm	≤ 85
2500 µm	100

Tab. 5 Sítový rozbor vlákna S-CEL 7G dle firmy CIUR a.s.[23]

Výrobce dále doporučuje suché míchání v rozmezí od 9 do 15 sekund (kamenivo + celulóзовý granulát) a dokonalé rozpuštění jednotlivých granulí je třeba vždy zkušebně ověřit. Dávkování je doporučeno v poměru 0,3 % hmotnosti asfaltové směsi (v některých případech 0,4%, například u jemné zrnitosti kameniva). Celulóзовé vlákna se doporučuje dávkovat současně s kamenivem a promíchat před vsypem dalších komponentů.



Obr. 19 S-CEL 7G (vpravo 100 x zvětšený) [23]

V rámci diplomové práce byl ověřen vliv použití celulózových vláken na stékavost asfaltového pojiva. Výsledky této zkoušky jsou uvedeny v kapitole 4.4.3 *Stanovení stékavosti asfaltového pojiva*.

4.3 Použité zkoušky a zkušební metody

V této kapitole jsou popsány všechny zkoušky a zkušební metody, které byly v rámci diplomové práce při jejím zpracování použity. Výsledky těchto zkoušek jsou potom uvedeny v následující kapitole 4.4 *Výsledky provedených zkoušek*.

4.3.1 Homogenizace a kvartace

Pro získání reprezentativních vzorků tak, aby výsledky zkoušek na nich prováděných byly dostatečně průkazné, je potřeba provést homogenizaci a kvartaci, které se provádějí podle normy ČSN EN 12697-28 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 28: Příprava vzorků pro stanovení obsahu pojiva, obsahu vody a zrnitosti. [24]

4.3.1.1 Princip homogenizace

Homogenizace kameniva nebo R – materiálu se provádí tak, že se na čistou podlahu vysype větší množství tohoto materiálu, promísí se a vytvoří se z něj komolý kužel. Materiál z komolého kužele se přemísťuje takovým způsobem, aby se vytvořil druhý komolý kužel, a tento postup se ještě jednou zopakuje. Třetí kužel, který se tímto způsobem vytvoří, se pomocí svislého zasunování lopaty zploští a odebere se z něho vzorek, který se dále upravuje pomocí kvartace.

4.3.1.2 Princip kvartace

Kvartace slouží ke zmenšení vzorků na požadovanou velikost navážky. Komolý kužel se rozdělí na čtyři stejné části pomocí dvou na sebe navzájem kolmých průměrů. Dvě diagonálně umístěné části se smíchají a zbytek se vyřadí. Takto se postupuje až do doby, než se získá zkušební vzorek o potřebné hmotnosti navážky.

Zmenšení vzorku lze dosáhnout i pomocí tzv. děliče vzorků, jeho použití je i rychlejší. Šířka propusti musí být nejméně 1,5 násobek průměru největšího zrna kameniva. Do děliče se sype vzorek materiálu co nejvíce rovnoměrně a po celé jeho šířce. Materiál je poté rozdělen na dvě stejně velké části.



Obr. 20 Provádění kvartace kameniva – žlábkový dělič

4.3.2 Stanovení zrnitosti kameniva

Stanovení zrnitosti kameniva sítovým rozborem je nutné ke zjištění čáry zrnitosti, která ukazuje vzájemné zastoupení zrn ve směsi. Tato zkouška je popsána v normě ČSN EN 933-1 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor.[38]

Podstatou zkoušky je roztřídění materiálu pomocí sít o různých velikostech čtvercových otvorů do několika frakcí.

4.3.2.1 Pomůcky

Zkušební pomůcky potřebné k této zkoušce byly především zkušební síta s otvory vyhovující normě a dalším požadavkům, prosévací stroj, sušárna, váhy s přesností $\pm 0,1 \%$, prací zařízení.



Obr. 21 Prosévací stroj se síty pro stanovení zrnitosti kameniva

4.3.2.2 Postup zkoušky

Nejprve bylo nutné si přichystat zkušební navážky. Ty byly získány ze zkušebních vzorků, které se pomocí kvartace odebrali z předem homogenizovaného kameniva. Tento proces je popsán v předešlé kapitole 4.3.1 *Homogenizace a kvartace*.

Minimální hodnoty zkušebních navážek se odvíjí od největší velikosti zrna kameniva D a jsou popsány v normě [25]. Navážka by měla být vyšší, než jsou uvedené minimální hodnoty, ale ne přesně určená.

Navážka se poté vysušila při teplotě $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ do ustálené hmotnosti. Po vychladnutí byla zjištěna její hmotnost M_1 . [38]

Na větších zrnech kameniva může docházet kulpívání jemných částic (menších než 0,063 mm) a při běžném prosívání by nemuselo dojít k jejich oddělení v nejjemnějším sítu 0,063 mm, proto se nejprve provádí odplavení těchto částic pomocí promíchávání s vodou. [5]

To probíhalo tak, že se nad sebe umístila dvě síta, jedno o velikosti ok 0,063 mm a druhé, tzv. ochranné s okny např. 1 nebo 2 mm. Obsah nádoby s vodou a kamenivem, které v ní bylo dostatečně promícháno, aby došlo k oddělení jemných částic, se poté vsypal do horního

síta a začal se propírat vodou. Toto se dělo tak dlouho, dokud ze spodního, jemnějšího síta, netekla čirá voda a tím byly odplaveny veškeré částice menší než 0,063 mm.

Materiál se poté vysušil a nasypal se na zkušební síta, která byla sestavena do sloupce, přičemž velikost ok sít se postupně dolů snižovala. Nad horním sítem bylo umístěno víko, pod spodním sítem dno. Síty se poté pomocí prosévacího stroje třáslo a po ukončení prosívání se zjistila hmotnost jednotlivých zůstatků na sítích.

4.3.2.3 Výpočet

Z hmotností zůstatků na jednotlivých sítích se poté vypočetlo procento hmotnosti z původní navážky M_1 a také procento jemných částic (f), které propadlo nejjemnějším sítem o velikosti ok 0,063 mm a zachytilo se na dně. Výpočet probíhal pomocí následujícího vztahu[38]:

$$f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100$$

Rovnice 2 Výpočet procenta jemných částic ze síťového rozboru

kde M_1 je hmotnost vysušené zkušební navážky, v kg

M_2 je hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063 mm, v kg

P je propad sítem 0,063 mm, v kg

Závislost souhrnného procenta propadu na velikosti síta, kterým daná část navážky propadla, určuje vzájemné zastoupení velikostí jednotlivých zrn ve směsi. Tato skutečnost se vyjadřuje pomocí čáry zrnitosti. [5]

4.3.3 Znovuzískání extrahovaného pojiva

Pro zjištění požadovaných vlastností asfaltového pojiva obsaženého v R – materiálu bylo nutné toto pojivo z recyklátu znovuzískat. Proces extrakce pojiva je popsán v normě ČSN EN 12697-3: Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 3: Znovuzískání extrahovaného pojiva: Rotační vakuové destilační zařízení. V normě je popsána zkušební metoda na získání rozpustného asfaltu z asfaltových vozovek ve formě vhodné pro další zkoušení.

Podstatou zkoušky je oddělení asfaltu ze vzorku asfaltové směsi pomocí vhodného rozpouštědla, v rámci diplomové práce byl použit trichloretylen. Po odstranění nerozpustných

pevných částí z asfaltového roztoku se z něho asfalt získává vakuovou destilací pomocí rotačního vakuového destilačního zařízení. [26]

4.3.3.1 Potřebné pomůcky

Ke zkoušce byl použit přístroj určený pro extrakci rozpustného asfaltu, rotační vakuový destilační přístroj, vazelína, filtrační papír pro usazení fileru, laboratorní váhy s přesností $\pm 0,1$ g a vhodné jímací a destilační baňky. Pro vysoušení vzorků byla potřeba odvětrávaná sušárna a extrakce probíhala v digestoři, která odsávala přebytečné výpary.

4.3.3.2 Postup zkoušky

Do vhodné nádoby byl umístěn vysušený vzorek asfaltové směsi o známé hmotnosti (m_1), dle normy měl obsahovat asi 120 g až 150 g zpětně získaného pojiva a byl zalit trichlorethylenem. Obsahem nádoby se zamísilo a látka se nechala na asfaltovou směs působit asi dalších 10 minut tak, aby se dosáhlo úplného oddělení asfaltu od kameniva.

Poté bylo potřeba přichystat přístroj určený k extrahování asfaltového pojiva. Z přístroje se vyjmula kovová válcová nádoba umístěná v odstředivce a vložil se do ní filtrační papír pro zachycení fileru. Celá nádoba včetně filtračního papíru se zvážila (m_2) a poté vrátila zpátky do přístroje.

V přístroji byla umístěna dvě síta na zachycení kameniva, spodní o velikosti ok 0,063 mm a horní 2 mm. Do horního se opatrně nalil asfalt oddělený od kameniva a pomocí trichlorethylenu se nádoba vypláchla takovým způsobem, aby všechny zbytky asfaltové směsi, které mohly zůstat na stěnách nádoby, byly spláchnuty do horního síta. Potom se zapnula odstředivka, která zajišťuje oddělení fileru od asfaltu.

Po odstředování se síta s kamenivem a nádoba s filerem umístila do odvětrávané sušárny a vysoušela se při teplotě (110 ± 5) °C do ustálené hmotnosti. Po zvážení nádoby s filerem se zjistila hmotnost m_3 , kamenivo z obou sít mělo hmotnost m_4 .

Hmotnost pojiva se potom vypočítala ze vztahu:

$$a = 1 - \frac{m_4 + (m_3 - m_2)}{m_1} \times 100$$

Rovnice 3 Výpočet hmotnosti extrahovaného pojiva

- a je obsah rozpustného pojiva obsaženého ve směsi, v %
- m_1 je hmotnost vysušené zkušební navážky směsi, v g
- m_2 je hmotnost nádoby umístěné v odstředivce a filtračního papíru, v g
- m_3 je hmotnost nádoby umístěné v odstředivce, filtračního papíru a fileru, v g
- m_4 je hmotnost vysušeného kameniva, které jsem získala extrakcí, v g

Dále bylo třeba oddělit od asfaltu trichloretylen. K tomuto účelu se používá rotační vakuové destilační zařízení. Do stroje se pomocí svorek umístily vyčištěné jímací a destilační nádoby natřené vazelínou. Rotace destilační baňky se nastavila na (75 ± 15) otáček za minutu a ponořila se do olejové lázně. Olejová lázeň by měla mít teplotu (90 ± 5) °C a tlak v přístroji by měl být 40 kPa.

Do destilační baňky se začal nasávat roztok asfaltu s trichloretylenem, maximálně však mohl do množství 400 ml a do jímací baňky začal odtékat trichloretylen. Po naplnění destilační baňky veškerým roztokem se zvýšila teplota v olejové lázni na (160 ± 5) °C a tlak se snížil na 2 kPa a pokračovalo se v destilaci, dokud se nepřestaly na povrchu asfaltu tvořit bubliny unikajícího trichloretylenu. Vlastnosti takto získaného asfaltového pojiva se ověřovaly v dalších zkouškách.

4.3.4 Stanovení penetrace jehlou

Postup této zkušební metody je popsán v normě ČSN EN 1426 Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení penetrace jehlou. Penetraci definujeme jako konzistenci vzorku materiálu vyjádřenou jako hloubku v desetinách milimetru, do které svisle vnikne normalizovaná jehla za stanovených podmínek teploty, zatížení a doby zatěžování. Podmínky při této zkušební metodě jsou teplota 25 °C, aplikované zatížení 100 g a doba zatížení 5 s.[27]

4.3.4.1 Pomůcky a zkušební zařízení

Ke zkoušce byl potřeba penetrometr umožňující stanovit penetraci na nejbližších 0,1 mm, penetrační jehla, kovová nádoba na zkušební vzorek, vodní lázeň s konstantní teplotou $\pm 0,15$ °C, zařízení pro měření času a teploměry.

4.3.4.2 Průběh zkoušky

Nejprve se odebralo dostatečné množství reprezentativního laboratorního vzorku asfaltového pojiva a ohřálo se na teplotu asi 80 °C – 90 °C nad požadovaný bod měknutí (viz následující kapitola 4.3.5 *Stanovení bodu měknutí směsi*). Vzorek se nalil do čisté kovové nádoby takovým způsobem, aby po zchlazení vzorku na zkušební teplotu byla jeho výška nejméně o 10 mm větší, než je předpokládaná hloubka vniknutí penetrační jehly. Vzorek se přikryl vhodnou nádobkou či víkem a nechal se zchladnout. Poté se po dobu 60 – 90 minut nechal vzorek temperovat ve vodní lázni při zkušební teplotě $(25 \pm 0,15)$ °C.

Následně se připravil držák jehly a jehla pro provedení zkoušky. Jehla musela být očištěna toluenem nebo podobným vhodným rozpouštědlem a celé zařízení nesmělo být mokré a nesmělo obsahovat jiné cizorodé látky. Poté se osušená jehla vložila do držáku, přidalo se zatížení 50 g a zkontrolovalo se, zda je celkové aplikované zatížení $100,00 \text{ g} \pm 0,10 \text{ g}$.

Vytemperovaná nádoba se vzorkem se vložila do vodní lázně o teplotě $(25 \pm 0,15)$ °C umístěné v penetračním přístroji, penetrační jehla se opatrně snížila k povrchu vzorku tak, aby se ho těsně dotýkala, a spustila se zkouška. Po provedení vpichu jehly, kdy doba zatěžování je nastavena na 5 s, se zjistila daná hodnota penetrace na stupnici v penetračních jednotkách (desetinách milimetru). Celý tento postup se zopakoval na jednom vzorku celkem ještě 2 krát, tak aby se získaly celkem tři hodnoty penetrace, přičemž místa v pichu ve vzorku musí být od sebe, případně od stěny nádoby, vzdálena minimálně 10 mm a pro každé stanovení hodnoty penetrace by se měla použít nová jehla.

4.3.4.3 Výsledky

Pokud rozsah stanovených hodnot odpovídá podmínkách popsaných v normě, tj. při penetraci do 49 p. j. je maximální rozdíl mezi nejvyšším a nejnižším stanovením do 2 p. j., případně při penetraci mezi 50 a 49 p. j. je rozdíl mezi stanoveními do 4 p. j., pak se výsledná penetrace vypočítá jako průměr ze tří hodnot stanovených na jednom vzorku.

4.3.5 **Stanovení bodu měknutí směsi - metoda kroužek a kulička**

Princip této zkoušky je popsán v normě ČSN EN 1427 Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení bodu měknutí – metoda kroužek a kulička, která specifikuje metodu na stanovení

bodu měknutí asfaltu a asfaltových pojiv v rozmezí od 28 °C do 150 °C. Bod měknutí je tedy teplota, při které materiál za normalizovaných zkušebních podmínek dosáhne určité konzistence. Zkouška spočívá v ohřevu dvou kotoučů z asfaltového pojiva, které jsou umístěny v mosazných kroužcích ve vodní lázni. Na každém z kotoučů je umístěna ocelová kulička, která se po dosažení určité teploty propadne mosazným kroužkem a asfaltové pojivo se protáhne na vzdálenost $(25,0 \pm 0,4)$ mm. Této teplotě se tedy říká bod měknutí.[28]

4.3.5.1 Použité pomůcky a přístroje

K provedení zkoušky bylo nutné mít zkušební zařízení, které obsahuje dva mosazné kroužky (jejich rozměry jsou uvedeny v normě ČSN EN 1427), odlévací destičku (rozměry 50 x 75 mm), dvě kuličky z korozi-vzdorné oceli (průměr kuliček $9,50 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$, hmotnost jedné kuličky $3,50 \text{ g} \pm 0,05 \text{ g}$), prstence pro osazení kuliček, držák kroužků se stojanem, lázeň s destilovanou odvzdušněnou vodou, míchadlo a separační prostředek.

4.3.5.2 Postup zkoušky

Předpokládaná teplota bodu měknutí byla stanovena mezi 28 °C a 80 °C, jako kapalina do lázně byla tedy dle normy zvolena vakuovaná destilovaná voda. Poté se sestavil přístroj s kroužky naplněnými vzorky, středním zařízením pro kuličky a teploměrem. Vzorky asfaltového pojiva byly do mosazných kroužků, které byly před tím nahřáty na stejnou teplotu jako pojivo, vlitý s mírným přebytkem a po vychladnutí seříznuty. Lázeň se naplnila do výšky stanovené v normě, tedy min (50 ± 3) mm nad horním okrajem kroužků.

Poté se celá kádinka s lázní, sestaveným přístrojem a ocelovými kuličkami zchladila na teplotu (5 ± 1) °C. Počáteční teplota musí být udržena po dobu 15 minut.

Po dosažení požadované teploty se co nejrychleji pomocí kleští umístila každá kulička do středícího zařízení. Kapalina se v lázni míchala a zespodu zahřívala takovým způsobem, aby teplota rostla rovnoměrně 5 °C za minutu. Přesné dodržení specifikované rychlosti zahřívání, které je uvedené v normě ČSN EN 1427 je nutné dodržet pro správnost výsledků.

V okamžiku kdy kulička prošla vzorkem asfaltového pojiva a to se natáhlo na délku (25 ± 4) mm a protálo světelný paprsek zkušebního přístroje, přístroj automaticky zaznamenal teplotu bodu měknutí. Toto se stane vždy zvlášť pro jednu a pro druhou kuličku, přičemž rozdíl mezi nimi u modifikovaných asfaltů může být maximálně 2 °C. Zkouška se také musí opakovat,

pokud kulička poruší vrstvu, kterou je obalena před tím, než přeruší paprsek světla, nebo pokud pozorujeme částečné odlepení asfaltu od kuličky.



Obr. 22 Provádění zkoušky metodou kroužek a kulička [29]

4.3.5.3 Výsledky

Pro body měknutí do 80 °C včetně se bod měknutí vyjádří jako průměr teplot zaznamenaných zkouškou pro každý vzorek zvlášť a zaokrouhlený na nejbližších 0,2 °C.

4.3.6 Stanovení vratné duktility

Podstata metody je popsána v normě ČSN EN 13398: Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení vratné duktility modifikovaných asfaltů. Tato zkouška se provádí pouze u modifikovaných asfaltů, protože u nemodifikovaných by nedošlo k naměření reálné hodnoty, kvůli jejich nízké duktilitě.[30]

4.3.6.1 Pomůcky

K provedení zkoušky byl potřeba duktilometr s vodní lázní, u které lze regulovat teplotu, trakční zařízení, formu, separační prostředek a pravítko.

4.3.6.2 Průběh zkoušky

Podstatou zkoušky je, že asfaltové pojivo je při teplotě 25 °C protahováno konstantní rychlostí 50 mm/min na předem určené prodloužení 200 mm. Tímto postupem získáme asfaltové vlákno, které se uprostřed přestřihne na dvě poloviny. Po uplynutí doby pro navrácení se změří zkrácení polovláken a vyjádří se jako procento z délky prodloužení.

Vzorek asfaltového pojiva se nalil do mírně nahřáté formy na podkladní destičce opatřené separačním prostředkem. Po 30 min chlazení na laboratorní teplotu se seříznul a přemístil do vodní lázně. Ve vodní lázni došlo k temperování vzorku po dobu (90 ± 5) min při teplotě 25 °C.

Po odstranění bočnic se vzorek umístil do trakčního zařízení a docházelo k jeho protahování již zmíněnou rychlostí 50 mm/min na prodloužení (200 ± 1) mm). Do 10 s po zastavení se vlákno přestříhlo a do 30 min se změřila délka mezi konci vláken (d).

4.3.6.3 Výpočet

Vratná duktilita se stanovila jako aritmetický průměr ze dvou zkušebních těles, jejichž výsledky se nelišili o více než 5 %.

$$RE = \frac{d}{200} \times 100$$

Rovnice 4 Výpočet vratné duktility modifikovaných asfaltů

kde RE je vratná duktilita, v %

d vzdálenost mezi polovlákný, v mm

4.3.7 Stanovení stékavosti pojiva

Postup a vyhodnocení této zkoušky jsou popsány v normě ČSN EN 12697 – 18 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 18: Stékavost pojiva. Norma popisuje dvě možné metody zjištění stékavosti pojiva, metodu děrovaného koše a Schellenbergovu metodu. V rámci diplomové práce byla zkouška provedena pomocí Schellenbergovy metody, proto je dále popsána pouze tato metoda. [31]

Schellenbergovu metodu lze použít na stanovení stékavosti pojiva u asfaltových materiálů, které nejsou drenážní nebo pro takové asfaltové drenážní koberce, které obsahují vlákna. Obecně stékavost pojiva znamená pojivo, jemné částice a přísady, které stečou z obalené směsi kameniva po ukončení procesu míchání nebo během dopravy směsi na stavbu. Podstatou zkoušky je zjistit množství materiálu, které steklo po 1 h při maximální předpokládané teplotě míchání v obalovně. Změří se podle zbytku, který zůstane po vyklopení kádinky obsahující zkoušenou směs.[31]

4.3.7.1 Pomůcky

Ke zkoušce byla potřeba sušárna, skleněné kádinky, váhy, teploměr a stopky. Bylo také potřeba si vyrobit dostatečné množství zkušebního materiálu. Pro zkoušku jednoho vzorku bylo potřeba vyrobit 3 kg zkoušené směsi (1 kg pro jednu kádinku) a směs musela mít správné složení z jednotlivých frakcí kameniva, aby se dosáhlo předepsané zrnitosti.

4.3.7.2 Postup zkoušky dle Schellenbergovy metody

Zkouška se pro modifikovaný asfalt provádí při referenční teplotě míchání plus 15 °C, v případě měření na modifikovaném asfaltovém pojivu, které bylo použito v rámci diplomové práce a jehož referenční teplota míchání byla stanovena na 165 °C, to znamenalo $165 + 15 = 180$ °C. Odvážily se tři dávky kameniva o hmotnostech 1 kg s předepsanou čarou zrnitosti a kamenivo se dalo sušit do sušárny do ustálené hmotnosti. Z kameniva, pojiva a případně dalších přísad, dle druhu směsi, se vyrobila daná asfaltová směs.

Tři kádinky se umístily na 15 min do sušárny vyhřáté na zkušební teplotu (180 °C) a zjistila se jejich hmotnost s přesností na 0,1 g (W_1). Smíchaný 1 kilogram kameniva s pojivem a přísadami se vložil do kádinek a zvážil (W_2). Následně se kádinky se směsí vložily zpět do sušárny, přičemž kádinka nesměla být vně sušárny dobu delší než 60 s.

Po (60 ± 1) minutě se vyjmula první kádinka a zjistila se teplota v ní, tato dávka se vyloučila. Další kádinky se vyjmuly po uplynutí jejich přítomnosti v sušárně po dobu (60 ± 1) minuta a ihned po vyjmutí ze sušárny se kádinky plynule otočily a držely v obrácené poloze po dobu (10 ± 1) s. Po ochladnutí se kádinky se zbytkem směsi zvažily s přesností na 0,1 g (W_3).

Pokud byl zbytek směsi větší než 0,5 % původní hmotnosti směsi a bylo jasné, že se nejedná pouze o pojivo, ale i o částice kameniva či malty, promyl se tento zbytek s rozpouštědlem (trichloretylen) na síti 1 mm. Materiál, který zůstal na síti, se zvážil s přesností na 0,1 g (W_4).

4.3.7.3 Výpočet

Pro každou směs se vypočítal stečený materiál D a případně zbytek na síti s velikostí ok 1 mm R, z následujících rovnic:

$$D = 100 \times \frac{(W_3 - W_1 - W_4)}{(W_2 - W_1)}$$

Rovnice 5 Výpočet stečeného materiálu při zkoušce stékavosti pojiva

$$R = 100 \times \frac{W_4}{(W_2 - W_1)}$$

Rovnice 6 Výpočet zbytku na síti s velikostí 1 mm při zkoušce stékavosti pojiva

kde D je stečený materiál, v %

R zbytek na síti, v %

W₁ hmotnost prázdné kádinky, v g

W₂ hmotnost kádinky a dávky, v g

W₃ hmotnost kádinky a zachyceného materiálu po jejím převrácení, v g

W₄ hmotnost vysušeného zbytku, zachyceného na síti, v g

Rozdíl stečeného materiálu u dvou směsí se stejným obsahem pojiva by se neměl lišit o více než 0,5 % a výsledek se spočítá jako průměr ze dvou stanovení. [31]

4.3.8 Laboratorní výroba směsi

Výroba směsi v laboratoři je popsána v normě ČSN EN 12697-35+A1 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 35: Laboratorní výroba směsi. V laboratoři se asfaltové směsi připravují z důvodu výroby zkušebních těles a mohou vznikat ručním nebo mechanickým mícháním. Referenční teplota míchání, která je uvedena v normě, závisí na gradaci silničního asfaltového pojiva.[32]

4.3.8.1 Zkušební zařízení a pomůcky

Výroba asfaltové směsi se prováděla pomocí mechanického míchání, bylo tedy potřeba mít laboratorní míchačku, která umožnila, aby za dobu maximálně 5 min (dle výše uvedené normy) byla obalena všechna zrna kameniva, sušárnu pro ohřev kameniva a asfaltu na referenční teplotu, váhy pro zvážení hmotnosti příslušných frakcí směsi a teploměr umožňující změřit předepsanou teplotu.

Při výrobě směsi s obsahem R-materiálu (10 a 20%) byl použit recyklovaný materiál od firmy Froněk spol. s.r.o., který byl získán odfrézováním asfaltových vrstev a předrcením na frakci 0/11, viz kapitola 4.2.3 *Recyklovaný materiál*.

4.3.8.2 Postup výroby

Při návrhu směsi asfaltového koberce mastixového se z důvodu vysokých požadavků na kvalitu směsi používá modifikovaný asfalt. Referenční teplota pro směsi s modifikovanými asfalty se musí zvolit tak, aby pojivo mělo viskozitu dle EN 12595, která odpovídá asfaltům a referenčním teplotám uvedeným v tabulce 1 v normě [32]. Asfaltové pojivo, které bylo použito pro návrh směsi má označení Colflex 45/80 – 55, což značí penetraci v rozmezí 45 – 80 penetračních jednotek a minimální bod měknutí 55 °C.

Referenční teplota míchání byla stanovena na 165 °C a předepsaná teplota hutnění 155 °C. Pro výrobu asfaltové směsi bylo použito kamenivo z kamenolomu Sýkořice ve Zbečně ve frakcích 0/2, 2/5, 4/8, 8/11 a vápencová moučka. Kamenivo i moučka byly vysušeny na konstantní hmotnost v odvětrávané sušárně při teplotě (110 ± 5) °C a poté se odvážilo množství jednotlivých frakcí (viz kapitola 4.4.2 *Návrh směsi*). Do směsi byla přidána celulózová vlákna, která se přidávají z důvodu zvýšení obsahu asfaltu v obalovaných směsích a snížení stékavosti asfaltu z kameniva. Obsah vláken ve směsi byl stanoven na 0,3 % hmotnosti celé asfaltové směsi. Z důvodu lepšího zpracování bylo potřeba celulózové vlákna před použitím do asfaltové směsi ručně rozmělnit. Výrobce doporučuje postup, kdy jsou celulózová vlákna nahřívána a rozemleta strojně, což v rámci diplomové práce nebylo možné zaručit.



Obr. 23 Celulózová vlákna před ručním rozmělněním



Obr. 24 Celulózová vlákna po rozmělnění

Vzorek pojiva se nalil do kovové nádoby a nechala po dobu 3 až 5 hodin nahřívat na referenční teplotu míchání (165 °C). Do pojiva se přidala adhezní přísada Addibit L300 pro zlepšení přilnavosti asfaltového pojiva ke kamenivu (viz kapitola 4.2.4 *Asfaltové pojivo*). Dávkování Addibitu L300 je 0,2% hmotnosti asfaltového pojiva ve směsi.

Před samotným mícháním je potřeba, aby míchací nádoba byla nahřata na požadovanou referenční teplotu ± 5 °C. Zvážené a nahřáté vzorky kameniva bez vápencové moučky byly nasypány do míchací nádoby a vzájemně se promíchaly. Poté se mohlo přidávat asfaltové pojivo, jehož množství bylo odměřeno vážením celé nádoby s přesností ± 1 % hmotnosti během přidávání. Složky se se pak smísily v laboratorní míchačce, po 10 sekundách míchání se přidala

vápencová moučka (ve dvou dávkách) a míchání se znovu spustilo až do doby, kdy došlo k požadovanému obalení kameniva pojivem, a směs byla po vizuálním posouzení homogenní.



Obr. 25 Míchačka asfaltové směsi použitá při laboratorní výrobě směsí

Z takto získané směsi se poté vyráběla zkušební tělesa, viz další kapitoly.

4.3.9 Stanovení maximální objemové hmotnosti směsi

Maximální objemová hmotnost směsi je hmotnost při dané zkušební teplotě připadající na jednotku objemu asfaltové směsi bez mezer. Společně s objemovou hmotností se používá především k výpočtu obsahu mezer ve zhutněném vzorku a dalších vlastností vztahujících se k jejímu objemu. V normě ČSN 1297-5+A1 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 5: Stanovení maximální objemové hmotnosti jsou stanoveny tři postupy zjištění maximální objemové hmotnosti – volumetrický, hydrostatický a matematický. V této diplomové práci je použit volumetrický postup. [33]

Podstatou tohoto postupu je stanovení maximální objemové hmotnosti směsi z objemu vzorku bez mezer a jeho suché hmotnosti. Objem vzorku se měří jako objem vody či rozpouštědla vytěsněného vzorkem v pyknometru.[33]

4.3.9.1 Zkušební prostředky a zařízení

Ke stanovení maximální objemové hmotnosti směsi byla použita odvzdušněná voda nebo rozpouštědlo (trichloretylen), sušárna vhodná k sušení vzorků udržující teplotu v rozmezí $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$, špachtle k uvolňování vzorků, váhy s přesností 0,1 g, teploměr s přesností $0,1^\circ\text{C}$, vodní lázeň vhodných rozměrů udržující teplotu v rozmezí $\pm 0,2^\circ\text{C}$, pyknometr s těsně přiléhajícím nástavcem a zařízení pro vakuování.

4.3.9.2 Postup zkoušky

Po vysušení vzorku asfaltové směsi v sušárně při max. teplotě $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ se vzorek rozdělil pomocí špachtle a poté ručně na částice a shluky, jejichž velikost byla maximálně 6 mm. Pokud nebyl materiál dostatečně měkký tak, aby šel rozdělit ručně, zahříval se při teplotě 110°C , až do doby, kdy rozdělení bylo možné. Stanovila se hmotnost (m_1) prázdného pyknometru s nástavcem o známém objemu (V_p) a vysušený zkušební vzorek se opatrně pomocí papírového trychtýře umístil do pyknometru a nechal temperovat na okolní teplotu. Poté se stanovila hmotnost (m_2) pyknometru s nástavcem a vysušeným vzorkem.



Obr. 26 Pyknometry s asfaltovou směsí a destilovanou vodou (objem 500 ml) a s asfaltovou směsí a trichloretylenem (objem 1000 ml)

Pyknometr se naplnil buď rozpouštědlem, nebo destilovanou vodou do výšky maximálně 30 mm pod okraj. V případě destilované vody bylo ještě potřeba odstranit zachycený vzduch pomocí vakua, po dobu (15 ± 1) minutu, kdy vzduch byl vytěsněn při zbytkovém tlaku 4 kPa.



Obr. 27 Zařízení k odstranění zachyceného vzduchu při stanovení max. objemové hmotnosti pomocí vody



Obr. 28 Snížení tlaku při odstraňování vzduchových bublin

Při odstraňování vzduchu v pyknometru je dobré s pyknometrem míchat nebo použít vibrační stůl, případně přidat malé množství dispergačního činidla.

Po naplnění pyknometru rozpouštědlem či destilovanou vodou se opatrně nasadil nástavec (styčné plochy nástavce a pyknometru byly namazány vazelínou) a pyknometr se nechal temperovat po dobu 120 minut (dle normy ČSN 12697-5+A1 se v případě vody má temperovat po dobu minimálně 30, ale maximálně 180 minut, při použití trichloretylenu po dobu minimálně 60, ale maximálně 180 min) na teplotu $(25 \pm 0,2) ^\circ\text{C}$ v případě rozpouštědla a $(25 \pm 1) ^\circ\text{C}$ v případě vody, přičemž voda ve vodní lázni musí dosahovat přibližně do výšky 20 mm pod okraj pyknometru. Poté se pyknometr doplnil vodou či rozpouštědlem o stejné zkušební teplotě jako vodní lázeň až po značku na nástavci.

Pyknometr se po uplynutí stanovené doby vyjmul z vodní lázně a stanovila se jeho hmotnost (m_3).



Obr. 29 Vodní lázeň s pyknometrem

Zkouška se pro každou asfaltovou směs prováděla 2x při použití vody a 1x při použití trichloretylenu. Rozdíl výsledků mohl být maximálně o 20 kg/m^3 , přičemž nižších hodnot by měla dosahovat voda z důvodu případného neodstranění všech vzduchových bublin.

4.3.9.3 Výpočet

Maximální objemová hmotnost ρ_{mv} asfaltové směsi stanovená volumetrickým postupem se vypočítala dle rovnice:

$$\rho_{mv} = \frac{m_2 - m_1}{1000 * \left(V_p - \frac{m_3 - m_2}{\rho_w} \right)}$$

Rovnice 7 Výpočet maximální objemové hmotnosti

ρ_{mv}	maximální objemová hmotnost asfaltové směsi v kg/m ³ , stanovená volumetrickým způsobem, s přesností 0,1 kg/m ³
m_1	hmotnost pyknometru a nástavcem, v g
m_2	hmotnost pyknometru, nástavce a zkušební vzorku, v g
m_3	hmotnost pyknometru, nástavce, zkušební vzorku a vody či rozpouštědla, v g
V_p	objem pyknometru po naplnění po referenční značce nástavce, v m ³
ρ_w	hustota vody nebo případně rozpouštědla při zkušební teplotě v kg/m ³ s přesností 0,1 kg/m ³

Veškeré hmotnosti musely být stanoveny v g přesností na 0,1 g. Objem pyknometru musel být stanoven v m³ s přesností 0,5 x 10⁻⁶ m³. Veškerá procenta musela být vyjádřena s přesností 0,1%.

Hustota vody při 25°C je 997,1 kg/m³, při jiných teplotách je nutné použít korekční faktor, hustota použitého trichloretylenu při 25 °C je 1453 kg/m³.

4.3.10 Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem

Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem je popsána v normě ČSN EN 12697-30+A1: Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 30: Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem. Tyto zkušební tělesa se používají především pro stanovení objemové hmotnosti a jiných technologických charakteristik, např. hodnota stability a přetvoření Marshallovou zkouškou podle EN 12697-34+A1 apod. [34]

Při přípravě těles se asfaltová směs (vyrobená v laboratoři či odebraná na staveništi) vytemperuje na potřebnou teplotu a nasype do ocelové formy pro hutnění. Poté se zhutňuje v rázovém zhutňovači pomocí hutnického beranu pěchu, který padá z předepsané výšky

požadovaným počtem rázů na horní povrch zkušební tělesa. Zkušební těleso se poté nechá zchladnout na laboratorní teplotu. [34]

4.3.10.1 Zkušební zařízení a pomůcky

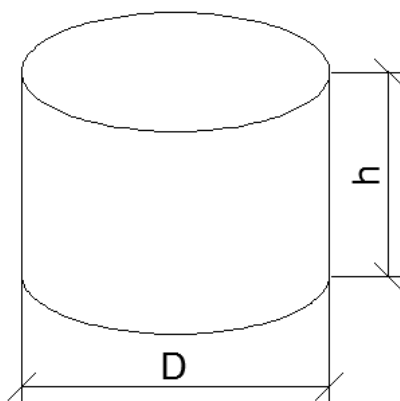
Na přípravu zkušebních těles byl použit rázový zhutňovač s ocelovým dolním podstavcem, forma pro hutnění, která se skládá z nástavce, válcové formy a podložky, sušárna na ohřev kameniva, asfaltu, forem pro hutnění apod. a výtlačné zařízení.



Obr. 30 Rázový zhutňovač na výrobu zkušebních těles

4.3.10.2 Postup výroby

Zkušební tělesa musí mít tvar válce o průměru $D = (101,6 \pm 0,1)$ mm a výšce $h = (63,5 \pm 2,5)$ mm. Maximální velikost kameniva ve směsi smí být 22,4 mm.

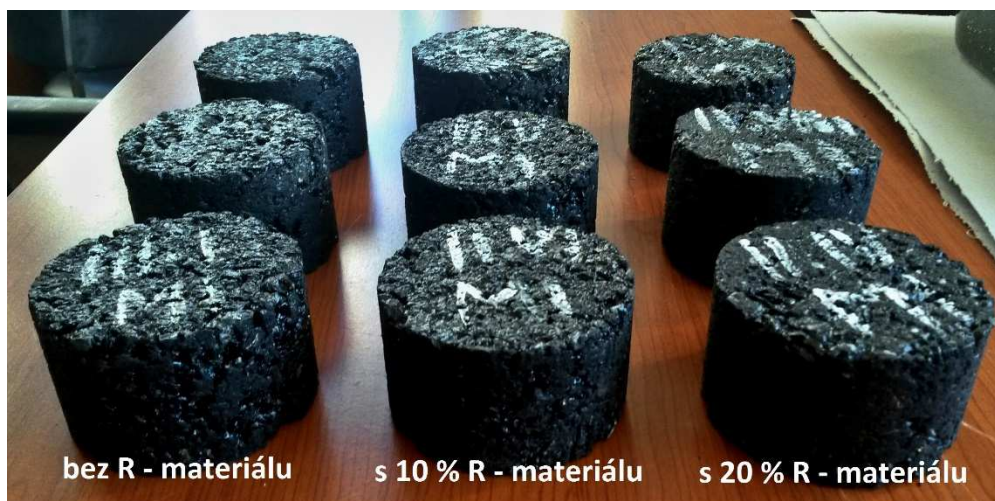


Obr. 31 Rozměry Marshallova zkušebního tělesa

Asfaltová směs se nejprve temperovala v sušárně na hutnicí teplotu 165 °C a před výrobou prvního ze vzorků se nahřála také celá forma. Na nahřátou podložku formy pro hutnění se položilo kolečko separačního papíru. Poté se ve třech fázích nasypalo předem připravené množství asfaltové směsi vytemperované na potřebnou hutnicí teplotu do formy, přičemž se muselo dbát na to, aby nedocházelo k segregaci zrn. Na závěr se na srovnaný povrch položilo druhé kolečko separačního papíru.

Ohned poté se muselo začít se zhutňováním. Naplněná forma se osadila do rázového zhutňovače a hutnila 50 údery. Poté se forma obrátila a těleso se hutnilo z druhé strany dalšími 50 údery.

Zhutněné těleso se potom vyjmulo ze zhutňovače, odstranily se separační papíry a nechalo se vychladnout na teplotu zhruba 40 °C. Následně se těleso pomocí výtlačného zařízení vyjmulo z formy a nechalo zcela vychladnout.



Obr. 32 Marshallova tělesa zhotovená rázovým zhutňovačem

4.3.11 Příprava zkušební těles zhutňovačem desek

Problematikou přípravy zkušebních těles zhutňovačem desek se zabývá norma ČSN EN 12697-33+A1 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 33: Příprava zkušebních těles zhutňovačem desek. V normě jsou popsány tři metody hutnění vzorku – hutnění jedním nebo dvěma koly opatřenými pneumatikou, hutnění hladkým ocelovým válcem a hutnění ocelovými lamelami, v praktické část této práce jsem prováděla hutnění ocelovými lamelami.

4.3.11.1 Potřebné pomůcky

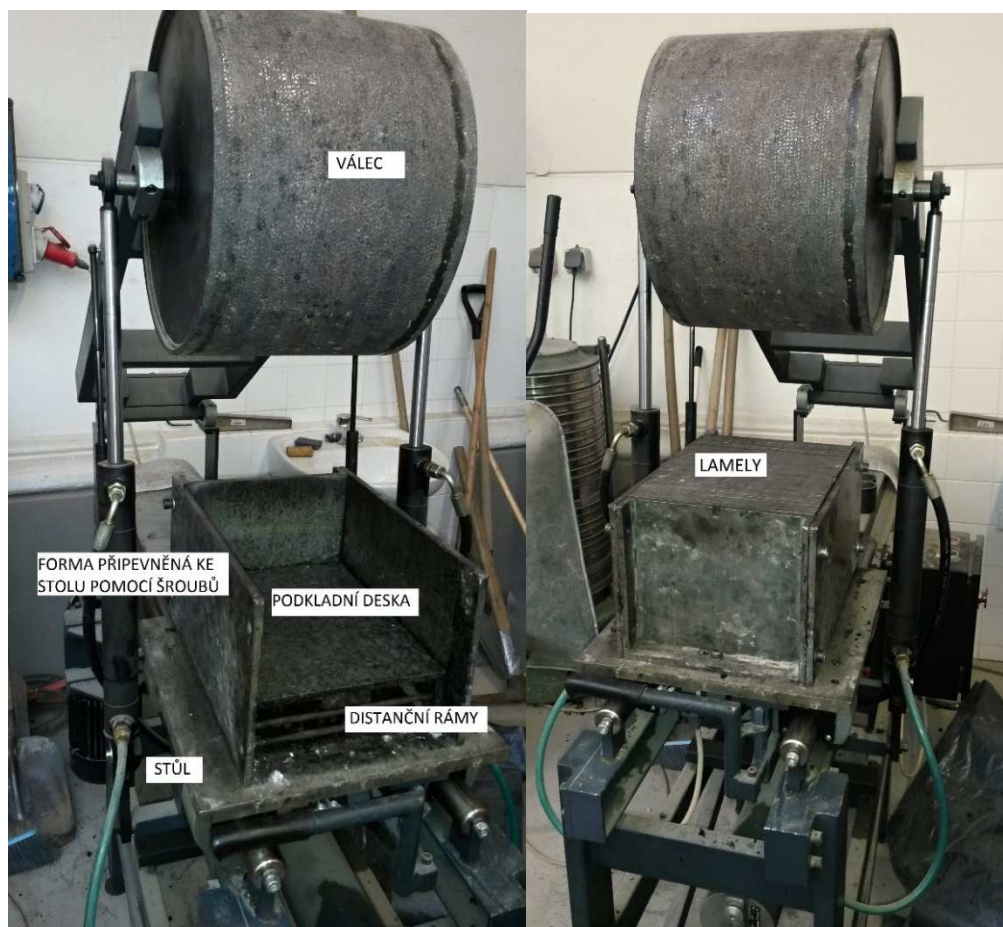
Při přípravě zkušebních těles hutněním pomocí lamel zatlačovaných válcem je potřeba forma se stanovenými vnitřními rozměry ($L = 320$ mm, $l = 260$ mm) s tolerancí ± 1 mm a zařízení ke zhutnění asfaltových směsí, které se skládá ze stolu, na kterém je přišroubovaná forma, nastavitelných distančních rámečků pro výrobu těles různých tloušťek, ocelových lamel, ocelového válce o dostatečných rozměrech, tak aby se mohl pohybovat po lamelách, které jsou vertikálně uloženy na formě a tak aby vyvinul svislé zatížení, které je v průběhu zkoušky konstantní.

4.3.11.2 Postup přípravy těles

Nejprve je potřeba zjistit hmotnost navážky potřebné k výrobě jedné desky. Ta se zjistila z rozměrů formy, z tloušťky separačního plechu, potřebné tloušťky zkušebního vzorku a objemové hmotnosti zjištěné vážením Marshallových těles, které jsem ze směsi vyrobila pomocí

rázového zhutňovače podle normy ČSN EN 12697-30+A1: Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 30: Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem (viz kap. 4.2.10 *Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem*). Poté se připravila asfaltová směs dle normy ČSN EN 12697-35+A1 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 35: Laboratorní výroba směsi (viz kap. 4.3.8 *Laboratorní výroba směsí*). Forma, podkladní deska a plech, který se položí na asfaltovou směs po naplnění formy, se namazala separačním prostředkem a poté se forma naplnila asfaltovou směsí o teplotě hutnění desky, tedy 155 °C. Pomocí lopatky se směs rozprostřela rovnoměrně po celé formě a upěchovala takovým způsobem, aby byly vyplněny rohy formy a povrch byl co nejrovnější.

Na povrch směsi se umístil separační plech a naskládaly se na něho hutnící lamely ve svislé poloze. Po spuštění pohyblivého válce se na lamely začalo vyvíjet konstantní zatížení a ty se začaly zatlačovat, až válec dosednul na formu. Po ukončení procesu hutnění se celé těleso ještě před rozebráním formy nechalo vychladnout na laboratorní teplotu.



Obr. 33 Hutnící stroj před hutněním a po naplnění asfaltovou směsí



Obr. 34 Hotová zkušební deska s rozměry 320 x 260 x 50 mm

4.3.12 Stanovení objemové hmotnosti a mezerovitosti směsi

Postup těchto zkoušek je popsán v normě ČSN EN 12697-8 Asfaltové směsi za horka – Část 8: Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí. Mezerovitostí se zde rozumí procentuální objem mezer v daném zkušebním tělese k celkovému objemu tělesa.

Objemová hmotnost byla stanovena na Marshallových tělesech, vyrobených pomocí rázového zhutňovače, popis jejich výroby je popsán v kapitole 4.3.10 *Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem* a dále na deskách, jejichž výroba je popsána v kapitole 4.3.11 *Příprava zkušebních těles zhutňovačem desek*.

V případě Marshallových těles bylo nutné zjistit jejich objemovou hmotnost z důvodu výpočtu mezerovitosti asfaltové směsi a ověření, zda je její návrh správný. Požadovaná mezerovitost byla stanovena na 3,0 – 4,5 %

U zkušebních těles typu deska se objemová hmotnost a mezerovitost zjišťovala z důvodu ověření správného zhutnění tělesa.

4.3.12.1 Postup

Po vychladnutí vyrobeného tělesa se zjistila jeho suchá hmotnost m_1 a připravila se vodní lázeň, která se temperovala na známou teplotu. Poté se těleso celé ponořilo do vodní lázně po dobu 30 minut. Po uplynutí této doby se těleso pod vodu zvažilo (hmotnost m_2), přičemž bylo nutné dbát na to, aby se nedotýkalo stěn nádoby nebo aby na něm neulpívaly vzduchové bubliny. Těleso se vyjímalo z vodní lázně a povrchově osušilo. Po jeho opětovném zvažení se zjistila hmotnost m_3 .

4.3.12.2 Výpočet

Objemová hmotnost se poté zjišťovala pomocí následujícího výpočtu:

$$\rho_{bssd} = \frac{m_1}{m_3 - m_2} \times \rho_w$$

Rovnice 8 Výpočet objemové hmotnosti zkušební tělesa

kde ρ_{bssd} je objemová hmotnost zkušební tělesa, v kg/m³

m_1 je hmotnost suchého tělesa, v g

m_2 je hmotnost tělesa ve vodě, v g

m_3 je hmotnost tělesa nasyceného vodou a povrchově osušeného, v g

ρ_w hustota vody při laboratorní teplotě, v kg/m³

Jak již bylo řečeno, Marshallova tělesa i vyrobené zkušební desky musely splňovat i kritérium mezerovitosti, které se stanovovalo pomocí výpočtu:

$$M = \left(1 - \frac{\rho_{bssd}}{\rho_{mw}}\right) \times 100$$

Rovnice 9 Výpočet mezerovitosti zkušební tělesa

kde M je mezerovitost směsi, v %

ρ_{bssd} je objemová hmotnost zkušební tělesa, v kg/m³

ρ_{mw} je maximální objemová hmotnost směsi, v kg/m³

Pro zjištění mezerovitosti je tedy třeba znát maximální objemovou hmotnost, postup jejího stanovení je popsán v kapitole 4.3.9 *Stanovení maximální objemové hmotnosti směsi*.

4.3.13 Zkouška pojíždění kolem – stanovení odolnosti proti trvalým deformacím

První prováděnou funkční zkouškou na asfaltových směsích, byla zkouška pojíždění kolem, která je popsána v normě ČSN EN 12697-22+A1 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 22: Zkouška pojíždění kolem. V normě jsou popsány zkušební

postupy pro stanovení náchylnosti asfaltových směsí k trvalým deformacím a lze je aplikovat pro směsi s maximální velikostí zrna do 32 mm včetně.[37]

4.3.13.1 Pomůcky

Tato zkouška probíhala na tzv. malém zkušebním zařízení simulující pojíždění kolem, které se skládá ze zatíženého kola působícího na zkušební těleso a stolu pod kolem, dvou zkušebních forem s rozměry 260 x 320 mm. Dále bylo potřeba mít laboratorní sušárnu a podkladní desku. Zkouška se tedy vždy prováděla na dvou zkušebních tělesech a výsledky se poté zprůměrovaly.

Na následujícím obrázku je vidět obě dvě vložená zkušební tělesa, přičemž na prvním z nich je již uloženo zatěžovací kolo se závažím.



Obr. 35 Zkušební zařízení s vloženými zkušebními vzorky

4.3.13.2 Princip zkoušky

Výroba zkušebních těles pro tuto desku je popsána v kapitole 4.3.11 *Příprava zkušební těles zhutňovačem desek*. Rozměry zkušebních těles tedy byly přibližně 260 x 320 x 40 mm. Před každým měřením bylo nutné zjistit přesné rozměry desek, především jejich tloušťku, hmotnost a objemovou hmotnost a následně míru zhutnění a mezerovitost. Tloušťka zkušebních těles byla stanovena výpočtem průměru z deseti měření na každé desce, přičemž žádný

z naměřených rozměrů se nesměl lišit od jmenovité hodnoty o více než 2,5 mm. Protokoly všech zkušebních desek jsou uvedeny v Příloze B.

Dvě zkušební tělesa byla umístěna do forem s předepsanými rozměry a to tak, aby vrchní strana lícovala s okrajem formy, a poté byla temperována v laboratorní sušárně na teplotu $(50 \pm 1)^\circ\text{C}$ po dobu několika hodin, nejméně však 4 hodiny, nejvíce 24 hodin. Následně se tělesa umístila do zkušebního zařízení, které bylo také vytemperováno na teplotu $(50 \pm 1)^\circ\text{C}$ a zahájila se zkouška. Ta probíhala tak, že deska byla pojížděna zatíženým kolem v celkem 10 000 cyklech, tedy 20 000 pojezdy. Zařízení v každém cyklu zaznamenávalo hloubku vyjeté koleje v obou tělesech a aktuální teplotu v zařízení.

4.3.13.3 Výpočet

Ze zařízení se tedy získaly hodnoty jednotlivých deformací po každém cyklu zatěžování na obou zkušebních vzorcích. Z výsledků se dále zjišťovala výpočtem hodnota WTS_{AIR} , což je přírůstek hloubky vyjeté koleje vypočítaný jako průměrná hodnota, o kterou narůstá hloubka koleje opakovanými pojezdy zatěžovacího kola na vzduchu a PRD_{AIR} , což je poměrná hloubka vyjeté koleje zkoušené asfaltové směsi po N zátěžových cyklech na vzduchu.

Tyto hodnoty se zjistily následujícími výpočty:

$$PRD_{AIR} = \frac{Y_{S,10000}}{t} \times 100$$

Rovnice 10 Výpočet poměrné hloubky vyjeté koleje

PRD_{AIR} je poměrná hloubka vyjeté koleje asfaltové směsi na vzduchu po 10 000 cyklech, v %

$Y_{s, 10000}$ je průměrná hloubka koleje z obou desek po 10 000 cyklech, v mm

t je průměrná tloušťka zkušebních těles

Hodnotu PRD_{AIR} se tedy spočítala z průměrných hodnot stanovených na 2 zkušebních tělesech s přesností $\pm 0,1$ %.

$$WTS = \frac{d_{10000} - d_{5000}}{5}$$

Rovnice 11 Výpočet přírůstku hloubky vyjeté koleje

WTS_{AIR} je přírůstek hloubky vyjeté koleje, v mm/ 10^3

d_{10000} , d_{5000} je hloubka vyjeté koleje po 10 000 a 5 000 cyklech, v mm

Hodnota WTS_{AIR} se zjistila z průměru hodnot WTS_{AIR} stanovených na dvou zkušebních tělesech.

4.3.14 Měření modulů tuhosti

Další zkouškou, která byla prováděna, byla zkouška pro zjištění modulů tuhosti asfaltové směsi. Její postup je popsán v normě ČSN 12697-26 Asfaltové směsi – zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 26:Tuhost.

Zkoušky se provádí na zhutněném asfaltovém materiálu při vynuceném ustáleném harmonickém zatížení. Norma popisuje různé zkušební postupy alternativních zkoušek při použití různých typů zkušebních těles a podpor, ale nepředepisuje použití konkrétního zkušebního zařízení. Měření modulů tuhosti bylo provedeno pomocí zkoušky ohybem na vetknutém komolém klínku (2PB-TR), podle Přílohy A normy ČSN 12697-26 [35].

4.3.14.1 Pomůcky

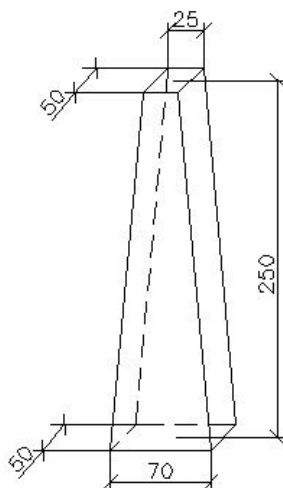
Ke zkoušce bylo potřeba zkušební zařízení, které umožňuje vyvinout sinusový dynamický průhyb na vrcholu zkušebního tělesa (použité frekvence 5 Hz – 25 Hz) a dále termostatická odvětrávací komora, ve které bylo možné ustálit okolní teplotu na předepsanou hodnotu po celou dobu zkoušky. Měřicí zařízení muselo obsahovat snímače pro měřené dynamické síly, průhybu a fázového úhlu. Dále byly potřeba kovové podkladní destičky, háček, lepidlo, váhy s přesností 0,1 g a posuvné měřítko.



Obr. 36 Zkušební pracoviště pro měření modulů tuhosti

4.3.14.2 Postup zkoušky

Nejdříve bylo potřeba připravit zkušební tělesa. Ty mají předepsané rozměry a vyřezávají se ze zkušebních desek, jejichž výroba je popsána v kapitole 4.3.11 *Příprava zkušební těles z hutňovačem desek* pomocí diamantového kotouče. Z každé desky se tímto způsobem vyrobilo 5 zkušebních těles, celkem tedy 10 těles pro každý druh asfaltové směsi.



Obr. 37 Zkušební těleso s předepsanými rozměry pro měření modulů tuhosti

Přesné rozměry zkušebních těles se změřily pomocí posuvného měřítka a včetně jejich hmotnosti byly zapsány a tělesa se poté nalepila na kovovou podložku pomocí lepidla z epoxidové pryskyřice. Rozměry a hmotnosti zkušebních těles jsou uvedeny v Příloze D. Na horní část zkušebního tělesa se stejným způsobem nalepil háček, jehož pomocí bude těleso upevněno ve zkušebním zařízení. Takto se těleso muselo nechat po dobu min 24 hodin, aby došlo k dokonalému vytvrdnutí lepidla.

Zkouška se prováděla postupně při teplotách – 5 °C, 15 °C a 40 °C, tělesa i zkušební komoru bylo tedy vždy nutné na tuto teplotu vytemperovat a to po dobu nejméně 4 hodin. Do programu měření se zadaly rozměry tělesa a jeho hmotnost a poté bylo zkušební těleso upevněno ve zkušebním zařízení. Upevnění tělesa probíhalo pomocí kovových destiček, podkladní desky a šroubů tak, aby jeho spodní část byla vetknuta do podkladu. Háček na horní straně zkušebního tělesa byl poté připevněn ke zkušebnímu zařízení. Poté mohlo být zahájeno vyvíjení harmonické sinusové síly na horní část tělesa.



Obr. 38 Uložení tělesa ve zkušebním zařízení

Celkově se jedná o zkoušku nedestruktivní, nesmí tedy dojít k poškození tělesa, či jeho vytržení z lepidla. Těleso se postupně zatěžovalo harmonickou silou o frekvencích 5 Hz, 10 Hz, 15 Hz, 20 Hz, 25 Hz a znovu 5 Hz kvůli kontrole správnosti měření. První a poslední měření na 5 Hz by se nemělo lišit o více než 3 %.

4.3.14.3 Výpočet

Z měření lze získat hodnoty vyvozené síly F , posun z a jejich fázový úhel Φ . Modul tuhosti se spočítal jako absolutní hodnota komplexního modulu.

Modul tuhosti se skládá ze dvou složek, reálné a imaginární, které lze spočítat z rovnic:

$$E_1 = \gamma \times \left(\frac{F}{z} \times \cos(\Phi) + \frac{\mu}{10^3} \times \omega^2 \right)$$

Rovnice 12 Výpočet reálné složky modulu tuhosti

$$E_2 = \gamma \times \left(\frac{F}{z} \times \sin(\Phi) \right),$$

Rovnice 13 Výpočet imaginární složky modulu tuhosti

kde γ je faktor tvaru jako funkce velikosti a tvaru zkušební tělesa

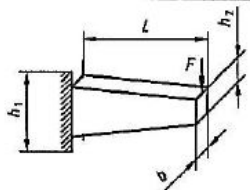
μ je faktor hmotnosti, který je funkcí hmotnosti zkušební tělesa

Modul tuhosti je potom jejich součtem.

$$|E^*| = \sqrt{E_1^2 + E_2^2}$$

Rovnice 14 Výpočet modulu tuhosti

Hodnoty γ a μ závisí na tvaru zkušební tělesa a způsobu upevnění. Pro měřicí metodu, která byla použita v rámci diplomové práce, je můžeme spočítat podle tabulky:

Druh zatěžování	Faktor tvaru, γ L^{-1}	Faktor hmotnosti, μ
2PB-TR 	$\frac{12L^3}{b(h_1 - h_2)^3} \left[\left(2 - \frac{h_2}{2h_1}\right) \frac{h_2}{h_1} - \frac{3}{2} - \ln \frac{h_2}{h_1} \right]$	$0,135 M + m^a$

Tab. 6 Výpočet parametrů modulu tuhosti [35]

M je hmotnost tělesa a m je hmotnost jeho pohyblivých částí.

4.3.15 Zkouška stanovení nízkoteplotních vlastností

Stanovení nízkoteplotních vlastností probíhá podle normy ČSN EN 12697-46 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 46: Nízkoteplotní vlastnosti a tvorba trhlin pomocí jednoosé zkoušky tahem. V normě je popsáno několik možných vyhodnocení zkoušek, v rámci diplomové práce bylo prováděno vyhodnocení zkoušky TSRST, neboli stanovení minimální teploty, kterou je asfaltová směs schopna snést před porušením pomocí zkoušky nízkoteplotních vlastností s rovnoměrně řízeným poklesem teploty.

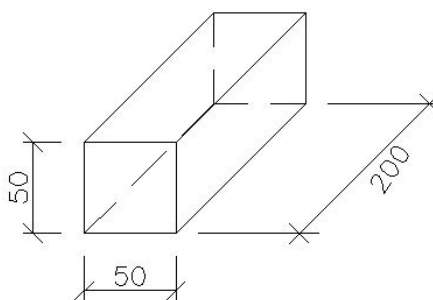
Podstatou této zkoušky je vystavení vzorku s udržovanou konstantní délkou poklesu teploty s konstantní rychlostí. Tím, že se zamezí tepelnému smršťování, dochází k vývinu tzv. kryogenního napětí ve vzorku a výsledkem jeho šíření dojde k porušení vzorku. [36]

4.3.15.1 Pomůcky

K měření bylo potřeba především zkušební zařízení vhodné pro provádění zkoušky TSRST, měření bylo provedeno na zkušebním zařízení pro stanovení nízkoteplotních vlastností CYKLON – 40, součástí zařízení byla i temperovací komora, která dovozovala postupné snižování teploty. Dále byly použity čelisti pro nalepení vzorku, lepidlo a centrovací rám.

4.3.15.2 Postup zkoušky

Před samotnou zkouškou bylo potřeba si připravit zkušební tělesa. Ty byly vyřezány pomocí diamantové pily z již vyrobených desek, které byly připraveny dle kapitoly 4.3.11 *Příprava zkušební těles zhutňovačem desek*. Z každé desky vzniklo celkem 5 zkušebních těles pro každý typ směsi, přičemž na třech tělesech byla zkouška prováděna a 2 byly náhradní. Rozměry zkušebních těles byly 50 x 50 x 200 mm.



Obr. 39 Rozměry zkušebního tělesa pro stanovení nízkoteplotních vlastností, v mm



Obr. 40 Vyřezaná zkušební tělesa pro stanovení nízkoteplotních vlastností

Připravené vzorky se nalepily na čelisti pomocí lepidla z epoxidové pryskyřice. Při této zkoušce je důležité přesné vycentrování vzorků, čehož bylo dosaženo pomocí centrovacího rámu. Takto nalepený vzorek se musel nechat min. 24 hodin v rámu, aby došlo k vytvrdnutí lepidla.



Obr. 41 Nalepený vzorek v centrovacím rámu

Zkušební těleso se poté umístilo do zkušebního zařízení pomocí čelistí, které se připojily k zatěžovacímu zařízení. Do programu se zadaly rozměry tělesa a nastavila se nulová poloha upevněných snímačů. Před samotným zahájením zkoušky se těleso nechalo tzv. kondicionovat při počáteční teplotě T_0 a to po dobu 15 minut, aby se vyrovnala tepelná deformace.

Poté se začala konstantně snižovat teplota rychlostí $10\text{ }^{\circ}\text{C/hod}$. Kvůli pevnému upevnění tělesa docházelo k omezování smršťování a k nárůstu kryogenního napětí až do porušení tělesa.

4.3.15.3 Výsledky

Výstupem zkoušky je protokol, kde je uvedena především teplota vzorku při porušení T_{failure} v $^{\circ}\text{C}$, napětí při porušení $\sigma_{\text{cry, failure}}$ v MPa, síla při porušení $F_{\text{cry, failure}}$ v kN, počáteční teplota T_0 ($^{\circ}\text{C}$) a rychlost řízení teploty dT . Součástí protokolu je také graf vyjadřující závislost mezi kryogenním napětím či silou a teplotou T .

Za výsledek se považuje průměr ze tří měření na jedné asfaltové směsi.



Obr. 42 Umístění zkušebního tělesa v zařízení pro zjišťování nízkoteplotních vlastností

4.4 Výsledky provedených zkoušek

V následující kapitole jsou uvedeny výsledky všech zkoušek, které byly v rámci praktické části mé diplomové práce prováděny. Tyto zkoušky jsou popsány v předešlé kapitole 4.3 *Použité zkoušky a zkušební metody*.

4.4.1 Zkoušky asfaltových pojiv

4.4.1.1 Stanovení bodu měknutí, vratné duktility a penetrace jehlou

Jedny z prvních zkoušek, které byly prováděny, byly zkoušky na asfaltovém pojivu Colflex 45/8 - 55. Provedly se zkoušky stanovení bodu měknutí metodou kroužek a kulička, stanovení vratné duktility a stanovení penetrace jehlou. Postupy těchto zkoušek jsou popsány v kapitolách 4.3.5 *Stanovení bodu měknutí směsi - metoda kroužek a kulička*, 4.3.6 *Stanovení vratné duktility* a 4.3.4 *Stanovení penetrace jehlou*.

Stanovení penetrace jehlou a bodu měknutí bylo provedeno i na pojivu získaného extrakcí z R – materiálu a na pojivu Colflex 45/80-55 s přídavkem 0,1% Addibitu L300. Postup extrakce pojiva ze směsi je popsán v kapitole 4.3.3 *Znovuzískání extrahovaného pojiva*.

Vratnou duktilitu u pojiva získaného extrakcí z R - materiálu nebylo třeba ověřovat, protože toto pojivo není modifikované, tudíž by nebylo dosaženo žádného měřitelného výsledku.

Pojivo	Kroužek a kulička	Vratná duktilita			Penetrace [p. j]			
		protažení	mezera	protažení	1	2	3	Ø [p. j]
Colflex 45/80-55	61,6 °C	201 mm	172 mm	86 %	63	65	66	64,7
Colflex 45/80-55 + Addibit L300	62,3 °C	-	-	-	60	60	60	60,0
Pojivo z R - materiálu	64,4 °C	-	-	-	25	24	25	24,7

Tab. 7 Výsledky zkoušek měření bodu měknutí, vratné duktility a penetrace jehlou

R – materiál lze do asfaltových směsí použít pouze v případě, pokud průměrná hodnota bodu měknutí je menší než 70 °C nebo pokud je průměrná hodnota penetrace vyšší než 15 penetračních jednotek.[13] Daný R – materiál tyto požadavky splňuje, i když v porovnání s výsledky penetrace modifikovaného pojiva je vidět, že R - materiál již obsahuje zestárlé pojivo.

4.4.2 Návrh směsi

Před samotnou laboratorní výrobou směsi bylo nutno stanovit její návrh. Nejprve byly navrhнутy dvě směsi, první s obsahem asfaltového pojiva 6,3 % a druhá s 6,6 %. Na těchto směsích byly provedeny zkoušky pro stanovení maximální objemové hmotnosti a objemové hmotnosti zjištěné měřením na Marshallových tělesech a jako optimální množství obsahu asfaltového pojiva bylo stanoveno 6,3 %.

Při výrobě Marshallových těles musely být dodrženy následující teploty.

Teplota míchání: 165 °C

Teplota hutnění: 155 °C

4.4.2.1 Návrh směsi bez R – materiálu

1.) První návrh asfaltové směsi – bez R – materiálu

V následující tabulce je uvedeno dávkování kameniva, celulózového vlákna S-CEL 7G, Addibitu L300 a asfaltového pojiva v prvním návrhu směsi.

Suché složky	Procentuální obsah [%]
Vápencová moučka	9,5
0/2	15,0
2/5	18,0
4/8	8,0
8/11	49,5
R-materiál	0,0
S-CEL 7G	0,3

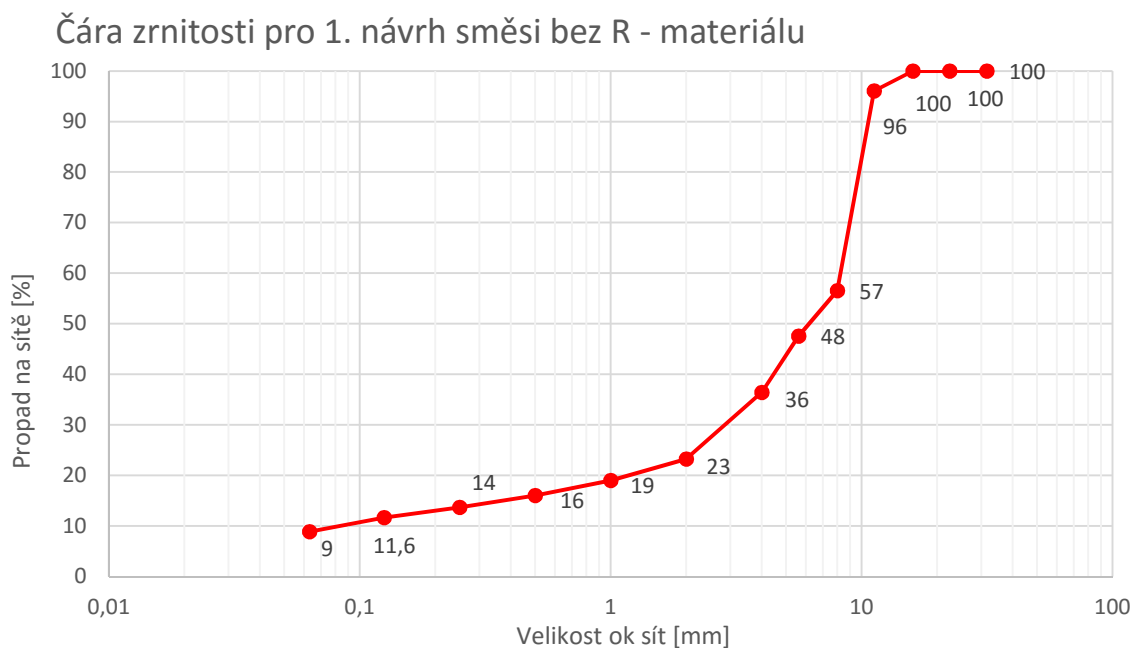
Tab. 8 Procentuální zastoupení jednotlivých frakcí kameniva a celulózových vláken v asfaltové směsi pro první návrh

Tekuté složky	Procentuální obsah [%]
Colflex 45/80 – 55	6,3
Addibit L300	0,2

Tab. 9 Obsah asfaltového pojiva a adhezní přísady v asfaltové směsi pro první návrh

Z uvedeného procentuálního množství jednotlivých složek asfaltové směsi byla vytvořena navážka na tři Marshallova tělesa, která byla poté vyrobena pomocí rázového zhutňovače dle kapitoly 4.3.10 *Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem* a to tak, aby měla požadované rozměry.

Poté byla stanovena čára zrnitosti dané asfaltové směsi.



Graf 2 Čára zrnitosti pro 1. návrh směsi bez R – materiálu

Dále bylo nutné stanovit maximální objemovou hmotnost a mezerovitost směsi, aby se ověřila správnost návrhu. Způsob stanovení maximální objemové hmotnosti je popsán v kapitole 4.3.9 *Stanovení maximální objemové hmotnosti směsi*, mezerovitost se poté zjišťuje z Marshallových těles, postup stanovení mezerovitosti je popsán v kapitole 4.3.12 *Stanovení objemové hmotnosti a mezerovitosti směsi*.

Maximální objemové hmotnosti

Asfaltová směs bez R - materiálu s 6,3% pojiva	
Rozpouštědlo	Max. objemová hmotnost ρ_{mv} v kg/m ³
Trichloretylen	2583
Voda	2580
Voda	2573

Tab. 10 Max. objemové hmotnosti asfaltové směsi bez R - materiálu s 6,3% pojiva

Z výsledků je patrné, že daná směs vyhovuje podmínce, která říká, že rozdíl maximálních objemových hmotností stanovených pomocí trichloretylenu a vody může být maximálně 20 kg/m³, přičemž vyšších hodnot by měl dosahovat trichloretylen.

Pro další výpočty se uvažovala hodnota maximální objemové hmotnosti stanovená jako průměr z hodnot naměřených pomocí vody. Hodnota stanovená pomocí trichloretylenu byla pouze pomocná, k ověření správnosti provedení zkoušky.

Maximální objemová hmotnost směsi je tedy 2 576,5 kg/m³.

Mezerovitost a objemová hmotnost

V následujících tabulkách jsou uvedeny hodnoty mezerovitosti a objemové hmotnosti stanovené měřením na Marshallových tělesech a pomocí pyknometru.

Asfaltová směs bez R - materiálu s 6,3 % pojiva					
Označení tělesa		1.1	1.2	1.3	Průměr
Rozpouštědlo	Trichloretylen	6,0	4,2	4,9	5,0
	Voda	5,9	4,2	4,9	5,0
	Voda	5,6	3,9	4,6	4,7

Tab. 11 Mezerovitosti zkušebních těles bez R - materiálu s 6,3 % pojiva (v %)

Zkušební těleso označení		1.1	1.2	1.3	Průměr
Hmotnost, suchá	g	1160,5	1163,8	1167,9	1164,1
Hmotnost, pod vodou	g	685,9	695,5	695,6	692,3
Hmotnost, vlhká	g	1163,1	1165,4	1170,6	1166,4
Objemová hmotnost $\rho_{(bssd)}$	kg/m ³	2428,2	2473,0	2455,0	2452,1

Tab. 12 Objemová hmotnost asfaltové směsi bez R - materiálu s 6,3 % pojiva (v kg/m³)

Předepsaná mezerovitost, které měla asfaltová směs SMA 11S dosahovat je v rozmezí 3,0 – 4,5 %. Z výsledků je patrné, že daná směs těchto hodnot nedosahuje, její mezerovitost je vyšší. Proto bylo potřeba upravit její recepturu, tzn. zvýšit obsah asfaltového pojiva a vápencové moučky a snížit množství nejhrubší frakce kameniva 8/11.

První návrh asfaltové směsi s obsahem pojiva 6,3 % se ukázal jako nesprávný a bylo potřeba upravit jeho recepturu.

2.) Druhý návrh asfaltové směsi – bez R – materiálu

Po zjištění chybného návrhu směsi bylo nutné upravit její složení a navrhnout druhý návrh. Procentuální obsah jednotlivých složek v asfaltové směsi je vidět v následujících tabulkách.

Suché složky	Procentuální obsah [%]
Vápencová moučka	10,5
0/2	15,0
2/5	18,0
4/8	8,0
8/11	48,5
R-materiál	0,0
S-CEL 7G	0,3

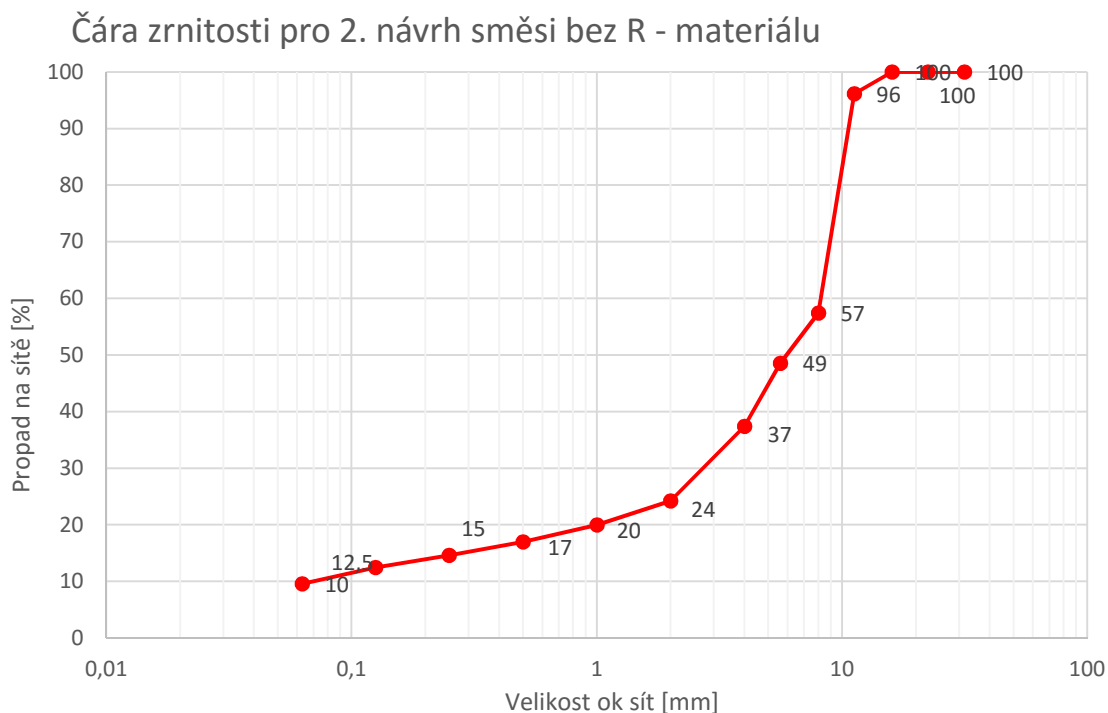
Tab. 13 Procentuální zastoupení jednotlivých frakcí kameniva a celulózových vláken v asfaltové směsi pro druhý návrh

Tekuté složky	Procentuální obsah [%]
Colflex 45/80 – 55	6,5
Addibit L300	0,2

Tab. 14 Obsah asfaltového pojiva a adhezní přísady v asfaltové směsi pro druhý návrh

Byla také stanovena nová čára zrnitosti kameniva dané asfaltové směsi.

Na následujícím obrázku je nová čára zrnitosti.



Graf 3 Čára zrnitosti pro 2. návrh směsi bez R - materiálu

Na nové směsi bylo nutno stanovit její maximální objemovou hmotnost, mezerovitost a objemovou hmotnost stejným způsobem jako na předešlé směsi a ověřit, zda je tento návrh správný.

Maximální objemová hmotnost

Rozpouštědlo	Max. objemová hmotnost ρ_{mv} v kg/m ³
Trichloretylen	2571
Voda	2560
Voda	2568

Tab. 15 Mezerovitosti zkušebních těles bez R - materiálu s 6,5 % pojiva

Hodnoty maximální objemové hmotnosti vyhovovaly podmínce, která říká, že rozdíl mezi hodnotami pro trichloretylen a vodu může být maximálně do 20 kg/m³ a trichloretylen musí dosahovat vyšších hodnot.

Maximální objemová hmotnost asfaltové směsi bez R – materiálu byla stanovena jako průměr ze dvou hodnot, tedy 2564 kg/m³.

Mezerovitost a objemová hmotnost

Z nového návrhu směsi byla, stejně jako u prvního návrhu, zhotovena Marshallova tělesa pomocí rázového zhutňovače, aby bylo možné ověřit mezerovitost směsi. Ta byla po zvážení těles na suchu, ve vodě a po osušení stanovena následovně.

Asfaltová směs bez R - materiálu s 6,5 % pojiva					
Označení tělesa		I.I	I.II	I.III	Průměr
Rozpouštědlo	Trichloretylen	5,4	3,9	3,7	4,3
	Voda	4,9	3,4	3,3	3,9
	Voda	5,2	3,8	3,6	4,2

Tab. 16 Mezerovitosti zkušebních těles bez R - materiálu s 6,5 % pojiva (v %)

Průměrné výsledky stanovení mezerovitosti asfaltové směsi již splňovaly podmínku dosaženého rozmezí mezi 3,0 – 4,5 %.

Zkušební těleso označení		I.I	I.II	I.III	Průměr
Hmotnost, suchá	g	1182,7	1284,6	1250,3	1239,2
Hmotnost, pod vodou	g	701,3	767,8	748,5	739,2
Hmotnost, vlhká	g	1186,6	1286,8	1252,8	1242,1
Objemová hmotnost $\rho_{(bssd)}$	kg/m³	2433,4	2471,4	2475,6	2460,1

Tab. 17 Objemová hmotnost směsi bez R - materiálu s 6,5 % pojiva (v kg/m³)

Objemová hmotnost asfaltové směsi bez R – materiálu s 6,5 % pojiva byla pro další výpočty stanovena na 2460,1 kg/m³.

4.4.2.2 Návrh směsi s 10 % R – materiálu

1.) První návrh asfaltové směsi – s 10 % R - materiálu

Druhým navrhovaným typem směsi byla směs s obsahem 10 % R – materiálu. Nejprve se také uvažovalo s obsahem pojiva 6,3 % a zkoušky na této směsi probíhaly paralelně se zkouškami na směsi bez R – materiálu a s obsahem pojiva 6,3 %.

Složení směsi již obsahovalo R – materiál, takže se změnilo procentuální zastoupení ostatních frakcí kameniva, dávkování Addibitu L300 a celulózových vláken S-CEL 7G zůstalo stejné.

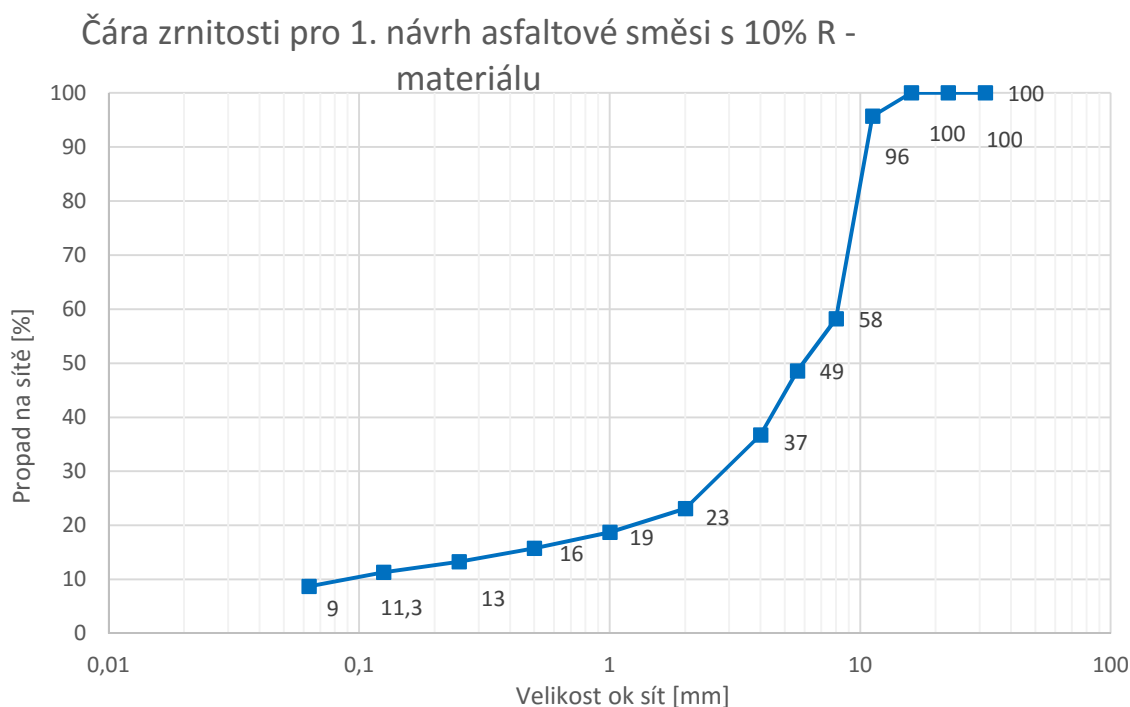
Suché složky	Procentuální obsah [%]
Vápencová moučka	8,5
0/2	10,0
2/5	18,0
4/8	8,0
8/11	45,5
R-materiál	10,0
S-CEL 7G	0,3

Tab. 18 Procentuální zastoupení jednotlivých frakcí kameniva a celulózových vláken v asfaltové směsi pro první návrh

Tekuté složky	Procentuální obsah [%]
Colflex 45/80 – 55	6,3
Addibit L300	0,2

Tab. 19 Procentuální zastoupení asfaltového pojiva a adhezní přísady v asfaltové směsi pro první návrh

Dále byla opět stanovena čára zrnitosti pomocí síťových rozborů provedených na kamenivu.



Graf 4 Čára zrnitosti pro 1. návrh asfaltové směsi s 10 % R - materiálu

Poté bylo opět potřeba vyrobit Marshallova tělesa a provést příslušné zkoušky ke zjištění mezerovitosti, objemové hmotnosti a maximální objemové hmotnosti. Marshallova tělesa byla vyrobena pomocí rázového zhutňovače stejným způsobem, který je popsán v kapitole 4.3.10, zkoušky poté provedeny dle kapitol 4.3.9, a 4.3.12.

Maximální objemová hmotnost

Rozpouštědlo	Max. objemová hmotnost ρ_{mv} v kg/m ³
Trichloretylen	2580
Voda	2564
Voda	2565

Tab. 20 Maximální objemová hmotnost asfaltové směsi s 10 % R-mat. a 6,3 % pojiva

Objemová hmotnost směsi měřená v trichloretylenu byla o 16 kg/m³ vyšší než směsi měřené ve vodě, čím je podmínka splněna. Maximální objemová hmotnost směsi byla 2565 kg/m³.

Mezerovitost a objemová hmotnost

Zkušební těleso označení		2.1	2.2	2.3	Průměr
Hmotnost, suchá	g	1177,3	1171,3	1176,0	1174,9
Hmotnost, pod vodou	g	698,8	698,8	695,5	697,7
Hmotnost, vlhká	g	1178,9	1173,1	1178,0	1176,7
Objemová hmotnost $\rho_{(bssd)}$	kg/m³	2448,5	2465,8	2433,6	2449,3

Tab. 21 Objemová hmotnost asfaltové směsi s 10 % R - materiálu a 6,3 % pojiva (v kg/m³)

Objemová hmotnost této směsi byla 2 449,3 kg/m³.

Asfaltová směs s 10% R - materiálu a 6,3 % pojiva					
Označení tělesa		2.1	2.2	2.3	Průměr
Rozpouštědlo	Trichloretylen	5,1	4,4	5,7	5,0
	Voda	4,5	3,8	5,1	4,5
	Voda	4,6	3,9	5,1	4,5

Tab. 22 Mezerovitost asfaltové směsi s 10 % R - materiálu a 6,2 % pojiv (v %)

Mezerovitost této směsi se blížila hranici 4,5 %, v případě trichloretylenu ji dokonce překročila. Z tohoto důvodu a také proto, aby bylo zachováno stejné dávkování asfaltového pojiva ve všech třech směsích, byla změněna receptura také této směsi.

2.) Druhý návrh asfaltové směsi – s 10 % R – materiálu

Protože se zjistilo, že asfaltová směs bez R – materiálu a s 10 % R – materiálu s obsahem asfaltového pojiva 6,3 % nevyhovuje podmínkám mezerovitosti, tedy hodnotám od 3,0 do 4,5 %, bylo potřeba změnit recepturu i u směsi s 10 % R – materiálu. Nová směs tedy měla následující obsah kameniva.

Suché složky	Procentuální obsah [%]
Vápencová moučka	9,5
0/2	10,0
2/5	18,0
4/8	8,0
8/11	44,5
R-materiál	10,0
S-CEL 7G	0,3

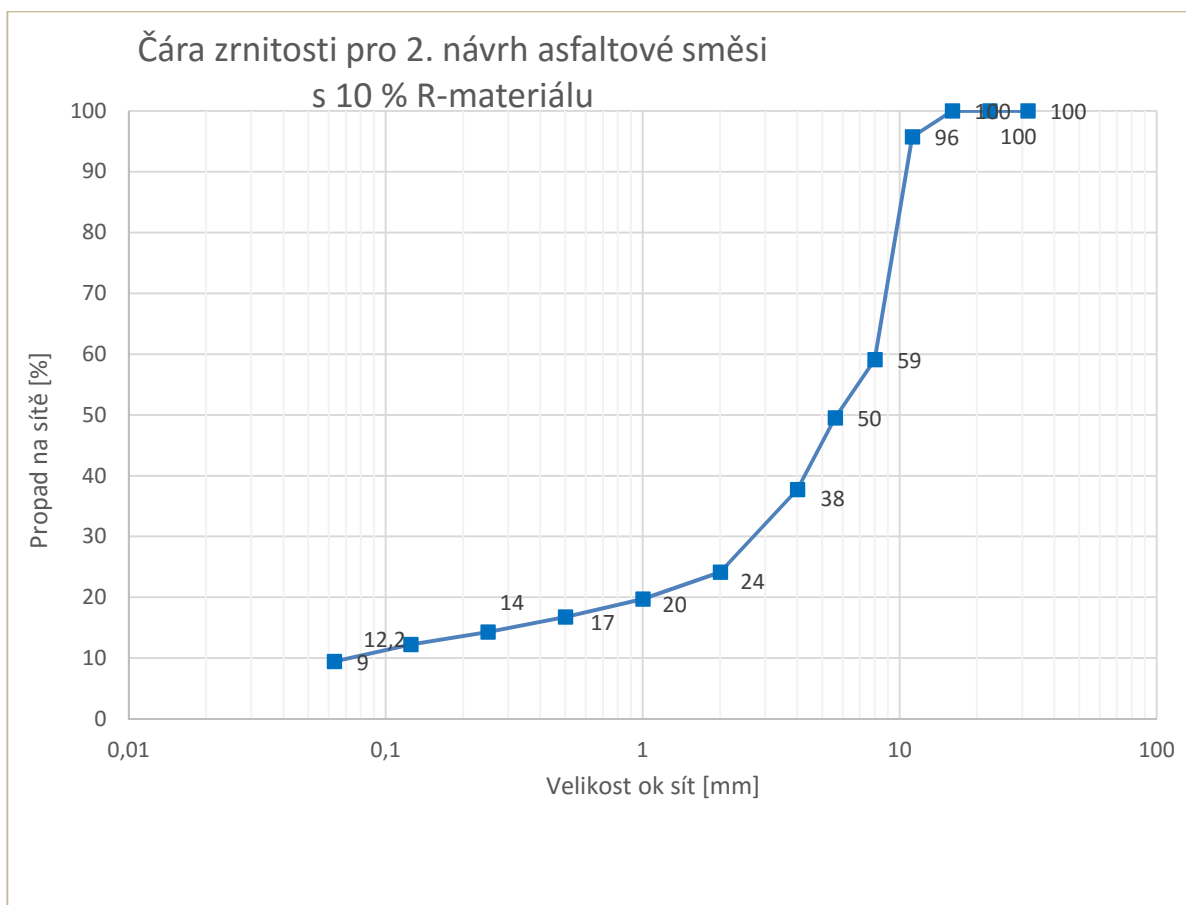
Tab. 23 Procentuální zastoupení jednotlivých frakcí kameniva a celulózových vláken v asfaltové směsi pro druhý návrh

Procentuální obsah adhezní přísady Addibitu L300 zůstal stejný, obsah asfaltového pojiva se zvýšil na 6,5%.

Tekuté složky	Procentuální obsah [%]
Colflex 45/80 – 55	6,5
Addibit L300	0,2

Tab. 24 Procentuální zastoupení asfaltového pojiva a adhezni přísady v asfaltové směsi pro druhý návrh

Poté byla opět stanovena nová čára zrnitosti kameniva v asfaltové směsi, podle síťového rozboru provedeném na kamenivu.



Tab. 25 Čára zrnitosti pro 2. návrh směsi s 10 % R - materiálu

Také u této směsi bylo potřeba ověřit mezerovitost, objemovou hmotnost a maximální objemovou hmotnost. Tato výroba zkušebních těles a zkoušky probíhaly podle kapitol 4.3.10, 4.3.9, a 4.3.12.

Maximální objemová hmotnost

Rozpouštědlo	Max. objemová hmotnost ρ_{mv} v kg/m ³
Trichloretylen	2578
Voda	2560
Voda	2570

Tab. 26 Maximální objemová hmotnost asfaltové směsi s 10 % R-mat. a 6,5 % pojiva

Maximální objemová hmotnost stanovená pomocí trichloretylenu byla vyšší než max. objemová hmotnost stanovená pomocí vody. Podmínka byla tedy splněna. Pro další výpočty se uvažovalo s hodnotou maximální objemové hmotnosti směsi 2 565 kg/m³.

Mezerovitost a objemová hmotnost

Zkušební těleso označení		II.I	II.II	II.III	Průměr
Hmotnost, suchá	g	1193,5	1181,3	1177,8	1184,2
Hmotnost, pod vodou	g	714,9	705,9	705,2	708,7
Hmotnost, vlhká	g	1195,8	1183,7	1180,6	1186,7
Objemová hmotnost $\rho_{(bssd)}$	kg/m³	2478,1	2468,7	2473,8	2473,5

Tab. 27 Objemová hmotnost asfaltové směsi s 10 % R - materiálu a 6,5 % pojiva (v kg/m³)

Průměrná objemová hmotnost pro další výpočty byla u druhého návrhu směsi s 10 % R – materiálu stanovena na 2 473,5 kg/m³.

Asfaltová směs s 10% R - materiálu s 6,5 % pojiva					
Označení tělesa		II.I	II.II	II.III	Průměr
Rozpouštědlo	Trichloretylen	3,3	3,7	3,5	3,5
	Voda	3,2	3,6	3,4	3,4
	Voda	3,6	3,9	3,7	3,7

Tab. 28 Mezerovitost asfaltové směsi s 10 % R - materiálu a 6,5 % pojiva (v %)

Mezerovitost směsi u všech zkoušených vzorků vycházela v hranici mezi 3,0 a 4,5 %, návrh lze tedy považovat za správný.

4.4.2.3 Návrh směsi s 20 % R – materiálu

Vzhledem k tomu, že byla stanovena nová receptura asfaltové směsi, třetí směs s obsahem R – materiálu 20 % byla již navrhovaná s novým obsahem asfaltu, tedy 6,5 %.

Suché složky	Procentuální obsah [%]
Vápencová moučka	8,0
0/2	6,0
2/5	16,0
4/8	6,0
8/11	44,0
R-materiál	20,0
S-CEL 7G	0,3

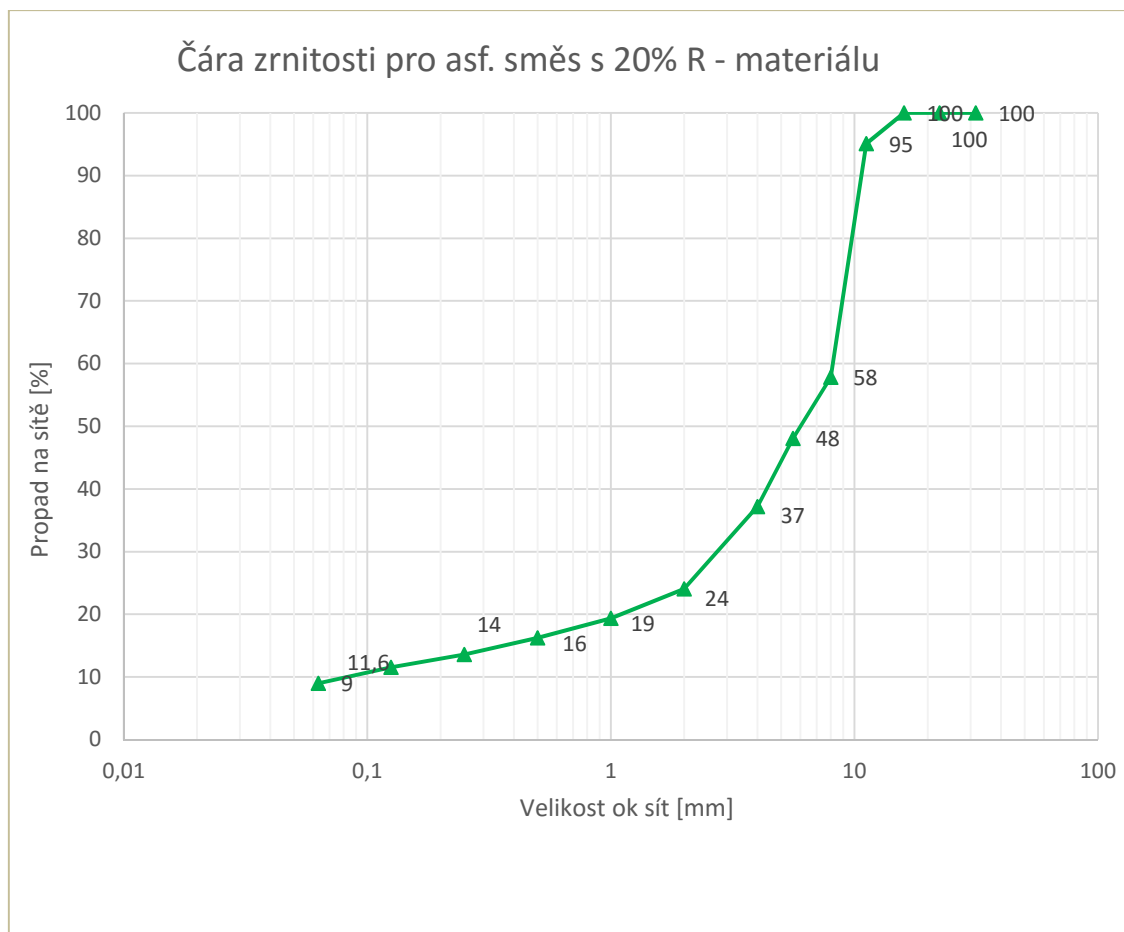
Tab. 29 Procentuální zastoupení jednotlivých frakcí kameniva a celulózových vláken v asfaltové směsi

Procentuální obsah asfaltového pojiva a adhezní přísady Addibit L300 zůstal stejný.

Tekuté složky	Procentuální obsah [%]
Colflex 45/80 – 55	6,5
Addibit L300	0,2

Tab. 30 Procentuální zastoupení asfaltového pojiva a adhezní přísady v asfaltové směsi

Opět byla stanovena čára zrnitosti kameniva pro asfaltovou směs.



Graf 5 Čára zrnitosti kameniva v asfaltové směsi s 20 % R - materiálu a 6,5 % pojiva

Ze směsi byla vyrobena Marshallova tělesa a na nich zjištěna objemová hmotnost a mezerovitost. Pomocí pyknometrů byla stanovena maximální objemová hmotnost směsi.

Maximální objemová hmotnost

Rozpouštědlo	Max. objemová hmotnost ρ_{mv} v kg/m ³
Trichloretylen	2556
Voda	2538
Voda	2538

Tab. 31 Maximální objemová hmotnost asfaltové směsi s 20 % R – materiálu

Hodnoty maximální objemové hmotnosti stanovené měřením ve vodě byly o 18 kg/m³ nižší než hodnoty stanovené měřením v trichloretylenu, podmínka max. rozdílu 20 kg/m³ byla tedy splněna. Pro další výpočty bylo uvažováno s průměrnou hodnotou maximální objemové hmotnosti zjištěné měřením ve vodě, tedy s 2 538 kg/m³.

Mezerovitost a objemová hmotnost

Zkušební těleso označení		III.I	III.II	III.III	Průměr
Hmotnost, suchá	g	1297,2	1293,2	1174,2	1254,9
Hmotnost, pod vodou	g	771,8	764,5	699,6	745,3
Hmotnost, vlhká	g	1300,1	1295,9	1177,6	1257,9
Objemová hmotnost $\rho_{(bssd)}$	kg/m³	2451,7	2429,9	2452,8	2444,8

Tab. 32 Objemová hmotnost asfaltové směsi s 20 % R – materiálu (v kg/m³)

Objemová hmotnost pro další výpočty byla stanovena na 2 444,8 kg/m³.

Asfaltová směs s 20% R – materiálu, s 6,5 % pojiva					
Označení tělesa		III.I	III.II	III.III	Průměr
Rozpouštědlo	Trichloretylen	4,1	4,9	4,0	4,4
	Voda	3,4	4,3	3,4	3,7
	Voda	3,4	4,3	3,3	3,7

Tab. 33 Mezerovitost asfaltové směsi s 20 % R – materiálu (v %)

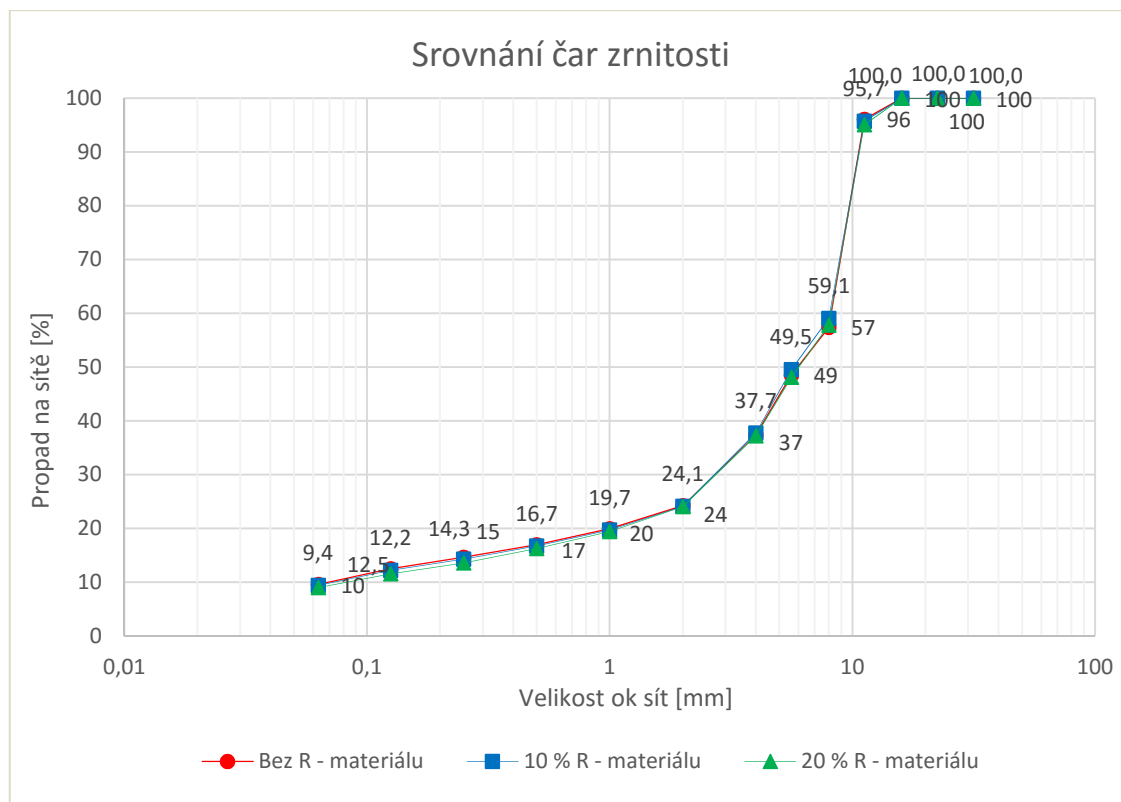
Mezerovitost zjištěná na Marshallových tělesech dosahuje předepsaných hodnot, tedy od 3,0 % do 4,5 % pro oba druhy rozpouštědel. Směs je tedy dobře navrhnutá.

Podrobnější protokoly s uvedením rozměrů zkušebních Marshallových těles a dalšími parametry jsou uvedeny v Příloze A.

Obsah asfaltového pojiva ve všech třech druzích vyráběných asfaltových směsích, tedy bez R – materiálu, s 10 % R – materiálu a s 20 % R – materiálu, byl nakonec stanoven na 6,5 %.

4.4.2.4 Srovnání čar zrnitosti jednotlivých asfaltových směsí

Z následujícího grafu je vidět, že čáry zrnitosti kameniva jednotlivých směsí bez R – materiálu, s 10 % R – materiálu a s 20 % R – materiálu pro návrh směsi s 6,5 % asfaltového pojiva jsou téměř totožné.



Graf 6 Srovnání čar zrnitosti jednotlivých asfaltových směsí se 6,5 % asfaltového pojiva

4.4.3 Stanovení stékavosti pojiva

Úkolem zkoušky stékavosti pojiva bylo ověření vlivu přidávání celulóзовých vláken S – CEL 7G a adhezní přísady Addibitu L300 na stékavost modifikovaného asfaltového pojiva Colflex 45/80 – 55 v asfaltových směších. Vlastnosti těchto materiálů jsou popsány v kapitole 4.2 *Použité materiály* a samotná zkouška je popsána v kapitole 4.3.7 *Stanovení stékavosti pojiva*.

Zkouška se prováděla na čtyřech vzorcích asfaltové směsi SMA 11S bez obsahu R – materiálu. První vzorek neobsahoval žádné přísady, do druhého vzorku bylo přidáno 0,30 % vláken S – CEL 7G, ve třetím bylo použito 0,20 % Addibitu L300 (množství Addibitu L300 se počítá z obsahu asfaltového pojiva) a ve čtvrtém 0,30 % celulóзовého vlákna S – CEL 7G a 0,20 % Addibitu L300.

Označení	Obsah asfaltové směsi
Směs č. 1	SMA 11S
Směs č. 2	SMA 11S + S - CEL 7G
Směs č. 3	SMA 11S + Addibit L300
Směs č. 4	SMA 11S + S – CEL 7G + Addibit L300

Tab. 34 Označení zkoušených vzorků asfaltových směsí

Hodnota stékavosti se stanovovala jako průměr ze dvou měření v kádinkách I. a II.

	označení	jednotky	Směs č. 1		Směs č. 2		Směs č. 3		Směs č. 4	
Označení kádinky			I.	II.	I.	II.	I.	II.	I.	II.
Stékavost pojiva	D	[%]	1,9	2,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,4	0,3
Průměrná stékavost pojiva	ΦD	[%]	2,2		0,5		0,6		0,3	

Tab. 35 Stékavost asfaltového pojiva v závislosti na použitých přísadách

Průměrná hodnota stékavosti pojiva by se měla pro směsi typu SMA pohybovat do 0,3 %. Jak je vidět, této hodnoty dosahuje pouze směs č. 4, která obsahovala jak celulózové vlákna S – CEL 7G, tak i Addibit L300, ostatní směsi této podmínce nevyhovují. Nutno ale upozornit na to, že celulózová vlákna byla rozdrobena ručně, což neodpovídalo doporučení výrobce těchto vláken. Vůbec nejhůře dopadla směs č. 1, která neobsahovala ani celulózové vlákna ani adhezní přísadu. Podrobněji jsou výsledky této zkoušky uvedeny v Příloze G.



Obr. 43 Stékavost pojiva směsi č. 1



Obr. 44 Stékavost pojiva směsi č. 2



Obr. 45 Stékavost pojiva směsi č. 3



Obr. 46 Stékavost pojiva směsi č. 4

4.4.4 Příprava zkušebních těles

Po zjištění optimálního návrhu všech tří směsí se mohlo přejít k výrobě zkušebních těles. Celkem byly prováděny tři zkoušky, ke kterým bylo nutné vyrobit zkušební desky podle kapitoly 4.3.11 *Příprava zkušební těles zhutňovačem desek*.

Pro každou směs bylo potřeba vyrobit dvě desky pro zkoušku pojíždění kolem v tloušťce 40 mm, dvě desky v tloušťce 50 mm pro zhotovení zkušebních těles pro stanovení modulů tuhosti a jednu desku v tloušťce 50 mm pro zhotovení zkušebních těles pro stanovení nízkoteplotních vlastností.

Celkem tedy 15 desek, u nichž se kontrolovala především míra zhutnění a mezerovitost. Míra zhutnění se musí pohybovat od 99,0 do 101,0 % a mezerovitost od 3,0 do 4,5 %. Byly také stanoveny teploty míchání směsi a hutnění směsi.

Při výrobě zkušebních těles musely být dodrženy následující teploty.

Teplota míchání směsi: 165 °C

Teplota hutnění desek: 155 °C

V následující kapitole jsou uvedeny parametry míry zhutnění, mezerovitosti a objemové hmotnosti desek, které byly při zkouškách použity, podrobnější popis a kompletní seznam zhotovených desek je uveden v Příloze B.

1.) Asfaltová směs bez R – materiálu

Objemová hmotnost: 2 460,1 kg/m³

Maximální objemová hmotnost: 2 564 kg/m³

Asfaltová směs bez R – materiálu; 6,5 % pojiva					
Deska	Tloušťka	Míra zhutnění	Mezerovitost	Objem. hm.	Prováděná zkouška
1.0	40 mm	99,50%	4,50 %	2448,6 kg/m ³	pojíždění kolem
1.1	40 mm	100,30%	3,80 %	2467,3 kg/m ³	pojíždění kolem
1.3	50 mm	100,80%	3,30 %	2480,6 kg/m ³	moduly tuhosti
1.8	50 mm	100,30%	4,30 %	2453,0 kg/m ³	moduly tuhosti
1.6	50 mm	99,50%	4,50 %	2447,5 kg/m ³	nízkoteplotní vlastnosti

Tab. 36 Vlastnosti desek bez R – materiálu

2.) Asfaltová směs s 10 % R – materiáluObjemová hmotnost: 2 473,5 kg/m³Maximální objemová hmotnost: 2 565 kg/m³

Asfaltová směs s 10 % R – materiálu; 6,5 % pojiva					
Deska	Tloušťka	Míra zhutnění	Mezerovitost	Objem. hm.	Prováděná zkouška
2.0	40 mm	99,00%	4,50 %	2449,4 kg/m ³	pojízďení kolem
2.1	40 mm	99,50%	4,10 %	2460,9 kg/m ³	pojízďení kolem
2.2	50 mm	99,40%	4,20 %	2458,4 kg/m ³	moduly tuhosti
2.6	50 mm	99,00 %	4,50 %	2445,8 kg/m ³	moduly tuhosti
2.7	50 mm	100,40%	3,20 %	2448,5 kg/m ³	nízkoteplotní vlastnosti

Tab. 37 Vlastnosti desek s 10 % R - materiálu

3.) Asfaltová směs s 20 % R – materiálu

Asfaltová směs bez R – materiálu; 6,5 % pojiva					
Deska	Tloušťka	Míra zhutnění	Mezerovitost	Objem. hm.	Prováděná zkouška
3.0	40 mm	100,80%	3,00 %	2463,1 kg/m ³	pojízďení kolem
3.1	40 mm	100,70%	3,00 %	2461,2 kg/m ³	pojízďení kolem
3.2	50 mm	100,60%	3,10 %	2459,3 kg/m ³	moduly tuhosti
3.3	50 mm	100,50%	3,20 %	2456,5 kg/m ³	moduly tuhosti
3.4	50 mm	100,10%	3,60 %	2446,8 kg/m ³	nízkoteplotní vlastnosti

Tab. 38 Vlastnosti desek s 20 % R – materiálu

4.4.5 Zkouška pojízďení kolem**4.4.5.1 Naměřené hodnoty**

První funkční zkouška na zkušebních tělesech, která byla provedena, byla zkouška odolnosti proti trvalým deformacím neboli zkouška pojízďení kolem. Její postup je popsán v kapitole 4.3.13 *Zkouška pojízďení kolem – stanovení odolnosti proti trvalým deformacím*.

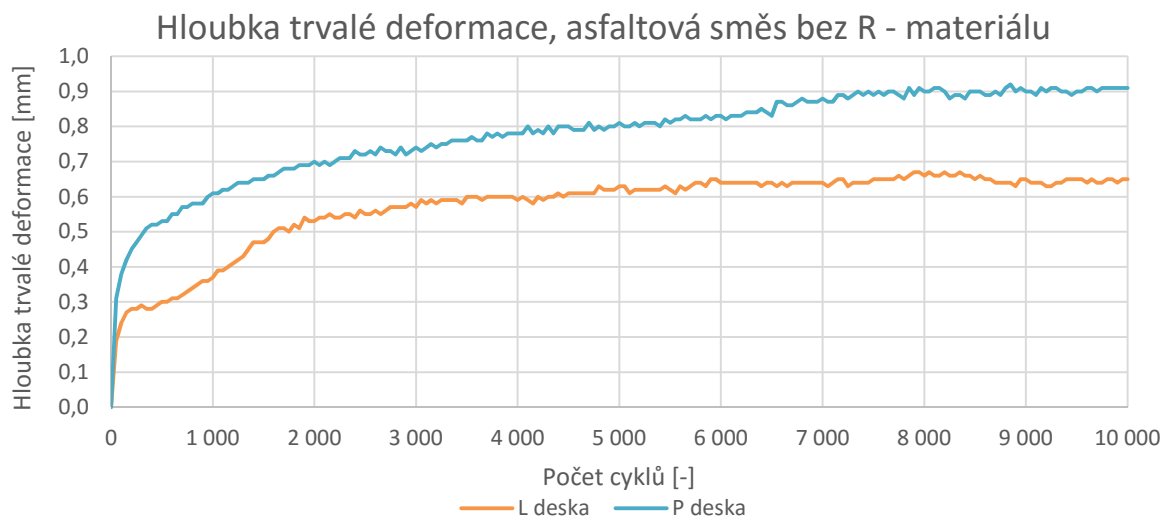
Zkouška byla provedena u každé ze tří směsí, přičemž bylo potřeba vždy dvou desek od každé směsi v tloušťce 40 mm (L – levá deska, P – pravá deska). Celá zkouška probíhá při 50 °C a desky musí být na tuto teplotu také temperovány. Z naměřených hodnot se zjistila hloubka vyjeté koleje po 10 000 cyklech $Y_{S,10}$ a vypočítala se průměrná poměrná hloubka vyjeté koleje PRD_{AIR} a poměrný přírůstek hloubky vyjeté koleje WTS_{AIR} . Maximální hodnota PRD_{AIR} dle normy by měla být 5,0 %, maximální hodnota WTS_{AIR} 0,07 mm/1000 cyklů pro SMA 11S.

Označení směsi SMA 11S znamená, že směs má zvýšenou odolnost vůči trvalým deformacím, proto se předpokládalo, že směsi budou dosahovat dobrých výsledků.

1.) Asfaltová směs bez R – materiálu, 6,5 % pojiva

Deska	Tloušťka	$Y_{S,10}$	PRD_{AIR}	WTS_{AIR}
1.0 1.1	[mm]	[mm]	[%]	[mm/10 ³ cyklů]
L	41,6	0,65	1,6	0,004
P	41,2	0,91	2,2	0,02

Tab. 39 Naměřené hodnoty při zkoušce odolnosti vůči trvalým deformacím, směs bez R - materiálu



Graf 7 Závislost hloubky trvalé deformace na počtu vyjížděcích cyklů, směs bez R – materiálu

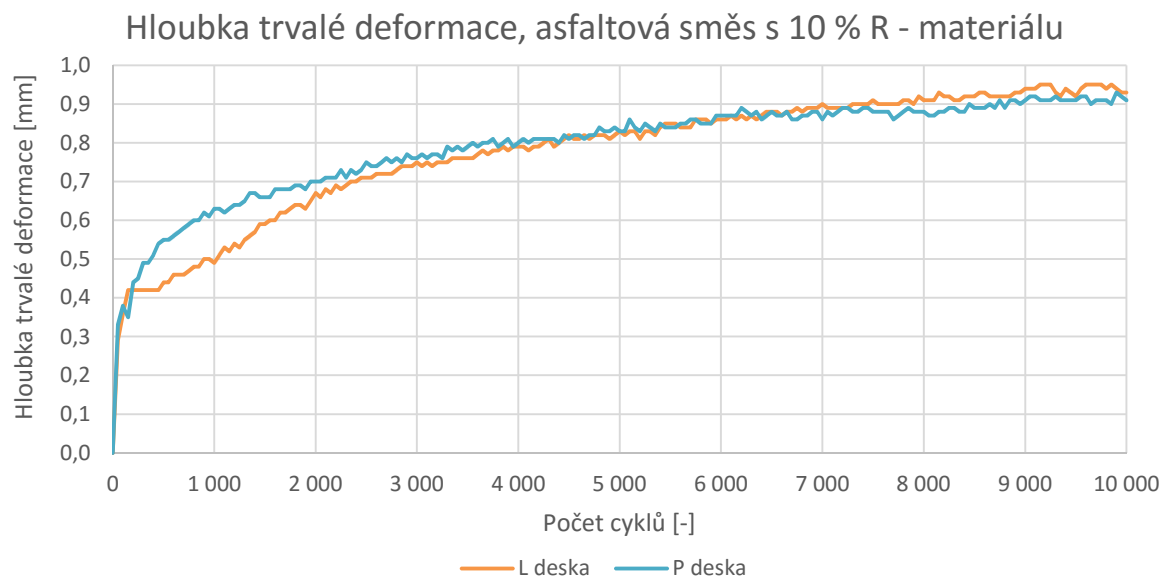


Obr. 47 Desky bez R - materiálu po zkoušce pojíždění kolem

2.) Asfaltová směs s 10 % R – materiálu, 6,5 % pojiva

Deska	Tloušťka	$Y_{S,10}$	PRD_{AIR}	WTS_{AIR}
2.0 2.1	[mm]	[mm]	[%]	[mm/10 ³ cyklů]
L	41,5	0,93	2,2	0,02
P	41,5	0,91	2,2	0,016

Tab. 40 Naměřené hodnoty při zkoušce odolnosti vůči trvalým deformacím, směs s 10 % R - materiálu



Graf 8 Závislost hloubky trvalé deformace na počtu vyjížděcích cyklů, směs s 10 % R – materiálu

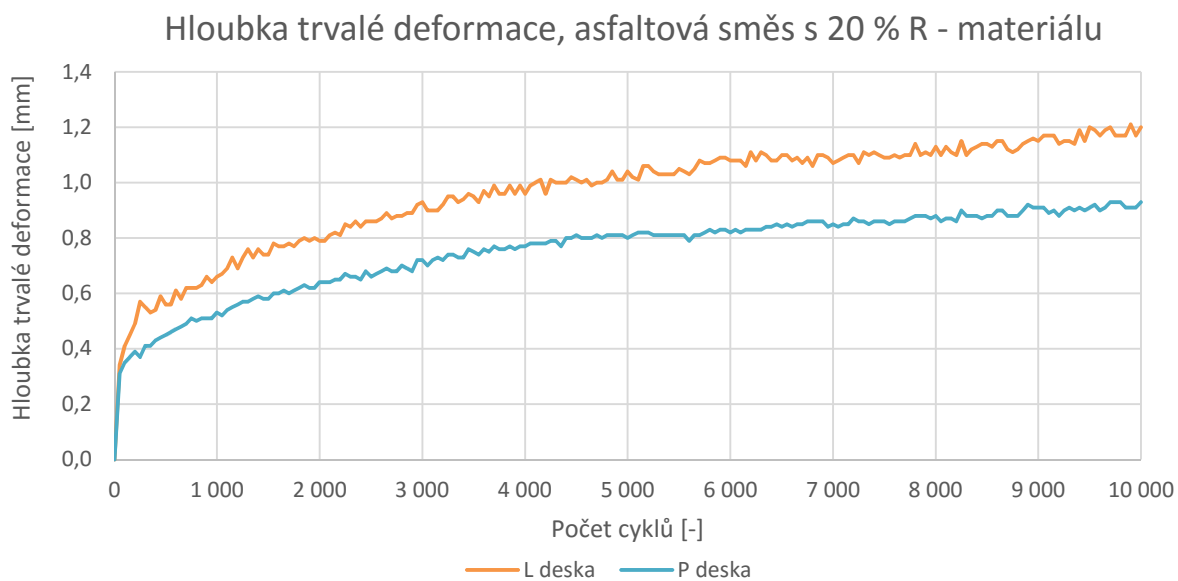


Obr. 48 Deska s 10 % R - materiálu po zkoušce pojíždění kolem

3.) Asfaltová směs s 20 % R – materiálu, 6,5 % pojiva

Deska	Tloušťka	$Y_{S,10}$	PRD_{AIR}	WTS_{AIR}
3.0 3.1	[mm]	[mm]	[%]	[mm/10 ³ cyklů]
L	40,6	1,20	3,0	0,07
P	40,6	0,93	2,3	0,07

Tab. 41 Naměřené hodnoty při zkoušce odolnosti vůči trvalým deformacím, směs s 20 % R - materiálu



Graf 9 Závislost hloubky trvalé deformace na počtu vyjížděcích cyklů, směs s 20 % R – materiálu

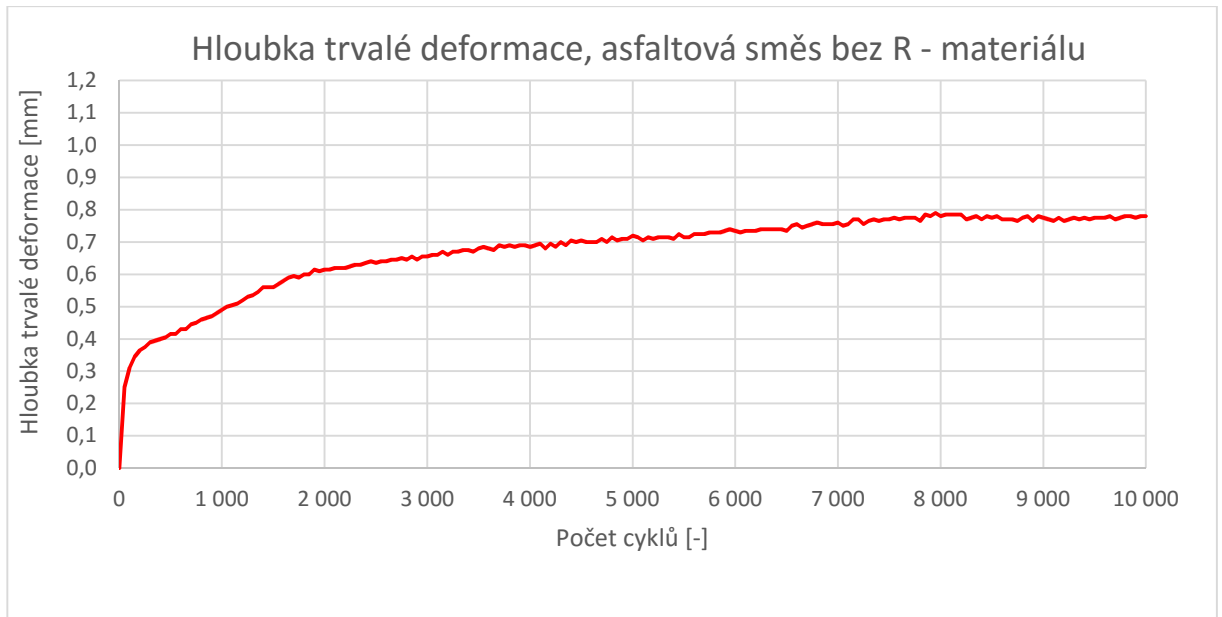


Obr. 49 Deska s 20 % R - materiálu po zkoušce pojíždění kolem

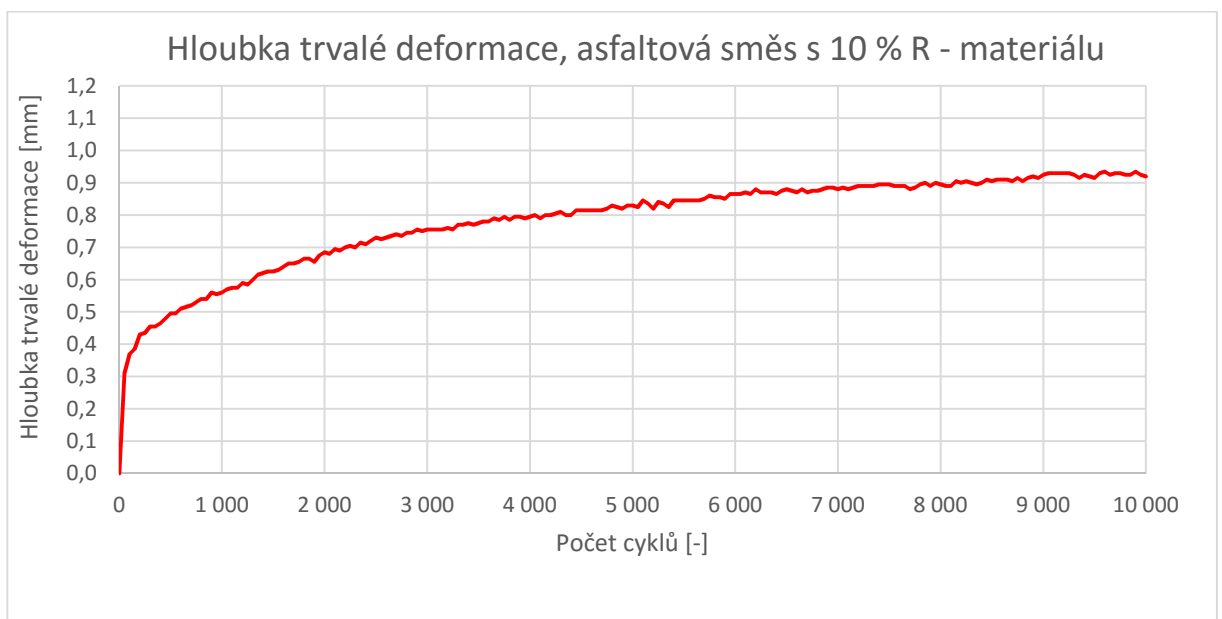
Podrobnější naměřené údaje jsou uvedeny v Příloze C.

4.4.5.2 Vyhodnocení zkoušky pojíždění kolem

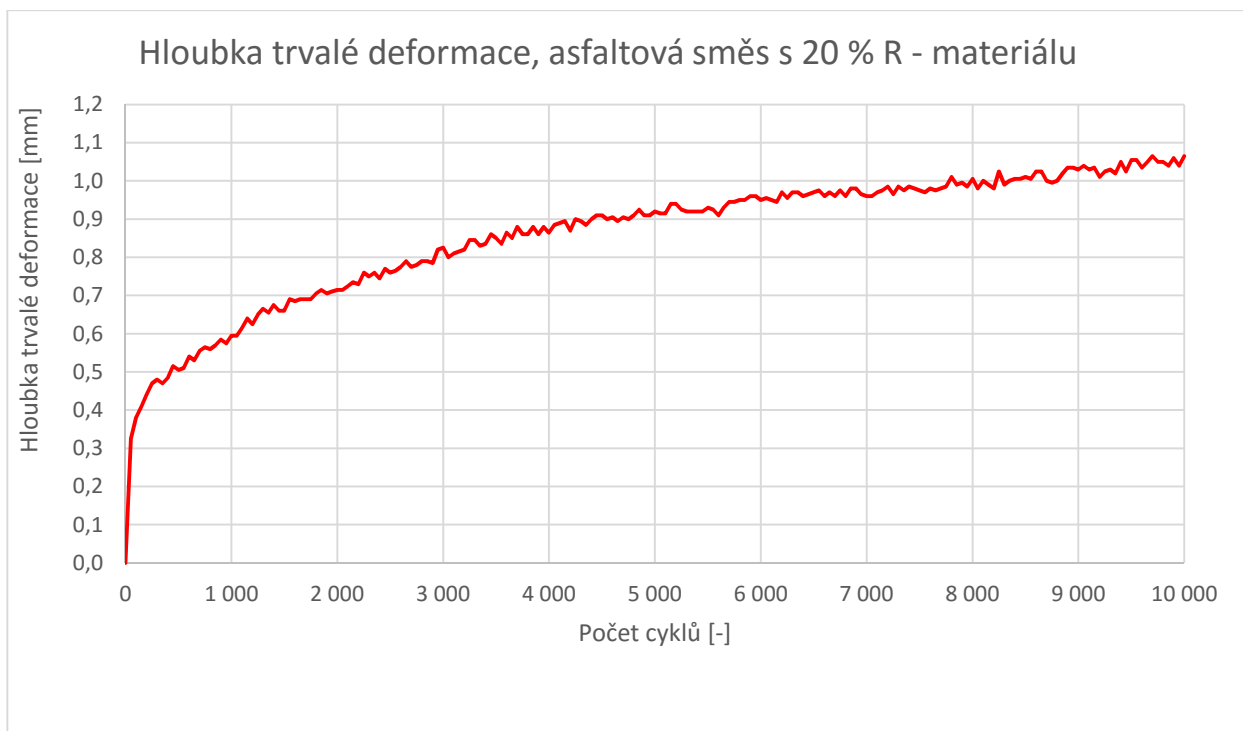
Po zprůměrování hodnot naměřených na levé a pravé desce, byly stanoveny následující grafy.



Graf 10 Průměrná hloubka trvalé deformace pro asfaltovou směs bez R – materiálu



Graf 11 Průměrná hloubka trvalé deformace pro asfaltovou směs s 20 % R – materiálu



Graf 12 Průměrná hloubka trvalé deformace ro asfaltovou směs s 20 % R – materiálu

Obsah R - materiálu	Průměrná tloušťka desky	$Y_{S,10}$	PRD_{AIR}	max. PRD_{AIR}	WTS_{AIR}	max. WTS_{AIR}
[%]	[mm]	[mm]	[%]	[%]	[mm/10 ³ cyklů]	[mm/10 ³ cyklů]
0	41,4	0,78	1,89	5,00	0,01	0,07
10	41,5	0,92	2,22		0,02	
20	40,6	1,07	2,62		0,03	

Tab. 42 Celkové srovnání hodnot naměřených zkouškou poježdění kolem

Z tabulky je zřejmé, že všechny hodnoty PRD_{AIR} a WTS_{AIR} naměřené na deskách vyhovují maximálním hodnotám, které jsou stanoveny v normě. Se vzrůstajícím obsahem R – materiálu sice roste hloubka vyjeté koleje, hodnoty PRD_{AIR} i WTS_{AIR} , naměřené hodnoty však stále vyhovují požadovaným, lze tedy říci, že obsah R – materiálu v asfaltové směsi SMA 11S významně neovlivnil její odolnost proti trvalým deformacím.

Předpokladem při tom bylo, že se vzrůstajícím podílem R - materiálu budou klesat naměřené hodnoty PRD_{AIR} a WTS_{AIR} , protože zestárlé pojivo obsažené v R – materiálu bude lépe odolávat trvalým deformacím. Důvodem pro vzrůstající hodnoty PRD_{AIR} a WTS_{AIR} s vyšším obsahem R - materiálu však může být použití rejuvenátoru Storflux, který způsobuje změkčení asfaltové směsi.

4.4.6 Moduly tuhosti

4.4.6.1 Naměřené hodnoty

Způsob měření modulů tuhosti je popsán v kapitole 4.3.14 *Měření modulů tuhosti*. Pro tuto zkoušku bylo potřeba celkem 30 vzorků ve tvaru trapezoidu, od každé směsi po deseti vzorcích. Vzorky byly nařezány z desek 1.3 a 1.8 pro směs bez R – materiálu, 2.2 a 2.6 pro směs s 10 % R – materiálu a 3.3 a 3.2 pro směs s 20 % R – materiálu (viz kapitola 4.4.4 *Příprava zkušebních těles* a Příloha B). Všechny desky byly nařezány pomocí diamantového kotouče dle požadovaných rozměrů.



Obr. 50 Řezání zkušebních těles pomocí diamantového kotouče.

Na zkušební tělesa poté byly upevněny háčky a podkladní destičky, viz kapitola 4.3.14. Rozměry a hmotnosti jednotlivých zkušebních těles jsou uvedeny v Příloze D.



Obr. 51 Zkušební tělesa tvaru trapezoidu pro měření modulu tuhosti asfaltové směsi

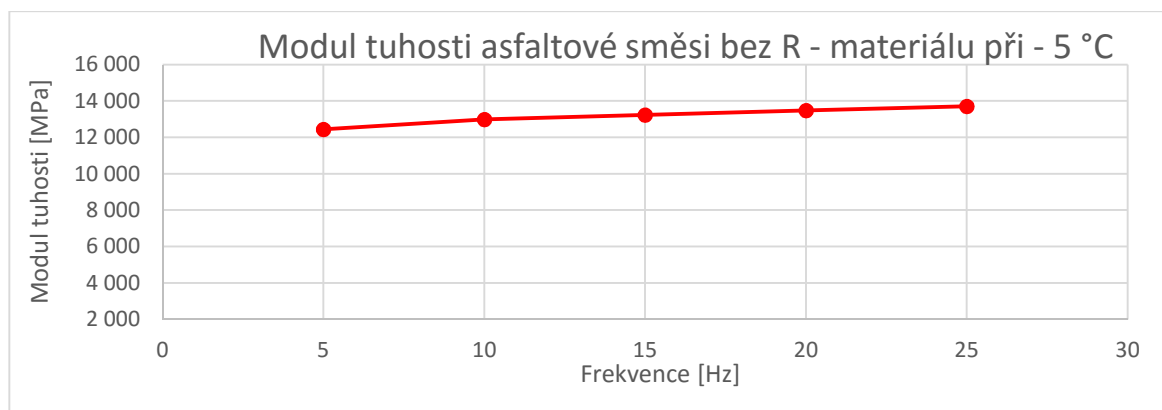
Zkouška byla prováděna při teplotách - 5 °C, 15 °C a 40 °C a frekvencích 5 Hz, 10 Hz, 15 Hz, 20 Hz a 25 Hz. Podrobně jsou naměřené hodnoty uvedeny v Příloze E.

1.) Měření modulů tuhosti při teplotě – 5 °C

Asfaltová směs bez R – materiálu

SMA 11S, bez R-materiálu -5°C					
Frekvence zatěžování	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz
Moduly tuhosti	12446	12986	13226	13472	13706

Tab. 43 Moduly tuhosti pro směs bez R - materiálu při teplotě -5 °C

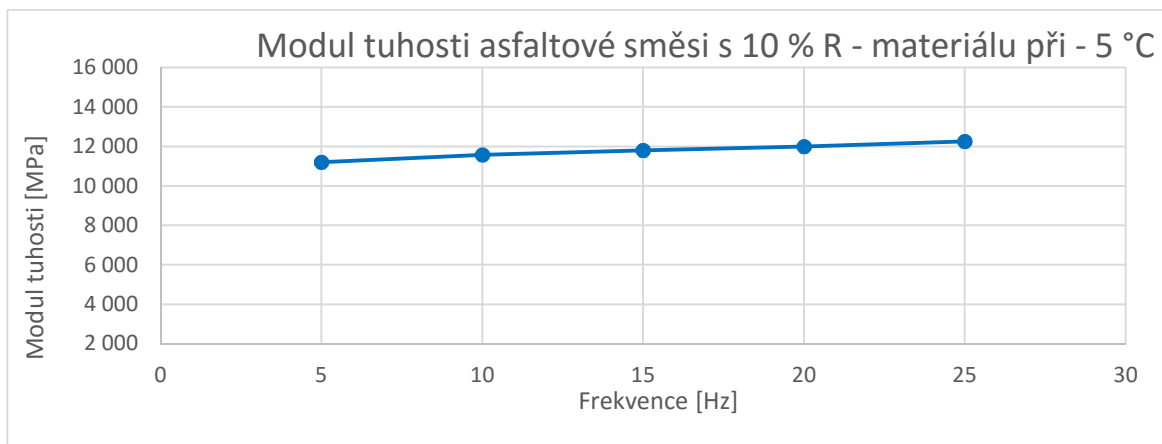


Graf 13 Závislost modulů tuhosti na frekvenci, směs bez R - materiálu při - 5 °C

Asfaltová směs s 10 % R – materiálu

SMA 11S, 10 % R-materiálu, -5°C					
Frekvence zatěžování	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz
Moduly tuhosti	11207	11567	11796	11999	12260

Tab. 44 Moduly tuhosti pro směs s 10 % R - materiálu při teplotě - 5 °C

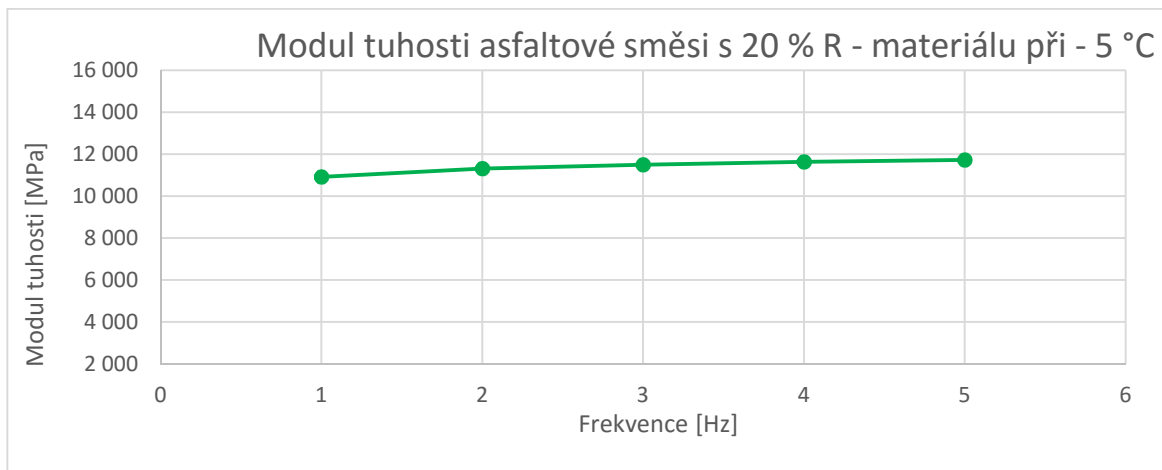


Graf 14 Závislost modulů tuhosti na frekvenci, směs s 10 % R - materiálu při - 5 °C

Asfaltová směs s 20 % R - materiálu

SMA 11S, 20 % R-materiálu, -5°C					
Frekvence zatěžování	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz
Moduly tuhosti	10908	11309	11488	11638	11718

Tab. 45 Moduly tuhosti pro směs s 20 % R - materiálu při - 5 °C



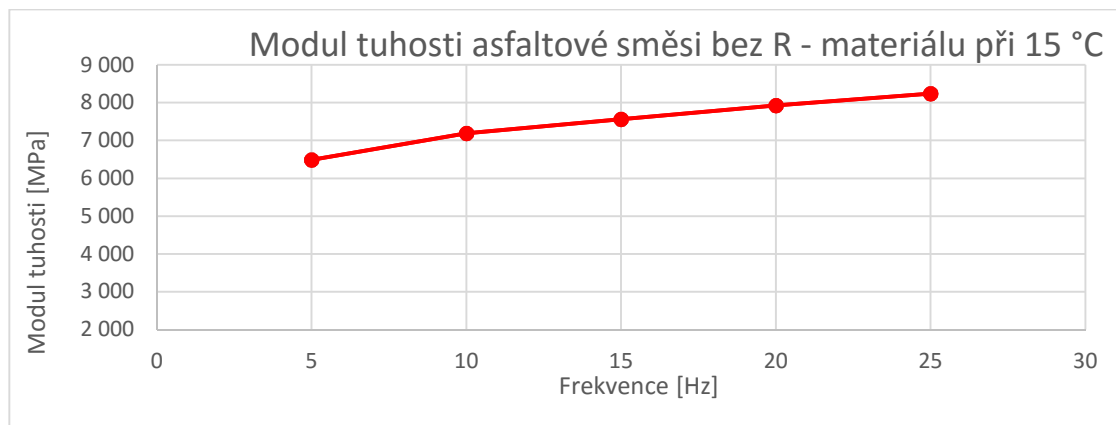
Graf 15 Závislost modulů tuhosti na frekvenci, směs s 20 % R - materiálu při - 5 °C

2.) Měření modulů tuhosti při teplotě 15 °C

Asfaltová směs bez R – materiálu

SMA 11S, bez R-materiálu, 15°C					
Frekvence zatěžování	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz
Moduly tuhosti	6485	7187	7561	7924	8237

Tab. 46 Moduly tuhosti pro směs bez R - materiálu při 15 °C

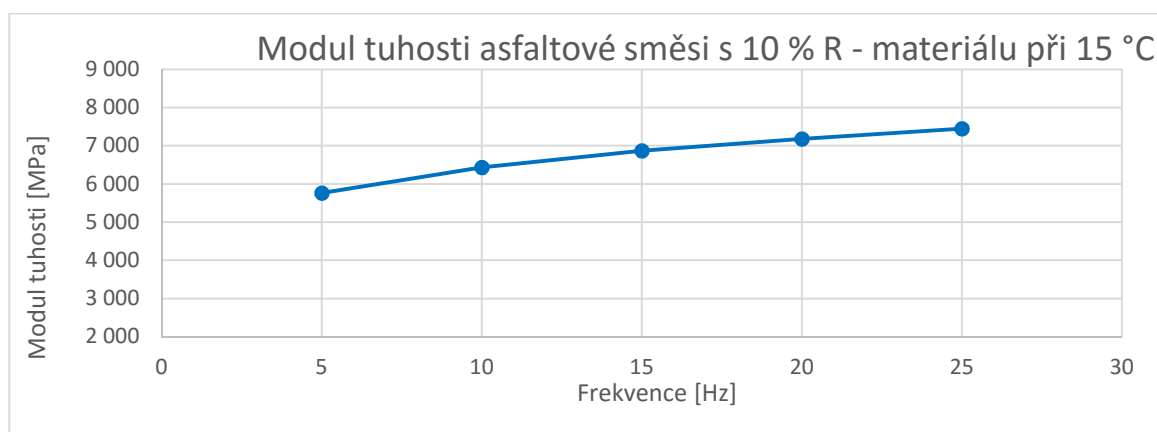


Graf 16 Závislost modulu tuhosti na frekvenci, směs bez R - materiálu při 15 °C

Asfaltová směs s 10 % R – materiálu

SMA 11S, 10 % R-materiálu, 15°C					
Frekvence zatěžování	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz
Moduly tuhosti	5765	6434	6864	7178	7443

Tab. 47 Moduly tuhosti pro směs s 10 % R - materiálu při 15 °C

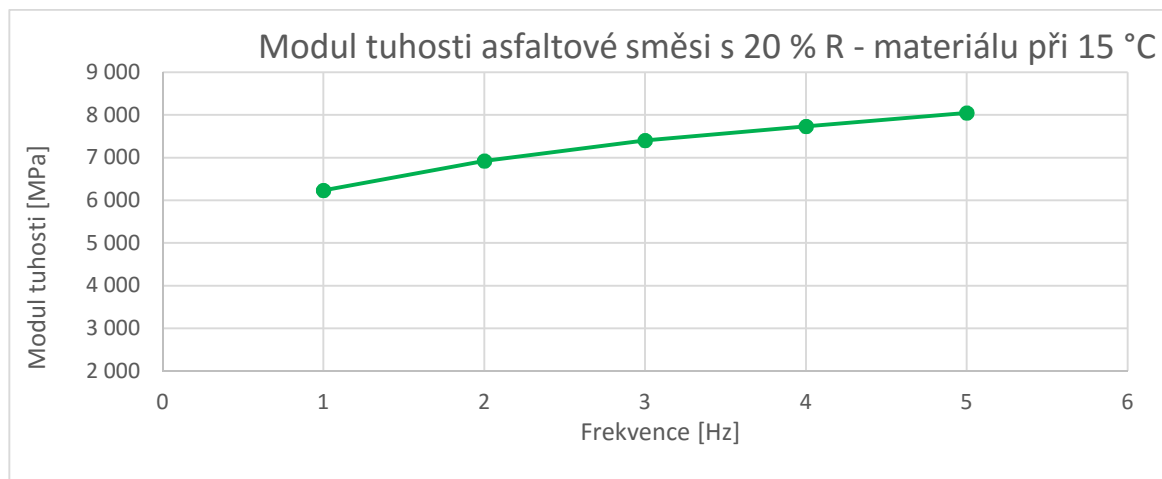


Graf 17 Závislost modulů tuhosti na frekvenci, směs s 10 % R - materiálu při 15 °C

Asfaltová směs s 20 % R – materiálu

SMA 11S, 20 % R-materiálu, 15°C					
Frekvence zatěžování	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz
Moduly tuhosti	6235	6923	7400	7736	8047

Tab. 48 Moduly tuhosti pro směs s 20 % R - materiálu při 15 °C

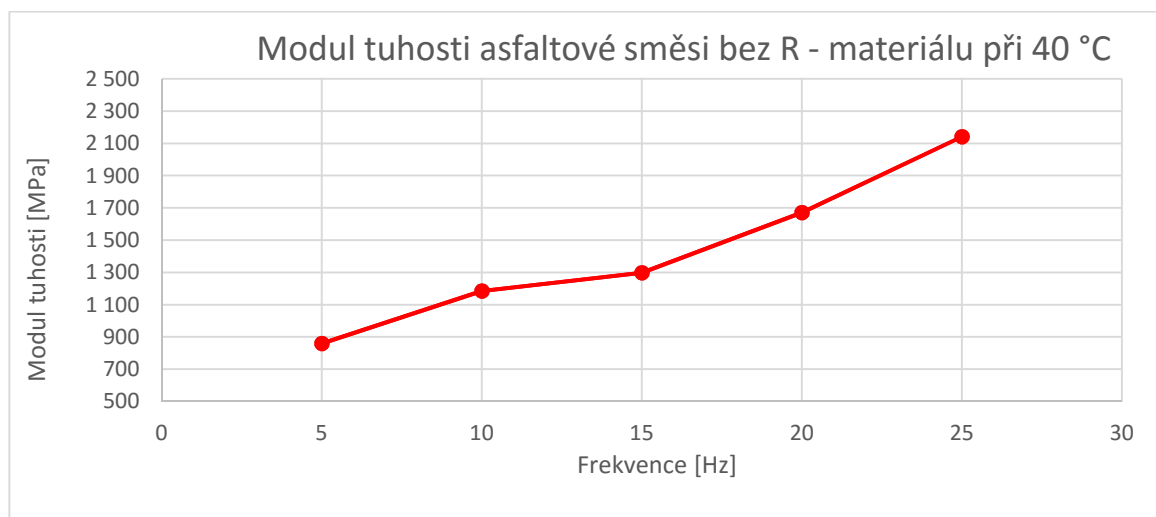


Graf 18 Závislost modulů tuhosti na frekvenci, směs s 20 % R - materiálu při 15 °C

3.) Měření modulů tuhosti při teplotě 40 °CAsfaltová směs bez R – materiálu

SMA 11S, bez R-materiálu, 40°C					
Frekvence zatěžování	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz
Moduly tuhosti	859	1184	1297	1671	2141

Tab. 49 Moduly tuhosti pro směs bez R - materiálu při 40 °C

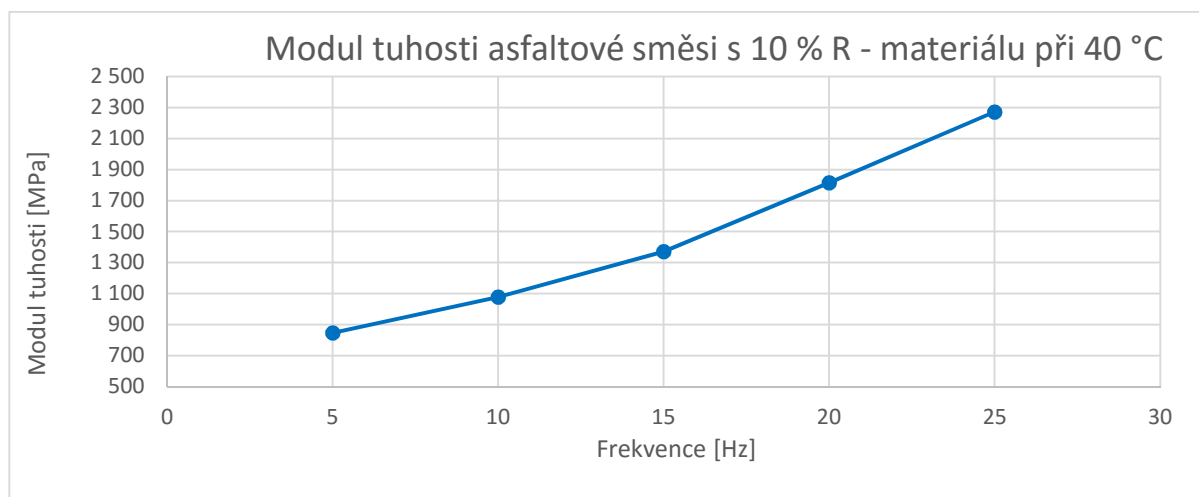


Graf 19 Závislost modulů tuhosti na frekvenci, směs bez R - materiálu při 40 °C

Asfaltová směs s 10 % R – materiálu

SMA 11S, 10 % R-materiálu, 40°C					
Frekvence zatěžování	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz
Moduly tuhosti	847	1077	1371	1815	2272

Tab. 50 Moduly tuhosti směsi s 20 % R - materiálu při 40 °C

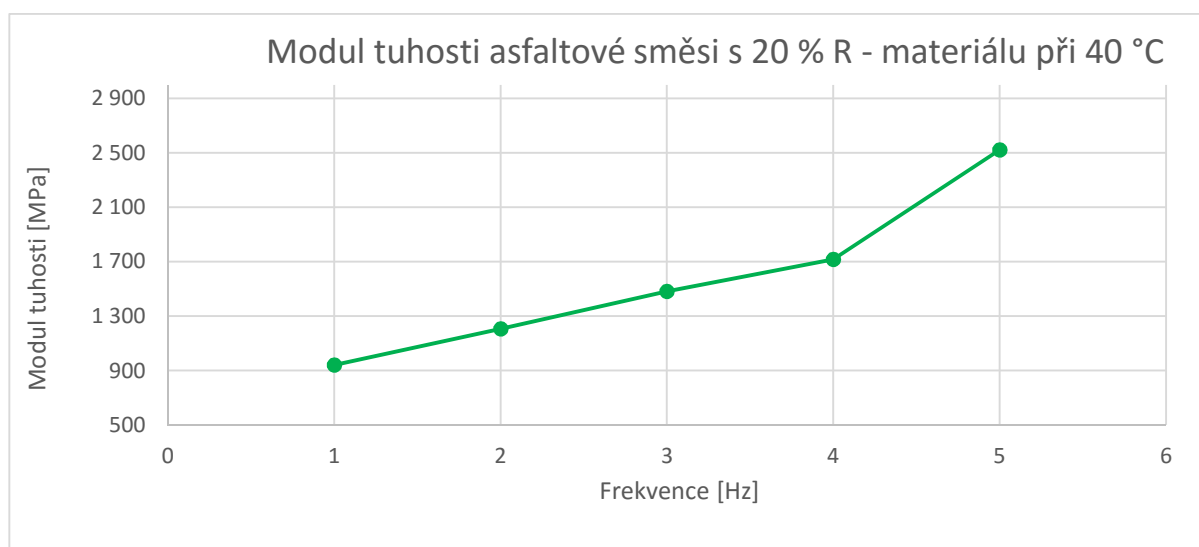


Graf 20 Závislost modulů tuhosti na frekvenci, směs s 10 % R - materiálu při 40 °C

Asfaltová směs s 20% R – materiálu

SMA 11S, 20 % R-materiálu, 40°C					
Frekvence zatěžování	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz
Moduly tuhosti	941	1207	1483	1718	2523

Tab. 51 Moduly tuhosti směsi s 20 % R - materiálu při 40 °C



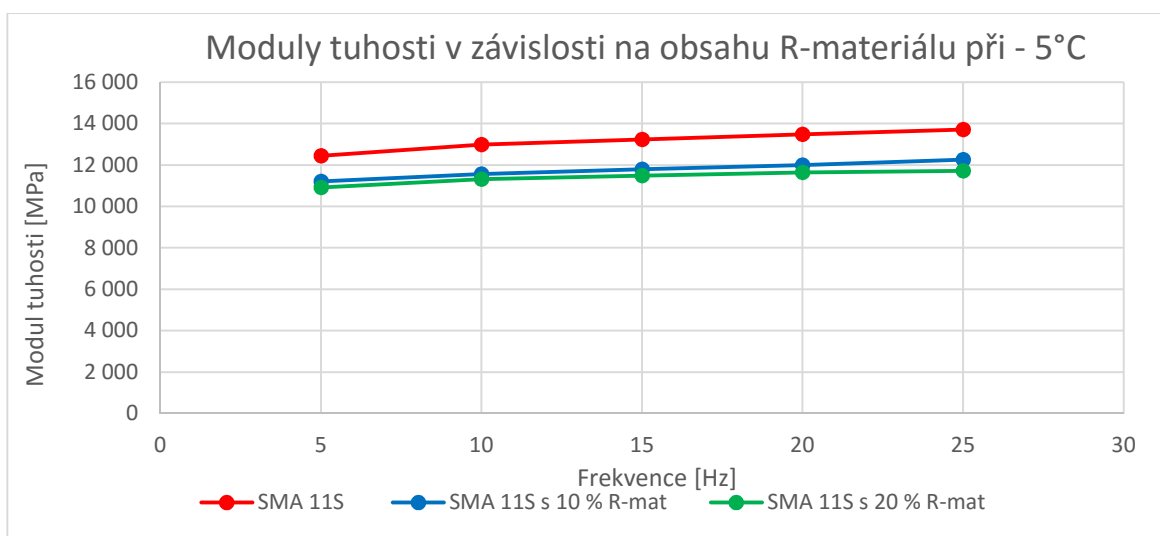
Graf 21 Závislost modulů tuhosti na frekvenci, směs s 20 % R - materiálu při 40 °C

4.4.6.2 Vyhodnocení zkoušky měření modulů tuhosti

V následujících tabulkách a grafech je zobrazeno porovnání modulů tuhosti pro asfaltové směsi s různým procentuálním zastoupením R – materiálu při jednotlivých teplotách, při kterých zkouška probíhala.

SMA 11S, teplota zkoušení: - 5 °C					
Obsah R - materiálu	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz
0%	12446	12986	13226	13472	13706
10%	11207	11567	11796	11999	12260
20%	10908	11309	11488	11638	11718

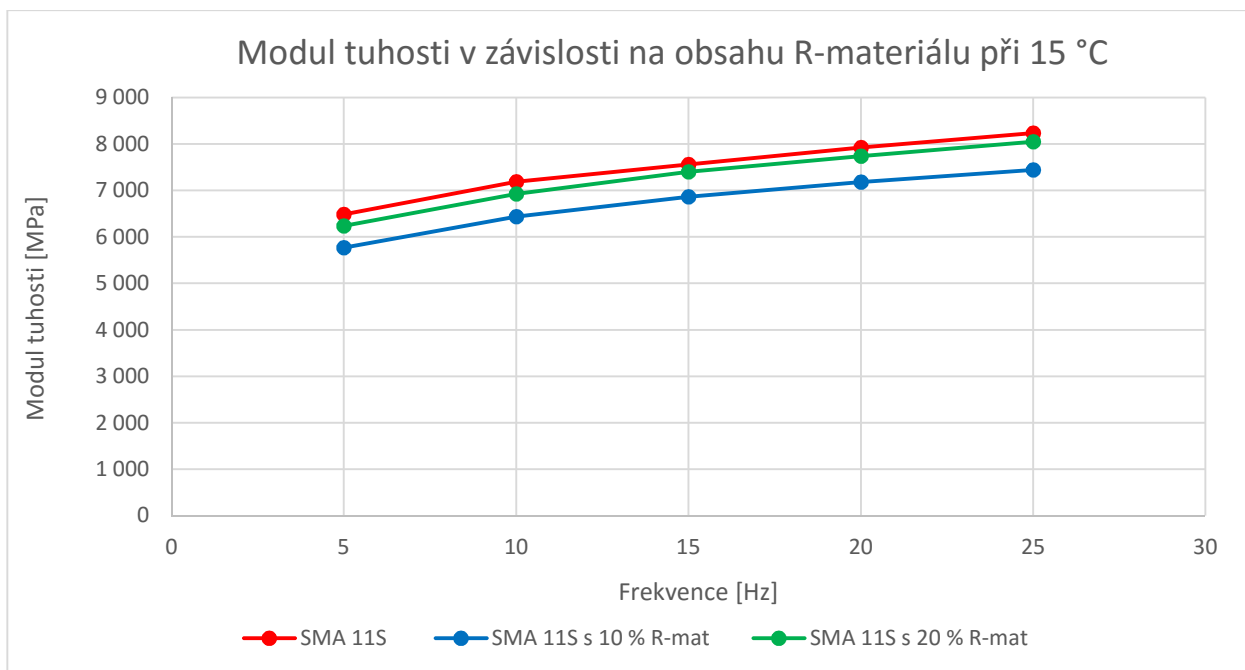
Tab. 52 Souhrnné výsledky měření modulů tuhosti při - 5 °C



Graf 22 Závislost modulů tuhosti na frekvenci a obsahu R - materiálu, - 5 °C

SMA 11S, teplota zkoušení: 15 °C					
Obsah R - materiálu	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz
0%	6485	7187	7561	7924	8237
10%	5765	6434	6864	7178	7443
20%	6235	6923	7400	7736	8047

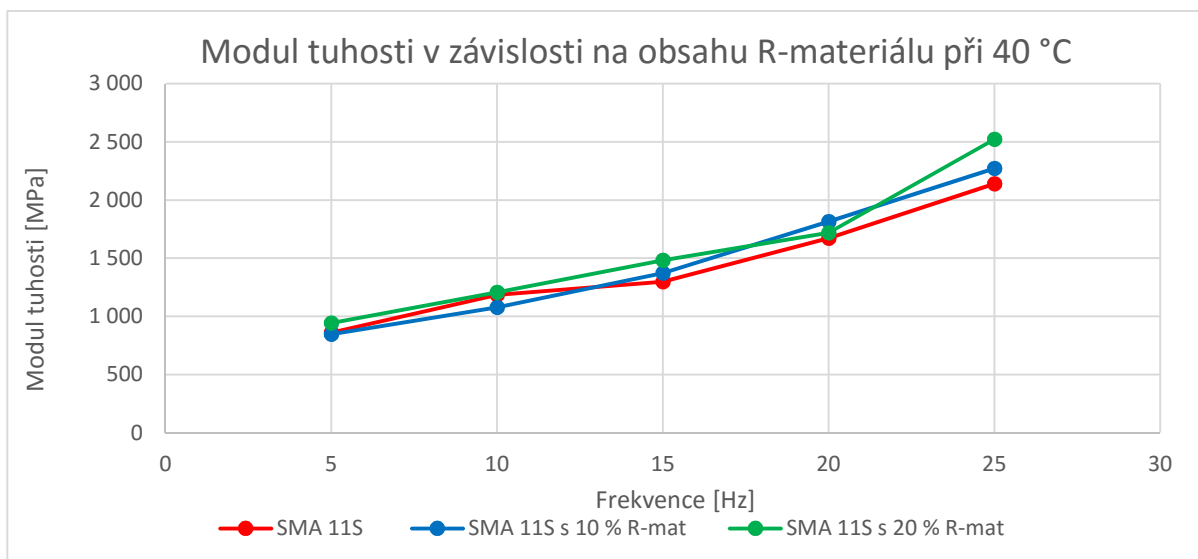
Tab. 53 Souhrnné výsledky měření modulů tuhosti při 15 °C



Graf 23 Závislost modulů tuhosti na frekvenci a obsahu R - materiálu, 15 °C

SMA 11S, teplota zkoušení: 40 °C					
Obsah R - materiálu	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz
0%	859	1184	1297	1671	2141
10%	847	1077	1371	1815	2272
20%	941	1207	1483	1718	2523

Tab. 54 Souhrnné výsledky měření modulů tuhosti při 40 °C



Graf 24 Závislost modulů tuhosti na frekvenci a obsahu R - materiálu, 40 °C

Z naměřených výsledků je zřejmé, že při vzrůstající teplotě klesá modul tuhosti asfaltové směsi a naopak při vzrůstající frekvenci zatěžování modul tuhosti roste. Při měření modulů

tuhosti při teplotách – 5 °C a 15 °C dosáhla nejvyšších hodnot asfaltová směs bez obsahu R – materiálu, asfaltové směsi s obsahem R – materiálu měli nižší moduly tuhosti zřejmě vlivem působení změkčujícího rejuvenátoru Storflux, podobně jako u zkoušky pojiždění kolem. Výsledky měření modulů tuhosti při 40 °C již tak jednoznačné nejsou, ze zkoušky však vyplývá, že moduly tuhosti na měřených asfaltových směsích si byly svými hodnotami blízké, lze tedy říci, že obsah R – materiálu neovlivnil modul tuhosti asfaltových směsí.

4.4.7 Stanovení nízkoteplotních vlastností

4.4.7.1 Naměřené hodnoty

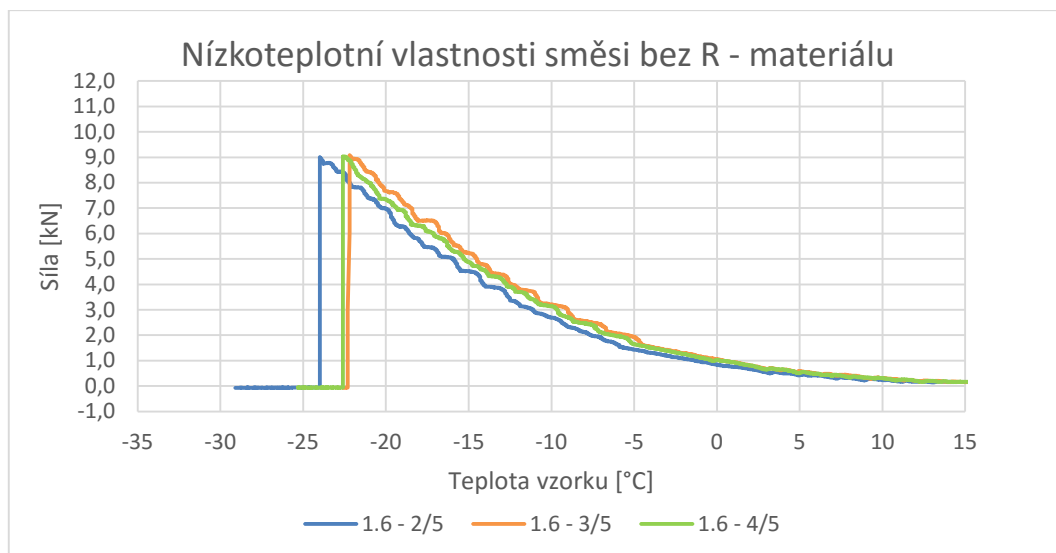
Stanovení nízkoteplotních vlastností asfaltových směsí se provádělo podle postupu popsaném v kapitole 4.3.15 *Zkouška stanovení nízkoteplotních vlastností*, kde je popsána i podstata zkoušky. Ta byla prováděna vždy na třech vzorcích zhotovených nařezáním vyrobené zkušební desky o tloušťce 50 mm pro každou asfaltovou směs, celkem tedy bylo potřeba 9 vzorků o rozměrech 50 x 50 x 200 mm. Tělesa byla vyřezána z desek 1.6, 2.7 a 3.4. Každé těleso bylo temperováno po dobu 15 min při teplotě 10 °C a následný pokles teploty byl 10 °C/ hod. až do porušení vzorku vlivem tahového napětí.

Důležitými parametry, které se zjišťují při stanovování nízkoteplotních vlastností, jsou maximální síla při porušení vzorku, ze které jde určit maximální napětí při porušení, dále teplota v komoře při porušení a především teplota vzorku při porušení.

1.) Asfaltová směs bez R – materiálu

Druh asfaltové směsi	SMA 11S bez R - materiálu			
Zkušební vzorek	1.6 - 2/5	1.6 - 3/5	1.6 - 4/5	Průměr
Max. síla při porušení [kN]	9,01	9,09	9,04	9,04
Max. napětí při porušení [MPa]	3,60	3,63	3,62	3,62
Teplota v komoře při porušení [°C]	-28,3	-26,7	-26,9	-27,30
Teplota vzorku při porušení [°C]	-24,0	-22,2	-22,6	-22,93

Tab. 55 Stanovení nízkoteplotních vlastností asfaltové směsi bez R - materiálu

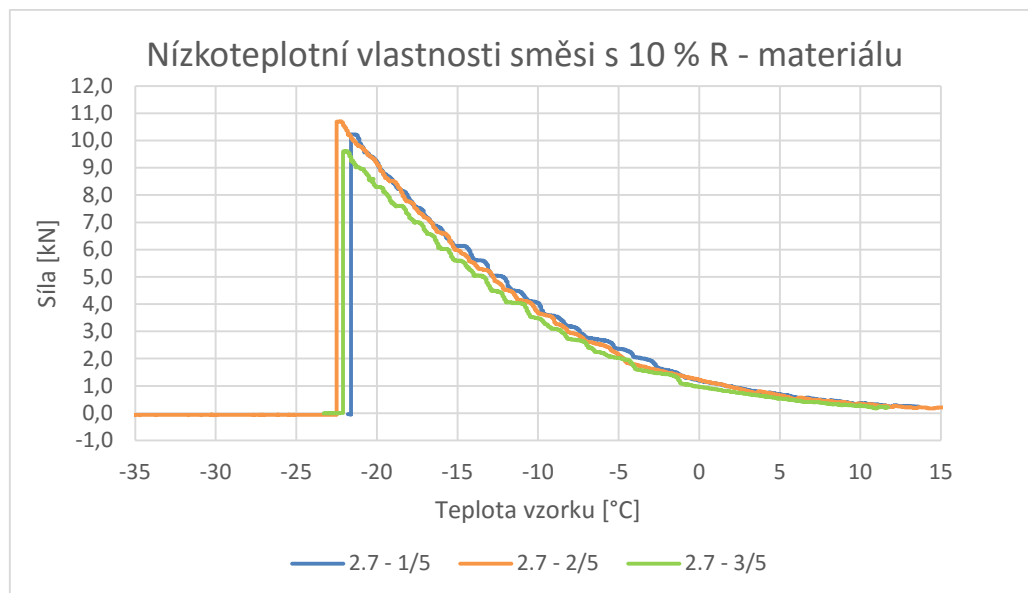


Graf 25 Závislost síly na teplotě vzorku, směs bez R – materiálu

2.) Asfaltová směs s 10 % R – materiálu

Druh asfaltové směsi	SMA 11S s 10 % R - materiálu			
Zkušební vzorek	2.7 - 1/5	2.7 - 2/5	2.7 - 3/5	Průměr
Max. síla při porušení [kN]	10,23	10,71	9,60	10,18
Max. napětí při porušení [MPa]	4,09	4,28	3,84	4,07
Teplota v komoře při porušení [°C]	-26,2	-26,2	-24,7	-25,70
Teplota vzorku při porušení [°C]	-21,5	-22,3	-21,9	-21,90

Tab. 56 Stanovení nízkoteplotních vlastností asfaltové směsi s 10 % R - materiálu

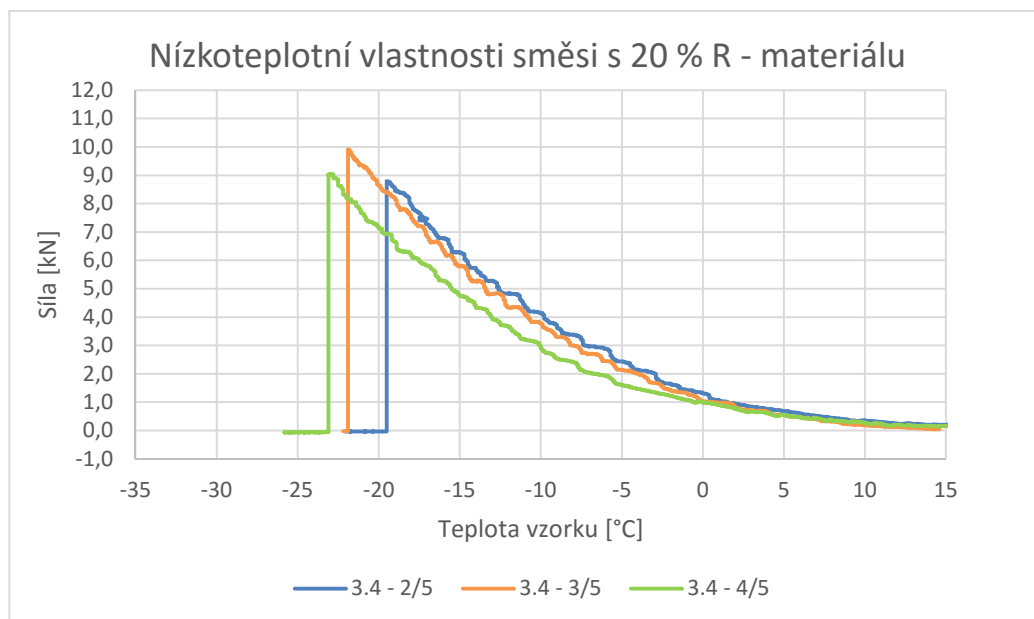


Graf 26 Závislost síly na teplotě vzorku, směs s 10 % R – materiálu

3.) Asfaltová směs s 20 % R - materiálu

Druh asfaltové směsi	SMA 11S s 20 % R - materiálu			
Zkušební vzorek	3.4 - 2/5	3.4 - 3/5	3.4 - 4/5	Průměr
Max. síla při porušení [kN]	9,08	9,91	8,79	9,26
Max. napětí při porušení [MPa]	3,63	3,96	3,51	3,70
Teplota v komoře při porušení [°C]	-25,6	-25,5	-23,2	-24,77
Teplota vzorku při porušení [°C]	-21,4	-21,9	-19,8	-21,03

Tab. 57 Stanovení nízkoteplotních vlastností asfaltové směsi s 20 % R – materiálu



Graf 27 Závislost síly na teplotě vzorku, směs s 20 % R – materiálu

Protokoly s podrobnějšími údaji jsou uvedeny v Příloze F.

4.4.7.2 Vyhodnocení výsledků stanovení nízkoteplotních vlastností

	Obsah R - materiálu [%]		
	0	10	20
Max. síla při porušení [kN]	9,04	10,18	9,26
Max. napětí při porušení [MPa]	3,62	4,07	3,70
Teplota v komoře při porušení [°C]	-27,30	-25,70	-24,77
Teplota vzorku při porušení [°C]	-22,93	-21,90	-21,03

Tab. 58 Celkové srovnání nízkoteplotních vlastností jednotlivých asfaltových směsí SMA 11S

Z výše uvedené tabulky vyplývá, že z hlediska maximální síly porušení či maximálního napětí při porušení, nejhorších výsledků dosahuje směs bez obsahu R – materiálu. Vzorek této směsi se porušil již při síle 9,04 kN, naopak nejlepšího výsledku dosáhla směs s 10 % R – materiálu. Z hlediska teploty vzorku při porušení naopak nejhůře dopadla směs s 20 % R –

materiálu, k jejímu porušení došlo při teplotě $-21,03\text{ }^{\circ}\text{C}$, nejlepší výsledek pak má asfaltová směs bez R – materiálu, a to $-22,93\text{ }^{\circ}\text{C}$.

R – materiál v asfaltových směsích obsahuje zestárlé pojivo, proto směsi s vyšším obsahem R – materiálu by měli mít horší nízkoteplotní vlastnosti. Toto se však příliš nepotvrdilo, protože výsledky všech tří směsí byly podobné.



Obr. 52 Porušení zkušebních vzorků, z leva bez R - materiálu, s 10% R - materiálu a 20 % R – materiálu

5 ZÁVĚR DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem diplomové práce bylo porovnání vlastností asfaltových směsí pro obrusné vrstvy typu SMA 11S s různým obsahem R – materiálu.

V teoretické části diplomové práce byly vysvětleny důležité pojmy týkající se obecně recyklace vozovek, způsoby získávání R – materiálu a druhy recyklací, které se uplatňují v České republice, s důrazem především na recyklaci za horka na obalovně. Vysvětlena byla také problematika použití R – materiálu a jaké jsou možnosti pro zvýšení jeho využívání v ČR.

V praktické části byla nejprve popsána asfaltová směs pro obrusné vrstvy typu SMA a způsob využití R – materiálu v obrusných vrstvách. Poté jsou popsány jednotlivé materiály, které byly v průběhu práce na diplomové práci použity a další kapitola je věnována popisu všech použitých zkoušek a zkušebních metod, které byly během diplomové práce prováděny.

V rámci diplomové práce byly vyrobeny v laboratorních podmínkách celkem tři druhy směsi SMA 11S, první směs bez obsahu R – materiálu, druhá s 10 % R – materiálu a třetí s 20 % R – materiálu. Všechny tři směsi měly téměř shodnou čáru zrnitosti kameniva a obsahovaly stejné množství asfaltového pojiva, a to 6,5 %.

Na modifikovaném asfaltovém pojivu přidávaném do asfaltových směsí, ale také na pojivu získaném extrakcí z R – materiálu, bylo provedeno několik empirických zkoušek. Při zkoušce penetrace jehlou byly zjištěny rozdílné hodnoty penetrace pro modifikované pojivo a pojivo z R – materiálu, což dokazuje zestárnutí pojiva obsaženého v R – materiálu. Stanovení bodu měknutí zjistilo vyšší bod měknutí pojiva z R – materiálu, R – materiál ale stále mohl být použit pro výrobu asfaltových směsí. Stanovení vratné duktility bylo provedeno pouze u modifikovaného pojiva, čímž se dokázala jeho modifikace, pojivo z R – materiálu není modifikované, proto by nedošlo k žádnému měřitelnému výsledku. Prováděla se také zkouška stékavosti asfaltového pojiva, kdy se zjistila, že pouze asfaltová směs s adhezní přísadou a celulózovými vlákny vyhovuje podmínkám stékavosti stanovených normou.

Na asfaltových směsích vyrobených v laboratoři se provedlo několik funkčních zkoušek. První zkouškou bylo stanovení odolnosti proti trvalým deformacím neboli zkouška pojíždění kolem. Při této zkoušce nejlepšího výsledku dosáhla směs bez R – materiálu a nejhoršího směs

s 20 % R – materiálu, avšak všechny asfaltové směsi vyhověly z hlediska naměřených hodnot hodnotám stanovených v normě.

Další funkční zkouška, která byla prováděna, byla zkouška stanovení modulů tuhosti. Tyto moduly byly zjišťovány při teplotách -5 °C, 15 °C, a 40 °C a při frekvencích 5 Hz, 10 Hz, 15 Hz, 20 Hz a 25 Hz. Při zkoušce se zjistilo, že vyšších tuhostí dosahuje směs bez R – materiálu, nejnižších potom směs s obsahem 20 % R – materiálu, což bylo pravděpodobně způsobeno použitím změkčující přísady – rejuvenátoru. Avšak ani u této zkoušky se hodnoty modulů tuhosti významně nelišily, zvláště při měření při 40 °C, lze tedy říci, že obsah R – materiálu významně neovlivnil tuhost asfaltových směsí.

Při zkoušce nízkoteplotních vlastností se předpokládalo, že směsi s vyšším obsahem R – materiálu budou dosahovat horších nízkoteplotních vlastností kvůli obsahu zestárlého pojiva. To se však nepotvrdilo, všechny směsi dosahovaly podobných výsledků. Z hlediska napětí či síly při porušení dosáhla nejhoršího výsledku směs bez R – materiálu, avšak z hlediska teploty porušení nejhůře dopadla směs s 20 % R – materiálu.

Závěrem lze tedy konstatovat, že všechny tři navržené asfaltové směsi dosahovaly podobných výsledků ve vybraných funkčních zkouškách a všechny tyto výsledky vyhovovaly požadavkům stanovených příslušnými normami. Přídavek R – materiálu v množství 10 % a 20 % tedy neovlivnil jejich vlastnosti.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] VALENTIN, Jan, *Recyklace asfaltových vozovek*, Prezentace Katedry silničních staveb, ČVUT, FSv Praha 2012
- [2] KRČMOVÁ, Iva, HÝZL, Petr, VARAUS, Michal, NEKULOVÁ Pavla *Přidávání R – materiálu do asfaltových směsí*, Vysoké učení technické, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací, 2015
- [3] TP 210, *Užití recyklovaných stavebních demoličních materiálů do pozemních komunikací*, MINISTERSTVO DOPRAVY ČR – OSI, 2010
- [4] Stavební stroje AWP s.r.o., [online] © 2014 [cit. 2015-11_14]. Dostupné na <http://www.awpsro.cz/produkty/bomag/silnicni-frezy/>
- [5] ZAJÍČEK, Jan a kolektiv: *Technologie stavby vozovek*, Praha 2014, ISBN 978-80-87438-59-6
- [6] TP 208, *Recyklace konstrukčních vrstev netuhých vozovek za studena*, MINISTERSTVO DOPRAVY ČR – OSI, 2009
- [7] ČNES dopravní stavby a. s., *Studená recyklace*, [online] © 2014 [cit. 2015-4-17]. Dostupné na <http://www.cnes.cz/index.php?clanek=30>
- [8] Silnice a železnice, *Nové technologie v ČR a SR: recyklace asfaltových vozovek za studena na místě* [online] ©2008 [cit. 2015-4-17]. Dostupné na <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/nove-technologie-v-cr-a-sr-recyklace-asfaltovych-vozovek-za-studena-na-miste/>
- [9] TP 209, *Recyklace asfaltových vrstev netuhých vozovek na místě za horka*, MINISTERSTVO DOPRAVY ČR – OSI, 2009
- [10] U. S. Department of Transportation, *Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments Participant's Reference Book* [online] ©2011 [cit. 2015-7-7]. Dostupné na <http://www.fhwa.dot.gov/pavement/recycling/98042/01.cfm>
- [11] TP 208, *Recyklace konstrukčních vrstev netuhých vozovek za studena*, MINISTERSTVO DOPRAVY ČR – OSI, 2009
- [12] VARAUS, Michal: *Recyklace asfaltových směsí na obalovně*, Přednáška 2013
- [13] VARAUS, Michal: *Metodika aplikace R-materiálu v asfaltových směsích*, 2014

- [14] Betonserver, *Skládky sutí, recyklace* [online] ©2006 [cit. 2015-10-12]. Dostupné na http://www.betonserver.cz/_cz/images/foto/foto1_10373.jpeg
- [15] Ammann group, *Přehled obaloven stacionárních, semimobilních a mobilních* [online] ©2014 [cit. 2015-09-09] Dostupné na: http://www.ammann-group.cz/fileadmin/ammann/syncfiles/International/images/ammann_asphalt_mixing-plant_brochure_cz.pdf
- [16] Wirtgen ČR, *Výroba asfaltu*, [online] ©2015 [cit. 2015-09-09] Dostupné na: <http://www.wirtgen.cz/cs/technologies/asphalt-production/>
- [17] *Asphalt mixture plant operations* [online] ©2015 [cit. 2015-09-09] Dostupné na: [http://www.kidefm.org/environment/2.3%20chapter_03\(5\)%203%20Asphalt%20Mixture%20Plant%20Operations%20sheet.pdf](http://www.kidefm.org/environment/2.3%20chapter_03(5)%203%20Asphalt%20Mixture%20Plant%20Operations%20sheet.pdf)
- [18] MONDSCHN, P., *Recyklace za horka v asfaltových směsích – aplikace ve směsích typu SMA*, [online] [cit. 2015-09-01] Dostupné na: http://www.udrzitelnavystavba.cz/WP3_papers/19_Mondschein.pdf
- [19] HÝZL, Petr: *Praktické aplikace v pozemních komunikacích*, Modul 6 – Asfaltové směsi, studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia, VUT Brno 2006
- [20] Stavební výrobek roku, *Silniční modifikované asfalty* [online] ©2010 [cit. 2015-09-01] Dostupné na: www.stavebnivyrobekroku.cz/db_binary_file/other/364
- [21] ČSN EN 13108 – 5: Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály - Část 5: Asfaltový koberec mastixový
- [22] Technické kvalitativní podmínky, *Hutněné asfaltové vrstvy*, Ministerstvo dopravy – odbor infrastruktury, Praha 2008
- [23] CIUR a.s., *Průmyslová vlákna – S-CEL 7 G* [online] ©2015 [cit. 2015-8-12]. Dostupné na <http://www.ciur.cz/clanek/zobrazit/prumyslova-vlakna-s-cel-7-g>
- [24] ČSN EN 12697-28 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 28: Příprava vzorků pro stanovení obsahu pojiva, obsahu vody a zrnitosti
- [25] ŘEZÁČ, Miloslav: *Systémy hospodaření s dopravní infrastrukturou*, Katedra dopravního stavitelství, Fakulta stavební VŠB-TU Ostrava, Přednáška
- [26] ČSN EN 12697-3: Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 3: Znovuzískání extrahovaného pojiva: Rotační vakuové destilační zařízení

- [27] ČSN EN 1426 Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení penetrace jehlou
- [28] ČSN EN 1427 Asfaltové směsi a pojiva – Stanovení bodu měknutí – metoda kroužek a kulička
- [29] Zkoušení stavebních hmot a výrobků, *Hodnocení asfaltů* [online] ©2011 [cit. 2015-8-24]
Dostupné na: http://homel.vsb.cz/khe0007/opory/opory.php?stranka=asfalty_hodnoceni
- [30] ČSN EN 13398: Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení vratné duktility modifikovaných asfaltů
- [31] ČSN EN 12697 – 18 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 18: Stékavost pojiva
- [32] ČSN EN 12697-35+A1 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 35: Laboratorní výroba směsi
- [33] ČSN 1297-5+A1 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 5: Stanovení maximální objemové hmotnosti
- [34] ČSN EN 12697-30+A1: Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 30: Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem
- [35] ČSN 12697-26 Asfaltové směsi – zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 26: Tuhost
- [36] ČSN EN 12697-46 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 46: Nízkoteplotní vlastnosti a tvorba trhlin pomocí jednoosé zkoušky tahem
- [37] ČSN EN 12697-22+A1 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 22: Zkouška pojíždění kolem
- [38] ČSN EN 933-1 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklad silniční frézy [4]	16 -
Obr. 2 Recyklační vlak při technologii recyklace za studena na místě [8]	18 -
Obr. 3 Recyklace na místě za horka (Hot-in-place recycling) [10]	19 -
Obr. 4 Skládka recyklovaného materiálu [14]	22 -
Obr. 5 Šaržová obalovna vybavená paralelním bubnem k předeřívání R – materiálu [15] ..	23 -
Obr. 6 Dvě možnosti použití R - materiálu - velké množství horkého kameniva a studený recyklát nebo horké dávkování recyklátu[15]	24 -
Obr. 7 Kontinuální obalovna využívající metodu Drum – mix[17]	25 -
Obr. 8 SMA - princip	26 -
Obr. 9 Kamenivo Zbečno, frakce 0/2	29 -
Obr. 10 Kamenivo Zbečno, frakce 2/5	29 -
Obr. 11 Kamenivo Zbečno, frakce 4/8	29 -
Obr. 12 Kamenivo Zbečno, frakce 8/11	29 -
Obr. 13 Vápencová moučka použitá v této diplomové práci	29 -
Obr. 14 R – materiál frakce 0/11	30 -
Obr. 15 Froněk spol. s.r.o. – Obalovna BRANT v Rakovníku s nainstalovaným paralelním bubnem pro přidávání R – materiálu	31 -
Obr. 16 Asfaltové pojivo Colflex 45/80 - 55 od firmy COLAS CZ a.s.	32 -
Obr. 17 Adhezni přísada Addibit L300	33 -
Obr. 18 Technické informace o celulózovém vlákně S-CEL 7 G od firmy CIUR a.s. [23]	37 -
Obr. 19 S-CEL 7G (vpravo 100 x zvětšený) [23]	38 -
Obr. 20 Provádění kvartace kameniva – žlábkový dělič	40 -
Obr. 21 Prosévací stroj se sítí pro stanovení zrnitosti kameniva	41 -
Obr. 22 Provádění zkoušky metodou kroužek a kulička [29]	47 -
Obr. 23 Celulózová vlákna před ručním rozmělněním	52 -
Obr. 24 Celulózová vlákna po rozmělnění	52 -
Obr. 25 Míchačka asfaltové směsi použitá při laboratorní výrobě směsí	53 -
Obr. 26 Pyknometry s asfaltovou směsí a destilovanou vodou (objem 500 ml) a s asfaltovou směsí a trichlorethylenem (objem 1000 ml)	54 -
Obr. 27 Zařízení k odstranění zachyceného vzduchu při stanovení max. objemové hmotnosti pomocí vody	55 -

Obr. 28 Snížení tlaku při odstraňování vzduchových bublin	- 55 -
Obr. 29 Vodní lázeň s pyknometrem	- 56 -
Obr. 30 Rázový zhutňovač na výrobu zkušebních těles	- 58 -
Obr. 31 Rozměry Marshallova zkušebního tělesa	- 59 -
Obr. 32 Marshallova tělesa zhotovená rázovým zhutňovačem	- 60 -
Obr. 33 Hutnicí stroj před hutněním a po naplnění asfaltovou směsí	- 61 -
Obr. 34 Hotová zkušební deska s rozměry 320 x 260 x 50 mm.....	- 62 -
Obr. 35 Zkušební zařízení s vloženými zkušebními vzorky	- 64 -
Obr. 36 Zkušební pracoviště pro měření modulů tuhosti	- 66 -
Obr. 37 Zkušební těleso s předepsanými rozměry pro měření modulů tuhosti	- 67 -
Obr. 38 Uložení tělesa ve zkušebním zařízení	- 68 -
Obr. 39 Rozměry zkušebního tělesa pro stanovení nízkoteplotních vlastností, v mm	- 70 -
Obr. 40 Vyřezaná zkušební tělesa pro stanovení nízkoteplotních vlastností.....	- 70 -
Obr. 41 Nalepený vzorek v centrovacím rámu	- 71 -
Obr. 42 Umístění zkušebního tělesa v zařízení pro zjišťování nízkoteplotních vlastností	- 72 -
Obr. 43 Stékavost pojiva směsi č. 1.....	- 89 -
Obr. 44 Stékavost pojiva směsi č. 2	- 89 -
Obr. 45 Stékavost pojiva směsi č. 3	- 89 -
Obr. 46 Stékavost pojiva směsi č. 4	- 89 -
Obr. 47 Desky bez R - materiálu po zkoušce pojíždění kolem.....	- 92 -
Obr. 48 Deska s 10 % R - materiálu po zkoušce pojíždění kolem	- 94 -
Obr. 49 Deska s 20 % R - materiálu po zkoušce pojíždění kolem	- 95 -
Obr. 50 Řezání zkušebních těles pomocí diamantového kotouče.	- 98 -
Obr. 51 Zkušební tělesa tvaru trapezoidu pro měření modulu tuhosti asfaltové směsi.....	- 99 -
Obr. 52 Porušení zkušebních vzorků, z leva bez R - materiálu, s 10% R - materiálu a 20 % R – materiálu	- 109 -

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Užití recyklovaných asfaltových vrstev v konstrukci vozovky [9]	20 -
Tab. 2 Sítový rozbor jednotlivých frakcí kameniva v gramech (zprůměrováno)	28 -
Tab. 3 Sítový rozbor jednotlivých frakcí kameniva v procentech (zprůměrováno)	28 -
Tab. 4 Sítový rozbor jednotlivých frakcí R-materiálu v gramech a procentech (zprůměrováno)	30 -
Tab. 5 Sítový rozbor vlákna S-CEL 7G dle firmy CIUR a.s.[23]	37 -
Tab. 6 Výpočet parametrů modulu tuhosti [35]	69 -
Tab. 7 Výsledky zkoušek měření bodu měknutí, vratné duktility a penetrace jehlou	73 -
Tab. 10 Procentuální zastoupení jednotlivých frakcí kameniva a celulózových vláken v asfaltové směsi pro první návrh	74 -
Tab. 11 Obsah asfaltového pojiva a adhezní přísady v asfaltové směsi pro první návrh	74 -
Tab. 12 Max. objemové hmotnosti asfaltové směsi bez R - materiálu s 6,3% pojiva	75 -
Tab. 13 Mezerovitosti zkušebních těles bez R - materiálu s 6,3 % pojiva (v %)	76 -
Tab. 14 Objemová hmotnost asfaltové směsi bez R - materiálu s 6,3 % pojiva (v kg/m ³)	76 -
Tab. 15 Procentuální zastoupení jednotlivých frakcí kameniva a celulózových vláken v asfaltové směsi pro druhý návrh	77 -
Tab. 16 Obsah asfaltového pojiva a adhezní přísady v asfaltové směsi pro druhý návrh	77 -
Tab. 17 Mezerovitosti zkušebních těles bez R - materiálu s 6,5 % pojiva	78 -
Tab. 18 Mezerovitosti zkušebních těles bez R - materiálu s 6,5 % pojiva (v %)	79 -
Tab. 19 Objemová hmotnost směsi bez R - materiálu s 6,5 % pojiva (v kg/m ³)	79 -
Tab. 20 Procentuální zastoupení jednotlivých frakcí kameniva a celulózových vláken v asfaltové směsi pro první návrh	80 -
Tab. 21 Procentuální zastoupení asfaltového pojiva a adhezní přísady v asfaltové směsi pro první návrh	80 -
Tab. 22 Maximální objemová hmotnost asfaltové směsi s 10 % R-mat. a 6,3 % pojiva	81 -
Tab. 23 Objemová hmotnost asfaltové směsi s 10 % R - materiálu a 6,3 % pojiva (v kg/m ³) .	82 -
Tab. 24 Mezerovitost asfaltové směsi s 10 % R - materiálu a 6,2 % pojiv (v %)	82 -
Tab. 25 Procentuální zastoupení jednotlivých frakcí kameniva a celulózových vláken v asfaltové směsi pro druhý návrh	82 -
Tab. 26 Procentuální zastoupení asfaltového pojiva a adhezní přísady v asfaltové směsi pro druhý návrh	83 -

Tab. 27 Čára zrnitosti pro 2. návrh směsi s 10 % R - materiálu	- 83 -
Tab. 28 Maximální objemová hmotnost asfaltové směsi s 10 % R-mat. a 6,5 % pojiva	- 84 -
Tab. 29 Objemová hmotnost asfaltové směsi s 10 % R - materiálu a 6,5 % pojiva (v kg/m ³) .	- 84 -
Tab. 30 Mezerovitost asfaltové směsi s 10 % R - materiálu a 6,5 % pojiva (v %).....	- 84 -
Tab. 31 Procentuální zastoupení jednotlivých frakcí kameniva a celulózových vláken v asfaltové směsi	- 85 -
Tab. 32 Procentuální zastoupení asfaltového pojiva a adhezní přísady v asfaltové směsi.....	- 85 -
Tab. 33 Maximální objemová hmotnost asfaltové směsi s 20 % R – materiálu.....	- 86 -
Tab. 34 Objemová hmotnost asfaltové směsi s 20 % R – materiálu (v kg/m ³).....	- 87 -
Tab. 35 Mezerovitost asfaltové směsi s 20 % R – materiálu (v %)	- 87 -
Tab. 8 Označení zkoušených vzorků asfaltových směsí	- 88 -
Tab. 9 Stékavost asfaltového pojiva v závislosti na použitých přísadách.....	- 89 -
Tab. 36 Vlastnosti desek bez R – materiálu	- 90 -
Tab. 37 Vlastnosti desek s 10 % R - materiálu	- 91 -
Tab. 38 Vlastnosti desek s 20 % R – materiálu	- 91 -
Tab. 39 Naměřené hodnoty při zkoušce odolnosti vůči trvalým deformacím, směs bez R - materiálu	- 92 -
Tab. 40 Naměřené hodnoty při zkoušce odolnosti vůči trvalým deformacím, směs s 10 % R - materiálu	- 93 -
Tab. 41 Naměřené hodnoty při zkoušce odolnosti vůči trvalým deformacím, směs s 20 % R - materiálu	- 94 -
Tab. 42 Celkové srovnání hodnot naměřených zkouškou pojíždění kolem	- 97 -
Tab. 43 Moduly tuhosti pro směs bez R - materiálu při teplotě -5 °C.....	- 99 -
Tab. 44 Moduly tuhosti pro směs s 10 % R - materiálu při teplotě - 5 °C	- 100 -
Tab. 45 Moduly tuhosti pro směs s 20 % R – materiálu při – 5 °C	- 100 -
Tab. 46 Moduly tuhosti pro směs bez R - materiálu při 15 °C.....	- 101 -
Tab. 47 Moduly tuhosti pro směs s 10 % R - materiálu při 15 °C.....	- 101 -
Tab. 48 Moduly tuhosti pro směs s 20 % R - materiálu při 15 °C.....	- 102 -
Tab. 49 Moduly tuhosti pro směs bez R - materiálu při 40 °C.....	- 102 -
Tab. 50 Moduly tuhosti směsi s 20 % R - materiálu při 40 °C.....	- 103 -
Tab. 51 Moduly tuhosti směsi s 20 % R - materiálu při 40 °C.....	- 103 -
Tab. 52 Souhrnné výsledky měření modulů tuhosti při - 5°C.....	- 104 -

Tab. 53 Souhrnné výsledky měření modulů tuhosti při 15 °C.....	- 104 -
Tab. 54 Souhrnné výsledky měření modulů tuhosti při 40 °C.....	- 105 -
Tab. 55 Stanovení nízkoteplotních vlastností asfaltové směsi bez R - materiálu	- 106 -
Tab. 56 Stanovení nízkoteplotních vlastností asfaltové směsi s 10 % R - materiálu.....	- 107 -
Tab. 57 Stanovení nízkoteplotních vlastností asfaltové směsi s 20 % R – materiálu	- 108 -
Tab. 58 Celkové srovnání nízkoteplotních vlastností jednotlivých asfaltových směsí SMA 11S.....	- 108 -

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Čára zrnitosti použitého R - materiálu.....	- 31 -
Graf 2 Čára zrnitosti pro 1. návrh směsi bez R – materiálu.....	- 75 -
Graf 3 Čára zrnitosti pro 2. návrh směsi bez R - materiálu.....	- 78 -
Graf 4 Čára zrnitosti pro 1. návrh asfaltové směsi s 10 % R - materiálu	- 81 -
Graf 5 Čára zrnitosti kameniva v asfaltové směsi s 20 % R - materiálu a 6,5 % pojiva	- 86 -
Graf 6 Srovnání čar zrnitosti jednotlivých asfaltových směsí se 6,5 % asfaltového pojiva	- 88 -
Graf 7 Závislost hloubky trvalé deformace na počtu vyjížděcích cyklů, směs bez R – materiálu	- 92 -
Graf 8 Závislost hloubky trvalé deformace na počtu vyjížděcích cyklů, směs s 10 % R – materiálu.	- 93 -
Graf 9 Závislost hloubky trvalé deformace na počtu vyjížděcích cyklů, směs s 20 % R – materiálu.	- 95 -
Graf 10 Průměrná hloubka trvalé deformace pro asfaltovou směs bez R – materiálu.....	- 96 -
Graf 11 Průměrná hloubka trvalé deformace pro asfaltovou směs s 20 % R – materiálu	- 96 -
Graf 12 Průměrná hloubka trvalé deformace ro asfaltovou směs s 20 % R – materiálu	- 97 -
Graf 13 Závislost modulů tuhosti na frekvenci, směs bez R - materiálu při - 5 °C	- 99 -
Graf 14 Závislost modulů tuhosti na frekvenci, směs s 10 % R - materiálu při - 5 °C.....	- 100 -
Graf 15 Závislost modulů tuhosti na frekvenci, směs s 20 % R – materiálu při - 5 °C.....	- 100 -
Graf 16 Závislost modulu tuhosti na frekvenci, směs bez R - materiálu při 15 °C	- 101 -
Graf 17 Závislost modulů tuhosti na frekvenci, směs s 10 % R - materiálu při 15 °C.....	- 101 -
Graf 18 Závislost modulů tuhosti na frekvenci, směs s 20 % R - materiálu při 15 °C.....	- 102 -
Graf 19 Závislost modulů tuhosti na frekvenci, směs bez R - materiálu při 40 °C	- 102 -
Graf 20 Závislost modulů tuhosti na frekvenci, směs s 10 % R - materiálu při 40 °C.....	- 103 -
Graf 21 Závislost modulů tuhosti na frekvenci, směs s 20 % R - materiálu při 40 °C.....	- 103 -
Graf 22 Závislost modulů tuhosti na frekvenci a obsahu R - materiálu, - 5 °C.....	- 104 -
Graf 23 Závislost modulů tuhosti na frekvenci a obsahu R - materiálu, 15 °C.....	- 105 -
Graf 24 Závislost modulů tuhosti na frekvenci a obsahu R - materiálu, 40 °C.....	- 105 -
Graf 25 Závislost síly na teplotě vzorku, směs bez R – materiálu	- 107 -
Graf 26 Závislost síly na teplotě vzorku, směs s 10 % R – materiálu.....	- 107 -
Graf 27 Závislost síly na teplotě vzorku, směs s 20 % R – materiálu.....	- 108 -

SEZNAM ROVNIC

Rovnice 1 Výpočet dávkování rejuvenátoru	- 35 -
Rovnice 2 Výpočet procenta jemných částic ze síťového rozboru	- 42 -
Rovnice 3 Výpočet hmotnosti extrahovaného pojiva	- 43 -
Rovnice 4 Výpočet vratné duktility modifikovaných asfaltů	- 48 -
Rovnice 5 Výpočet stečeného materiálu při zkoušce stékavosti pojiva	- 50 -
Rovnice 6 Výpočet zbytku na síti s velikostí 1 mm při zkoušce stékavosti pojiva	- 50 -
Rovnice 7 Výpočet maximální objemové hmotnosti	- 57 -
Rovnice 8 Výpočet objemové hmotnosti zkušebního tělesa	- 63 -
Rovnice 9 Výpočet mezerovitosti zkušebního tělesa	- 63 -
Rovnice 10 Výpočet poměrné hloubky vyjeté koleje	- 65 -
Rovnice 11 Výpočet přírůstku hloubky vyjeté koleje	- 65 -
Rovnice 12 Výpočet reálné složky modulu tuhosti	- 68 -
Rovnice 13 Výpočet imaginární složky modulu tuhosti	- 68 -
Rovnice 14 Výpočet modulu tuhosti	- 69 -

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Φ	průměr
°C	stupně Celsia
ČR	Česká republika
g	gram
Hz	Hertz
kg/m ³	kilogram na metr krychlový
kPa	kilopascal
max.	maximálně
min.	minimálně
mm	milimetr
MPa	megapascal
Obr.	obrázek
p. j.	penetrační jednotka
PE	polyetylen
PRD _{AIR}	poměrná hloubka vyjeté koleje
SMA 11S	asfaltový koberec mastixový s maximální velikostí kameniva 11 mm a se zvýšenou odolností proti tvorbě trvalých deformací
Tab.	tabulka
WTS _{AIR}	přírůstek hloubky poměrné koleje

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A

- Stanovení maximální objemové hmotnosti asfaltové směsi
- Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa
- Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí

Příloha B

- Rozměry, objemová hmotnost a mezerovitost zkušebních desek

Příloha C

- Odolnost proti trvalým deformacím – zkouška pojíždění kolem

Příloha D

- Rozměry zkušebních těles pro stanovení modulů tuhosti

Příloha E

- Stanovení modulů tuhosti

Příloha F

- Nízkoteplotní vlastnosti

Příloha G

- Stékavost asfaltového pojiva

Příloha A

Druh asfaltové směsi: **SMA 11S, 1. návrh asfaltové směsi bez R - materiálu**

Zkoušeno: **20. 5. 2015**

Označení vzorku		1.
Množství pojiva	%	6,3
Označení pyknometru		II.
Pyknometr prázdný m_1	g	382,9
Pyknometr + vzorek m_2	g	816,2
Pyknometr + vzorek+ rozpouštědlo	g	1523,4
Objem pyknometru V_p	m^3	654,5
Hustota rozpouštědla ρ_w	kg/m^3	1453
Teplota teploty	$^{\circ}C$	25
Navážka asf. směsi	g	433,3
Maximální objemová hmotnost ρ_{mv}	kg/m^3	2 583

Teplota hutnění	$^{\circ}C$	155
Počet úderů		2 x 50

Zkušební těleso označení		1.1	1.2	1.3	Průměr
Hmotnost, suchá	g	1160,5	1163,8	1167,9	1164,1
Hmotnost, pod vodou	g	685,9	695,5	695,6	692,3
Hmotnost, vlhká	g	1163,1	1165,4	1170,6	1166,4
Objemová hmotnost $\rho_{(bssd)}$	kg/m^3	2428,2	2473,0	2455,0	2452,1
Mezerovitost	%	6,0	4,2	4,9	5,0

Zkušební těleso označení		1.1	1.2	1.3	Průměr
Hmotnost, suché	g	1160,5	1163,8	1167,9	1164,1
Výška	mm	62,07	60,39	62,96	
		61,98	61,43	63,21	
		62,07	61,07	63,22	
Průměrná výška	mm	62,04	60,96	63,13	62,04
Průměr	mm	101,74	101,74	101,70	
		102,11	101,81	101,75	
		101,70	101,88	101,65	
Průměrný průměr tělesa	mm	101,85	101,81	101,70	101,79

Druh asfaltové směsi: **SMA 11S, 1. návrh asfaltové směsi bez R - materiálu**
 Zkoušeno: **20. 5. 2015**

Označení vzorku		1.
Množství pojiva	%	6,3
Označení pyknometru		I.
Pyknometr prázdný m_1	g	379,3
Pyknometr + vzorek m_2	g	964,9
Pyknometr + vzorek+ rozpouštědlo	g	1391,4
Objem pyknometru V_p	m^3	654,699
Hustota rozpouštědla ρ_w	kg/m^3	997
Teplota temperace	$^{\circ}C$	25
Navážka asf. směsi	g	585,6
Maximální objemová hmotnost ρ_{mv}	kg/m^3	2 580

Teplota hutnění	$^{\circ}C$	155
Počet úderů		2 x 50

Zkušební těleso označení		1.1	1.2	1.3	Průměr
Hmotnost, suchá	g	1160,5	1163,8	1167,9	1164,1
Hmotnost, pod vodou	g	685,9	695,5	695,6	692,3
Hmotnost, vlhká	g	1163,1	1165,4	1170,6	1166,4
Objemová hmotnost $\rho_{(bssd)}$	kg/m^3	2428,2	2473,0	2455,0	2452,1
Mezerovitost	%	5,9	4,2	4,9	5,0

Zkušební těleso označení		1.1	1.2	1.3	Průměr
Hmotnost, suché	g	1160,5	1163,8	1167,9	1164,1
Výška	mm	62,07	60,39	62,96	
		61,98	61,43	63,21	
		62,07	61,07	63,22	
Průměrná výška	mm	62,04	60,96	63,13	62,04
Průměr	mm	101,74	101,74	101,70	
		102,11	101,81	101,75	
		101,70	101,88	101,65	
Průměrný průměr tělesa	mm	101,85	101,81	101,70	101,79

Druh asfaltové směsi: **SMA 11S, 1. návrh asfaltové směsi bez R - materiálu**
 Zkoušeno: **22. 5. 2015**

Označení vzorku		1.
Množství pojiva	%	6,3
Označení pyknometru		I.
Pyknometr prázdný m_1	g	379,3
Pyknometr + vzorek m_2	g	931,0
Pyknometr + vzorek+ rozpouštědlo	g	1370,0
Objem pyknometru V_p	m^3	654,699
Hustota rozpouštědla ρ_w	kg/m^3	997
Teplota temperace	$^{\circ}C$	25
Navážka asf. směsi	g	551,7
Maximální objemová hmotnost ρ_{mv}	kg/m^3	2 573

Teplota hutnění	$^{\circ}C$	155
Počet úderů		2 x 50

Zkušební těleso označení		1.1	1.2	1.3	Průměr
Hmotnost, suchá	g	1160,5	1163,8	1167,9	1164,1
Hmotnost, pod vodou	g	685,9	695,5	695,6	692,3
Hmotnost, vlhká	g	1163,1	1165,4	1170,6	1166,4
Objemová hmotnost $\rho_{(bssd)}$	kg/m^3	2428,2	2473,0	2455,0	2452,1
Mezerovitost	%	5,6	3,9	4,6	4,7

Zkušební těleso označení		1.1	1.2	1.3	Průměr
Hmotnost, suché	g	1160,5	1163,8	1167,9	1164,1
Výška	mm	62,07	60,39	62,96	
		61,98	61,43	63,21	
		62,07	61,07	63,22	
Průměrná výška	mm	62,04	60,96	63,13	62,04
Průměr	mm	101,74	101,74	101,70	
		102,11	101,81	101,75	
		101,70	101,88	101,65	
Průměrný průměr tělesa	mm	101,85	101,81	101,70	101,79

Druh asfaltové směsi: **SMA 11S, 1. návrh asfaltové směsi s 10 % R - materiálu**

Zkoušeno: **11. 6. 2015**

Označení vzorku		2.
Množství pojiva	%	6,3
Označení pyknometru		I.
Pyknometr prázdný m_1	g	379,3
Pyknometr + vzorek m_2	g	853,1
Pyknometr + vzorek+ rozpouštědlo	g	1537,5
Objem pyknometru V_p	m^3	654,699
Hustota rozpouštědla ρ_w	kg/m^3	1453
Teplota temperace	$^{\circ}C$	25
Navážka asf. směsi	g	473,8
Maximální objemová hmotnost ρ_{mv}	kg/m^3	2 580

Teplota hutnění	$^{\circ}C$	155
Počet úderů		2 x 50

Zkušební těleso označení		2.1	2.2	2.3	Průměr
Hmotnost, suchá	g	1177,3	1171,3	1176,0	1174,9
Hmotnost, pod vodou	1178,9	698,8	698,8	695,5	697,7
Hmotnost, vlhká	g	1178,9	1173,1	1178,0	1176,7
Objemová hmotnost $\rho_{(bssd)}$	kg/m^3	2448,5	2465,8	2433,6	2449,3
Mezerovitost	%	5,1	4,4	5,7	5,0

Zkušební těleso označení		2.1	2.2	2.3	Průměr
Hmotnost, suché	g	1177,3	1171,3	1176,0	1174,9
Výška	mm	60,93	60,76	62,51	
		61,14	60,80	62,36	
		61,13	61,03	62,43	
Průměrná výška	mm	61,07	60,86	62,43	61,45
Průměr	mm	101,53	102,30	101,95	
		101,86	101,77	101,97	
		101,65	102,02	101,94	
Průměrný průměr tělesa	mm	101,68	102,03	101,95	101,89

Druh asfaltové směsi: **SMA 11S, 1. návrh asfaltové směsi s 10 % R - materiálu**

Zkoušeno: **10. 6.2015**

Označení vzorku		2.
Množství pojiva	%	6,3
Označení pyknometru		I.
Pyknometr prázdný m_1	g	379,3
Pyknometr + vzorek m_2	g	1002,2
Pyknometr + vzorek+ rozpouštědlo	g	1412,8
Objem pyknometru V_p	m^3	654,699
Hustota rozpouštědla ρ_w	kg/m^3	997
Teplota temperace	$^{\circ}C$	25
Navážka asf. směsi	g	622,9
Maximální objemová hmotnost ρ_{mv}	kg/m^3	2 564

Teplota hutnění	$^{\circ}C$	155
Počet úderů		2 x 50

Zkušební těleso označení		2.1	2.2	2.3	Průměr
Hmotnost, suchá	g	1177,3	1171,3	1176,0	1174,9
Hmotnost, pod vodou	1178,9	698,8	698,8	695,5	697,7
Hmotnost, vlhká	g	1178,9	1173,1	1178,0	1176,7
Objemová hmotnost $\rho_{(bssd)}$	kg/m^3	2448,5	2465,8	2433,6	2449,3
Mezerovitost	%	4,5	3,8	5,1	4,5

Zkušební těleso označení		2.1	2.2	2.3	Průměr
Hmotnost, suché	g	1177,3	1171,3	1176,0	1174,9
Výška	mm	60,93	60,76	62,51	
		61,14	60,80	62,36	
		61,13	61,03	62,43	
Průměrná výška	mm	61,07	60,86	62,43	61,45
Průměr	mm	101,53	102,30	101,95	
		101,86	101,77	101,97	
		101,65	102,02	101,94	
Průměrný průměr tělesa	mm	101,68	102,03	101,95	101,89

Druh asfaltové směsi: **SMA 11S, 1. návrh asfaltové směsi s 10 % R - materiálu**

Zkoušeno: **10. 6.2015**

Označení vzorku		2.
Množství pojiva	%	6,3
Označení pyknometru		I.
Pyknometr prázdný m_1	g	379,3
Pyknometr + vzorek m_2	g	953,3
Pyknometr + vzorek + rozpouštědlo	g	1383,0
Objem pyknometru V_p	m^3	654,699
Hustota rozpouštědla ρ_w	kg/m^3	997
Teplota temperace	$^{\circ}C$	25
Navážka asf. směsi	g	574,0
Maximální objemová hmotnost ρ_{mv}	kg/m^3	2 565

Teplota hutnění	$^{\circ}C$	155
Počet úderů		2 x 50

Zkušební těleso označení		2.1	2.2	2.3	Průměr
Hmotnost, suchá	g	1177,3	1171,3	1176,0	1174,9
Hmotnost, pod vodou	1178,9	698,8	698,8	695,5	697,7
Hmotnost, vlhká	g	1178,9	1173,1	1178,0	1176,7
Objemová hmotnost $\rho_{(bssd)}$	kg/m^3	2448,5	2465,8	2433,6	2449,3
Mezerovitost	%	4,6	3,9	5,1	4,5

Zkušební těleso označení		2.1	2.2	2.3	Průměr
Hmotnost, suché	g	1177,3	1171,3	1176,0	1174,9
Výška	mm	60,93	60,76	62,51	
		61,14	60,80	62,36	
		61,13	61,03	62,43	
Průměrná výška	mm	61,07	60,86	62,43	61,45
Průměr	mm	101,53	102,30	101,95	
		101,86	101,77	101,97	
		101,65	102,02	101,94	
Průměrný průměr tělesa	mm	101,68	102,03	101,95	101,89

Druh asfaltové směsi: **SMA 11S, 2. návrh asfaltové směsi, bez R - materiálu**
 Zkoušeno: **18. 8. 2015**

Označení vzorku		I.
Množství pojiva	%	6,5
Označení pyknometru		II.
Pyknometr prázdný m_1	g	362,6
Pyknometr + vzorek m_2	g	868,1
Pyknometr + vzorek + rozpouštědlo	g	1528,3
Objem pyknometru V_p	m^3	650,968
Hustota rozpouštědla ρ_w	kg/m^3	1453
Teplota temperace	$^{\circ}C$	25
Navážka asf. směsi	g	505,5
Maximální objemová hmotnost ρ_{mv}	kg/m^3	2 571

Teplota hutnění	$^{\circ}C$	155
Počet úderů		2 x 50

Zkušební těleso označení		I.I	I.II	I.III	Průměr
Hmotnost, suchá	g	1182,7	1284,6	1250,3	1239,2
Hmotnost, pod vodou	g	701,3	767,8	748,5	739,2
Hmotnost, vlhká	g	1186,6	1286,8	1252,8	1242,1
Objemová hmotnost $\rho_{(bssd)}$	kg/m^3	2433,4	2471,4	2475,6	2460,1
Mezerovitost	%	5,4	3,9	3,7	4,3

Zkušební těleso označení		I.I	I.II	I.III	Průměr
Výška	mm	63,20	66,28	64,32	
		63,30	66,40	64,28	
		63,00	66,76	64,32	
Průměrná výška	mm	63,17	66,48	64,31	64,65
Průměr	mm	101,80	102,54	102,00	
		101,82	102,08	101,98	
		101,76	102,16	102,10	
Průměrný průměr tělesa	mm	101,79	102,26	102,03	102,03

Druh asfaltové směsi: **SMA 11S, 2. návrh asfaltové směsi, bez R - materiálu**
 Zkoušeno: **3. 8. 2015**

Označení vzorku		I.
Množství pojiva	%	6,5
Označení pyknometru		II.
Pyknometr prázdný m_1	g	362,6
Pyknometr + vzorek m_2	g	968,1
Pyknometr + vzorek + rozpouštědlo	g	1381,3
Objem pyknometru V_p	m^3	650,968
Hustota rozpouštědla ρ_w	kg/m^3	997
Teplota temperace	$^{\circ}C$	25
Navážka asf. směsi	g	605,5
Maximální objemová hmotnost ρ_{mv}	kg/m^3	2 560

Teplota hutnění	$^{\circ}C$	155
Počet úderů		2 x 50

Zkušební těleso označení		I.I	I.II	I.III	Průměr
Hmotnost, suchá	g	1191,2	1175,0	1190,0	1185,4
Hmotnost, pod vodou	g	705,0	700,4	708,1	704,5
Hmotnost, vlhká	g	1193,1	1176,4	1190,7	1186,7
Objemová hmotnost $\rho_{(bssd)}$	kg/m^3	2436,8	2464,8	2462,1	2454,6
Mezerovitost	%	4,8	3,7	3,8	4,1

Zkušební těleso označení		I.I	I.II	I.III	Průměr
Výška	mm	63,58	61,58	61,90	
		63,42	61,60	62,02	
		63,56	61,70	62,20	
Průměrná výška	mm	63,52	61,63	62,04	62,40
Průměr	mm	101,98	102,00	102,18	
		101,78	102,02	102,12	
		101,90	101,88	102,06	
Průměrný průměr tělesa	mm	101,89	101,97	102,12	101,99

Druh asfaltové směsi: **SMA 11S, 2. návrh asfaltové směsi, bez R - materiálu**

Zkoušeno: **18. 8. 2015**

Označení vzorku		I.
Množství pojiva	%	6,5
Označení pyknometru		I
Pyknometr prázdný m_1	g	379,3
Pyknometr + vzorek m_2	g	939,2
Pyknometr + vzorek + rozpouštědlo	g	1374,6
Objem pyknometru V_p	m ³	654,699
Hustota rozpouštědla ρ_w	kg/m ³	997
Teplota temperace	°C	25
Navážka asf. směsi	g	559,9
Maximální objemová hmotnost ρ_{mv}	kg/m³	2 568

Teplota hutnění	°C	155
Počet úderů		2 x 50

Zkušební těleso označení		I.I	I.II	I.III	Průměr
Hmotnost, suchá	g	1182,7	1284,6	1250,3	1239,2
Hmotnost, pod vodou	g	701,3	767,8	748,5	739,2
Hmotnost, vlhká	g	1186,6	1286,8	1252,8	1242,1
Objemová hmotnost $\rho_{(bssd)}$	kg/m³	2433,4	2471,4	2475,6	2460,1
Mezerovitost	%	5,2	3,8	3,6	4,2

Zkušební těleso označení		I.I	I.II	I.III	Průměr
Výška	mm	63,20	66,28	64,32	
		63,30	66,40	64,28	
		63,00	66,76	64,32	
Průměrná výška	mm	63,17	66,48	64,31	64,65
Průměr	mm	101,80	102,54	102,00	
		101,82	102,08	101,98	
		101,76	102,16	102,10	
Průměrný průměr tělesa	mm	101,79	102,26	102,03	102,03

Druh asfaltové směsi: **SMA 11S, 2. návrh asfaltové směsi, 10 % R - materiálu**
 Zkoušeno: **31. 7. 2015**

Označení vzorku		II.
Množství pojiva	%	6,5
Označení pyknometru		VII.
Pyknometr prázdný m_1	g	380,1
Pyknometr + vzorek m_2	g	805,6
Pyknometr + vzorek + rozpouštědlo	g	1510,8
Objem pyknometru V_p	m ³	650,400
Hustota rozpouštědla ρ_w	kg/m ³	1453
Teplota temperace	°C	25
Navážka asf. směsi	g	425,5
Maximální objemová hmotnost ρ_{mv}	kg/m³	2 578

Teplota hutnění	°C	155
Počet úderů		2 x 50

Zkušební těleso označení		II.I	II.II	II.III	Průměr
Hmotnost, suchá	g	1193,5	1181,3	1177,8	1184,2
Hmotnost, pod vodou	g	714,9	705,9	705,2	708,7
Hmotnost, vlhká	g	1195,8	1183,7	1180,6	1186,7
Objemová hmotnost $\rho_{(bssd)}$	kg/m³	2478,1	2468,7	2473,8	2473,5
Mezerovitost	%	3,9	4,2	4,0	4,0

Zkušební těleso označení		II.I	II.II	II.III	Průměr
Výška	mm	61,04	61,12	60,50	
		61,12	61,29	60,63	
		61,16	60,86	60,55	
Průměrná výška	mm	61,11	61,09	60,56	60,92
Průměr	mm	101,15	101,86	101,96	
		101,18	101,95	102,06	
		101,69	101,83	102,15	
Průměrný průměr tělesa	mm	101,34	101,88	102,06	101,76

Druh asfaltové směsi: **SMA 11S, 2. návrh asfaltové směsi, 10 % R - materiálu**
 Zkoušeno: **12. 8. 2015**

Označení vzorku		II.
Množství pojiva	%	6,5
Označení pyknometru		I.
Pyknometr prázdný m_1	g	379,3
Pyknometr + vzorek m_2	g	950,8
Pyknometr + vzorek + rozpouštědlo	g	1381,0
Objem pyknometru V_p	m ³	654,699
Hustota rozpouštědla ρ_w	kg/m ³	997
Teplota temperace	°C	25
Navážka asf. směsi	g	571,5
Maximální objemová hmotnost ρ_{mv}	kg/m³	2 560

Teplota hutnění	°C	155
Počet úderů		2 x 50

Zkušební těleso označení		II.I	II.II	II.III	Průměr
Hmotnost, suchá	g	1193,5	1181,3	1177,8	1184,2
Hmotnost, pod vodou	g	714,9	705,9	705,2	708,7
Hmotnost, vlhká	g	1195,8	1183,7	1180,6	1186,7
Objemová hmotnost $\rho_{(bssd)}$	kg/m³	2478,1	2468,7	2473,8	2473,5
Mezerovitost	%	3,2	3,6	3,4	3,4

Zkušební těleso označení		II.I	II.II	II.III	Průměr
Výška	mm	61,04	61,12	60,50	
		61,12	61,29	60,63	
		61,16	60,86	60,55	
Průměrná výška	mm	61,11	61,09	60,56	60,92
Průměr	mm	101,15	101,86	101,96	
		101,18	101,95	102,06	
		101,69	101,83	102,15	
Průměrný průměr tělesa	mm	101,34	101,88	102,06	101,76

Druh asfaltové směsi: **SMA 11S, 2. návrh asfaltové směsi, 10 % R - materiálu**
 Zkoušeno: **12. 8. 2015**

Označení vzorku		II.
Množství pojiva	%	6,5
Označení pyknometru		II.
Pyknometr prázdný m_1	g	362,6
Pyknometr + vzorek m_2	g	1020,0
Pyknometr + vzorek + rozpouštědlo	g	1414,0
Objem pyknometru V_p	m^3	650,968
Hustota rozpouštědla ρ_w	kg/m^3	997
Teplota temperace	$^{\circ}C$	25
Navážka asf. směsi	g	657,4
Maximální objemová hmotnost ρ_{mv}	kg/m^3	2 570

Teplota hutnění	$^{\circ}C$	155
Počet úderů		2 x 50

Zkušební těleso označení		II.I	II.II	II.III	Průměr
Hmotnost, suchá	g	1193,5	1181,3	1177,8	1184,2
Hmotnost, pod vodou	g	714,9	705,9	705,2	708,7
Hmotnost, vlhká	g	1195,8	1183,7	1180,6	1186,7
Objemová hmotnost $\rho_{(bssd)}$	kg/m^3	2478,1	2468,7	2473,8	2473,5
Mezerovitost	%	3,6	3,9	3,7	3,7

Zkušební těleso označení		II.I	II.II	II.III	Průměr
Výška	mm	61,04	61,12	60,50	
		61,12	61,29	60,63	
		61,16	60,86	60,55	
Průměrná výška	mm	61,11	61,09	60,56	60,92
Průměr	mm	101,15	101,86	101,96	
		101,18	101,95	102,06	
		101,69	101,83	102,15	
Průměrný průměr tělesa	mm	101,34	101,88	102,06	101,76

Druh asfaltové směsi: **SMA 11S, 20 % R - materiálu**

Zkoušeno: **29. 9. 2015**

Označení vzorku		III.
Množství pojiva	%	6,5
Označení pyknometru		II.
Pyknometr prázdný m_1	g	362,6
Pyknometr + vzorek m_2	g	842,6
Pyknometr + vzorek + rozpouštědlo	g	1515,6
Objem pyknometru V_p	m ³	650,968
Hustota rozpouštědla ρ_w	kg/m ³	1453
Teplota temperace	°C	25
Navážka asf. směsi	g	480,0
Maximální objemová hmotnost ρ_{mv}	kg/m³	2 556

Teplota hutnění	°C	165
Počet úderů		2 x 50

Zkušební těleso označení		III.I	III.II	III.III	Průměr
Hmotnost, suchá	g	1297,2	1293,2	1174,2	1254,9
Hmotnost, pod vodou	g	771,8	764,5	699,6	745,3
Hmotnost, vlhká	g	1300,1	1295,9	1177,6	1257,9
Objemová hmotnost $\rho_{(bssd)}$	kg/m³	2451,7	2429,9	2452,8	2444,8
Mezerovitost	%	4,1	4,9	4,0	4,4

Zkušební těleso označení		III.I	III.II	III.III	Průměr
Výška	mm	67,00	64,08	61,30	
		66,72	64,00	61,30	
		66,90	64,00	61,38	
Průměrná výška	mm	66,87	64,03	61,33	64,08
Průměr	mm	100,82	102,40	101,92	
		102,92	101,92	102,08	
		102,40	101,80	102,06	
Průměrný průměr tělesa	mm	102,05	102,04	102,02	102,04

Druh asfaltové směsi: **SMA 11S, 20 % R - materiálu**

Zkoušeno: **13. 10. 2015**

Označení vzorku		III.
Množství pojiva	%	6,5
Označení pyknometru		I.
Pyknometr prázdný m_1	g	379,3
Pyknometr + vzorek m_2	g	1001,6
Pyknometr + vzorek + rozpouštědlo	g	1409,9
Objem pyknometru V_p	m^3	654,699
Hustota rozpouštědla ρ_w	kg/m^3	997
Teplota temperace	$^{\circ}C$	25
Navážka asf. směsi	g	622,3
Maximální objemová hmotnost ρ_{mv}	kg/m^3	2 538

Teplota hutnění	$^{\circ}C$	165
Počet úderů		2 x 50

Zkušební těleso označení		III.I	III.II	III.III	Průměr
Hmotnost, suchá	g	1297,2	1293,2	1174,2	1254,9
Hmotnost, pod vodou	g	771,8	764,5	699,6	745,3
Hmotnost, vlhká	g	1300,1	1295,9	1177,6	1257,9
Objemová hmotnost $\rho_{(bssd)}$	kg/m^3	2451,7	2429,9	2452,8	2444,8
Mezerovitost	%	3,4	4,3	3,3	3,7

Zkušební těleso označení		III.I	III.II	III.III	Průměr
Výška	mm	67,00	64,08	61,30	
		66,72	64,00	61,30	
		66,90	64,00	61,38	
Průměrná výška	mm	66,87	64,03	61,33	64,08
Průměr	mm	100,82	102,40	101,92	
		102,92	101,92	102,08	
		102,40	101,80	102,06	
Průměrný průměr tělesa	mm	102,05	102,04	102,02	102,04

Druh asfaltové směsi: **SMA 11S, 20 % R - materiálu**

Zkoušeno: **29. 9. 2015**

Označení vzorku		III.
Množství pojiva	%	6,5
Označení pyknometru		I.
Pyknometr prázdný m_1	g	379,3
Pyknometr + vzorek m_2	g	856,3
Pyknometr + vzorek + rozpouštědlo	g	1321,7
Objem pyknometru V_p	m^3	654,699
Hustota rozpouštědla ρ_w	kg/m^3	997
Teplota temperace	$^{\circ}C$	25
Navážka asf. směsi	g	477,0
Maximální objemová hmotnost ρ_{mv}	kg/m^3	2 538

Teplota hutnění	$^{\circ}C$	165
Počet úderů		2 x 50

Zkušební těleso označení		III.I	III.II	III.III	Průměr
Hmotnost, suchá	g	1297,2	1293,2	1174,2	1254,9
Hmotnost, pod vodou	g	771,8	764,5	699,6	745,3
Hmotnost, vlhká	g	1300,1	1295,9	1177,6	1257,9
Objemová hmotnost $\rho_{(bssd)}$	kg/m^3	2451,7	2429,9	2452,8	2444,8
Mezerovitost	%	3,4	4,3	3,4	3,7

Zkušební těleso označení		III.I	III.II	III.III	Průměr
Výška	mm	67,00	64,08	61,30	
		66,72	64,00	61,30	
		66,90	64,00	61,38	
Průměrná výška	mm	66,87	64,03	61,33	64,08
Průměr	mm	100,82	102,40	101,92	
		102,92	101,92	102,08	
		102,40	101,80	102,06	
Průměrný průměr tělesa	mm	102,05	102,04	102,02	102,04

Příloha B: Rozměry, objemová hmotnost a mezerovitost zkušebních desek**Zkušební desky z asfaltové směsi bez R - materiálu**

		SMA 11S bez R-materiálu								
Označení desky		1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8
Hmot. suchá	[g]	7963	8258	7491	10379	10170	10140	9822	9995	9932
Hmot. pod vodou	[g]	4743	4953	4453	6226	6080	6145	5849	5929	5915
Hmot. mokrá	[g]	7995	8300	7855	10410	10203	10170	9862	10025	9964
Rozměry (tloušťka)	[mm]	41,04	41,58	40,22	51,62	50,24	50,24	50,00	50,24	51,30
		40,72	41,32	40,00	51,50	49,72	50,23	50,52	49,72	50,10
		41,58	41,66	40,16	51,48	49,41	50,52	50,44	49,90	50,08
		41,40	41,78	40,80	52,82	51,55	50,25	50,36	50,23	50,20
		41,82	42,00	41,40	52,16	51,19	40,22	50,30	49,72	51,50
		41,30	41,14	40,20	51,80	49,90	40,00	50,42	49,41	50,00
		40,62	41,44	39,90	51,36	50,23	40,16	50,70	51,55	50,00
		40,92	41,50	40,22	52,40	50,52	51,30	50,12	50,70	51,00
		41,44	41,62	40,44	51,38	50,25	50,10	50,62	50,12	50,14
		41,52	41,52	40,80	52,00	50,73	50,08	50,88	50,62	50,00
Rozměry (šířka)	[mm]	261,58	262,26	261,20	261,22	264,00	264,00	261,42	261,22	261,52
		261,40	261,68	261,00	261,30	263,60	263,60	261,72	261,42	252,10
		261,22	261,00	261,02	261,52	263,42	263,42	261,52	261,02	261,32
Rozměry (délka)	[mm]	321,98	322,20	322,00	321,92	322,50	322,50	322,52	322,50	322,20
		322,92	323,00	322,60	322,60	323,00	323,00	322,92	322,60	322,62
		322,68	322,32	322,40	322,90	322,20	322,20	322,88	322,90	322,60
Tloušťka průměr	[mm]	41,24	41,56	40,41	51,85	50,37	47,31	50,44	50,22	50,43
Šířka průměr	[mm]	261,40	261,65	261,07	261,35	263,67	263,67	261,55	261,22	258,31
Délka průměr	[mm]	322,53	322,51	322,33	322,47	322,57	322,57	322,77	322,67	322,47
Objem. hm.	[kg/m ³]	2 448,6	2 467,3	2 201,9	2 480,6	2 466,7	2 519,3	2 447,5	2 440,2	2 453,0
Max. objem. hm.	[kg/m ³]	2564	2564	2564	2564	2564	2564	2564	2564	2564
Mezerovitost	[%]	4,5	3,8	14,1	3,3	3,8	1,7	4,5	4,8	4,3
Zkouška		pojezd kolem	pojezd kolem	-	modul tuhosti	-	-	nízkot. vlastn.	-	modul tuhosti

Zkušební desky z asfaltové směsi s 10 % R - materiálu

		SMA 11S s 10 % R-materiálu							
Označení desky		2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7
Hmot. suchá	[g]	8034	7924	10168	10110	10659	9954	10512	10140
Hmot. pod vodou	[g]	4783	4721	6054	5978	6408	5907	6305	6084
Hmot. mokrá	[g]	8063	7941	10190	10148	10658	10001	10598	10168
Rozměry (tloušťka)	[mm]	41,40	40,00	51,00	52,12	51,96	50,68	52,22	50,62
		41,20	40,52	50,98	52,08	52,02	50,72	51,20	50,30
		41,52	40,82	52,42	52,66	52,28	50,82	50,90	50,54
		41,86	40,98	51,20	53,00	52,76	51,36	53,50	50,18
		41,88	40,74	51,72	53,02	52,46	51,40	53,24	50,34
		41,02	40,22	51,14	52,16	52,68	51,38	52,00	50,32
		41,00	40,10	51,10	52,14	52,66	51,16	52,52	50,00
		41,10	40,04	50,82	52,98	52,28	51,20	53,00	50,54
		42,25	40,88	52,72	51,92	52,16	52,10	51,00	50,92
		42,10	40,90	52,00	52,16	52,52	52,80	52,30	51,02
Rozměry (šířka)	[mm]	260,10	260,96	261,00	261,40	262,24	261,20	261,12	261,30
		260,02	261,10	261,04	261,20	262,18	261,00	262,26	261,40
		260,20	261,24	261,08	261,60	261,80	261,58	262,52	261,62
Rozměry (délka)	[mm]	322,22	322,36	322,52	322,14	322,54	322,10	323,00	322,48
		322,30	322,90	322,60	322,72	322,42	322,00	323,02	322,68
		321,90	322,52	322,04	322,54	322,44	321,82	323,00	322,10
Tloušťka průměr	[mm]	41,53	40,52	51,51	52,42	52,38	51,36	52,19	50,48
Šířka průměr	[mm]	260,11	261,10	261,04	261,40	262,07	261,26	261,97	261,44
Délka průměr	[mm]	322,14	322,59	322,39	322,47	322,47	321,97	323,01	322,42
Objem. hmotnost	[kg/m ³]	2 449,4	2 460,9	2 458,4	2 424,5	2 508,0	2 431,4	2 448,6	2 482,9
Max. objem. hm.	[kg/m ³]	2565	2565	2565	2565	2565	2565	2565	2565
Mezerovitost	[%]	4,5	4,1	4,2	5,5	2,2	5,2	4,5	3,2
Zkouška		pojezd kolem	pojezd kolem	modul tuhosti	-	-	-	modul tuhosti	nízkot. vlast.

Zkušební desky z asfaltové směsi s 20 % R - materiálu

		SMA 11S s 20 % R-materiálu				
Označení desky		3.0	3.1	3.3	3.2	3. 4
Hmot. suchá	[g]	7946	7967	9961	9938	9934
Hmot. pod vodou	[g]	4746	4754	5932	5926	5898
Hmot. mokrá	[g]	7972	7991	9987	9967	9958
Rozměry (tloušťka)	[mm]	39,82	39,82	50,56	50,32	50,60
		40,10	40,24	50,42	50,28	49,98
		40,68	41,34	50,02	50,12	50,52
		41,94	41,32	50,72	50,22	50,42
		41,04	41,68	51,00	50,10	50,60
		40,58	41,00	50,68	50,52	50,62
		39,96	40,00	50,42	50,08	50,40
		40,50	39,90	50,20	49,70	50,20
		40,88	40,12	50,22	50,00	50,60
		40,80	40,16	50,14	50,20	51,00
Rozměry (šířka)	[mm]	261,38	261,60	261,50	261,38	261,42
		262,00	262,18	261,40	261,60	261,48
		261,44	261,38	261,22	261,40	26,90
Rozměry (délka)	[mm]	322,46	322,46	322,50	322,00	322,30
		322,62	323,24	322,08	322,68	322,80
		322,10	322,64	322,46	322,52	322,60
Tloušťka průměr	[mm]	40,63	40,56	50,44	50,15	50,49
Šířka průměr	[mm]	261,61	261,72	261,37	261,46	261,45
Délka průměr	[mm]	322,39	322,78	322,35	322,40	322,57
Objem. hmotnost	[kg/m ³]	2 463,1	2 461,2	2 456,5	2 459,3	2 446,8
Max. objem. hm.	[kg/m ³]	2538	2538	2538	2538	2538
Mezerovitost	[%]	3,0	3,0	3,2	3,1	3,6
Zkouška		pojezd kolem	pojezd kolem	modul tuhosti	modul tuhosti	cyklon

Příloha C: Stanovení odolnosti vůči trvalým deformacím – zkouška pojíždění kolem

Zkouška pojíždění kolem asfaltové směsi bez R - materiálu

Deska L	SMA 11S označení 1.1								
Deska P									
Tloušťka desek L									
Tloušťka desek P									
Teplota hutnění									
Datum pojíždění									
Deska	tloušťka	Y _{S,10}	PRD _{AIR}	max. PRD _{AIR} dle normy	WTS _{AIR}		max. WTS _{AIR} dle normy		
	[mm]	[mm]	[%]	[%]	[mm/10 ³ cyklů]		[mm/10 ³ cyklů]		
L	41,6	0,65	1,6	5,0	0,004		0,07		
P	41,2	0,91	2,2	5,0	0,02		0,07		
SMA 11S bez R - materiálu					Hloubka trvalé deformace			Poměrná hloubka trvalé deformace	
Počet cyklů	Počet pojezdů	Teplota	L deska Y _S	P deska Y _S	L deska Y _S	P deska Y _S	Průměr	L deska Y _S	P deska Y _S
		[C°]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[%]	[%]
0	0	49,8	7,1	9,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
500	1 000	49,9	7,4	10,1	0,3	0,5	0,4	0,7	1,3
1 000	2 000	50,0	7,5	10,2	0,4	0,6	0,5	0,9	1,5
1 500	3 000	50,0	7,6	10,2	0,5	0,7	0,6	1,1	1,6
2 000	4 000	50,1	7,6	10,3	0,5	0,7	0,6	1,3	1,7
2 500	5 000	50,1	7,7	10,3	0,6	0,7	0,6	1,3	1,7
3 000	6 000	50,1	7,7	10,3	0,6	0,7	0,7	1,4	1,8
3 500	7 000	50,1	7,7	10,3	0,6	0,8	0,7	1,4	1,8
4 000	8 000	49,9	7,7	10,4	0,6	0,8	0,7	1,4	1,9
4 500	9 000	50,1	7,7	10,4	0,6	0,8	0,7	1,5	1,9
5 000	10 000	50,1	7,7	10,4	0,6	0,8	0,7	1,5	2,0
5 500	11 000	50,2	7,7	10,4	0,6	0,8	0,7	1,5	2,0
6 000	12 000	50,1	7,8	10,4	0,6	0,8	0,7	1,5	2,0
6 500	13 000	50,1	7,8	10,4	0,6	0,8	0,7	1,5	2,0
7 000	14 000	50,1	7,8	10,5	0,6	0,9	0,8	1,5	2,1
7 500	15 000	50,2	7,8	10,5	0,6	0,9	0,8	1,6	2,2
8 000	16 000	50,1	7,8	10,5	0,7	0,9	0,8	1,6	2,2
8 500	17 000	50,2	7,8	10,5	0,6	0,9	0,8	1,6	2,2
9 000	18 000	50,1	7,8	10,5	0,6	0,9	0,8	1,6	2,2
9 500	19 000	50,2	7,8	10,5	0,6	0,9	0,8	1,6	2,2
10 000	20 000	50,2	7,8	10,5	0,6	0,9	0,8	1,6	2,2

Deska L	SMA 11S označení 2.1 SMA 11S označení 2.0 41,53 mm 41,52 mm 155 °C 08. 10. 2015
Deska P	
Tloušťka desek L	
Tloušťka desek P	
Teplota hutnění	
Datum pořízení	

Deska	tloušťka	YS,10	PRDAIR	max. PRDAIR dle normy	WTSAIR	max. WTSAIR dle normy
	[mm]	[mm]	[%]	[%]	[mm/10 ³ cyklů]	[mm/10 ³ cyklů]
L	41,5	0,93	2,2	5,0	0,02	0,07
P	41,5	0,91	2,2	5,0	0,016	0,07

SMA 11S s 10 % R - materiálu					hloubka trvalé deformace			poměrná hloubka trvalé deformace	
Počet cyklů	Počet pojezdů	Teplota	L deska Y _s	P deska Y _s	L deska Y _s	P deska Y _s	Průměr	L deska Y _s	P deska Y _s
		[C°]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[%]	[%]
0	0	50,1	7,5	10,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
500	1 000	49,9	7,9	10,9	0,4	0,6	0,5	1,1	1,3
1 000	2 000	50,0	8,0	11,0	0,5	0,6	0,6	1,2	1,5
1 500	3 000	50,1	8,1	11,0	0,6	0,7	0,6	1,4	1,6
2 000	4 000	50,0	8,2	11,1	0,7	0,7	0,7	1,6	1,7
2 500	5 000	50,0	8,2	11,1	0,7	0,8	0,7	1,7	1,8
3 000	6 000	50,1	8,2	11,1	0,8	0,8	0,8	1,8	1,8
3 500	7 000	50,0	8,2	11,1	0,8	0,8	0,8	1,8	1,9
4 000	8 000	50,1	8,3	11,2	0,8	0,8	0,8	1,9	1,9
4 500	9 000	50,1	8,3	11,2	0,8	0,8	0,8	2,0	2,0
5 000	10 000	50,1	8,3	11,2	0,8	0,8	0,8	2,0	2,0
5 500	11 000	50,2	8,3	11,2	0,9	0,8	0,8	2,0	2,0
6 000	12 000	50,1	8,3	11,2	0,9	0,9	0,9	2,1	2,1
6 500	13 000	50,2	8,4	11,2	0,9	0,9	0,9	2,1	2,1
7 000	14 000	50,2	8,4	11,2	0,9	0,9	0,9	2,2	2,1
7 500	15 000	50,1	8,4	11,2	0,9	0,9	0,9	2,2	2,1
8 000	16 000	50,1	8,4	11,2	0,9	0,9	0,9	2,2	2,1
8 500	17 000	50,2	8,4	11,2	0,9	0,9	0,9	2,2	2,1
9 000	18 000	50,1	8,4	11,3	0,9	0,9	0,9	2,3	2,2
9 500	19 000	50,1	8,4	11,3	0,9	0,9	0,9	2,2	2,2
10 000	20 000	50,1	8,4	11,3	0,9	0,9	0,9	2,2	2,2

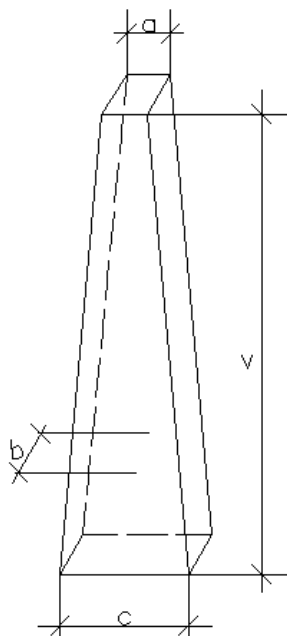
Deska L	SMA 11S označení 3.0 SMA 11S označení 3.1 41,63 mm 41,56 mm 155 °C 19. 11. 2015
Deska P	
Tloušťka desek L	
Tloušťka desek P	
Teplota hutnění	
Datum pořízení	

Deska	tloušťka	YS,10	PRDAIR	max. PRDAIR dle normy	WTSAIR	max. WTSAIR dle normy
	[mm]	[mm]	[%]	[%]	[mm/103cyklů]	[mm/103cyklů]
L	40,6	1,20	3,0	5,0	0,032	0,07
P	40,6	0,93	2,3	5,0	0,026	0,07

SMA 11S s 20 % R - materiálu					hloubka trvalé deformace			poměrná hloubka trvalé deformace	
Počet cyklů	Počet pojezdů	Teplota	L deska Y _s	P deska Y _s	L deska Y _s	P deska Y _s	Průměr	L deska Y _s	P deska Y _s
		[C°]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[%]	[%]
0	0	49,9	8,3	9,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
500	1 000	49,9	8,9	10,0	0,6	0,5	0,5	1,4	1,1
1 000	2 000	49,9	9,0	10,1	0,7	0,5	0,6	1,6	1,3
1 500	3 000	49,9	9,1	10,2	0,7	0,6	0,7	1,8	1,4
2 000	4 000	50,0	9,1	10,2	0,8	0,6	0,7	1,9	1,6
2 500	5 000	50,0	9,2	10,3	0,9	0,7	0,8	2,1	1,6
3 000	6 000	50,1	9,3	10,3	0,9	0,7	0,8	2,3	1,8
3 500	7 000	50,0	9,3	10,3	0,9	0,8	0,9	2,3	1,8
4 000	8 000	50,0	9,3	10,4	1,0	0,8	0,9	2,4	1,9
4 500	9 000	50,1	9,3	10,4	1,0	0,8	0,9	2,5	2,0
5 000	10 000	50,1	9,4	10,4	1,0	0,8	0,9	2,6	2,0
5 500	11 000	50,2	9,4	10,4	1,1	0,8	0,9	2,6	2,0
6 000	12 000	50,1	9,4	10,4	1,1	0,8	1,0	2,7	2,0
6 500	13 100	50,1	9,4	10,4	1,1	0,9	1,0	2,7	2,1
7 000	14 000	50,0	9,4	10,4	1,1	0,9	1,0	2,6	2,1
7 500	15 000	50,2	9,4	10,5	1,1	0,9	1,0	2,7	2,1
8 000	16 000	50,1	9,5	10,5	1,1	0,9	1,0	2,8	2,2
8 500	17 000	50,1	9,5	10,5	1,1	0,9	1,0	2,8	2,2
9 000	18 000	50,1	9,5	10,5	1,2	0,9	1,0	2,8	2,2
9 500	19 000	50,2	9,5	10,5	1,2	0,9	1,1	3,0	2,2
10 000	20 000	50,2	9,5	10,5	1,2	0,9	1,1	3,0	2,3

Příloha D: Rozměry zkušebních těles pro stanovení modulů tuhosti

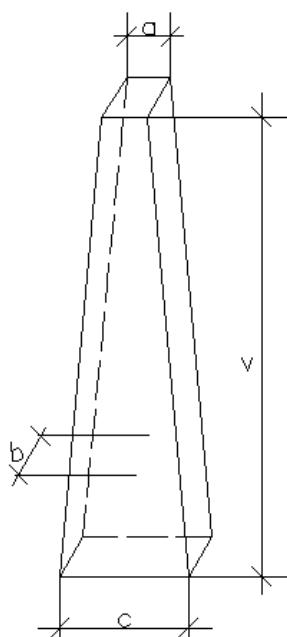
Rozměry trapezoidu z asfaltové směsi bez R – materiálu



Označení trapezoidu	MI 1.3 – 1/5	MI 1.3 – 2/5	MI 1.3 – 3/5	MI 1.3 – 4/5	MI 1.3-5/5
a [mm]	26,40	26,02	26,98	25,80	25,00
b [mm]	51,80	52,00	51,00	51,38	51,32
c [mm]	68,82	68,84	70,80	68,42	70,72
v [mm]	251,18	250,72	250,00	251,00	249,50
m [g]	1499,40	1479,70	1526,60	1454,60	1460,50

Označení trapezoidu	MI 1.8 – 1/5	MI 1.8- 2/5	MI 1.8 – 3/5	MI 1.8- 4/5	MI 1.8-5/5
a [mm]	20,70	25,5	25,52	26,32	25,68
b [mm]	52,00	51,26	50,62	50,20	50,10
c [mm]	68,42	69,2	68,70	69,20	69,02
v [mm]	250,32	251,64	252,88	251,90	252,50
m [g]	1370,70	1462,7	1412,10	1414,40	1354,90

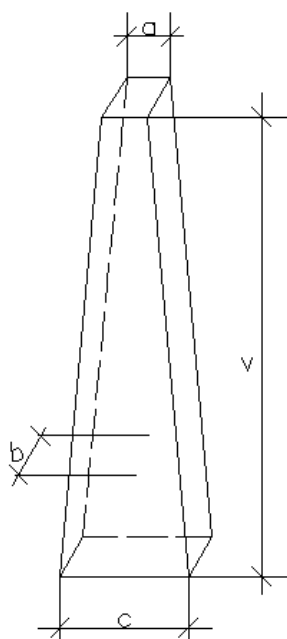
Rozměry trapezoidu z asfaltové směsi s 10 % R – materiálu



Označení trapezoidu	MI 2.2-1/5	MI 2.2-2/5	MI 2.2 - 3/5	MI 2.2 - 4/5	MI 2.2/5/5
a [mm]	26,50	25,11	24,80	24,11	25,68
b [mm]	51,20	50,66	51,15	50,82	51,24
c [mm]	68,52	69,19	68,04	69,77	68,94
v [mm]	250,04	250,12	250,24	250,44	250,12
m [g]	1437,60	1405,3	1438,10	1425,80	1464,50

Označení trapezoidu	MI 2.6- 1/5	MI 2.6 - 2/5	MI 2.6 - 3/5	MI 2.6 - 4/5	MI 2.6-5/5
a [mm]	26,32	24,80	25,52	25,62	26,60
b [mm]	50,64	50,26	51,80	52,70	52,32
c [mm]	69,06	69,77	69,40	69,80	69,32
v [mm]	252,38	252,90	250,12	250,00	250,18
m [g]	1492,80	1450,70	1504,60	1525,30	1492,20

Rozměry trapezoidu z asfaltové směsi s 20 % R – materiálu



Označení trapezoidu	MI 3.3- 1/5	MI 3.3 - 2/5	MI 3.3 - 3/5	MI 3.3 - 4/5	MI 3.3-5/5
a [mm]	26,02	23,12	26,38	26,00	25,52
b [mm]	50,92	50,78	50,02	50,26	50,82
c [mm]	71,48	68,98	70,50	69,52	67,80
v [mm]	250,42	250,62	250,00	250,48	252,90
m [g]	1473,90	1392,3	1427,10	1450,70	1392,30

Označení trapezoidu	MI 3.2- 1/5	MI 3.2- 2/5	MI 3.2 - 3/5	MI 3.2 - 4/5	MI 3.2/5/5
a [mm]	26,30	25,5	25,00	26,38	25,40
b [mm]	50,28	50,52	50,00	50,00	50,12
c [mm]	70,10	70,32	69,98	69,12	69,00
v [mm]	251,08	251,08	252,26	252,30	253,32
m [g]	1462,40	1454	1432,90	1426,60	1394,40

Příloha E: Stanovení modulů tuhosti

Naměřené moduly tuhosti - asfaltová směs bez R – materiálu

SMA 11S, bez R-materiálu, -5°C					
Tělesa	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz
1.3 1/5	13685	14339	14533	14784	14837
1.3 2/5	12631	13199	13569	13770	14162
1.3 3/5	12551	13016	13306	13603	13762
1.3 4/5	12436	13095	13214	13625	13980
1.3 5/5	11826	12341	12618	12832	13268
1.8 1/5	13379	13833	14060	14432	14717
1.8 2/5	12445	12985	13225	13471	13703
1.8 3/5	11322	11841	12061	12135	12261
1.8 4/5	11741	12223	12449	12597	12660
1.8 5/5	12445	12985	13225	13471	13705
průměr	12446	12986	13226	13472	13706

SMA 11S, bez R-materiálu, 15°C					
Tělesa	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz
1.3 1/5	7129	8031	8118	8634	8880
1.3 2/5	6725	7490	7918	8275	8612
1.3 3/5	6487	7184	7559	7924	8235
1.3 4/5	6265	7009	7496	7903	8062
1.3 5/5	5855	6622	6949	7308	8375
1.8 1/5	6657	7182	7659	7909	8047
1.8 2/5	6982	7675	8027	8349	8720
1.8 3/5	6711	7310	7728	8063	8392
1.8 4/5	6327	6983	7278	7733	7811
1.8 5/5	5717	6381	6879	7138	7232
průměr	6485	7187	7561	7924	8237

SMA 11S, bez R-materiálu, 40°C					
Tělesa	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz
1.3 1/5	871	1315	1323	1623	2072
1.3 2/5	968	1243	1231	1819	2312
1.3 3/5	876	1211	1279	1558	1933
1.3 4/5	773	1041	1352	1549	2109
1.3 5/5	759	1049	1147	1413	2151
1.8 1/5	882	1211	1586	1847	2272
1.8 2/5	921	1194	1281	1710	2340
1.8 3/5	824	1204	1177	1846	1935
1.8 4/5	849	1174	1292	1665	2132
1.8 5/5	868	1196	1302	1682	2151
průměr	859	1184	1297	1671	2141

Naměřené moduly tuhosti - asfaltová směs s 10 % R – materiálu

SMA 11S, 10 % R-materiálu, -5°C					
Tělesa	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz
2.2 1/5	11170	11404	11698	11743	11638
2.2 2/5	11632	11971	12262	12475	12597
2.2 3/5	10546	10962	11158	11406	11531
2.2 4/5	12021	12581	12905	13217	13273
2.2 5/5	11206	11566	11795	11999	12912
2.6 1/5	12105	12452	12559	12844	12862
2.6 2/5	11207	11566	11796	11985	12644
2.6 3/5	11206	11565	11799	12012	12632
2.6 4/5	11039	11356	11587	11757	11931
2.6 5/5	9934	10246	10402	10548	10584
průměr	11207	11567	11796	11999	12260

SMA 11S, 10 % R-materiálu, 15°C					
Tělesa	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz
2.2 1/5	5490	6197	6756	7030	7277
2.2 2/5	5540	6370	6804	7138	7402
2.2 3/5	5403	6081	6517	6825	7223
2.2 4/5	5772	6599	7106	7463	7727
2.2 5/5	5764	6433	6861	7172	7442
2.6 1/5	5775	6436	6859	7175	7448
2.6 2/5	5755	6432	6870	7183	7437
2.6 3/5	6204	6721	7099	7384	7628
2.6 4/5	5954	6506	6832	7176	7402
2.6 5/5	5991	6567	6933	7233	7444
průměr	5765	6434	6864	7178	7443

SMA 11S, 10 % R-materiálu, +40°C					
Tělesa	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz
2.2 1/5	672	1061	1235	1530	2112
2.2 2/5	849	1073	1642	1738	2601
2.2 3/5	838	1062	1362	1805	2265
2.2 4/5	645	881	1151	2087	2420
2.2 5/5	634	803	943	1909	1912
2.6 1/5	1186	1385	1667	1899	2516
2.6 2/5	845	1082	1379	1821	2276
2.6 3/5	847	1080	1369	1814	2271
2.6 4/5	1046	1219	1533	1795	2182
2.6 5/5	906	1120	1429	1749	2161
průměr	847	1077	1371	1815	2272

Naměřené moduly tuhosti - asfaltová směs s 20 % R – materiálu

SMA 11S, 20 % R-materiálu, -5°C					
Tělesa	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz
3.3 - 1/5	9803	10133	10257	10381	10290
3.3 - 2/5	11174	11550	11800	11963	12088
3.3 - 3/5	10910	11329	11478	11639	11699
3.3 - 4/5	10863	11263	11476	11637	11716
3.3 - 5/5	10595	11026	11133	11295	11435
3.2 - 1/5	10912	11289	11498	11636	11726
3.2 - 2/5	11998	12482	12669	12868	13012
3.2 - 3/5	10899	11308	11489	11640	11734
3.2 - 4/5	11553	11982	12265	12404	12513
3.2 - 5/5	10370	10724	10816	10916	10971
průměr	10908	11309	11488	11638	11718

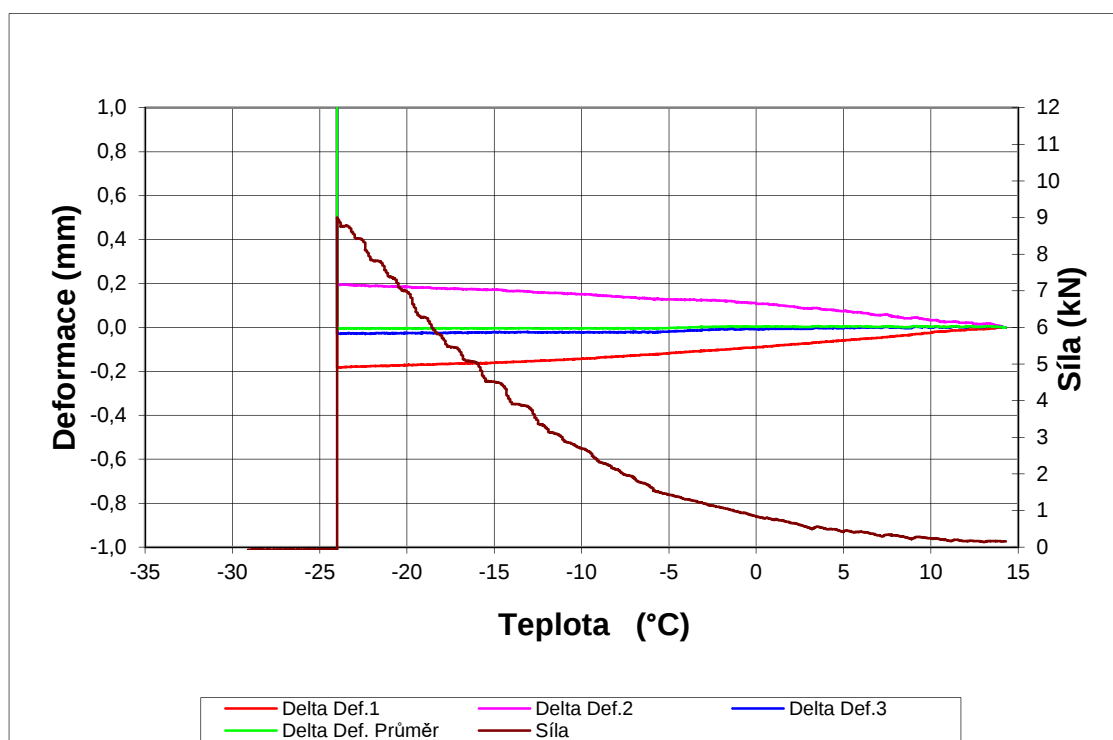
SMA 11S, 20 % R-materiálu, + 15°C					
Tělesa	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz
3.3 - 1/5	6459	7051	7530	7839	8123
3.3 - 2/5	5729	6376	7022	7312	7695
3.3 - 3/5	6234	6921	7388	7732	8039
3.3 - 4/5	6184	6773	7188	7454	7625
3.3 - 5/5	6121	6846	7316	7630	7844
3.2 - 1/5	6624	7319	7752	8154	8533
3.2 - 2/5	6508	7292	7774	8053	8460
3.2 - 3/5	6167	6930	7440	7932	8287
3.2 - 4/5	6089	6795	7177	7515	7812
3.2 - 5/5	6237	6925	7415	7738	8054
průměr	6235	6923	7400	7736	8047

SMA 11S, 20 % R-materiálu, + 40°C					
Tělesa	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz
3.3 - 1/5	994	1307	1523	1836	2653
3.3 - 2/5	898	1292	1517	1877	2534
3.3 - 3/5	939	1205	1473	1554	2520
3.3 - 4/5	824	1053	1314	1691	2180
3.3 - 5/5	1136	1288	1602	1812	2833
3.2 - 1/5	886	978	1477	1618	2461
3.2 - 2/5	909	1219	1424	1788	2232
3.2 - 3/5	983	1211	1587	1761	2364
3.2 - 4/5	899	1306	1420	1686	2923
3.2 - 5/5	943	1210	1492	1561	2527
průměr	941	1207	1483	1718	2523

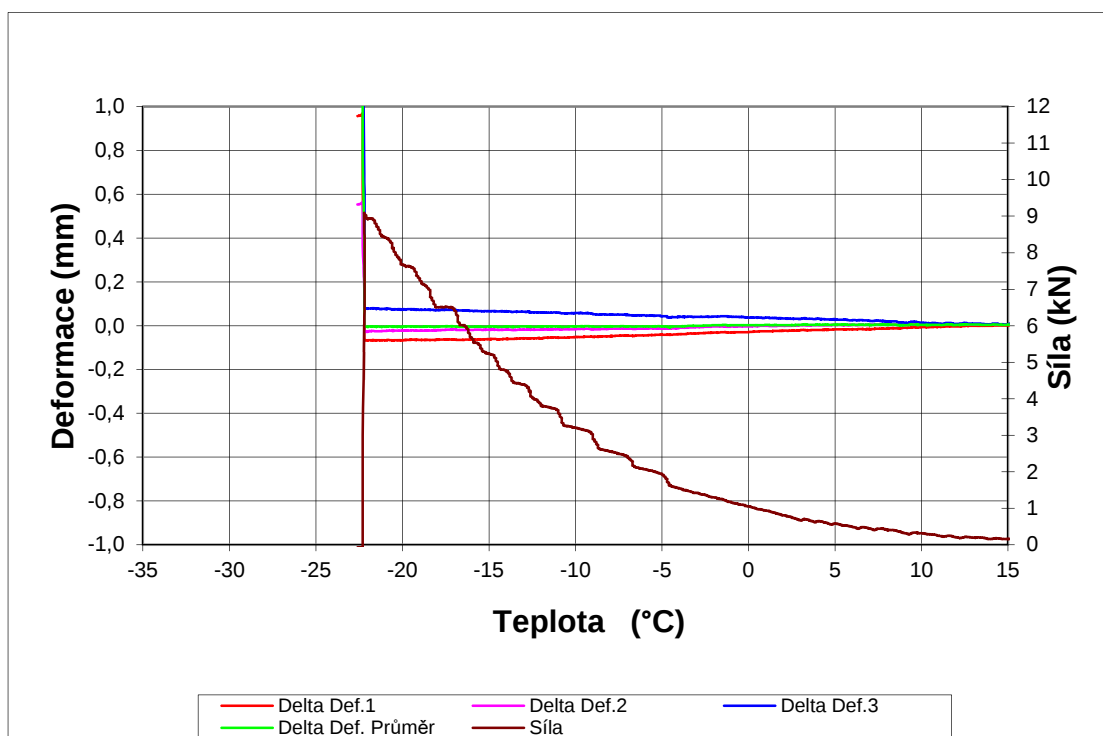
Příloha F: Nízkoteplotní vlastnosti

Naměřené nízkoteplotní vlastnosti asfaltové směsi bez R – materiálu

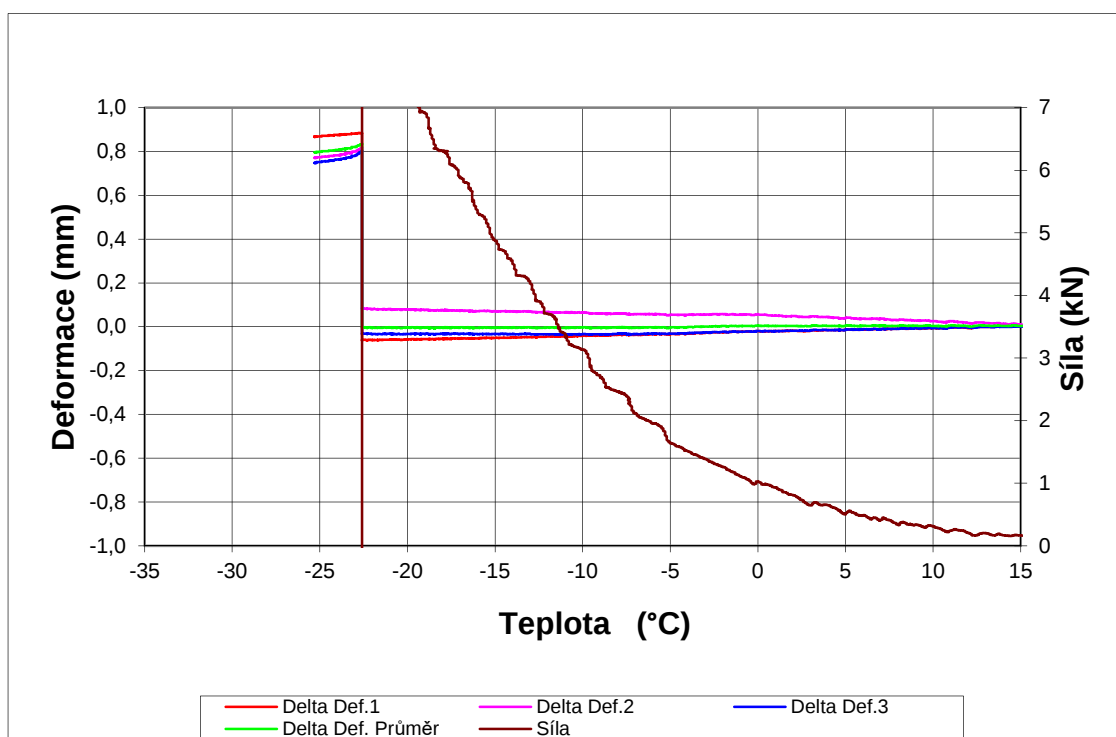
Akce:	Diplomová práce - Markéta Malá
Asfaltová směs:	0 % R - materiálu, vzorek 1.6 - 2/5
Rozměry zkušebního tělesa - mm :	50 x 50 x 200
Datum zkoušky:	02. 11. 2015
Zkoušku provedl:	Malá
Teplota temperování - °C:	10
Doba temperování - min. :	15
Rychlost ochlazování - °C/hod :	10
Max. síla při porušení - kN :	9,01
Max. napětí při porušení - MPa :	3,60
Teplota v komoře při porušení - °C :	-28,3
Teplota vzorku při porušení - °C :	-24,0



Akce :	Diplomová práce - Markéta Malá
Asfaltová směs :	0% R - materiálu, vzorek 1.6 - 3/5
Rozměry zkušebního tělesa - mm :	50 x 50 x 200
Datum zkoušky :	06.11.2015
Zkoušku provedl :	Malá
Teplota temperování - °C :	10
Doba temperování - min. :	15
Rychlost ochlazování - °C/hod :	10
Max. síla při porušení - kN :	9,09
Max. napětí při porušení - MPa :	3,63
Teplota v komoře při porušení - °C :	-26,7
Teplota vzorku při porušení - °C :	-22,2

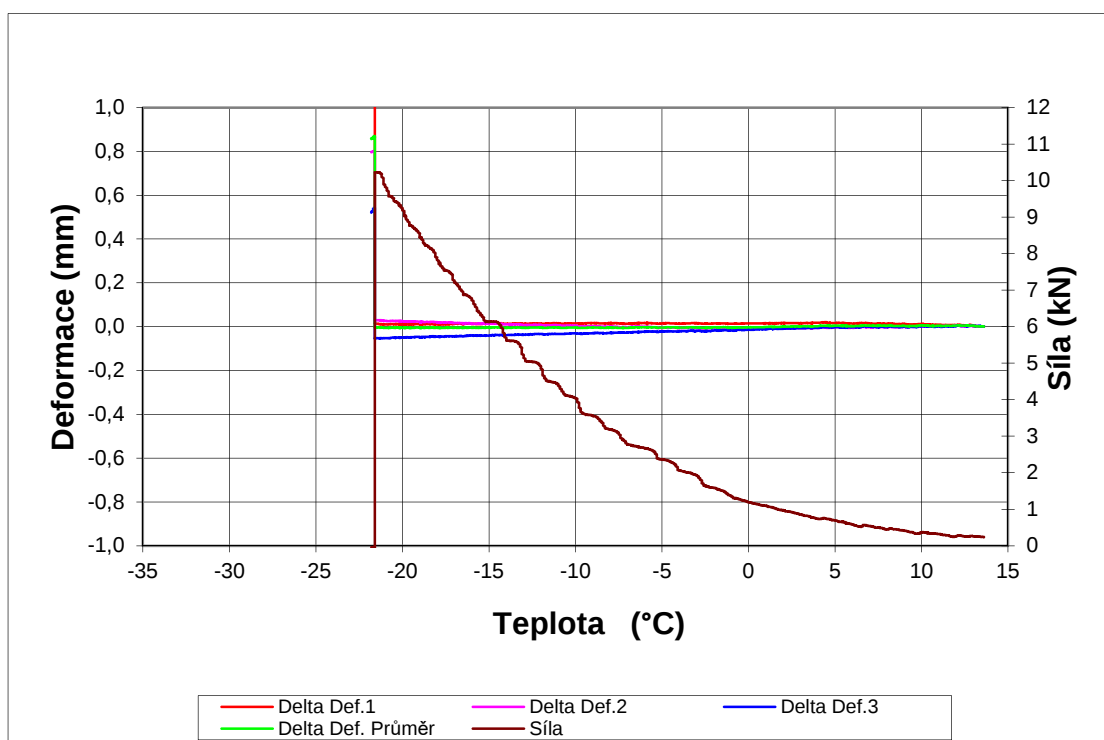


Akce :	Diplomová práce - Markéta Malá
Asfaltová směs :	0 % R - materiálu, vzorek 1.6 - 4/5
Rozměry zkušebního tělesa - mm :	50 x 50 x 200
Datum zkoušky :	20.11.2015
Zkoušku provedl :	Malá
Teplota temperování - °C :	10
Doba temperování - min. :	15
Rychlost ochlazování - °C/hod :	10
Max. síla při porušení - kN :	9,04
Max. napětí při porušení - MPa :	3,62
Teplota v komoře při porušení - °C :	-26,9
Teplota vzorku při porušení - °C :	-22,6

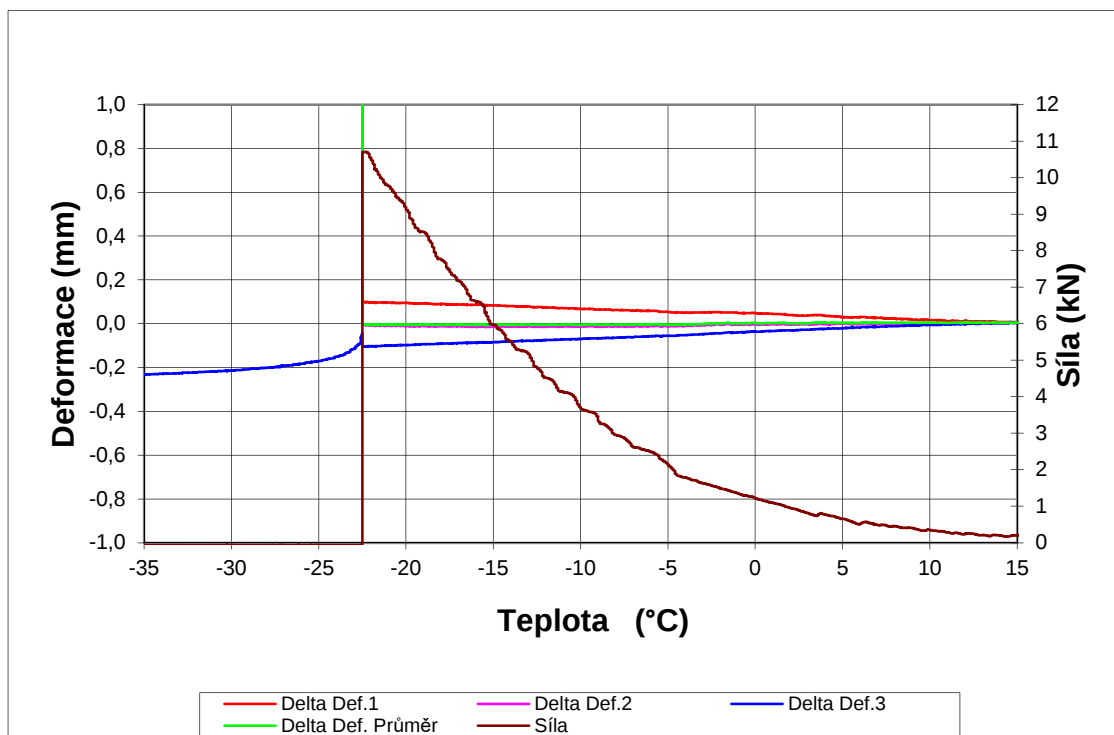


Naměřené nízkoteplotní vlastnosti asfaltové směsi s 10 % R – materiálu

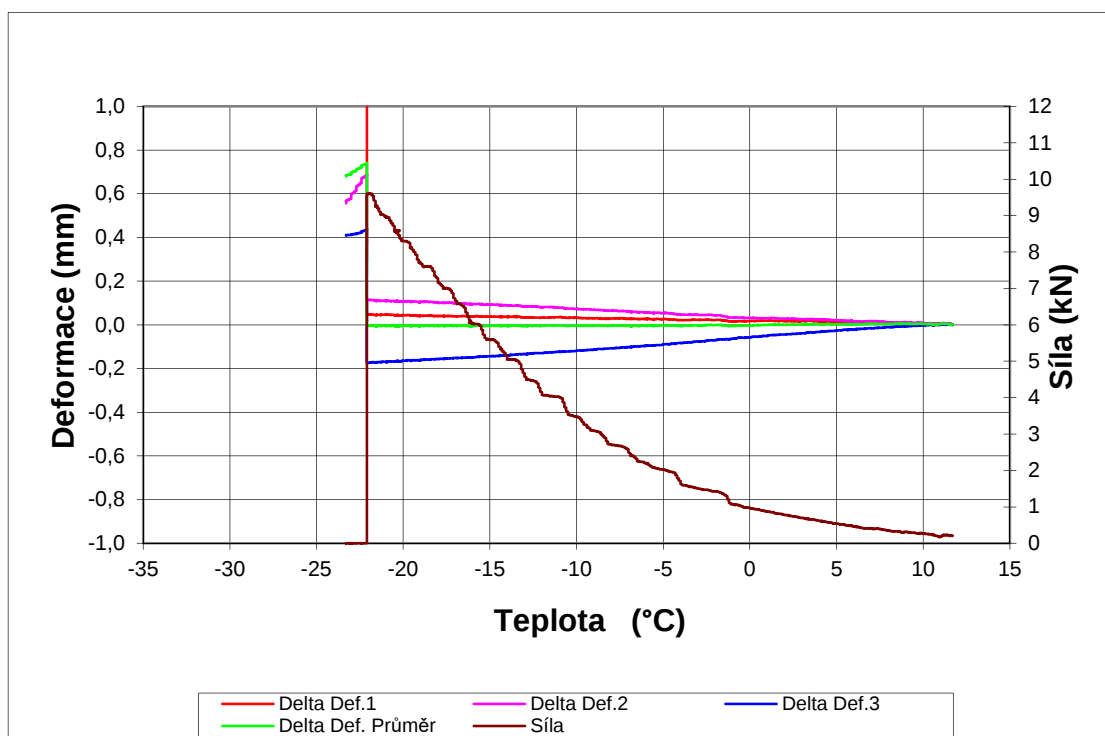
Akce :	Diplomová práce Markéta Malá
Asfaltová směs :	10 % R - materiálu vzorek 2.7 - 1/5
Rozměry zkušebního tělesa - mm :	50 x 50 x 200
Datum zkoušky :	26.10.2015
Zkoušku provedl :	Malá
Teplota temperování - °C :	10
Doba temperování - min. :	15
Rychlost ochlazování - °C/hod :	10
Max. síla při porušení - kN :	10,23
Max. napětí při porušení - MPa :	4,09
Teplota v komoře při porušení - °C :	-26,2
Teplota vzorku při porušení - °C :	-21,5



Akce :	Diplomová práce - Markéta Malá
Asfaltová směs :	10 % R - materiálu, vzorek 2.7 - 2/5
Rozměry zkušebního tělesa - mm :	50 x 50 x 200
Datum zkoušky :	27.10.2015
Zkoušku provedl :	Malá
Teplota temperování - °C :	10
Doba temperování - min. :	15
Rychlost ochlazování - °C/hod :	10
Max. síla při porušení - kN :	10,71
Max. napětí při porušení - MPa :	4,28
Teplota v komoře při porušení - °C :	-26,2
Teplota vzorku při porušení - °C :	-22,3

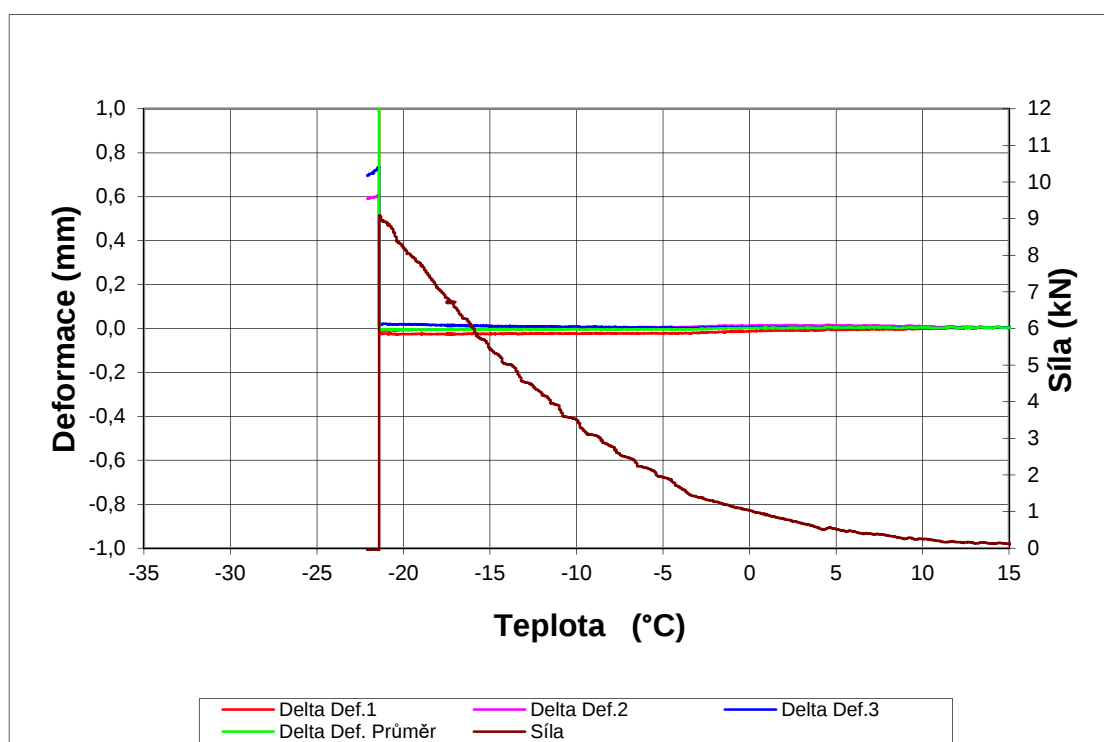


Akce :	Diplomová práce - Markéta Malá
Asfaltová směs :	10 % R - materiálu, vzorek 2.7 - 3/5
Rozměry zkušebního tělesa - mm :	50 x 50 x 200
Datum zkoušky :	30.10.2015
Zkoušku provedl :	Malá
Teplota temperování - °C :	10
Doba temperování - min. :	15
Rychlost ochlazování - °C/hod :	10
Max. síla při porušení - kN :	9,60
Max. napětí při porušení - MPa :	3,84
Teplota v komoře při porušení - °C :	-24,7
Teplota vzorku při porušení - °C :	-21,9

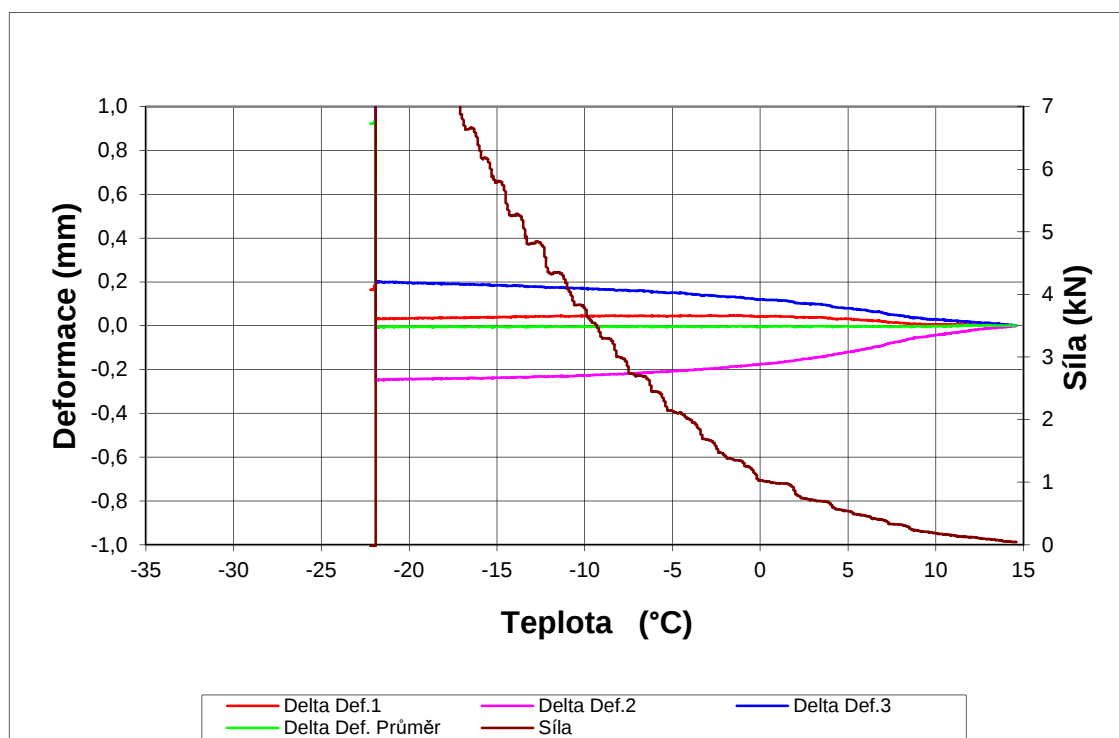


Naměřené nízkoteplotní vlastnosti asfaltové směsi s 20 % R – materiálu

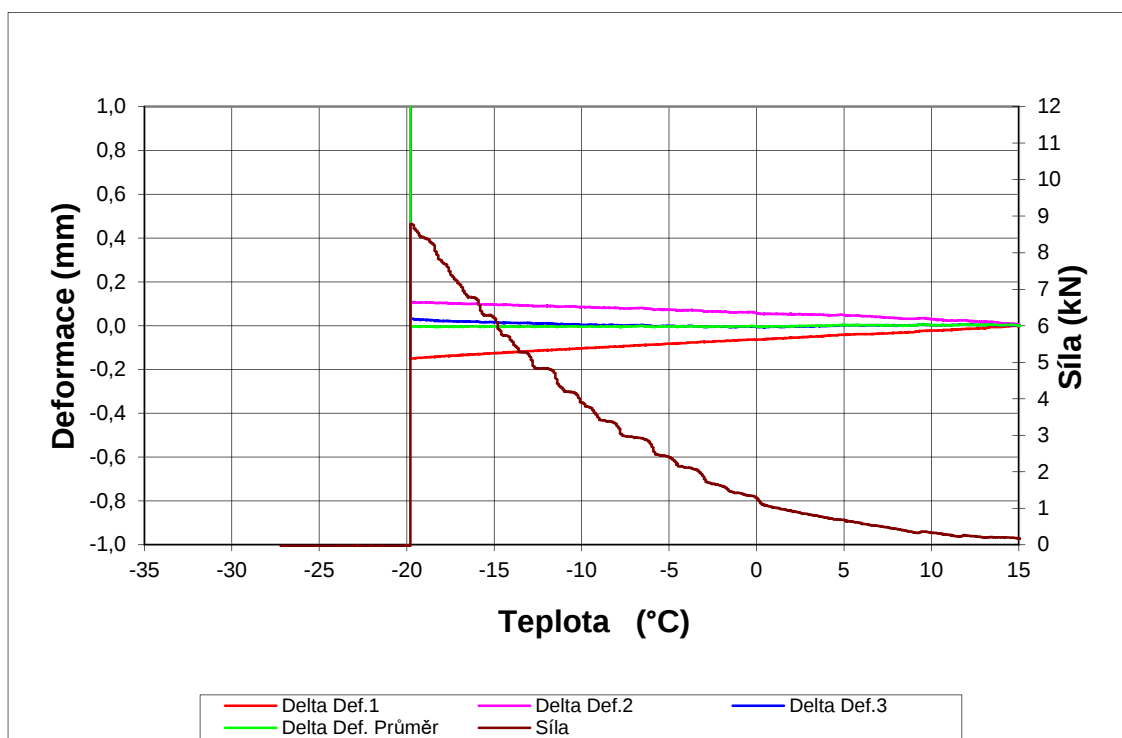
Akce :	Diplomová práce - Markéta Malá
Asfaltová směs :	20% R - materiálu - vzorek 3.4 - 2/5
Rozměry zkušebního tělesa - mm :	50 x 50 x 200
Datum zkoušky :	19.11.2015
Zkoušku provedl :	Malá
Teplota temperování - °C :	10
Doba temperování - min. :	15
Rychlost ochlazování - °C/hod :	10
Max. síla při porušení - kN :	9,08
Max. napětí při porušení - MPa :	3,63
Teplota v komoře při porušení - °C :	-25,6
Teplota vzorku při porušení - °C :	-21,4



Akce :	Diplomová práce - Markéta Malá
Asfaltová směs :	20 % R - materiálu, vzorek 3.4 - 3/5
Rozměry zkušebního tělesa - mm :	50 x 50 x 250
Datum zkoušky :	23.11.2015
Zkoušku provedl :	Malá
Teplota temperování - °C :	10
Doba temperování - min. :	15
Rychlost ochlazování - °C/hod :	10
Max. síla při porušení - kN :	9,91
Max. napětí při porušení - MPa :	3,96
Teplota v komoře při porušení - °C :	-25,5
Teplota vzorku při porušení - °C :	-21,9



Akce :	Diplomová práce - Markéta Malá
Asfaltová směs :	20 % R - materiálu, vzorek 3.4 - 4/5
Rozměry zkušebního tělesa - mm :	50 x 50 x 250
Datum zkoušky :	30.11.2015
Zkoušku provedl :	Malá
Teplota temperování - °C :	10
Doba temperování - min. :	15
Rychlost ochlazování - °C/hod :	10
Max. síla při porušení - kN :	8,79
Max. napětí při porušení - MPa :	3,51
Teplota v komoře při porušení - °C :	-23,2
Teplota vzorku při porušení - °C :	-19,8



Příloha G: Stékavost pojiva

	označení	jednotky	SMA 11S bez vláken S-CEL 7 G a Addibitu L300		SMA 11S s vlákny S-CEL 7G a bez Addibitu L300		SMA 11S bez vláken S - CEL 7G a s Addibitem L300		SMA 11S s vlákny S - CEL 7G a Addibitem L300	
kádinka			I.	II.	I.	II.	I.	II.	I.	II.
hmotnost prázdné kádinky	W₁	[g]	312,1	265,3	312,1	265,6	312,4	265,6	312,4	265,5
hmotnost kádinky a dávky	W₂	[g]	1340,3	1364,1	1401,4	1321	1313,9	1301,3	1355,8	1317
hmotnost kádinky a zachyceného materiálu po jejím obrácení	W₃	[g]	362,4	364,7	316,1	283,9	322,3	275,8	322,4	270,5
hmotnost vysušeného zbytku zachyceného na síti	W₄	[g]	30,8	73,4	0	11,8	4,1	3,9	6	2,3
zbytek na síti	R	[%]	3,0	6,7	0,0	1,1	0,4	0,4	0,6	0,2
stečený materiál	D	[%]	1,9	2,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,4	0,3
průměr stečený materiál	Φ_D	[%]	2,1		0,5		0,6		0,3	
Teplota	t	[°C]	176,8		178,90		176,2		180,3	