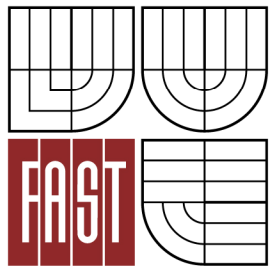


**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



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

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

# **POSOUZENÍ NÍZKOHLUČNÉHO ASFALTOVÉHO KOVERCE MASTIXOVÉHO S CRMB**

EVALUATION OF LOW NOISE STONE MASTIX ASPHALT WITH CRMB

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**  
MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**Bc. TOMÁŠ ZAVŘEL**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**prof. Ing. JAN KUDRNA, CSc.**



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>Diplomant</b>	Bc. Tomáš Zavřel
<b>Název</b>	Posouzení nízkohlučného asfaltového koberce mastixového s CRmB
<b>Vedoucí diplomové práce</b>	prof. Ing. Jan Kudrna, CSc.
<b>Datum zadání diplomové práce</b>	31. 3. 2011
<b>Datum odevzdání diplomové práce</b>	13. 1. 2012
V Brně dne 31. 3. 2011	

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

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

## **Podklady a literatura**

Vzorky asfaltu, pryžového granulátu, přísady TecRoad a kameniv,

ČSN EN pro zkoušení asfaltu,

ČSN EN pro zkoušení asfaltových směsí,

ČSN EN 13108-5,

TP 148 Hutněné asfaltové vrstvy s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem z pneumatik,

Gregor J.: Posouzení gumoasfaltových koberců tenkých a drenážních, diplomová práce, Brno, 2007,

Výsledky návrhu SMA LA s přísadou TecRoad

## **Zásady pro vypracování**

Navrhnout směs SMA LA 8 s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem (11 %) a modifikační přísadou TecRoad (22 %) s použitím Marshallovy zkoušky. Příprava zkušebních těles a stanovení vlastností směsí – odolnost vůči účinkům vody, odolnost vůči vzniku trvalých deformací a vůči mrazovým trhlinám, moduly tuhosti a únavové charakteristiky. Zpracování výsledků a doporučení pro použití při stavbě, údržbě a opravě vozovek.

## **Předepsané přílohy**

1. Zadání diplomové práce
2. Metodika řešení diplomové práce
3. Návrh směsí koberce drenážního a tenkého
4. Posouzení vlastností směsí
5. Zhodnocení

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací

.....  
prof. Ing. Jan Kudrna, CSc.  
Vedoucí diplomové práce

### **Bibliografická citace VŠKP**

ZAVŘEL, Tomáš. *Posouzení nízkohlučného asfaltového koberce mastixového s CRMB: diplomová práce*. Brno, 2012. 78 stran., 11 stran příloh.

Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav pozemních komunikací.

Vedoucí diplomové práce Prof. Ing. Kudrna Jan, CSc.

### **Anotace práce:**

Cílem diplomové práce je návrh směsi SMA LA 8 s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem (9,9 %) a modifikační přísadou TecRoad (22 %) a provedení zkoušky odolnosti vůči účinkům vody, odolnosti vůči vzniku trvalých deformací a vůči mrazovým trhlinám, stanovení modulů tuhostí a únavových charakteristik. Zkušební metody jsou popsány a vyhodnoceny.

### **Anotace práce anglicky:**

The aim of diploma thesis is to design mixture SMA LA 8 with crumb rubber modified bitumen (9,9 %) and a modifier additive TecRoad (22 %) and the test of water sensitivity, the resistance to permanent deformation and to frost cracking, the determination of the stiffness and fatigue characteristics. Test methods are described and evaluated.

### **Klíčová slova:**

Asfalt, pryžový granulát, modifikovaný asfalt, asfaltová směs, asfaltový koberec mastixový

### **Klíčová slova anglicky:**

Asphalt, crumb rubber, modified bitumen, asphalt mixture, stone mastic asphalt

**Prohlášení:**

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

V Brně dne .....

.....  
Zavřel Tomáš

Tímto bych chtěl vyjádřit poděkování Prof. Ing. Janu Kudrnovi CSc., Doc. Dr. Ing. Michalu Varausovi, Ing. Ondřeji Daškovi, Pavlu Strakovi a všem zaměstnancům školní laboratoře VUT FAST v Brně za odbornou pomoc a cenné rady při zpracování této diplomové práce.

# OBSAH

<b>OBSAH .....</b>	<b>6</b>
<b>1 ÚVOD .....</b>	<b>9</b>
1.1 Cíl diplomové práce .....	10
1.2 Základní informace o směsích SMA LA .....	10
1.3 Výroba směsi s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem .....	11
1.4 Modifikační přísada TecRoad.....	12
<b>2 METODIKA ŘEŠENÍ .....</b>	<b>14</b>
2.1 ČSN EN 13880-3 Zkušební metoda pro stanovení penetrace a pružné regenerace (resilience) .....	14
2.1.1 Definice .....	14
2.1.2 Podstata zkoušky .....	14
2.1.3 Zkušební zařízení a pomůcky.....	14
2.1.4 Příprava a temperování zkušebních těles.....	15
2.1.5 Postup zkoušky .....	15
2.1.6 Vyjádření výsledku .....	16
2.2 ČSN EN 1426 Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení penetrace jehlou.....	16
2.2.1 Vyjádření výsledku .....	17
2.3 ČSN EN 1427 Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení bodu měknutí – Metoda kroužek a kulička .....	17
2.3.1 Definice .....	17
2.3.2 Podstata zkoušky .....	18
2.3.3 Postup zkoušky .....	18
2.4 ČSN EN 13302 Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení dynamické viskozity asfaltových pojiv rotačním vřetenovým viskozimetrem .....	19
2.4.1 Definice .....	19
2.4.2 Postup měření.....	20
2.5 ČSN EN 12697-5 Stanovení maximální objemové hmotnosti.....	20
2.5.1 Volumetrická metoda.....	20
2.5.2 Postup zkoušky .....	21
2.5.3 Výpočet maximální objemové hmotnosti .....	21
2.6 ČSN EN 12697-6 Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa .....	22
2.6.1 Postup zkoušky .....	22

2.6.2	Výpočet objemové hmotnosti .....	22
2.7	ČSN EN 12697-8 Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí.....	23
2.8	ČSN EN 12697-17 Ztráta částic zkušebního tělesa.....	23
2.8.1	Příprava zkušebních těles .....	24
2.8.2	Postup zkoušky .....	24
2.8.3	Výpočet ztráty částic .....	25
2.9	ČSN EN 12697-12 Stanovení odolnosti zkušebního tělesa vůči vodě .....	25
2.9.1	Definice .....	25
2.9.2	Podstata zkoušky .....	26
2.9.3	Zkušební zařízení a pomůcky.....	26
2.9.4	Příprava zkušebních těles .....	27
2.9.5	Temperování zkušebních těles.....	28
2.9.6	Suchá zkušební tělesa .....	29
2.9.7	Mokrý zkušební tělesa .....	29
2.9.8	Postup zkoušky odolnosti vůči vodě.....	29
2.9.9	Výpočet odolnosti vůči vodě .....	30
2.10	ČSN EN 12697-22 Zkouška pojíždění kolem .....	30
2.10.1	Příprava zkušebního tělesa.....	31
2.10.2	Postup zkoušky .....	32
2.10.3	Výpočet a vyhodnocení zkoušky .....	32
2.11	ČSN EN 12697-26 Tuhost.....	33
2.11.1	Měření komplexního modulu tuhosti.....	33
2.11.2	Výroba zkušebních těles .....	33
2.11.3	Postup zkoušky .....	35
2.11.4	Vyhodnocení zkoušky .....	36
2.12	Měření únavových charakteristik.....	36
2.12.1	Příprava zkušebních těles .....	36
2.12.2	Postup zkoušky .....	36
2.12.3	Vyhodnocení zkoušky .....	37
2.13	Stanovení nízkoteplotních charakteristik asfaltové směsi.....	38
2.13.1	Příprava zkušebních těles .....	38
2.13.2	Postup zkoušky .....	39
2.13.3	Vyhodnocení zkoušky .....	40
<b>3</b>	<b>POUŽITÉ MATERIÁLY .....</b>	<b>41</b>
3.1	Pojivo.....	41



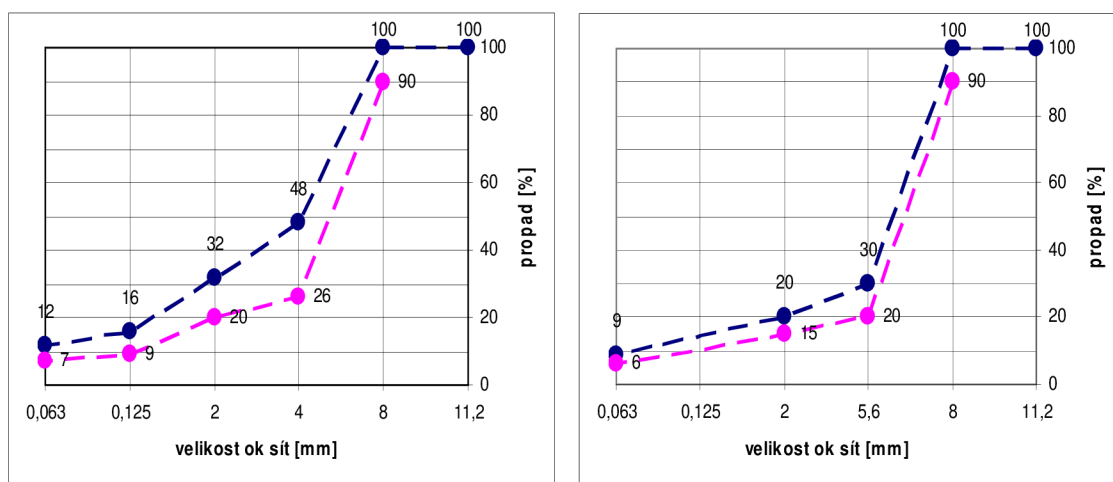
3.1.1	Asfalt OMV gradace 50/70 .....	41
3.1.2	Pryžový granulát .....	41
3.1.2.1	Reakční doba .....	41
3.1.3	Modifikační přísada TecRoad .....	42
3.2	Kamenivo .....	43
<b>4</b>	<b>VYHODNOCENÍ ZKOUŠEK POJIV .....</b>	<b>45</b>
4.1	Výsledky resilience .....	45
4.2	Výsledky penetrace .....	45
4.3	Výsledky stanovení bodu měknutí .....	45
4.4	Výsledky dynamické viskozity .....	46
<b>5</b>	<b>NÁVRH SMĚSI .....</b>	<b>48</b>
5.1	Příprava a výroba směsi SMA 8 LA .....	49
5.2	Problémy při stanovení mezerovitosti [1] .....	50
5.3	Vyhodnocení volumetrických charakteristik .....	51
<b>6</b>	<b>VYHODNOCENÍ ZKOUŠEK ASFALTOVÝCH SMĚSÍ .....</b>	<b>53</b>
6.1	Vyhodnocení zkoušky ztráty částic .....	53
6.2	Výsledky zkoušky odolnosti vůči účinkům vody (ITSR) .....	54
6.3	Výsledky zkoušky trvalých deformací (pojízdní kolem) .....	56
6.4	Výsledky zkoušky měření nízkoteplotních charakteristik .....	60
6.5	Výsledky zkoušky měření komplexních modulů tuhosti .....	62
6.6	Výsledky zkoušky měření únavových charakteristik .....	65
<b>7</b>	<b>SOUHRN VÝSLEDKŮ .....</b>	<b>69</b>
<b>8</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>70</b>
<b>9</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>72</b>
<b>10</b>	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>74</b>
<b>11</b>	<b>SEZNAM GRAFŮ .....</b>	<b>76</b>
<b>12</b>	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>77</b>
<b>13</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>78</b>

# 1 ÚVOD

Trend stále se zvyšujících intenzit dopravy přináší zvýšenou hlukovou zátěž. Současná snaha o zkvalitnění životního prostředí pak vede k poměrně silnému tlaku na útlum hluku v okolí pozemních komunikací zejména v blízkosti sídelních útvarů nebo přímo v intravilánu. Stavba protihlukových stěn je na jedné straně finančně náročná, na druhé straně pak není vždy s ohledem na umístění komunikace s okolní zástavbou možná. Z tohoto pohledu se jeví jako jednodušší navrhnout obrusnou vrstvu, která již sama o sobě svou skladbou zvýšený útlum hluku zajistí. Kromě již dříve používaných asfaltových koberců drenážních, které kromě vysokého útlumu hluku přinášejí i snížení rizika aquaplaningu, se nabízí různé typy koberců s vyšší mezerovitostí, které sice nedosahují tak vysokého útlumu hluku jako asfaltové koberece drenážní, na druhé straně jsou však méně náročné z hlediska provádění a následné údržby. Jako jedna z možností se nabízí nízkohlučný asfaltový koberec mastixový s označením SMA LA (LA = Lärmarm = nízkohlučný), který je v poslední době používán zejména ve Spolkové republice Německo.

Výhody nízkohlučných asfaltových koberců mastixových ve srovnání s asfaltovými koberci drenážními jsou následující:

- méně problematická technologie výroby asfaltové směsi,
- delší strukturní a akustická životnost,
- bezproblémové provádění běžné a zimní údržby,
- odpadající nutnost provádění těsnicí vrstvy ze SAMI membrány. [1]



Graf 1 Obor zrnitosti pro směs SMA 8 S (vlevo) a SMA 8 LA (vpravo) [1]

## 1.1 Cíl diplomové práce

Cílem této diplomové práce je navrhnout a vzájemně posoudit 2 směsi nízkohlučného asfaltového koberce mastixového (SMA 8 LA) s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem (CRmB). Rozdíl ve směsích je v použitém pojivu. První směs obsahuje pryžový granulát Kovosteel (9,9 % z hmotnosti pojiva) – dále označováno jako SMA 8 LA KS a druhá směs obsahuje koncentrát asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem s názvem TecRoad (22 % z hmotnosti pojiva) – dále označována jako SMA 8 LA TR. Na vyrobeném pojivu byly provedeny laboratorní zkoušky, které byly vyhodnoceny a porovnány.

Z navržených směsí byla vyrobena zkušební tělesa, na kterých byly provedeny tyto zkoušky:

- ztráta částic
- odolnosti vůči účinkům vody (ITSR),
- odolnosti vůči vzniku trvalých deformací,
- odolnost vůči mrazovým trhlinám,
- stanovení modulů tuhostí,
- stanovení únavových charakteristik

Naměřené hodnoty ze zkoušek jsou vyhodnoceny a obě směsi jsou vzájemně porovnány. V závěru práce jsou uvedena doporučení pro použití při stavbě, údržbě a opravě vozovek.

## 1.2 Základní informace o směsích SMA LA

Jedná se o nový druh asfaltových koberců mastixových se zvýšenou mezerovitostí, které dosahují podstatně vyššího útlumu hluku od dopravy než běžně používané mastixové koberce. Tyto směsi se začínají uplatňovat stále častěji většinou u intravilánových vozovek zejména ve Spolkové republice Německo. Směsi typu SMA LA vycházejí svojí skladbou z dobře známých asfaltových koberců mastixových, které byly vyvinuty v 70. letech v Německu a které se osvědčily zejména díky vysoké odolnosti vůči tvorbě trvalých deformací, odolnosti vůči tvorbě trhlin a vysoké trvanlivosti. Tyto směsi se rozšířily prakticky po celém světě. Běžná mezerovitost těchto směsí v obrusných vrstvách je cca 3 % až 4 %. Pro dosažení vyššího útlumu hluku je však nezbytné u směsí SMA LA tyto mezerovitosti zvýšit. Dle německých podkladů se pro směsi SMA LA požaduje mezerovitost 10 – 12 %.

Pro dosažení tohoto útlumu hluku je nutno ve skladbě směsi jednak snížit obsah filerových částic a přidat nejhrubší použité frakce, tedy v případě směsi SMA 8 LA, které se nejvíce používají, frakci 5/8 mm (popř. 4/8 mm). Tím dojde k „otevření“ směsi a dosažení požadované mezerovitosti. Takto vysoké mezerovitosti vyžadují zvýšené dávkování spojovacího postřiku v množství přibližně 0,45 kg/m<sup>2</sup> až 0,6 kg/m<sup>2</sup> a snížení mezerovitosti ložní vrstvy tak, aby se nemusela provádět těsnicí SAMI membrána a aby došlo k dobrému spojení s ložní vrstvou. Vysoká mezerovitost pak vyžaduje s ohledem na stárnutí použít buď vysoce modifikované pojivo (např. PMB 40/100-65), nebo asfalt modifikovaný pryžovým granulátem. Kromě toho jsou též vysoké požadavky na kvalitu kameniva, a to jak na otlukovost, tak i tvarový index, které se mají pohybovat maximálně do 20 %. Základní požadavky na tyto směsi jsou uvedeny v tabulce 1. [1]

Požadavky		SMA 8 LA
<b>Vstupní materiály – kamenivo</b>		
Podíl drcených zm		C <sub>1000</sub> ; C <sub>950</sub> ; C <sub>800</sub>
Odolnost proti drcení rázem/LA		SZ <sub>10</sub> /LA <sub>20</sub>
Ohladitelnost, hodnota PSV		PSV <sub>deklarovaná</sub> (51)
Minimální podíl frakce drobného kameniva s E <sub>C13</sub> 35		100 %
<b>Vstupní materiály – pojivo</b>		
<b>Asfaltová směs – návrh</b>		
Zrnitost – propad na síť	11,2 mm	100 %
	8 mm	90–100 %
	5,6 mm	20–30 (25–35) % <sup>1)</sup>
	2 mm	15–20 %
	0,063 mm	6–9 %
Minimální obsah pojiva hmotnostně		B <sub>min 0,5</sub> [%]
Nosič pojiva		≥ 0,3 %
<b>Asfaltová směs – vlastnosti</b>		
Teplota hutnění – Marshallova tělesa		135 ± 5 °C
Mezerovitost – Marshallova tělesa		10–12 (8–10) % <sup>2)</sup>
Stupeň vyplnění mezer		Hodnota se deklaruje [%]
<b>Vrstva</b>		
Tloušťka		25 cm
Míra zhutnění		≥ 97 %
Mezerovitost		10–15 %

<sup>1)</sup> Pro intravilánové vozovky se někdy ve výběrových řízeních požadují propady uvedené v závorce

<sup>2)</sup> Objemová hmotnost Marshallových těles se stanovuje dle EN 12697-6, metoda B, SSD

Tabulka 1 Požadavky na směsi SMA 8 LA [1]

### 1.3 Výroba směsi s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem

Výrobu směsi s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem lze provést dvěma způsoby. První způsob výroby je mokřý proces (wet process), který je možné provést metodou Continuous Blend nebo metodou Terminal Blend. Při metodě Continuous Blend se pojivo vyrábí v míchacím zařízení přistaveným přímo k obalovně

v mísícím zařízení (Blender) a následně je přiváděno do dávkovacího zařízení obalovny. Výsledný produkt je v ČR nazýván asfalt modifikovaný pryžovým granulátem – CRmB. Při metodě Terminal Blend je výroba modifikovaného asfaltu jemnozrnným pryžovým granulátem prováděna v rafinériích s přidáním chemických přísad.



**Obrázek 1 Mísící zařízení G Asfalt (blender)**

Druhý způsob výroby je suchý proces (dry process), který se v ČR označuje Rubit. Při metodě Rubit je pryžový granulát zrnitosti 0/4 mm přidáván přímo do míchačky obalovny spolu s kamenivem. Výsledným produktem je asfaltová směs s pryžovým granulátem. Tato metoda se svými výsledky příliš neosvědčila.

#### **1.4 Modifikační přísada TecRoad**

Od roku 2005 je v Evropě k dispozici nové inovativní řešení s výrobkem, který výrobce nazývá „*TecRoad*“. Je to pryžo-asfaltový granulát (zkráceně RMB G podle [15]), který má vysoký podíl pryžového granulátu, až do 40 %, chemicky a fyzikálně integrovanou do asfaltu. Vyrábí se ve dvou variantách: TecRoad Standart, který obsahuje cca 35 % pryžového granulátu a TecRoad Premium, který obsahuje cca 40 % pryžového granulátu.

Jedná se o granulovaný koncentrát (předsměs), který se vyrábí ve speciální výrobní lince v Rakousku. Jemný pryžový granulát se několik hodin míchá se silničním asfaltem, přečerpává se a na konci linky se přidáním pryžového granulátu a chemickou cestou upravuje do sytké hmoty, která je vlastně koncentrátem asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem. Tato metoda spojuje výhody obou předešlých postupů, protože

je možné tuto předsměs snadno dávkovat jako u technologie Rubit spolu s kamenivem do míchačky obalovny, ale větší část pryžového granulátu v asfaltu zreagovala již při výrobě koncentrátu jako u technologie „Terminal Blend“.

Pryžo-asfaltový granulát může být dopravován v pytlích, velkých pytlích (big-bag) nebo v cisternách. Může být měsíce skladován bez ztráty kvality. Proto je inovovaná metoda snadněji realizovatelná než klasická mokrá metoda. Nevýhodou technologie je vysoká cena přísady. [1]

## 2 METODIKA ŘEŠENÍ

V této kapitole jsou popsány veškeré zkušební metody pro zkoušení asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem a směsí SMA LA 8, které byly provedeny ve školní laboratoři.

### 2.1 ČSN EN 13880-3 Zkušební metoda pro stanovení penetrace a pružné regenerace (resilience)

Tato evropská norma specifikuje postup pro stanovení penetrace a pružné regenerace (resilience) zálevk prováděných za horka pomocí standardního penetrometru opatřeného penetračním nástavcem s kuličkou. Postup je vhodný rovněž pro určování elastických vlastností asfaltů modifikovaných pryžovým granulátem. [2]

#### 2.1.1 Definice

**hodnota resilience** - procento navrácení do původního stavu (resilience) zaznamenané za standardních zkušebních podmínek, získané měřením elastomerních vlastností výrobku. [2]

#### 2.1.2 Podstata zkoušky

Zkušební tělesa se připraví tak, že část laboratorního vzorku se nalije do dvou kovových nádob, které se nechají zchladnout na vzduchu. Poté se zkušební vzorky zakryjí víky a ponoří se do vodní lázně s konstantní teplotou 25 °C. Po ukončení doby temperování se zkušební tělesa vyjmou z vodní lázně, víka se sejmou a okamžitě se provede zkouška. [2]

#### 2.1.3 Zkušební zařízení a pomůcky

Penetrometr, vyhovující požadavkům ČSN EN 1426, který umožňuje vertikální pohyb držáku penetračního nástavce s kuličkou bez měřitelného tření a umožňuje měření hloubky penetrace s přesností na 0,1 mm. Držák penetračního nástavce s kuličkou má být lehce odnímatelný a musí mít hmotnost  $(47,50 \pm 0,05)$  g.

Penetrační nástavec s kuličkou o hmotnosti  $(27,5 \pm 0,1)$  g musí být zhotoven z oceli. Celková hmotnost penetračního nástavce s kuličkou a standardního držáku penetrometru musí být  $(75 \pm 0,1)$  g.

Vodní lázeň s objemem nejméně 10 l vody s děrovanou policí umístěnou nejméně 50 mm nad dnem lázně, schopná udržovat zkušební tělesa při požadované zkušební teplotě ( $25 \pm 0,3$ ) °C. V lázni musí být použita destilovaná voda.

Plechovky na vzorky jsou dvě kovové nádoby s plochým dnem, s hloubkou 45 mm a s vnitřním průměrem 70 mm. [2]



Obrázek 2 Penetrometr se zkušebním tělesem pro určení resilience

#### **2.1.4 Příprava a temperování zkušebních těles**

Zkušební tělesa jsou odebrané vzorky, které jsou reprezentativními vzorky materiálu. Po nalití se nádoby se zkušebními tělesy volně překryjí kádinkou, která chrání vzorek proti prachu. Zkušební tělesa se nechají chladnout na vzduchu při teplotě ( $23 \pm 2$ ) °C po dobu ( $105 \pm 15$ ) min. Po uplynutí té to doby, se zkušební tělesa umístí do vodní lázně o teplotě ( $25 \pm 0,1$ ) °C, ve které se nechají temperovat po dobu ( $105 \pm 15$ ) min.

#### **2.1.5 Postup zkoušky**

Zkušební tělesa se vyjmou z vodní lázně, víka se sejmou a okamžitě se provede zkouška. Kulička penetračního nástavce se nastaví do kontaktu s povrchem zkušebního tělesa a na stupnici penetrometru se nastaví nula. Aretování penetrometru se uvolní na dobu ( $5,0 \pm 0,1$ ) s, čímž se umožní penetrace kuličky do zkušebního tělesa. Odečet na stupnici v milimetrech se zaznamená s přesností na 0,1 mm jako



počáteční hodnota penetrace kuličkou. Poté, aniž by se vrátil ukazatel na stupnici na nulu, uvolní se opět aretace penetrometru a penetrační nástavec s kuličkou se zatlačí dalších 10 mm do zkušebního tělesa rovnoměrnou rychlostí během 10 s. Penetrometr se zaaretuje a kulička se ponechá v její pozici po dobu 5 s. Aretace se uvolní a zkušební těleso, v němž je kulička, se ponechá regenerovat po dobu 20 s a poté se penetrometr opět zaaretuje. Horní vřetenem posuneme směrem dolů, až dojde ke styku se spodním vřetenem a s přesností na  $\pm 0,1$  mm odečteme konečnou hodnotu penetrace.

Tento postup opakujeme na 3 místech rovnoměrně rozmístěných a vzdálených od sebe i od okraje nádoby nejméně 10 mm.

### **2.1.6 Vyjádření výsledku**

Resilience R se vypočítá dle vzorce:

$$R = (P + 10 - F) \cdot \frac{100}{10}$$

Kde:

R	je	resilience v procentech (%)
P		počáteční penetrace kuličky v milimetrech (mm)
F		konečná penetrace v milimetrech (mm)

Výsledná hodnota resilience se stanoví jako průměr ze tří měření a zaokrouhlí se na nejbližší 1 %.

## **2.2 ČSN EN 1426 Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení penetrace jehlou**

Penetrace asfaltů modifikovaný pryžovým granulátem se měří na místech hladkých a lesklých a stanovují se 4 výsledky, přičemž se nejnižší naměřená penetrace do průměru nezapočítává. [5]

Hrot penetrační jehly nastavíme tak, aby došlo ke kontaktu mezi špičkou jehly a povrchem vzorku umístěným ve vodní lázni. Poté uvolníme aretaci penetrometru na dobu  $(5,0 \pm 0,1)$  s, čímž dochází k penetraci jehly do vzorku. Následně se na stupnici penetrometru odečte hodnota penetrace jehlou s přesností na 0,1 mm. Tento postup opakujeme na místech rovnoměrně rozmístěných a vzdálených od sebe i od okraje nádoby nejméně 10 mm. Každé stanovení penetrace se provádí čistou jehlou.

Požadovaná penetrace CRmB podle TP 148 je v rozmezí 25 až 75 p.j. [3]



Obrázek 3 Penetrometr se zkušebním tělesem pro určení penetrace



Obrázek 4 Penetrační jehla

### **2.2.1 Vyjádření výsledku**

Výsledná hodnota penetrace se stanoví jako aritmetický průměr ze tří měření v desetinách milimetru (penetračních jednotkách). [3]

## **2.3 ČSN EN 1427 Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení bodu měknutí – Metoda kroužek a kulička**

### **2.3.1 Definice**

**bod měknutí** – teplota, při které materiál za normalizovaných zkušebních podmínek dosáhne určité konzistence. [4]

### **2.3.2 Podstata zkoušky**

Dva kotoučky z asfaltového pojiva, odlité v mosazných kroužcích se zahřívají řízenou rychlostí v kapalinové lázni, přičemž na každém z nich je umístěna ocelová kulička. Bod měknutí se zaznamená jako průměr teplot, při kterých tyto dva kotoučky změknu natolik, aby umožnily každé z kuliček, obalených v asfaltovém pojivu, propadnout o vzdálenost  $(25 \pm 0,4)$  mm. [4]



**Obrázek 5 Asfaltové pojivo nalité v kroužcích**

### **2.3.3 Postup zkoušky**

Po vychladnutí kotoučků z asfaltového pojiva odlitých v mosazných kroužcích, se nahřátou špachtlí odřízne nadbytečné asfaltové pojivo.

Pro body měknutí mezi 28 °C a 80 °C se použije čerstvě převařená destilovaná voda a teploměr s dělením po 0,2 °C. Po čáteční teplota lázně musí být 5 °C  $\pm$  1 °C. Sestaví se přístroj s kroužky naplněnými vzorky, středícím zařízením pro kuličky a zasazeným teploměrem a lázeň se naplní tak, aby povrch lázně byl 50 mm  $\pm$  3 mm nad horním okrajem kroužků. Pomocí chemických kleští se umístí dvě kovové kuličky do lázně při teplotě 5 °C. Zajistí se, aby kuličky měly stejnou počáteční teplotu jako zbývající část sestavy. Kádinka s lázní a sestaveným přístrojem se umístí do ledové vody, aby zchladla na teplotu 5 °C  $\pm$  1 °C, aby se do sáhla a udržela teplota na dobu 15 minut. Pomocí chemických kleští se každá kulička umístí do svého středícího zařízení. Kapalina v lázni se míchá a zesponu zahřívá tak, aby teplota stoupala rovnoměrně rychlostí 5 °C/min. Během celého měření musí být teplotní odchylka menší než  $\pm$  1 °C.

U každého kroužku a kuličky se zaznamenává teplota udávaná teploměrem v okamžiku, kdy se asfalt obklopující kuličku u automatického přístroje dotkne paprsku světla. Zkouška se opakuje, u modifikovaných asfaltů, pokud je rozdíl mezi dvěma teplotami větší než 2 °C pro bod měknutí pod 80 °C. [4]

Při měření bodu měknutí CRmB je možné, že předtím než se kulička dotkne základní desky, poruší vrstvu, kterou je obalena, nebo lze pozorovat odlepení asfaltu

od kuličky. Při těchto situacích lze brát měření za platné, pokud splňuje podmínku přípustného rozdílu teplot dvou měření.

Minimální hodnota bodu měknutí pro CRmB podle TP 148 je 55 °C. [5]



Obrázek 6 Sestava po měření bodu měknutí

## 2.4 ČSN EN 13302 Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení dynamické viskozity asfaltových pojiv rotačním vřetenovým viskozimetrem

Tato evropská norma určuje metodu pro stanovení dynamické viskozity modifikovaných asfaltových pojiv, rotačním vřetenovým viskozimetrem (souosým viskozimetrem).

### 2.4.1 Definice

**viskozita** – je veličina charakterizující vnitřní tření a závisí na přitažlivých silách mezi částicemi. Čím jsou přitažlivé síly větší, tím je větší viskozita. Větší viskozita znamená větší brzdění pohybu pojiva nebo těles v pojivu. S rostoucí teplotou viskozita asfaltového pojiva klesá.



Obrázek 7 Viskozimetr s různými nástavci

### **2.4.2 Postup měření**

Asfaltové pojivo se nalije do zkušební plechové nádoby a vloží se do laboratorní sušárny, kde se nahřeje na požadovanou zkušební teplotu. Měření viskozity je prováděno rotačním viskozimetrem. Rotační viskozimetry pracují na principu měření síly, potřebné k otáčení rotačního tělesa ponořeného do pojiva. Při měření se u viskozimetru hlídá jeho vodorovná poloha pomocí krabicové libely. Měření se provádí ponořením rotoru do nádoby s pojivem, ve které se otáčí. Rotor se nesmí dotýkat stěn nádoby. Měření se musí provést co nejrychleji z důvodu rychlého ochlazování pojiva. Odpovídající viskozita se odečte na stupnici viskozimetru v Pa\*s.

## **2.5 ČSN EN 12697-5 Stanovení maximální objemové hmotnosti**

Tato evropská norma popisuje zkušební metody pro stanovení maximální objemové hmotnosti asfaltové směsi, která neobsahuje mezery. Norma uvádí volumetrický postup, hydrostatický postup a matematický postup. V této práci byla stanovena maximální objemová hmotnost pomocí volumetrické metody. [7]

### **2.5.1 Volumetrická metoda**

U tohoto postupu se maximální objemová hmotnost asfaltových směsí stanoví z objemu vzorku bez mezer a jeho suché hmotnosti. Objem vzorku se měří jako objem rozpouštědla vytěsněného vzorkem v pyknometru. Z důvodu vysoké lepivosti směsí s CRmB bylo pro stanovení maximální objemové hmotnosti použito rozpouštědlo (trichloretylen). [7]



**Obrázek 8** Temperování pyknometru se směsí a rozpouštědlem

### 2.5.2 Postup zkoušky

Stanoví se hmotnost ( $m_1$ ) prázdného pyknometru s nástavcem o známém objemu ( $V_p$ ). Vysušený vzorek se umístí do pyknometru a temperuje se na okolní teplotu. Poté se znovu stanoví jeho hmotnost s nástavcem ( $m_2$ ). Pyknometr se naplní rozpouštědlem maximálně do výšky 30 mm pod okraj. Důležité je úplné odstranění vzduchu přístupných mezer. Pro odstranění mezer se pyknometr protřepe a uloží na rotační zařízení s rotací kolem šikmé osy. Poté se nasadí nástavec pyknometru a pyknometr se opatrně naplní rozpouštědlem až téměř po značku nástavce. Pyknometr se umístí do vodní lázně s rovnoměrnou zkušební teplotou ( $\pm 0,2$  °C) na dobu nejméně 60 minut, aby se dosáhlo vyrovnání teploty vzorku a rozpouštědla v pyknometru s teplotou vody ve vodní lázni. Poté se pyknometr doplní rozpouštědlem po značku na nástavci. Rozpouštědlo v nádobě pro doplňování pyknometru musí mít stejnou zkušební teplotu jako je zkušební teplota vodní lázně. Nakonec se pyknometr vyjme z vodní lázně, z vnější strany se osuší a ihned se stanoví jeho hmotnost ( $m_3$ ). Ze získaných veličin se následně určí maximální objemová hmotnost  $\rho_{mv}$ . [7]



Obrázek 9 Zařízení pro rotaci pyknometrů se vzorkem a trichloretylenem kolem šikmé osy

### 2.5.3 Výpočet maximální objemové hmotnosti

$$\rho_{mv} = \frac{m_2 - m_1}{1000 \times V_p - (m_3 - m_2) / \rho_w}$$

Kde:

- |             |   |
|-------------|---|
| $\rho_{mv}$ | maximální objemová hmotnost asfaltové směsi v $\text{kg/m}^3$ stanovená volumetrickým postupem s přesností $1 \text{ kg/m}^3$ ; |
| $m_1$       | hmotnost pyknometru a nástavce v g;   |
| $m_2$       | hmotnost pyknometru, nástavce a zkušební vzorku v g;  |

$m_3$	hmotnost pyknometru, nástavce, zkušební vzorku a rozpouštědla v g;
$V_p$	objem pyknometru ke značce nástavce v $m^3$ ;
$\rho_w$	hustota rozpouštědla při zkušební teplotě v $kg/m^3$ s přesností $0,1 kg/m^3$ .

## 2.6 ČSN EN 12697-6 Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušební tělesa

Tato evropská norma popisuje zkušební metody pro stanovení objemové hmotnosti zhutněného asfaltového tělesa.

Tato norma uvádí čtyři postupy. Objemová hmotnost suchá, nasycený suchý povrch, utěsněné zkušební těleso a objemová hmotnost podle rozměrů. Další text kapitoly bude věnován postupu stanovení objemové hmotnosti podle rozměrů, podle kterého byla objemová hmotnost zjišťována. [8]

### 2.6.1 Postup zkoušky

Objemová hmotnost zhutněného asfaltového zkušební tělesa se stanoví z hmotnosti zkušební tělesa a jeho objemu. Hmotnost zkušební tělesa se získá zvážením suchého vzorku na vzduchu na vahách s přesností  $\pm 0,1$  g. Objem zkušební tělesa se získá pomocí změření rozměrů posuvným měřítkem s přesností  $\pm 0,1$  mm.

### 2.6.2 Výpočet objemové hmotnosti

Objemová hmotnost podle rozměrů válcového zkušební tělesa se vypočítá s přesností na  $1 kg/m^3$ .

$$\rho_{b,dim} = \frac{m_1}{\frac{\pi}{4} \times h \times d^2} \times 10^6$$

kde	$\rho_{b,dim}$	je	objemová hmotnost zkušební tělesa podle rozměrů v $kg/m^3$ ;
	$m_1$		hmotnost suchého tělesa v g;
	$h$		výška zkušební tělesa v mm;
	$d$		průměr tělesa v mm.

Objemová hmotnost podle rozměrů pravoúhlého zkušební tělesa se vypočítá s přesností na 1 kg/m<sup>3</sup>.

$$\rho_{b,dim} = \frac{m_1}{h \times l \times w} \times 10^6$$

kde  $\rho_{b,dim}$  je objemová hmotnost zkušební tělesa podle rozměrů v kg/m<sup>3</sup>;  
 $m_1$  hmotnost suchého tělesa v g;  
 $h$  výška zkušební tělesa v mm;  
 $l$  délka tělesa v mm;  
 $w$  šířka tělesa v mm. [8]

## 2.7 ČSN EN 12697-8 Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí

Mezerovitost asfaltového zkušební tělesa se vypočítá pomocí maximální objemové hmotnosti směsi a objemové hmotnosti zkušební tělesa.

Vypočítá se podle vzorce s přesností na 0,1 %. [9]

$$V_m = \frac{\rho_m - \rho_b}{\rho_m} \times 100 \%$$

kde  $V_m$  je mezerovitost směsi s přesností 0,1 %;  
 $\rho_m$  maximální objemová hmotnost směsi v kg/m<sup>3</sup>;  
 $\rho_b$  objemová hmotnost zkušební tělesa v kg/m<sup>3</sup>.

## 2.8 ČSN EN 12697-17 Ztráta částic zkušební tělesa

Tato norma popisuje zkušební metodu pro stanovení ztráty částic. Ztráta částic je posuzována ztrátou hmotnosti Marshallových těles po otáčení v otlukovém bubnu Los Angeles. [10] Provedení zkoušky se požaduje pouze u na vzorcích směsi asfaltového koberce drenážního. Protože směsi SMA LA vykazují vyšší mezerovitost byla tato zkouška pro informaci provedena i na této směsi.



### **2.8.1 Příprava zkušebních těles**

Pro tuto zkoušku byly vytvořeny 3 sady Marshallových těles po 3 kusech, které byly nahutněny na rázovém zhutňovači 50 úderů z každé strany. První sada obsahovala 6,2 %, druhá 6,6 % a třetí 7,0 % pojiva z hmotnosti směsi. Po vychladnutí a vyjmutí z formy se stanovila z rozměrů a hmotnosti jejich objemová hmotnost.



**Obrázek 10 Válcová zkušební tělesa**

### **2.8.2 Postup zkoušky**

Jednotlivá zkušební tělesa jsou zvážena a stanoví se jejich hmotnost  $W_1$ . Poté se jedno zkušební těleso vloží do otlukového bubnu. Při této zkoušce se používá otlukový buben bez ocelových koulí. Na počítadle se nastaví 300 otáček a spustí se otáčení. Po uplynutí 300 otáček se zkušební těleso se vyjme z otlukového bubnu, očistí se a odstraní uvolněné částice. Zkušební těleso se opět zváží a stanoví se hmotnost  $W_2$ . Zkouška se opakuje stejným způsobem pro každé zkušební těleso.



**Obrázek 11 Otlukový buben Los Angeles**



Obrázek 12 Válcová zkušební tělesa po zkoušce ztráty částic

### 2.8.3 Výpočet ztráty částic

Ztráta částic se vypočte pro každé zkušební těleso pomocí vzorce.

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

kde PL je hodnota ztráty částic v %;

$W_1$  počáteční hmotnost zkušební tělesa v g;

$W_2$  konečná hmotnost zkušební tělesa v g.

Výsledek zkoušky se uvede jako průměrná hodnota z každé sady. [10]

## 2.9 ČSN EN 12697-12 Stanovení odolnosti zkušební tělesa vůči vodě

Tato norma popisuje zkušební metodu pro stanovení účinku nasycení vodou a zrychleného temperování ve vodní lázni. Tato metoda využívá stanovení pevnosti v příčném tahu zkušebních těles ve tvaru válce z asfaltové směsi. [11]

### 2.9.1 Definice

**odolnost vůči působení vody** - vyjádřena jako hodnota ITSR získaná ze zhutněných zkušebních těles asfaltové směsi.

**poměr pevností v příčném tahu (ITSR)** - poměr pevností v příčném tahu, „mokrých“ (temperovaných ve vodní lázni) a „suchých“ zkušebních těles, vyjádřený v procentech.

**pevnost v příčném tahu (ITS)** - maximální tahové napětí působící na válcové zkušební těleso zatížené při určené zkušební teplotě a rychlosti posunu zkušebního zařízení, stanovené podle ČSN EN 12697-23. [11]

### **2.9.2 Podstata zkoušky**

Sada zkušebních těles ve tvaru válce se rozdělí do dvou skupin o stejné průměrné objemové hmotnosti a je temperována. Jedna skupina je udržována na vzduchu při laboratorní teplotě. Druhá skupina je nasycena vodou a uložena do vodní lázně se zvýšenou teplotou. Po temperování se stanoví pevnost v příčném tahu na každé ze dvou skupin podle ČSN EN 12697-23 při předepsané zkušební teplotě. Vypočítá se poměr pevností v příčném tahu zkušebních těles temperovaných ve vodní lázni k pevnosti zkušebních těles udržovaných na vzduchu a vyjádří se v procentech. [11]

### **2.9.3 Zkušební zařízení a pomůcky**

Zkušební lis a tlačná čelist se zatěžovacími pásy.

Vakuový systém (čerpadlo, manometr atd.). Vakuový systém musí být schopen snížit tlak ve vakuové komoře na hodnotu  $(6,7 \pm 0,3)$  kPa za  $(10 \pm 1)$  min a musí udržet požadované vakuum po dobu  $(30 \pm 5)$  min.

Vodní lázeň s termostatickou regulací, schopná udržovat teplotu temperování  $(40 \pm 1)$  °C a  $(15 \pm 2)$  °C v blízkosti zkušebních těles. Vodní lázeň musí být vybavena děrovanou vložkou uloženou na rozpěrkách nad dnem lázně. Objem vodní lázně by měl být dostatečný, aby bylo zajištěno, že horní povrch uložených zkušebních těles se nachází více než 20 mm pod hladinou vody.

Temperační komora s termostatickou regulací, schopná udržovat zkušební teplotu  $(15 \pm 2)$  °C v blízkosti zkušebních těles. [11]



**Obrázek 13 Vakuová komora**

### **2.9.4 Příprava zkušebních těles**

Vytvořená směs byla rozdělena na jednotlivé navážky pro výrobu šesti zkušebních těles. Tyto navážky byly vloženy do sušárny, kde byly zahřáty na teplotu 135 °C. Po zahřátí na požadovanou teplotu byly zhutněny v rázovém zhutňovači 2 · 25 údery. U jednotlivých zhutněných zkušebních těles byly pomocí posuvného měřítka zjištěny rozměry a na vahách hmotnost. Z těchto veličin byla vypočítána objemová hmotnost jednotlivých zkušebních těles. Zkušební tělesa byla rozdělena do dvou skupin, které mají přibližně stejnou průměrnou objemovou hmotnost. Rozdíl průměrných objemových hmotností by neměl být větší než 15 kg/m<sup>3</sup>. Obě skupiny těles musí být stejného stáří (připraveny během jednoho týdne). Před zahájením temperace se musí umožnit zrání zkušebních těles po dobu 16 až 24 hodin.



**Obrázek 14 Sušárna v laboratoři**



**Obrázek 15 Rázový zhutňovač**



Obrázek 16 Ventilátor pro ochlazení čerstvě zhuštěných těles se šesti kruhovými podstavci



Obrázek 17 Zařízení pro vytlačení zkušebních těles z formy

### **2.9.5 Temperování zkušebních těles**

Z navážek bylo nahutněno 6 zkušebních těles, které byly rozděleny do dvou skupin o přibližně stejných průměrných objemových hmotnostech. Jedna skupina těles byla temperována jako mokrá zkušební tělesa a druhá skupina jako suchá zkušební tělesa.



**Obrázek 18 Vodní lázeň pro temperaci mokrých těles**

### **2.9.6 Suchá zkušební tělesa**

Sada suchých zkušebních těles byla uložena na rovném povrchu při laboratorní teplotě  $(20 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$ .

### **2.9.7 Mokrú zkušební tělesa**

Skupina mokrých zkušebních těles byla uložena na perforovanou podložku ve vakuové komoře naplněné destilovanou vodou o teplotě  $(20 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$  do úrovně 20 mm nad horní povrch zkušebních těles.

Ve vakuové komoře byl vytvořen během  $(10 \pm 1)$  min. absolutní (zbytkový) tlak  $(6,7 \pm 0,3)$  kPa. Tlak byl snižován postupně, aby nedošlo k poškození zkušebních těles rozpínajícím se vzduchem. Požadovaný tlak byl udržován po dobu  $(30 \pm 5)$  min. Po uplynutí doby, byl do vakuové komory pomalu vpouštěn atmosférický tlak. Zkušební tělesa po dobu dalších  $(30 \pm 5)$  min. byla ponechána ponořena v destilované vodě. Zkušební tělesa, jejichž objem se zvýší o více než 2 %, se vyloučí.

Poté skupina mokrých těles byla vložena do vodní lázně o teplotě  $(40 \pm 1) \text{ }^\circ\text{C}$  na dobu 72 hodin.

### **2.9.8 Postup zkoušky odolnosti vůči vodě**

Zkušební teplota byla zvolena na  $(15 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$ , což je doporučená standardní zkušební teplota.

Skupina suchých zkušebních těles byla temperována na zkušební teplotu  $(15 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$  v termostaticky regulované komoře.

Skupina mokrých zkušebních těles byla temperována na zkušební teplotu  $(15 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$  přímým uložením vzorků do vodní lázně.

Temperace probíhala po dobu 2 hodin což je minimální doba temperace pro zkušební tělesa, jejichž průměr je menší než 150 mm.

Povrch mokrých zkušebních těles se osuší osuškou a ihned se provádí zkouška stanovení pevnosti v příčném tahu podle postupu uvedeného v ČSN EN 12697-23. Zkouška pevnosti v příčném tahu se musí provést do 1 minuty po vyjmutí zkušebního tělesa z temperované vodní lázně. [11]



Obrázek 19 Zatěžovací lis se zkušebním tělesem

### 2.9.9 Výpočet odolnosti vůči vodě

Vypočítá se jako poměr pevností v příčném tahu pro každé zkušební těleso dle vzorce:

$$ITSR = 100 \times \frac{ITS_w}{ITS_d}$$

kde:  $ITSR$  je poměr pevností v příčném tahu v %;

$ITS_w$  průměrná pevnost v příčném tahu skupiny mokrých zkušebních těles v kPa;

$ITS_d$  průměrná pevnost v příčném tahu skupiny suchých zkušebních těles v kPa.

### 2.10 ČSN EN 12697-22 Zkouška pojíždění kolem

U této zkoušky se zjišťuje náchylnost asfaltové směsi k trvalé deformaci pod účinkem zatížení. Tato náchylnost k trvalé deformaci se usuzuje v závislosti na hloubce vyjeté koleje způsobené opakovaným pojížděním zatěžovacím kolem při stálé teplotě.

Zkouška byla provedena na zkušební tělese vyrobeném v laboratoři, které bylo upevněno ve formě tak, že jeho povrch byl v jedné rovině s horním okrajem formy.

### **2.10.1 Příprava zkušebního tělesa**

Zkušební tělesa byla vyrobena ve školní laboratoři. Navážka byla vypočítána na desku o rozměrech 260 · 320 · 40 mm. Z vypočítané navážky se namíchala směs při teplotě 175 °C a následně byla zhutněna v lamelovém zhutňovači při teplotě 135 °C. Teplota hutnění 135 °C byla zvolena podle doporučení německých literatur pro tuto asfaltovou směs. Pro SMA 8 LA TR byly vyrobeny 2 desky a pro SMA 8 LA KS byla vyrobena 1 deska (z důvodu úspory materiálu).



**Obrázek 20 Lamelový zhutňovač desek**

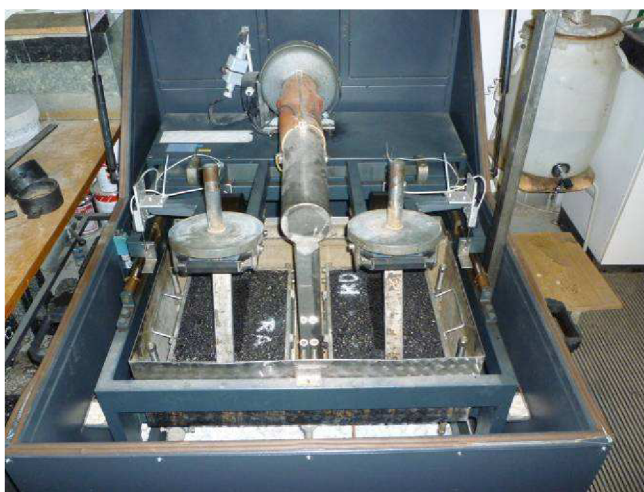


**Obrázek 21 Zkušební deska**



### 2.10.2 Postup zkoušky

Před začátkem zkoušky jsou zkušební tělesa temperována na vzduchu při předepsané teplotě  $\pm 1$  °C po dobu minimálně 4 hodin pro zkušební tělesa o tloušťce  $\leq 60$  mm. Zkušební těleso se upne do upínacího zařízení a pevně se upevní ke stolu zařízení pro pojíždění kolem. Následné měření vyjeté koleje a počet zatěžovacích cyklů je plně automatizované. Každé zkušební těleso bylo zatěžováno 10 000 zatěžovacími cykly, což je 20 000 pojezdů. Po dosažení této hodnoty se zkouška ukončí. [12]



Obrázek 22 Zkušební zařízení pro pojíždění desek

### 2.10.3 Výpočet a vyhodnocení zkoušky

$$WTS_{AIR} = \frac{d_{10000} - d_{5000}}{5}$$

kde:  $WTS_{AIR}$  je přírůstek hloubky vyjeté koleje, v  $\text{mm}/10^3$  zatěžovacích cyklů;

$d_{10000}$  hloubka vyjeté koleje po 10 000 cyklech, v mm;

$d_{5000}$  hloubka vyjeté koleje po 5 000 cyklech, v mm.

#### **Průměrný přírůstek hloubky vyjeté koleje na vzduchu**

Výsledek je průměr  $WTS_{AIR}$  ze dvou zkušebních těles.

#### **Průměrná poměrná hloubka vyjeté koleje $PRD_{AIR}$ na vzduchu**

Poměrná hloubka vyjeté koleje pro zkoušenou asfaltovou směs při 10 000 zatěžovacích cyklech je průměr poměrné hloubky vyjeté koleje zkušebních těles s přesností  $\pm 0,1$  %. [12]

## 2.11 ČSN EN 12697-26 Tuhost

Vzorky definovaného tvaru jsou deformovány v rozsahu lineárního přetvoření, a to buď při vyvozování stejného zatěžování, nebo při zatěžování konstantním přetvořením. Měří se amplituda napětí a poměrného přetvoření spolu s fázovým úhlem mezi napětím a poměrným přetvořením. [13]

### 2.11.1 Měření komplexního modulu tuhosti

Komplexní modul tuhosti je materiálová, teplotně a časově proměnná charakteristika při krátkodobém namáhání harmonicky proměnným zatížením, jehož výsledkem je poměrné přetvoření, které má posun o fázový úhel v porovnání s průběhem napětí. Amplituda zatížení musí být taková, aby nedocházelo k poškození vzorku. Maximální přetvoření krajních vláken musí být do velikosti  $5 \cdot 10^{-5}$  m/m. Při těchto přetvářeních se neprojevuje únava materiálu. Před začátkem měření jsou tělesa uložena do temperovací komory a vytemperována na zkušební teplotu.

Jednotlivé moduly byly měřeny při teplotách -5, +10, +15, +25 a 40 °C. Při měření modulu tuhosti byly nastaveny zatěžovací frekvence 5, 10, 15, 20 a 25 Hz. [14]

### 2.11.2 Výroba zkušebních těles

V laboratoři z vypočtené navážky se namíchala směs a v lamelovém zhutňovači desek se vyrobí desky o rozměrech 260 · 320 · 40 mm. Pro tuto zkoušku byly vytvořeny tři desky od každé směsi. Z těchto desek se následně vyřezají na kotoučové pile zkušební tělesa, která mají tvar komolého klínu (trapezoidu). Po nařezání se změří rozměry zkušebních těles s přesností 0,1 mm a zváží s přesností 0,1 g. Z hmotnosti a rozměrů se spočítá jejich objemová hmotnost.

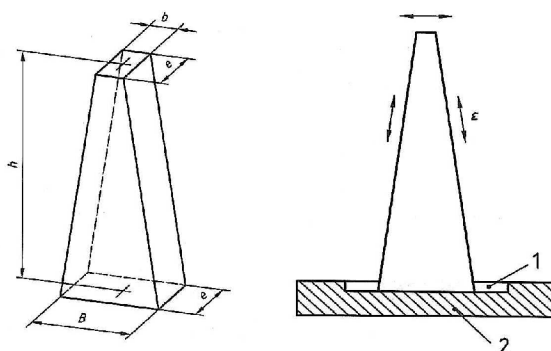


Obrázek 23 Míchací zařízení pro obalení kameniva pojivem



Obrázek 24 Kotoučová pila s diamantovým kotoučem

Zkušební tělesa jsou následně přilepena spodní částí ke kovové podkladní desce pomocí dvousložkové epoxidové pryskyřice s přidáním vápencové moučky. Na horní část zkušebního tělesa se přilepí kovový háček pro upevnění zatěžovacího zařízení ke zkušebnímu tělesu.



Legenda  
 1 Drážka, 2 mm  
 2 Kovová podkladní deska

$B = \text{cca } 70 \text{ mm}$ ;  $e = \text{cca } 40 \text{ mm}$ ;  $h = \text{cca } 250 \text{ mm}$ ;  $b = \text{cca } 25 \text{ mm}$



Obrázek 25 Nařezaná a nalepená zkušební tělesa obou směsí

### 2.11.3 Postup zkoušky

Zkouška je provedena jako dvoubodový ohyb na tělesech tvaru jednostranně vetknutého komolého klínu.

Zkušební tělesa se vloží do temperovací komory na dobu 4 hodin, aby dosáhla potřebné zkušební teploty. Poté se zkušební těleso upevní do zkušebního zařízení tak, že spodní částí je vetknuto přes podkladní kovovou desku a horní částí se upne k táhlu se snímačem síly a deformace. Do počítače s programem se vyplní rozměry a hmotnost zkušebního tělesa a spustí se zkušební zařízení.

Zkušební zařízení změří hodnoty vyvozené síly [N], posunu [mm] a jejich fázový úhel [°] při frekvencích 5, 10, 15, 20 a 25 Hz. Tyto hodnoty pro stanovení komplexního modulu tuhosti byly stanoveny při teplotách -5, +10, +15, +25 a 40 °C.



Obrázek 26 Temperování zkušebních těles a zkušební těleso upevněné ve zkušebním zařízení pro měření modulu tuhosti



Obrázek 27 Ovládací jednotka pro měření modulu tuhosti a únavových charakteristik

### **2.11.4 Vyhodnocení zkoušky**

Jednotlivý komplexní modul tuhosti při dané frekvenci zatěžování a teplotě je určen aritmetickým průměrem deseti naměřených výsledků. Celkový komplexní modul tuhosti je pak aritmetický průměr celé sady těles. Jako návrhová hodnota podle TP 170 je modul při frekvenci zatěžování 10 Hz a teplotě 15 °C.

## **2.12 Měření únavových charakteristik**

Únavu ztuhlé asfaltové směsi lze chápat jako následek porušování vnitřní struktury opakovaným zatížením. Tato charakteristika se projevuje postupným poklesem komplexního modulu tuhosti v závislosti na počtu zatěžovacích cyklů. Měříme tedy životnost asfaltové směsi, kterou definujeme jako počet opakování zatížení do porušení vzorku. Jako unavené těleso lze brát těleso, které se buď poruší trhlinou (lomem) nebo jeho modul tuhosti poklesne na polovinu počáteční hodnoty.

Pro tuto diplomovou práci byla použita metoda Strain control. Při této metodě se nastaví počáteční přetvoření, které je po celou dobu zkoušky konstantní. S rostoucím počtem zatěžovacích cyklů klesá měřená síla a tím pádem i modul tuhosti. [14]

### **2.12.1 Příprava zkušebních těles**

Pro tuto zkoušku byla použita zkušební tělesa ze tří nařezaných desek z každé směsi, která byla použita při stanovování komplexního modulu tuhosti (15 těles tvaru komolého klínu).

### **2.12.2 Postup zkoušky**

Zkušební tělesa se vloží do temperovací komory při nastavené teplotě ( $10 \pm 0,5$ ) °C na dobu 4 hodin. Při měření únavových charakteristik se nastaví zatěžovací zařízení tak, aby byla dosažena maximální amplituda přetvoření zkušebního tělesa v rozsahu cca  $1,0 \cdot 10^{-4}$  až  $4,0 \cdot 10^{-4}$ . V tomto rozsahu lze očekávat životnost zkušebních těles v rozmezí  $10^3$  až  $10^7$  cyklů. Frekvence zatěžovacích cyklů se nastaví na 25 Hz. Zařízení se uvede v činnost a okamžitě se změří amplituda síly a průhybu. Zkouška probíhá do té doby, než měřená síla klesne na polovinu. Měření je opakováno i u zbývajících zkušebních těles tak, aby byl pokryt rozsah  $10^3$  až  $10^6$  zatěžovacích cyklů. [14]



Obrázek 28 Upevněné zkušební těleso ze směsi SMA 8 LA KS pro měření únavových charakteristik

### 2.12.3 Vyhodnocení zkoušky

Výsledky jsou popsány únavovými charakteristikami a pomocí Wöhlerových diagramů. V těchto grafech je znázorněna závislost velikosti deformace na počtu cyklů do dosažení únavy v logaritmickém měřítku.

$$\log \varepsilon_0 = a + b \cdot \log N$$

kde:  $\varepsilon_0$  je maximální amplituda poměrného přetvoření na počátku měření;  
 $a, b$  zjišťované parametry únavové zkoušky,  $a$  je kvocient únavové přímky a  $b$  je její sklon;  
 $N$  počet opakování zatěžování.

Únavová charakteristika  $a$  se nahrazuje charakteristikou  $\varepsilon_6$  jako velikost počátečního přetvoření odvozená z únavové zkoušky při  $10^6$  zatěžovacích cyklech.

$$\log \varepsilon_6 = a + 6b$$

kde:  $\varepsilon_6$  je průměrná velikost přetvoření odvozená z únavové přímky při  $10^6$  zatěžovacích cyklech.

Počet zatížení odpovídající počátečnímu přetvoření ve zkušebním tělese  $\varepsilon_0$  se stanoví:

$$N = 10^6 \left( \frac{\varepsilon_6}{\varepsilon_0} \right)^B \quad \text{kde: } B = -\frac{1}{b}$$

kde: B je charakteristika únavy. [14]

## 2.13 Stanovení nízkoteplotních charakteristik asfaltové směsi

Účelem zkoušky je zjistit kritickou teplotu a velikost tahové síly (napětí) zkušebního tělesa z asfaltové směsi při porušení trhlinou. Toto porušení trhlinou vznikne při ochlazování zkušebního tělesa konstantní rychlostí z výchozí teploty za podmínky zamezení zkracování tělesa (nulové podélné deformace  $\varepsilon_t = 0$ ).

Nulové podélné deformace tělesa se dosahuje ohřevem prvků upínacího zařízení, které řídí počítač, na základě zpětné vazby ze snímačů deformace upevněných na podložkách, na kterých je těleso nalepeno. [14]

### 2.13.1 Příprava zkušebních těles

Pro tuto zkoušku byla vyrobena jedna deska od každé směsi. Navážka byla vypočítána na desku o rozměrech 260 · 320 · 50 mm. Z vypočítané navážky se namíchala směs při teplotě 175 °C a následně byla zhutněna v lamelovém zhutňovači při teplotě 135 °C. Z každé desky bylo na kotoučové pile vyřezáno pět těles (trámečků) o rozměrech 50 · 50 · 200 mm. U každého tělesa byly změřeny rozměry a zvážena jeho hmotnost.

Zkušební těleso spolu s podložkami se vloží do kovového rámu, ve kterém se těleso vycentruje. Po vycentrování se těleso pomocí dvousložkové epoxidové pryskyřice s přidáním vápencové moučky přilepí k podložkám. Nalepené zkušební těleso se zpět vloží do kovového rámu, kde se nechá minimálně 48 hodin z důvodu dokonalého vytvrdnutí lepidla.



**Obrázek 29** Nařezané zkušební tělesa ve tvaru trámečku



**Obrázek 30** Centrovací kovový rám

### **2.13.2 Postup zkoušky**

Zkušební těleso se prostřednictvím podložek, na nichž je přilepeno, upevní ke spojovací tyči. K podložkám zkušebního tělesa se upevní tři snímače posunu, které měří deformace. Tyto snímače jsou po upevnění vycentrovány pomocí obslužného softwaru.

Zavře se zkušební komora a spustí se zkouška. Pomocí obslužného softwaru je ovládáno řízení ohřevu prvků upínacího zařízení tak, aby bylo dosaženo nulové podélné deformace zkušebních těles. Teplota zkušebního tělesa se v průběhu zkoušky zjišťuje pomocí snímače teploty, vloženého do vyvrtaného otvoru „slepého“ tělesa. Zkouška probíhá do té doby, než je zaznamenán pokles tahové síly.





**Obrázek 31** Zkušební těleso upnuté ve zkušebním zařízení po ukončení zkoušky

### ***2.13.3 Vyhodnocení zkoušky***

Z této zkoušky je získána teplota, maximální síla a maximální napětí při porušení zkušebního tělesa. Výsledkem je aritmetický průměr těchto hodnot ze sady zkušebních těles.

## 3 POUŽITÉ MATERIÁLY

V této kapitole jsou popsány veškeré materiály použité při výrobě obou směsí SMA 8 LA.

### 3.1 Pojivo

#### 3.1.1 Asfalt OMV gradace 50/70

Pro výrobu pojiva obou směsí byl použit asfalt OMV gradace 50/70, který měl tyto vlastnosti:

Penetrace 56 p.j.

bod měknutí 48,9 °C

#### 3.1.2 Pryžový granulát

Použitý pryžový granulát byl vyroben firmou Kovosteel s.r.o. Zrnitost pryžového granulátu byla 0/0,7 mm.



Obrázek 32 Zrnitost pryžového granulátu Kovosteel

##### 3.1.2.1 Reakční doba

Z těchto materiálů se v laboratoři namíchalo pojivo (CRmB) pro první směs (s označením KS) v laboratorní míchačce. Do horkého asfaltu OMV 50/70 o teplotě 185 °C bylo přidáno 9,9 % pryžového granulátu Kovosteel z hmotnosti pojiva (11 %

z hmotnosti asfaltu) a pojivo bylo mícháno 60 minut (reakční doba) v laboratorní míchačce zachycené v obrázku 34.



Obrázek 33 Míchací zařízení pro výrobu pojiva

### **3.1.3 Modifikační přísada TecRoad**

Jedná se o sypkou směs asfaltu a pryžového granulátu (označení v německé literatuře RMB G) [15]. Byl použit TecRoad Premium, který obsahuje 40 % pryžového granulátu. Pryžový granulát je podle údajů výrobce získán z pneumatik nákladních automobilů.



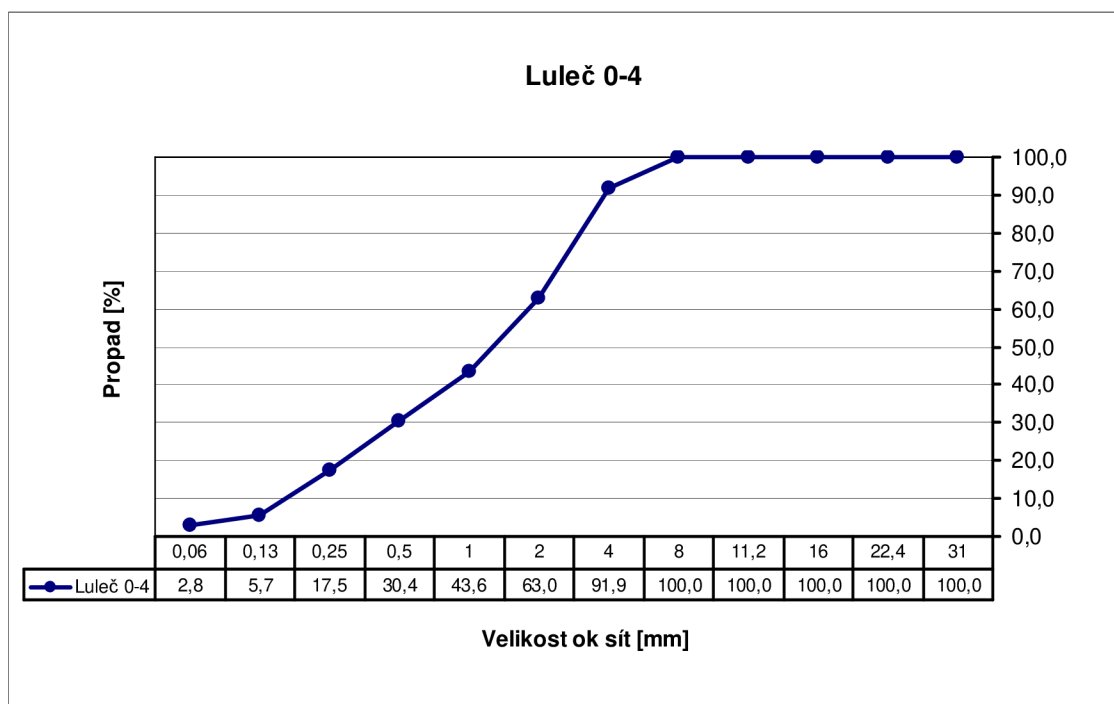
Obrázek 34 Modifikační přísada TecRoad

Přesto, že se přísada RMB G přidává přímo do míchačky obalovny (bez předchozího smísení se silničním asfaltem) je nutné podle [15] ověřit vlastnosti výsledného pojiva obsaženého v asfaltové směsi s přísadou TecRoad. Dále je zde uvedeno, že laboratorní výroba asfaltových směsí s přísadou RMB G probíhá tak, že se nejprve vyrobí pojivo (smísením přísady RMB G se silničním asfaltem), které se poté dávkuje ke kamenivu.

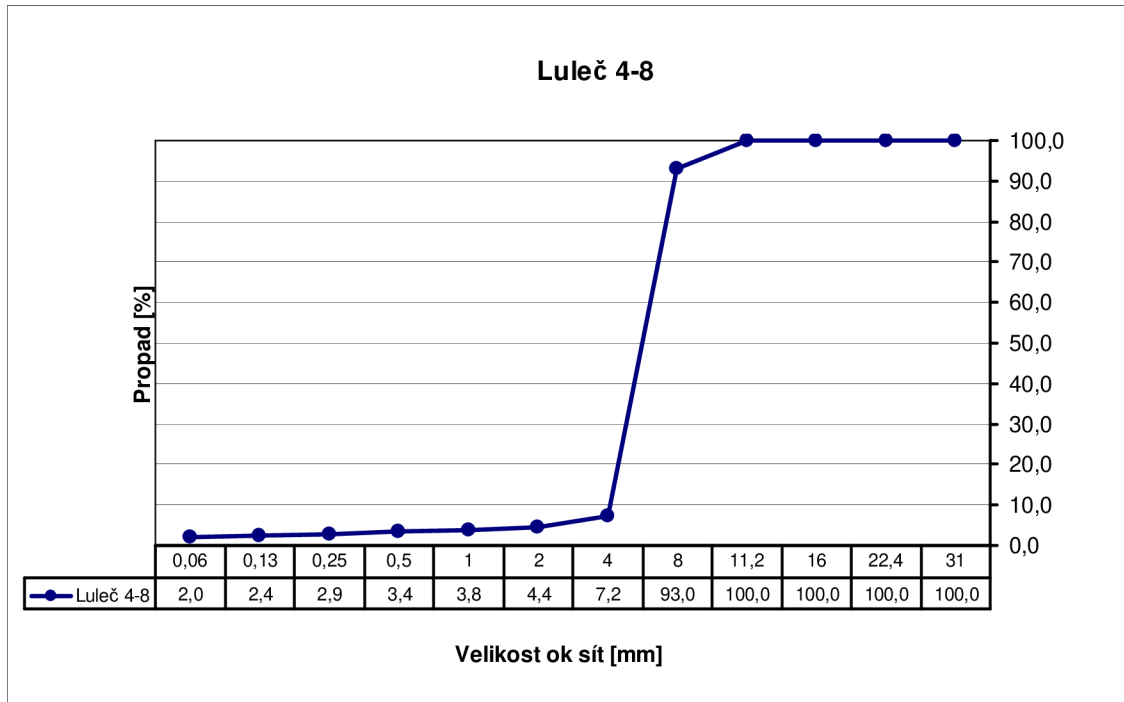
Pro laboratorní výrobu pojiva, pro druhou směs (označení TR) se do horkého asfaltu OMV 50/70 o teplotě 185 °C přidalo 22 % RMB G z hmotnosti pojiva (28,2 % z hmotnosti asfaltu) a bylo mícháno 60 minut v laboratorní míchačce zachycené na obrázku 34.

### 3.2 Kamenivo

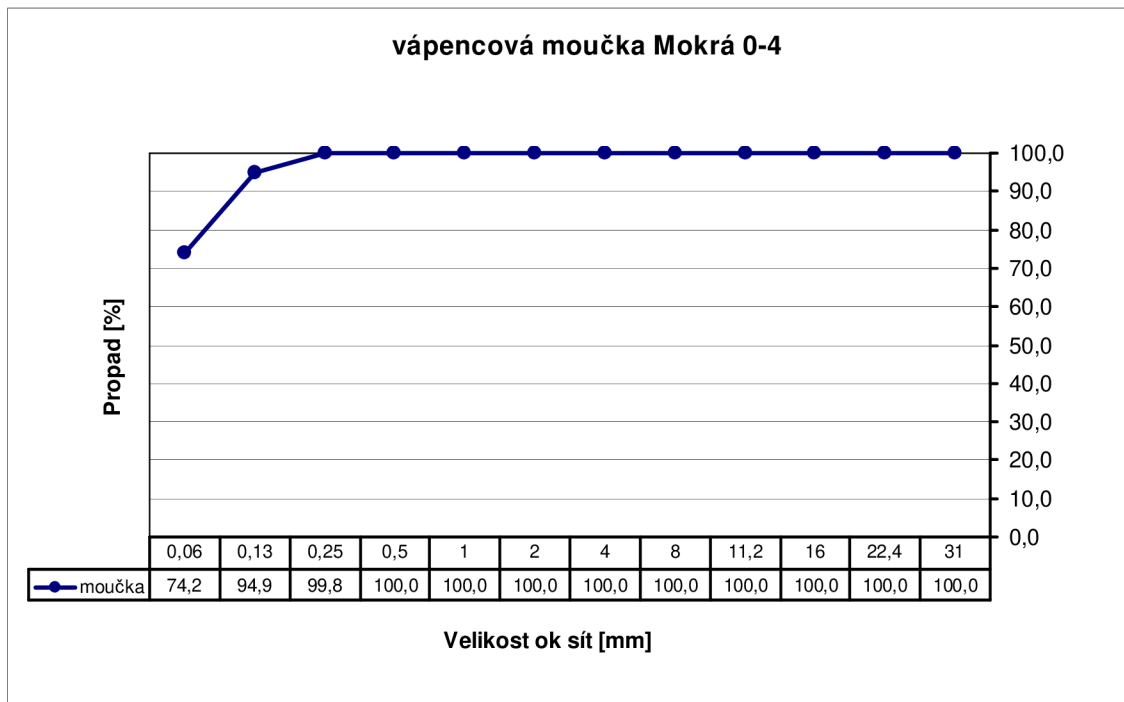
Pro návrhy asfaltových směsí bylo použito stejné kamenivo dvou frakcí 0/4 mm a 4/8 mm z kamenolomu Luleč a vápencová moučka z lokality Mokrá. V grafech 2 až 4 jsou uvedeny jejich čáry zrnitosti.



**Graf 2 Čára zrnitosti kameniva Luleč 0-4**



**Graf 3 Čára zrnitosti kameniva Luleč 4-8**



**Graf 4 Čára zrnitosti vápencové moučky Mokrá**

## 4 VYHODNOCENÍ ZKOUŠEK POJIV

V této kapitole jsou v tabulkách a grafech vyhodnoceny, porovnány a okomentovány veškeré výsledky zkoušek, které byly prováděny na obou použitých pojivech.

### 4.1 Výsledky resilience

Mírně vyšší pružnost hodnotou resilience prokázalo pojivo s pryžovým granulátem Kovosteel a to o 3,3 %. Minimální požadovaná hodnota resilience pro CRmB podle tabulky 3 v TP 148 je 20 %. Obě pojiva tuto podmínku splňují.

směs	CRmB KS				CRmB TR		
P [mm]	0,6	0,6	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5
F [mm]	8,1	8,3	8,2	8,4	8,5	8,5	8,5
resilience [%]	25	23	23	22	20	20	20
<b>resilience průměr [%]</b>	<b>23,3</b>				<b>20,0</b>		

Tabulka 2 Vyhodnocení hodnot resilience pro obě pojiva

### 4.2 Výsledky penetrace

Požadovaná hodnota penetrace pro CRmB podle tabulky 3 v TP 148 je v rozmezí 25 až 75 penetračních jednotek. Obě pojiva se nachází v těchto mezích.

směs	CRmB KS			CRmB TR		
měření	1	2	3	1	2	3
penetrace [p.j.]	40	40	42	38	37	39
<b>penetrace průměr [p.j.]</b>	<b>41</b>			<b>38</b>		

Tabulka 3 Vyhodnocení hodnot penetrace pro obě pojiva

### 4.3 Výsledky stanovení bodu měknutí

Hodnota bodu měknutí vyšla stejně pro obě směsi. Minimální požadovaná hodnota bodu měknutí pro CRmB podle tabulky 3 v TP 148 je 55 °C.

směs	CRmB KS	CRmB TR
1. kulička [°C]	59,4	59,3
2. kulička [°C]	59,9	60
<b>průměr [°C]</b>	<b>59,7</b>	<b>59,7</b>

Tabulka 4 Teplota bodu měknutí pojiva pro obě pojiva

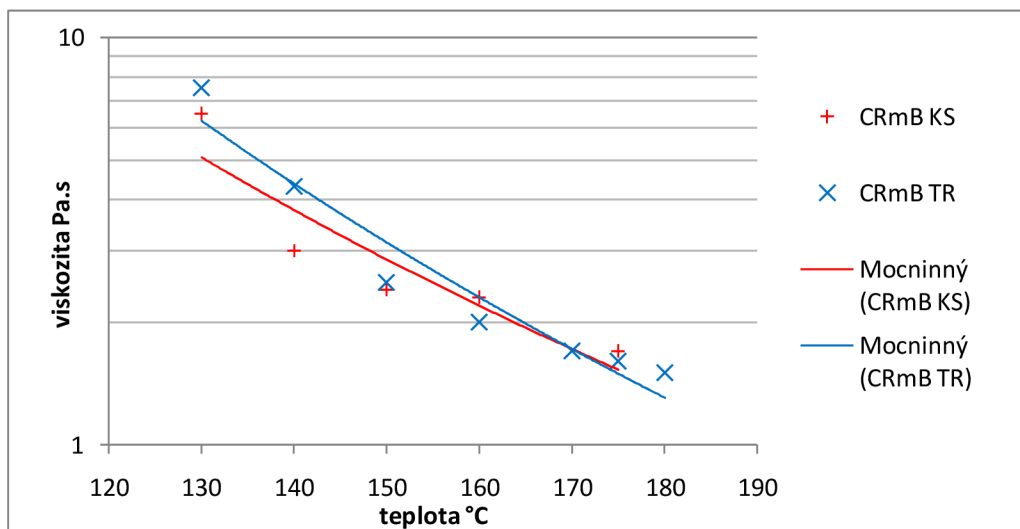
#### 4.4 Výsledky dynamické viskozity

Naměřené hodnoty dynamické viskozity obou pojiv v závislosti na teplotě jsou uvedeny v tabulce 5 a grafu 5.

Požadovaná hodnota viskozity pro CRmB, u kterého se skladovatelnost neposuzuje podle tabulky 3 v TP 148, je v rozmezí 1,5 Pa.s až 4,0 Pa.s při teplotě 175 °C. Obě pojiva tento požadavek splnila.

teplota [°C]		180	175	170	160	150	140	130
<b>CRmB KS</b>	<b>viskozita [Pa.s]</b>	x	1,7	x	2,3	2,4	3	6,5
<b>CRmB TR</b>	<b>viskozita [Pa.s]</b>	1,5	1,6	1,7	2	2,5	4,3	7,5

Tabulka 5 Viskozita pojiva v závislosti na teplotě pro obě směsi



Graf 5 Průběh viskozity v závislosti na teplotě obou pojiv

Z grafu 5 je patrné, že obě pojiva mají srovnatelné hodnoty viskozity v celém teplotním rozsahu. Výsledky zkoušek obou pojiv jsou souhrnně zaznamenány v tabulce 6. Srovnáním zkoušky resilience lze říct, že pojivo CRmB KS je mírně pružnější. Z toho lze usuzovat, že pojivo s přísadou RMB G obsahuje mírně nižší obsah pryžového

granulátu než pojivo s pryžovým granulátem Kovosteel, protože pryžový granulát poskytuje asfaltům modifikovaným pryžovým granulátem pružnost.

<b>Pojivo</b>	<b>OMV 50/70 + 9,9 % pryžového granulátu</b>	<b>OMV 50/70 + 22,0 % přísady TecRoad</b>
<b>Penetrace jehlou při teplotě 25 °C [0,1 mm]</b>	41	38
<b>Bod měknutí metodou kroužek a kulička [°C]</b>	59,7	59,7
<b>Dynamická viskozita při teplotě 175 °C [Pa · s]</b>	1,7	1,6
<b>Resilience při teplotě 25 °C [%]</b>	23,3	20,0

**Tabulka 6 Laboratorní vlastnosti použitých pojiv**



## 5 NÁVRH SMĚSI

V této práci jsou navrženy a posuzovány dvě asfaltové směsi SMA 8 LA. Směsi se odlišují použitým pojivem. V první směsi byl použit asfalt modifikovaný pryžovým granulátem Kovosteel (v této práci označováno jako SMA 8 LA KS) a v druhé směsi pojivo modifikované přísadou RMB G (v této práci označováno jako SMA 8 LA TR).

Návrh směsi SMA 8 LA svojí skladbou vycházel z asfaltových koberců mastixových. Pro dosažení většího útlumu hluku bylo potřeba zvýšit mezerovitost směsi. Větší mezerovitosti bylo docíleno tím, že se ve skladbě směsi oproti SMA 8 snížil podíl filerových částic a byl zvýšen podíl nejhrubší frakce, v případě této směsi frakce 4/8 mm.

Frakce	32	22	16	11	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
4-8	100,0	100,0	100,0	100,0	93,0	7,2	4,4	3,8	3,4	2,9	2,4	2,0
0-4	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	91,9	63,0	43,6	30,4	17,5	5,7	2,8
moučka	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,8	94,9	74,2
Návrh	100,0	100,0	100,0	100,0	94,2	22,0	16,2	13,4	11,4	9,5	7,4	5,7

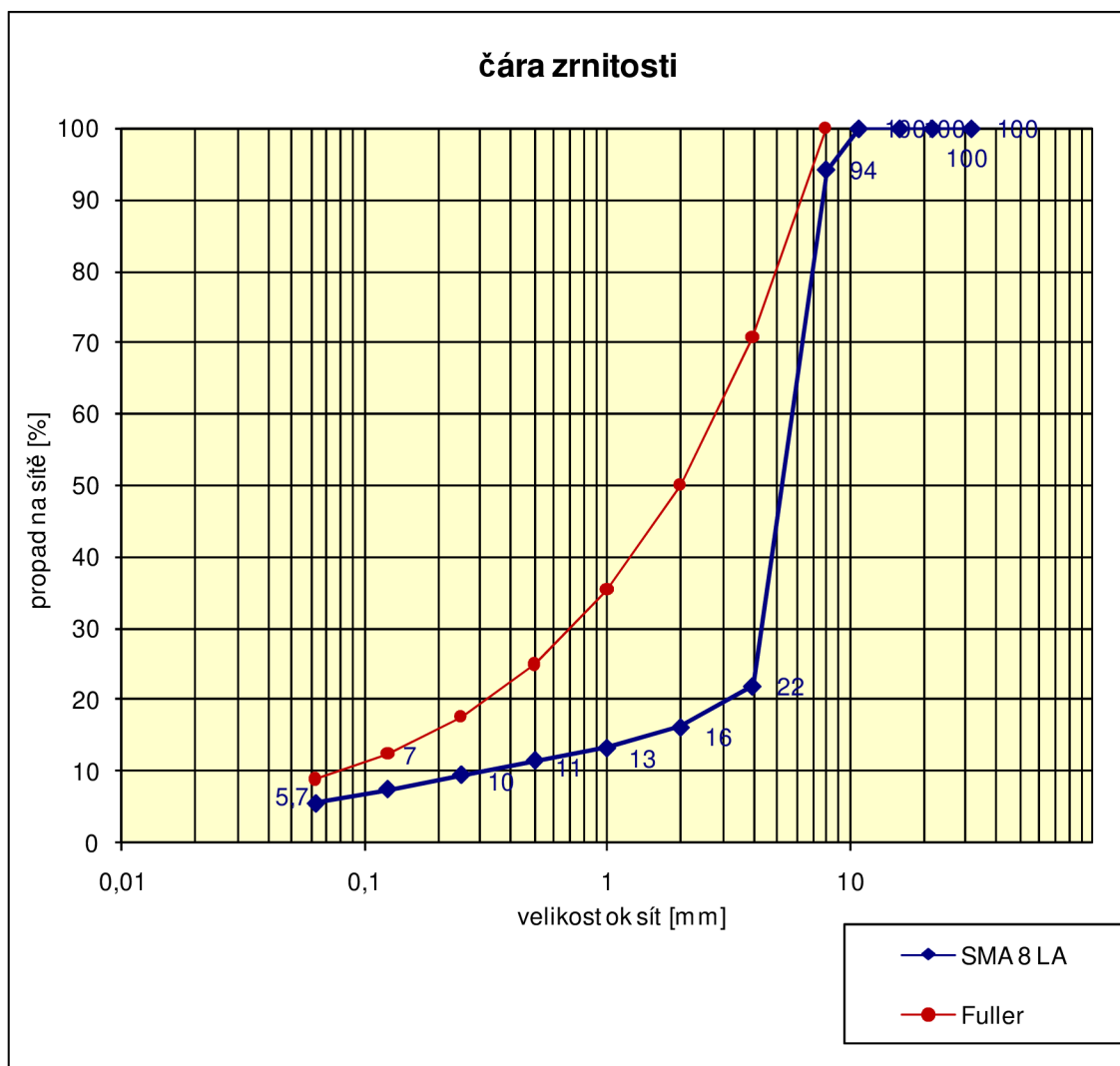
Tabulka 7 Sítový rozbor frakcí kameniva a vápencové moučky a výsledná zrnitost směsi

Na základě sítového rozboru kameniva frakce 0/4 mm, 4/8 mm a vápencové moučky byla navržena čára zrnitosti pro obě směsi SMA 8 LA a stanoveny poměry jednotlivých frakcí kameniv.

SMA 8 LA	
moučka	5,0 %
Luleč 0-4	12,0 %
Luleč 4-8	83,0 %

Tabulka 8 Poměry jednotlivých frakcí kameniv ve směsi

Jako předpokládané optimum obsahu pojiva bylo později stanoveno 6,6 % z hmotnosti směsi pro obě navržené směsi.



**Graf 6 Výsledný návrh čáry zrnitosti směsi SMA 8 LA**

## 5.1 Příprava a výroba směsi SMA 8 LA

Nejprve se jednotlivé frakce kameniva nasypané do plechových nádob vloží vysušit do laboratorní sušárny. Po vysušení se jednotlivé frakce kameniva nadávkovaly do nádob podle návrhu směsi. Jednotlivé nádoby s kamenivem a plechovky s namíchaným pojivem se vloží do laboratorní sušárny a nechají se nahřát na teplotu 175 °C. Po dosažení této teploty se ke kamenivu nadávkovalo důkladně promíchané homogenní pojivo podle návrhu směsi a bylo ručně mícháno do doby úplného obalení všech zrn kameniva pojivem.

Namíchaná směs se vloží zpět do sušárny a nechá se nahřát na teplotu hutnění 135 °C. Po dosažení teploty se ze směsi v Marshallově pěchu nahutní Marshallova tělesa, která jsou hutněna 50 úderů z každé strany.



**Obrázek 35 Marshallovo těleso ve formě**

Pro obě směsi byly vytvořeny 3 sady po 3 kusech Marshallových těles. První sada obsahovala 6,2 %, druhá sada obsahovala 6,6 % a třetí sada obsahovala 7,0 % pojiva z hmotnosti směsi.

## **5.2 Problémy při stanovení mezerovitosti [1]**

V Německu se pro směsi SMA LA volí pro stanovení objemové hmotnosti postup B – nasycený suchý povrch (vážení tělesa ve vodě a na suchu). Část odborníků provádí stanovení objemové hmotnosti normovým způsobem, tedy po 30 min. uložení ve vodě a zvážení (hodnota  $m_2$ ) se těleso povrchově osuší a opět zváží (hodnota  $m_3$ ). Při užití tohoto postupu se požaduje mezerovitost směsi SMA LA v rozmezí 10 % až 12 %. Oponenti z řad jiných německých kolegů požadující mezerovitosti v rozmezí 8 % až 10 % tvrdí, že tento způsob stanovení není přesný a vede k poměrně značnému rozptylu výsledků, protože voda vnikne do každého tělesa jinak. Doporučují tedy úpravu této metody tak, že po uložení tělesa ve vodě po dobu 30 minut poklepou těleso silněji v lázni o perforovanou podložku ze všech stran tak, aby odstranili co nejvíce vzduchových mezer, a poté těleso zváží pod vodou. Po vytažení tělesa z lázně je pak snahou silným třepáním odstranit z tělesa co nejvíce vody. Tímto způsobem se dosáhne vyšších hodnot objemových hmotností na Marshallových tělesech a v důsledku toho pak nižších mezerovitostí.

Při vlastním stanovování mezerovitostí se však narazilo na problém, který přináší určitou nejistotu pro stanovení metodou B oběma výše uvedenými způsoby. Protože bylo prováděno několik návrhů, zjistilo se paradoxně u směsí více “otevřených”, tedy s nižším množstvím vápencové moučky a vyšším obsahem frakce 4/8 mm (5/8 mm), že bylo nakonec dosaženo číselně nižších hodnot mezerovitostí, i když i vizuálně byly směsi více “otevřené”. Tento fakt má logické vysvětlení. Do více “otevřeného” tělesa totiž pronikne větší množství vody, vztlak je tedy nižší a těleso váží ve vodě více než těleso více “uzavřené”, hodnota  $m_2$  je vyšší a z výpočtu  $m_1/(m_3 - m_2)$

pak může vycházet vyšší objemová hmotnost a nižší výsledná mezerovitost (samozřejmě záleží též na hodnotě  $m_3$ ).

Po četných diskuzích němečtí kolegové dospěli k názoru, že i přes kritizovanou nepřesnost je stanovení objemové hmotnosti postupem D – z rozměrů reálnější. Pro intravilánové vozovky by se pak dle německých zkušeností se srovnáním metod B a D měla mezerovitost z rozměrů pohybovat cca v rozmezí 14 % až 15 % a 15 % až 16 % pro směsi v extravilánu. Rozdíly v mezerovitostech mezi stanovením metodou B a metodou D jsou poměrně značné. [1]

### 5.3 Vyhodnocení volumetrických charakteristik

Z každé sady obou směsí byla následně vyhodnocena objemová hmotnost, mezerovitost, mezerovitost směsi kameniva a stupně vyplnění mezer. Výsledky jsou uvedeny v následujících tabulkách. Z důvodu vysoké mezerovitosti směsí a kolísání výsledků objemových hmotností stanovených vážením ve vodě (nasycený suchý povrch – SSD) byly po konzultaci s vedoucím práce objemové hmotnosti zkušebních těles stanovovány z rozměrů. Mezerovitost směsí je dále zdánlivě zvýšena postupem stanovení maximální objemové hmotnosti v rozpouštědle (namísto stanovení ve vodě). Rozdíl mezerovitosti mezi těmito dvěma postupy se pohybuje kolem 1 %.

Vysoké hodnoty mezerovitosti byly dosahovány rovněž z důvodu nízké teploty hutnění, která je doporučena v tabulce 1.

Směsi vykazovaly nízkou závislost objemové hmotnosti na dávkovaném obsahu pojiva, a proto byl jako výsledný obsah pojiva určený minimální obsah pojiva 6,6 % (podle tabulky 1, tj.  $B_{\min 6,6\%}$ ). Z důvodu obsahu pryžového granulátu v pojivu a jeho vyšší viskozity nebyl dávkován nosič pojiva.

označení	výška tělesa [mm]	průměr tělesa [mm]	hmotnost [g]	objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	průměrná objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
6,2 % 1.	68,7	101,7	1095,3	1963,7	<b>1947,4</b>
6,2 % 2.	69,6	101,4	1083,7	1929,1	
6,2 % 3.	69,3	101,4	1090,4	1949,4	
6,6 % 1.	69,2	101,9	1085,4	1924,3	<b>1935,7</b>
6,6 % 2.	69,8	101,6	1096,9	1939,3	
6,6 % 3.	69,9	101,6	1100,8	1943,5	
7,0 % 1.	68,6	102,0	1095,4	1955,1	<b>1964,7</b>
7,0 % 2.	69,4	101,7	1106,9	1964,4	
7,0 % 3.	69,6	101,2	1104,9	1974,6	

Tabulka 9 Výpočet objemové hmotnosti směsi SMA 8 LA KS

obsah pojiva [%]	číslo vzorku	objemová hmotnost zkušebního tělesa $\rho_{bi}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	průměrná objemová hmotnost zkušebních těles $\rho_b$ [kg/m <sup>3</sup> ]	maximální objemová hmotnost směsi $\rho_{mi}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	maximální objemová hmotnost směsi $\rho_m$ [kg/m <sup>3</sup> ]	mezerovitost Vm [%]	mezerovitost směsi kameniva VMA [%]	stupeň vyplnění mezer kameniva pojivem VBF [%]
6,2	1	1963,7	1947,4	2450,4	2448,2	20,5	32,1	36,2
	2	1929,1		2445,9				
	3	1949,4						
6,6	1	1924,3	1935,7	2435,3	2432,9	20,4	32,7	37,5
	2	1939,3		2430,5				
	3	1943,5						
7,0	1	1955,1	1964,7	2422,4	2419,0	18,8	32,0	41,3
	2	1964,4		2415,6				
	3	1974,6						

**Tabulka 10 Vyhodnocení mezerovitosti a stupně vyplnění mezer směsi SMA 8 LA KS**

označení	výška tělesa [mm]	průměr tělesa [mm]	hmotnost [g]	objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	průměrná objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
6,2 % 1.	69,0	101,5	1092,5	1957,8	<b>1942,8</b>
6,2 % 2.	67,7	101,9	1070,6	1940,1	
6,2 % 3.	67,4	101,7	1056,5	1930,6	
6,6 % 1.	67,8	101,5	1057,6	1928,8	<b>1943,5</b>
6,6 % 2.	65,8	101,8	1044,9	1952,0	
6,6 % 3.	67,1	101,5	1058,0	1949,7	
7,0 % 1.	65,0	101,9	1066,1	2012,2	<b>1939,3</b>
7,0 % 2.	67,1	101,9	1044,0	1908,8	
7,0 % 3.	68,1	101,2	1038,6	1897,0	

**Tabulka 11 Výpočet objemové hmotnosti směsi SMA 8 LA TR**

obsah pojiva [%]	číslo vzorku	objemová hmotnost zkušebního tělesa $\rho_{bi}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	průměrná objemová hmotnost zkušebních těles $\rho_b$ [kg/m <sup>3</sup> ]	maximální objemová hmotnost směsi $\rho_{mi}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	maximální objemová hmotnost směsi $\rho_m$ [kg/m <sup>3</sup> ]	mezerovitost Vm [%]	mezerovitost směsi kameniva VMA [%]	stupeň vyplnění mezer kameniva pojivem VBF [%]
6,2	1	1957,8	1942,8	2450,4	2448,2	20,6	32,2	35,9
	2	1940,1		2445,9				
	3	1930,6						
6,6	1	1928,8	1943,5	2435,3	2432,9	20,1	32,4	38,0
	2	1952,0		2430,5				
	3	1949,7						
7,0	1	2012,2	1939,3	2422,4	2419,0	19,8	32,9	39,7
	2	1908,8		2415,6				
	3	1897,0						

**Tabulka 12 Vyhodnocení mezerovitosti a stupně vyplnění mezer směsi SMA 8 LA TR**

## 6 VYHODNOCENÍ ZKOUŠEK ASFALTOVÝCH SMĚSÍ

V této kapitole jsou v tabulkách a grafech vyhodnoceny, porovnány a okomentovány veškeré výsledky zkoušek, které byly prováděny na obou směsích SMA 8 LA.

### 6.1 Vyhodnocení zkoušky ztráty částic

Zkouška ztráty částic byla provedena u obou směsí v otlukovém bubnu Los Angeles bez ocelových koulí. Ke zkoušce byla použita všechna Marshallova tělesa ze všech sad s obsahem pojiva 6,2 %, 6,6 % a 7,0 % z hmotnosti směsi. Vyhodnocené výsledky jsou v následujících tabulkách.

pojivo [%]	W1 [g]	W2 [g]	PL [%]	PL průměr [%]
6,2	1095,3	956,0	12,7	<b>12,5</b>
	1083,7	948,6	12,5	
	1090,4	955,1	12,4	
6,6	1085,4	952,4	12,3	<b>13,1</b>
	1096,9	955,5	12,9	
	1100,8	944,4	14,2	
7,0	1095,4	997,1	9,0	<b>9,6</b>
	1106,9	1011,7	8,6	
	1104,9	980,4	11,3	

Tabulka 13 Vyhodnocení zkoušky ztráty částic směsi SMA 8 LA KS

pojivo [%]	W1 [g]	W2 [g]	PL [%]	PL průměr [%]
6,2	1092,5	938,7	14,1	<b>15,3</b>
	1070,6	897,3	16,2	
	1056,5	892,2	15,6	
6,6	1057,6	897,9	15,1	<b>14,8</b>
	1044,9	877,4	16,0	
	1058,0	918,6	13,2	
7,0	1066,1	948,2	11,1	<b>11,3</b>
	1044,0	920,2	11,9	
	1038,6	923,1	11,1	

Tabulka 14 Vyhodnocení zkoušky ztráty částic směsi SMA 8 LA TR

Z uvedených tabulek je patrné, že při zkoušce ztráty částic vyšla lépe směs SMA 8 LA KS zhruba o 2 % než směs SMA 8 LA TR. Také je patrné, že s vyšším dávkováním množství pojiva ve směsi klesá hodnota ztráty částic.

## 6.2 Výsledky zkoušky odolnosti vůči účinkům vody (ITSR)

Parametr ITSR hodnotící odolnost zkušebních těles vůči účinkům vody vyšel pro obě směsi srovnatelný.

Minimální kategorie poměru pevnosti v příčném tahu ITSR podle ČSN EN 13108-5 (odstavec 5.7 – Tabulka 10) odpovídá pro obě směsi kategorii ITSR<sub>NR</sub> (bez požadavků). Národní příloha téže normy neuvádí požadavek na hodnotu ITSR.

Směsi obsahující pryžový granulát v laboratoři většinou nedosahují uspokojivých odolností vůči účinku vody při vyjádření poměrem ITSR. Pro směsi s vyšší tloušťkou asfaltového filmu (jako mají směsi SMA a směsi s CRmB) a vyšší mezerovitostí je hodnota ITSR neprůkazná a proto na ni v národní příloze normy ČSN EN 13108-5 není uveden požadavek.

Při porovnání hodnot ITS v grafu 9 je patrné, že směs SMA 8 LA KS dosahovala nepatrně vyšších pevností v příčném tahu mokrých i suchých než směs SMA 8 LA TR.

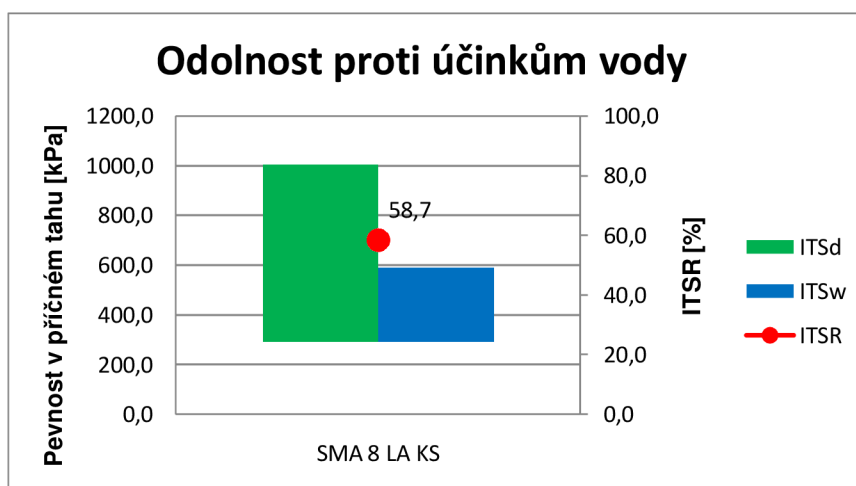
Při měření pevnosti v příčném tahu u směsi SMA 8 LA KS bylo jedno mokré zkušební těleso vyřazeno z důvodu chybného uložení do zatěžovacího lisu. U vyhodnocení směsi SMA 8 LA TR jsou v tabulce výsledky pouze výsledných hodnot, které byly převzaty z článku doc. Varause [1].

SUCHÁ	tloušťka	průměr tělesa	hmotnost	objem z rozměrů	objemová hmotnost z rozměrů
	[mm]	[mm]	[g]	[cm <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]
3	64,3	101,9	1018,4	524,38	1942,1
5	66,0	101,4	1014,6	532,98	1903,6
6	64,9	101,9	1013,6	529,28	1915,1
1	65,4	101,8	1019	532,31	1914,3
2	65,0	101,6	1010,2	526,98	1917,0
4	64,8	101,5	1007,3	524,32	1921,2
MOKRÁ	[mm]	[mm]	[g]	[cm <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]
	tloušťka	průměr tělesa	hmotnost	objem z rozměrů	objemová hmotnost z rozměrů

Tabulka 15 Objemové hmotnosti zkušebních těles SMA 8 LA KS pro ITSR

SUCHÁ	max. síla	a	pevnost	průměr pevnosti	ITSR
	[kN]	[mm]	[kPa]	[kPa]	[%]
3	10,87	1,97	1056,15	<b>1007,3</b>	<b>58,7</b>
5	9,85	1,89	936,70		
6	10,69	1,87	1029,06		
1				<b>591,3</b>	
2	6,12	1,63	590,35		
4	6,12	1,89	592,17		
MOKRÁ	[kN]	[mm]	[kPa]	[kPa]	[%]
	max. síla	a	pevnost	průměr pevnosti	ITSR

Tabulka 16 Hodnoty odolnosti vůči vodě (ITSR) směsi SMA 8 LA KS

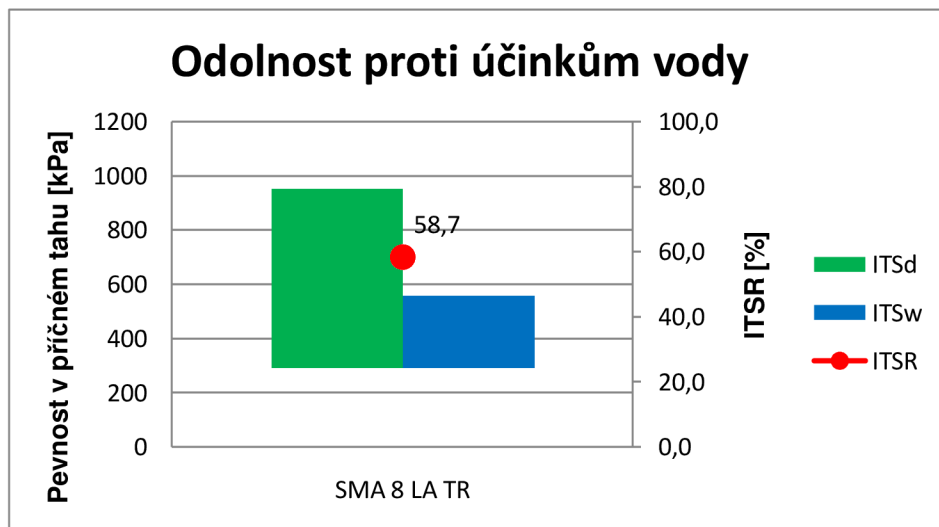


Graf 7 Hodnota ITSR směsi SMA 8 LA KS

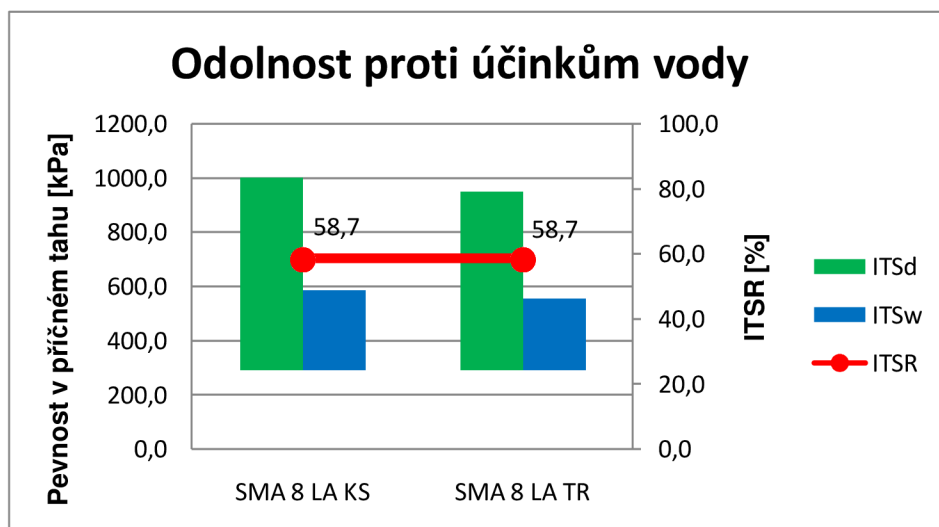
SUCHÁ	průměr pevnosti	ITSR
	[kPa]	[%]
1	<b>956</b>	<b>58,7</b>
2		
3		
4	<b>561</b>	
5		
6		
MOKRÁ	[kPa] průměr pevnosti	[%] ITSR

Tabulka 17 Hodnoty odolnosti vůči vodě (ITSR) směsi SMA 8 LA TR [1]





**Graf 8** Hodnota ITSR směsi SMA 8 LA TR



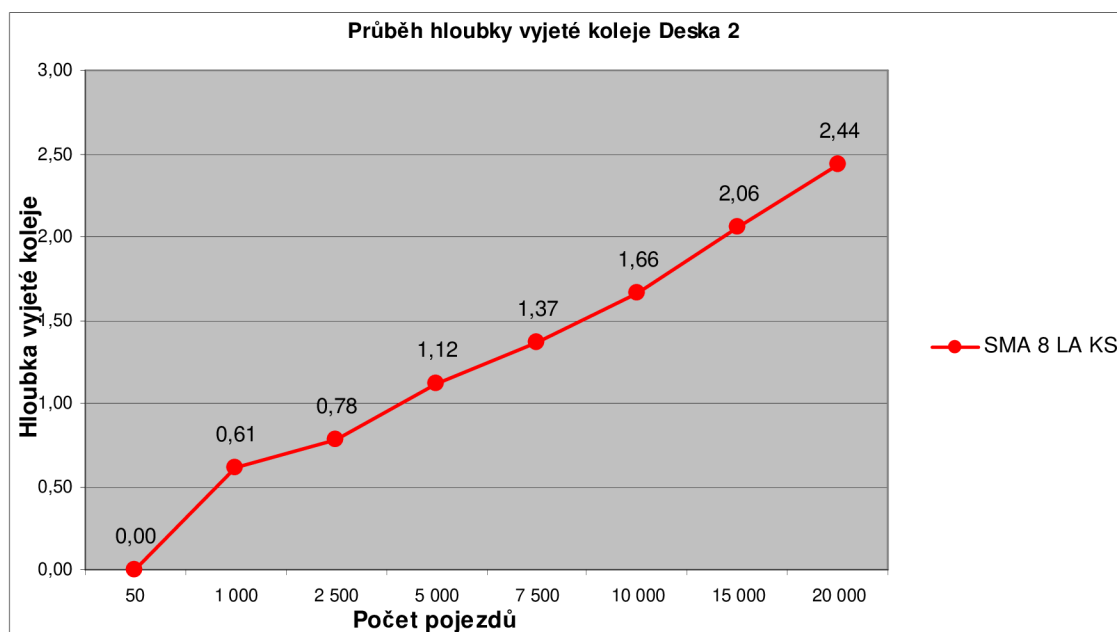
**Graf 9** Porovnání hodnot ITSR obou směsí

### 6.3 Výsledky zkoušky trvalých deformací (pojždění kolem)

Na zhutněných deskách o tloušťce 40 mm je provedena zkouška odolnosti vůči vzniku trvalých deformací metodou pojždění kolem v malém zkušebním zařízení postupem A – temperování na vzduchu podle ČSN EN 12697-22. Výsledky jsou uvedeny v následujících tabulkách a grafech.

Počet pojezdů	Teplota vzduchu [mm]	Deska 2 [mm]
50	49	<b>0</b>
1000	50	<b>0,61</b>
2500	50	<b>0,78</b>
5000	49	<b>1,12</b>
7500	51	<b>1,37</b>
10000	51	<b>1,66</b>
15000	50	<b>2,06</b>
20000	49	<b>2,44</b>

Tabulka 18 Naměřené hodnoty hloubky vyjeté koleje pro směs SMA 8 LA KS



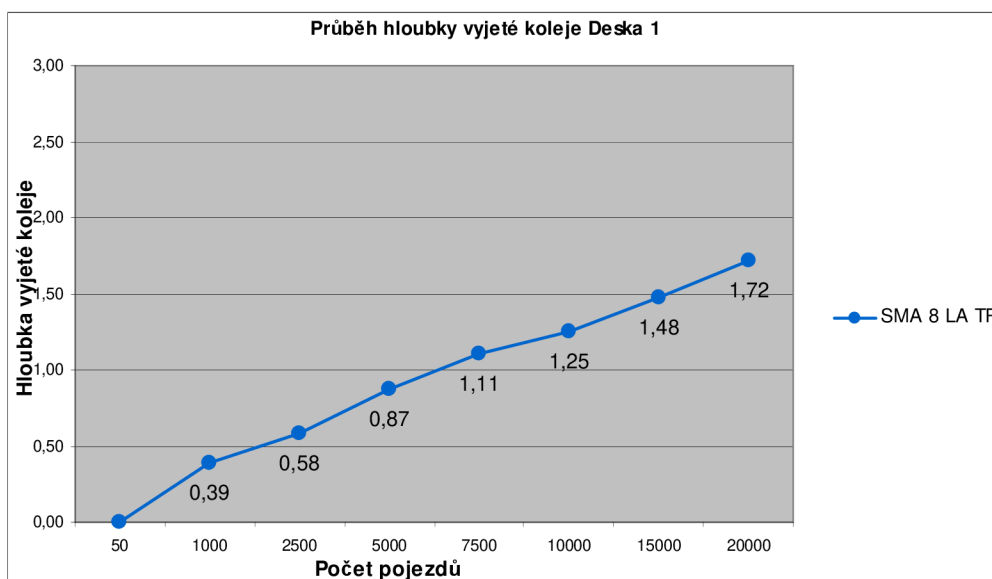
Graf 10 Průběh vyjeté koleje v závislosti na počtu pojezdů u směsi SMA 8 LA KS

Přírůstek hloubky vyjeté koleje za $10^3$ zatěžovacích cyklů - deska 2	$WTS_{AIR1}$	[mm/ $10^3$ cyklů]	0,156
<b>Průměrný přírůstek hloubky vyjeté koleje za <math>10^3</math> zatěžovacích cyklů</b>	<b><math>WTS_{AIR}</math></b>	<b>[mm/<math>10^3</math> cyklů]</b>	<b>0,156</b>
Hloubka vyjeté koleje při $10^4$ zatěžovacích cyklech - deska 2	$RD_{AIR1}$	[mm]	2,44
<b>Průměrná hloubka vyjeté koleje při <math>10^4</math> zatěžovacích cyklech</b>	<b><math>RD_{AIR}</math></b>	<b>[mm]</b>	<b>2,44</b>
Poměrná hloubka vyjeté koleje při $10^4$ zatěžovacích cyklech - deska 2	$PRD_{AIR1}$	[%]	6,1
<b>Průměrná poměrná hloubka vyjeté koleje při <math>10^4</math> zatěžovacích cyklech</b>	<b><math>PRD_{AIR}</math></b>	<b>[%]</b>	<b>6,1</b>

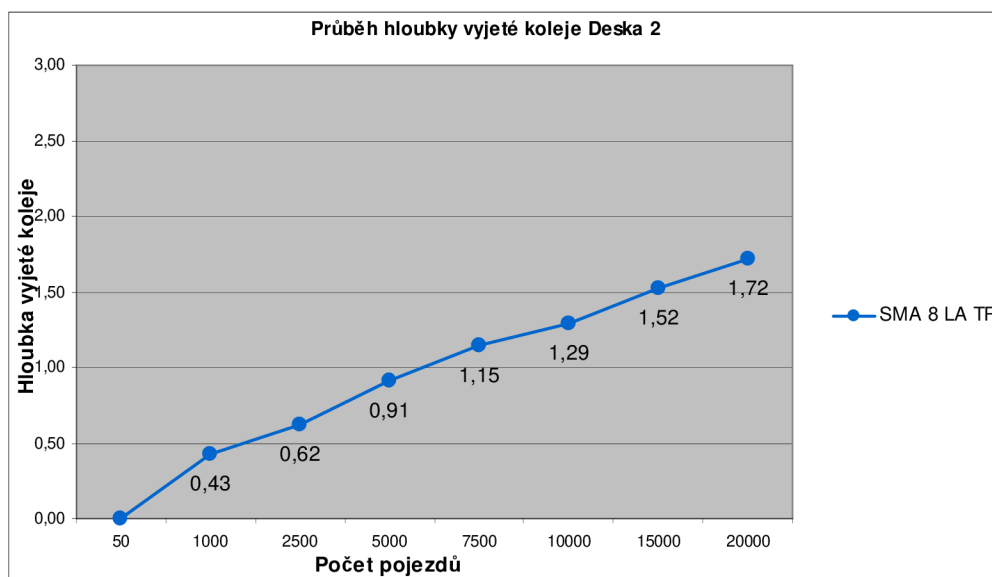
Tabulka 19 Vyhodnocené výsledky zkoušky pojezdění kolem směsi SMA 8 LA KS

Počet pojezdů	Teplota vzduchu [mm]	Deska 1 [mm]	Deska 2 [mm]	průměr
50	49	0	0	<b>0</b>
1000	50	0,39	0,43	<b>0,41</b>
2500	50	0,58	0,62	<b>0,6</b>
5000	49	0,87	0,91	<b>0,89</b>
7500	51	1,11	1,15	<b>1,13</b>
10000	51	1,25	1,29	<b>1,27</b>
15000	50	1,48	1,52	<b>1,5</b>
20000	49	1,72	1,72	<b>1,72</b>

Tabulka 20 Naměřené hodnoty hloubky vyjeté koleje pro směs SMA 8 LA TR



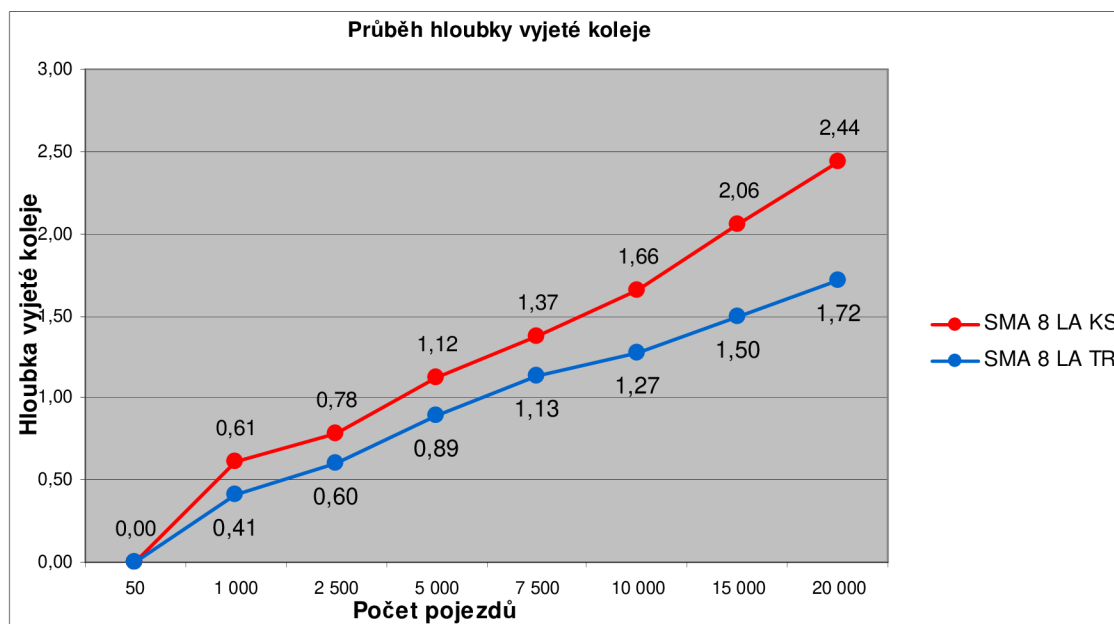
Graf 11 Průběh vyjeté koleje v závislosti na počtu pojezdů u směsi SMA 8 LA TR



Graf 12 Průběh vyjeté koleje v závislosti na počtu pojezdů u směsi SMA 8 LA TR

Přírůstek hloubky vyjeté koleje za $10^3$ zatěžovacích cyklů - deska 1	$WTS_{AIR1}$	[mm/ $10^3$ cyklů]	0,094
Přírůstek hloubky vyjeté koleje za $10^3$ zatěžovacích cyklů - deska 2	$WTS_{AIR1}$	[mm/ $10^3$ cyklů]	0,086
<b>Přůmerný přírůstek hloubky vyjeté koleje za <math>10^3</math> zatěžovacích cyklů</b>	<b><math>WTS_{AIR}</math></b>	<b>[mm/<math>10^3</math> cyklů]</b>	<b>0,09</b>
Hloubka vyjeté koleje při $10^4$ zatěžovacích cyklech - deska 1	$RD_{AIR1}$	[mm]	1,72
Hloubka vyjeté koleje při $10^4$ zatěžovacích cyklech - deska 2	$RD_{AIR1}$	[mm]	1,72
<b>Přůmerná hloubka vyjeté koleje při <math>10^4</math> zatěžovacích cyklech</b>	<b><math>RD_{AIR}</math></b>	<b>[mm]</b>	<b>1,72</b>
Poměrná hloubka vyjeté koleje při $10^4$ zatěžovacích cyklech - deska 1	$PRD_{AIR1}$	[%]	4,3
Poměrná hloubka vyjeté koleje při $10^4$ zatěžovacích cyklech - deska 2	$PRD_{AIR1}$	[%]	4,3
<b>Přůmerná poměrná hloubka vyjeté koleje při <math>10^4</math> zatěžovacích cyklech</b>	<b><math>PRD_{AIR}</math></b>	<b>[%]</b>	<b>4,3</b>

Tabulka 21 Vyhodnocené výsledky zkoušky poježdění kolem směsi SMA 8 LA TR



Graf 13 Porovnání průběhu průměrné hloubky vyjeté koleje obou směsí

Z grafu 13 a tabulek je patrné, že směs SMA 8 LA TR je odolnější proti trvalým deformacím. Podle ČSN EN 13108-5 je směs SMA 8 LA TR zařazena do kategorie  $WTS_{AIR} 0,10$  a  $PRD_{AIR} 5,0$ . Směs SMA 8 LA KS zařazena do kategorie  $WTS_{AIR} 0,30$  a  $PRD_{AIR} NR$ . Národní příloha normy ČSN EN 13108-5 požaduje pro SMA 8 S parametr  $WTS_{AIR}$  v maximální hodnotě  $0,07 \text{ mm}/10^3$  cyklů a parametr  $PRD_{AIR}$  v maximální hodnotě 5 %. V těchto požadavcích jsou obě směsi SMA 8 LA nevyhovující. Pro SMA

8 + se parametry  $WTS_{AIR}$  a  $PRD_{AIR}$  deklarují a pro směs SMA 8 (bez označení) nejsou stanoveny požadavky na trvalé deformace.

Nevyhovující parametry trvalých deformací jsou pravděpodobně způsobeny vysokou mezerovitostí obou asfaltových směsí. Na hodnoty trvalých deformací by mohla mít vliv nízká teplota hutnění (135 °C), při které byla hutněna Marshallova tělesa při návrhu směsi a zároveň zkušební desky. Je možné, že směs se při zkoušce vyjetí kolejí dohutňovala.



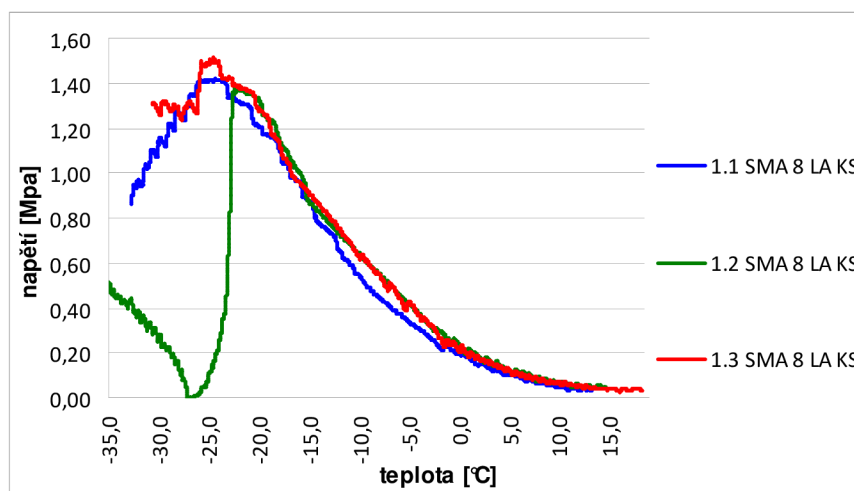
Obrázek 36 Deska ze směsi SMA 8 LA KS po zkoušce poježdění kolem

## 6.4 Výsledky zkoušky měření nízkoteplotních charakteristik

Při této zkoušce byla použita 3 zkušební tělesa ve tvaru trámečku nařezaná ze zhutněné desky ze směsi SMA 8 LA KS a 4 zkušební tělesa ze směsi SMA 8 LA TR.

tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]	hmotnost [kg]	objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
51,5	261,2	321,6	8,264	<b>1910,3</b>

Tabulka 22 Objemová hmotnost zhutněné desky směsi SMA 8 LA KS



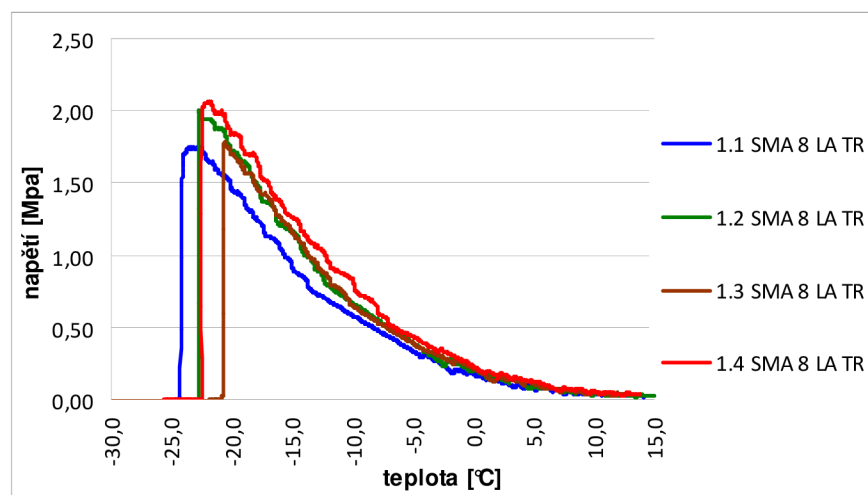
Graf 14 Závislost síly na klesající teplotě zkušebních těles směsi SMA 8 LA KS

těleso	max. síla při porušení [-kN]	max. napětí při porušení [-kN]	teplota vzorku při porušení [°C]
1.1	3,55	1,36	-24,3
1.2	3,46	1,33	-21,7
1.3	3,8	1,47	-24,5
<b>průměr</b>	<b>3,60</b>	<b>1,39</b>	<b>-23,5</b>

Tabulka 23 Hodnoty nízkoteplotních charakteristik směsi SMA 8 LA KS

tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]	hmotnost [kg]	objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
52,1	261,2	322,2	8,434	<b>1923,5</b>

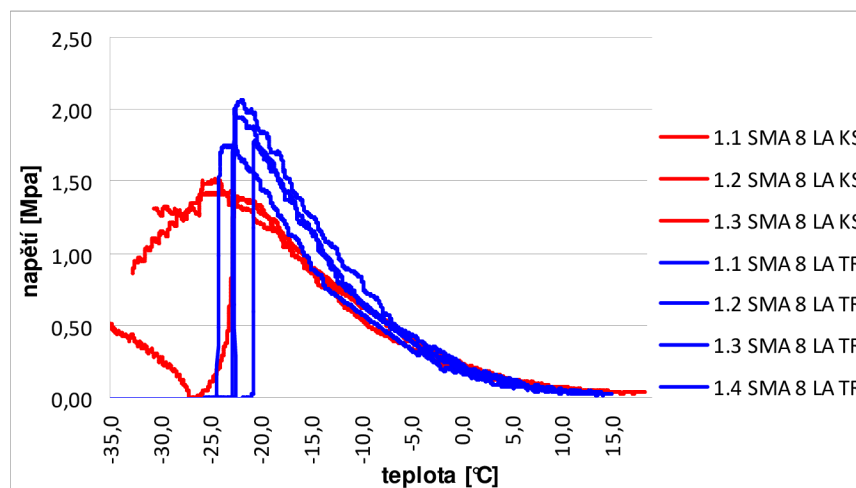
Tabulka 24 Objemová hmotnost ztuhlé desky směsi SMA 8 LA TR



Graf 15 Závislost síly na klesající teplotě zkušebních těles směsi SMA 8 LA TR

těleso	max. síla při porušení [-kN]	max. napětí při porušení [-MPa]	teplota vzorku při porušení [°C]
1.1	4,37	1,75	-23,3
1.2	5,00	2,04	-22,7
1.3	4,46	1,77	-20,6
1.3	5,17	2,03	-21,7
<b>průměr</b>	<b>4,75</b>	<b>1,90</b>	<b>-22,1</b>

Tabulka 25 Hodnoty nízkoteplotních charakteristik směsi SMA 8 LA TR



**Graf 16 Porovnání nízkoteplotních charakteristik obou směsí SMA 8 LA**

Z uvedených tabulek a grafů je patrné, že kvalitnější nízkoteplotní charakteristiky vykazovala směs SMA 8 LA KS, protože maximálního tahového napětí bylo dosahováno u této směsi při nižších teplotách (kolem teploty  $-23,5^{\circ}\text{C}$  oproti teplotám směsi SMA 8 LA TR – kolem teploty  $-22^{\circ}\text{C}$ ). Navíc tělesa vyrobená z této směsi se neporušovala tahovou trhlinou, pouze došlo k poklesu tahového napětí bez vzniku křehkého lomu (což dokumentuje graf 14). Tento jev může být způsoben vyšší pružností pojiva (vyšší resilience), s čímž souvisí mírně vyšší obsah pryžového granulátu v pojivu. Vyšších maximálních napětí dosahovala směs SMA 8 LA TR.

## 6.5 Výsledky zkoušky měření komplexních modulů tuhosti

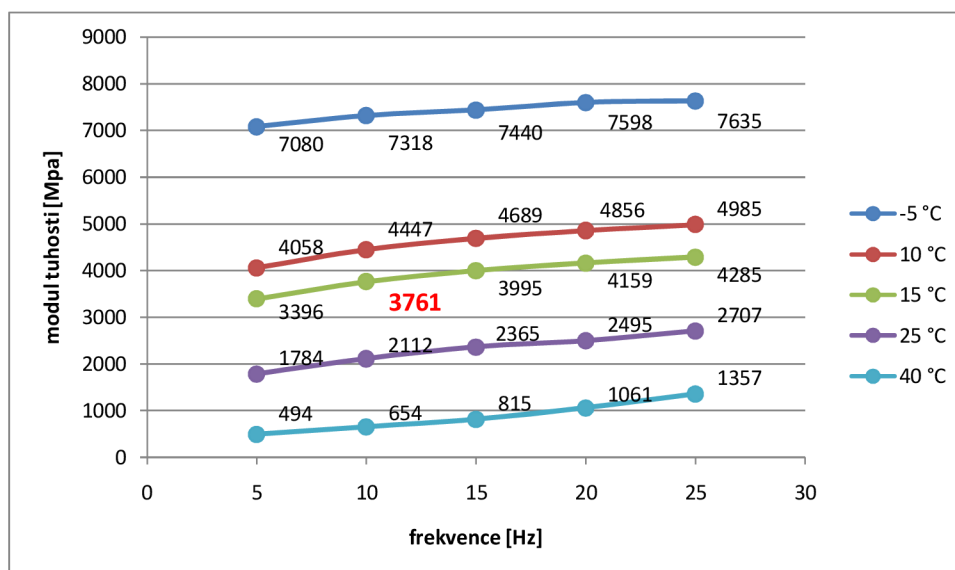
Moduly tuhosti byly měřeny při teplotách  $-5$ ,  $10$ ,  $15$ ,  $25$  a  $40^{\circ}\text{C}$  a při frekvencích  $5$ ,  $10$ ,  $15$ ,  $20$  a  $25$  Hz dvoubodovou zkouškou na trapezoidech. Pro směs SMA 8 LA KS bylo použito 10 zkušebních těles ve tvaru komolého klínu (trapezoidu), nařezaných na kotoučové pile z nahutněných desek a pro směs SMA 8 LA TR bylo pro zkoušku použito 13 zkušebních těles. V tabulce 26 a 28 jsou uvedeny objemové hmotnosti desek použitých pro výrobu zkušebních těles. Tabulky 27 a 29 a grafy 17 až 20 shrnují výsledky naměřených modulů tuhosti.

deska	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]	hmotnost [kg]	objemová hmotnost [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]
D1	41,7	261,3	322,2	6,707	<b>1910,4</b>
D3	41,3	261,4	322,2	6,526	<b>1876,1</b>
D4	41,0	260,9	321,8	6,689	<b>1943,2</b>

**Tabulka 26 Objemové hmotnosti zhutněných desek směsi SMA 8 LA KS**

teplota [°C]	Modul tuhosti [Mpa]					
	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz	5 Hz
-5 °C	7080	7318	7440	7598	7635	7041
10 °C	4058	4447	4689	4856	4985	4084
15 °C	3396	<b>3761</b>	3995	4159	4285	3364
25 °C	1784	2112	2365	2495	2707	1727
40 °C	494	654	815	1061	1357	467

Tabulka 27 Komplexní moduly tuhosti směsi SMA 8 KS



Graf 17 Závislost modulu tuhosti na teplotě a frekvenci zatěžování směsi SMA 8 LA KS

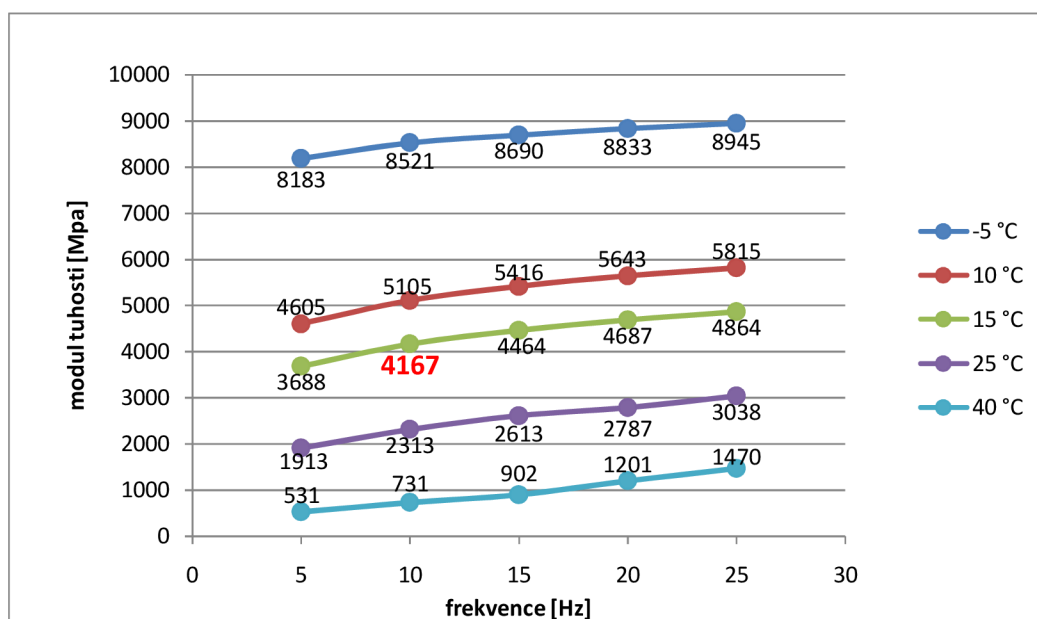
deska	tloušťka [mm]	šířka [mm]	délka [mm]	hmotnost [kg]	objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
D1	40,6	261,2	321,7	6,695	<b>1962,5</b>
D3	40,6	261,1	321,8	6,741	<b>1976,1</b>
D4	40,3	261,1	321,8	6,744	<b>1991,7</b>

Tabulka 28 Objemové hmotnosti zhutněných desek směsi SMA 8 LA TR

teplota [°C]	Modul tuhosti [Mpa]					
	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz	5 Hz
-5 °C	8183	8521	8690	8833	8945	8204
10 °C	4605	5105	5416	5643	5815	4712
15 °C	3688	<b>4167</b>	4464	4687	4864	3692
25 °C	1913	2313	2613	2787	3038	1866
40 °C	531	731	902	1201	1470	496

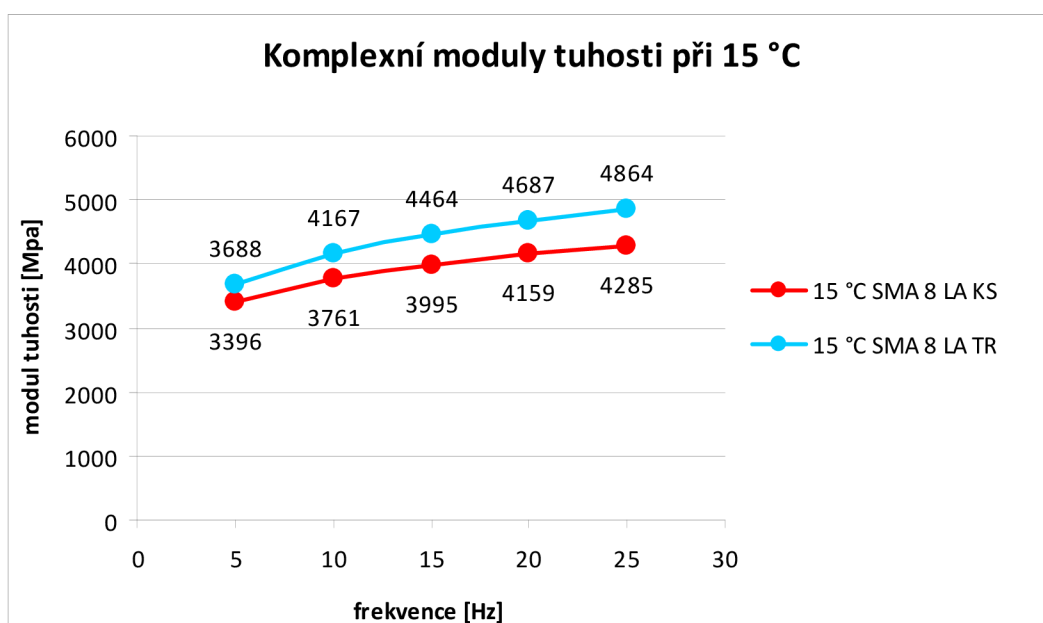
Tabulka 29 Komplexní moduly tuhosti směsi SMA 8 LA TR





Graf 18 Závislost modulu tuhosti na teplotě a frekvenci zatěžování směsi SMA 8 LA TR

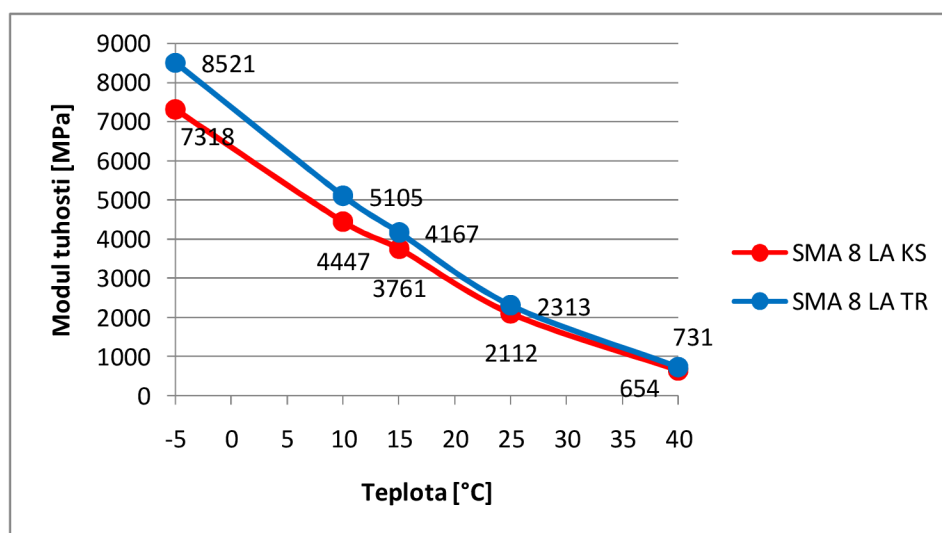
V tabulkách a grafech jsou uvedeny průměrné hodnoty. Návrhová hodnota podle TP 170 je modul tuhosti stanovený při teplotě 15 °C a frekvenci zatěžování 10 Hz.



Graf 19 Komplexní modul tuhosti při 15 °C pro obě směsi

Z uvedených výsledků v tabulkách je vidět, že vyšší tuhosti dosahovala směs SMA 8 LA TR v zkoumaném celém teplotním rozsahu. Hodnota modulu tuhosti směsi

SMA 8 LA KS při teplotě 15 °C a frekvenci zatěžování 10 Hz je 3761MPa a modul tuhosti směsi SMA 8 LA TR stanovený za stejných podmínek je 4167MPa. Nižší tuhost směsi SMA 8 LA KS lze vysvětlit kombinací mírně nižší viskozity pojiva při nízkých teplotách a mírně vyšší mezerovitosti této směsi. To koresponduje s nižší odolností směsi SMA 8 LA KS vůči vzniku trvalých deformací. Vzhledem k tomu, že norma ČSN EN 13108-5 nezavádí funkční způsob specifikace směsi asfaltového koberce mastixového, byly výsledky zkoušek kategorizovány podle ČSN EN 13108-1 pro asfaltový beton. Podle tabulky 22 uvedené normy lze zařadit tuhost obou směsí do kategorie  $S_{\min 3600}$ , přičemž požadavek funkčního přístupu národní přílohy normy ČSN EN 13108-1 pro směsi asfaltových betonů obrusných vrstev je stanoven na 7000 MPa. Tuto hodnotu žádná ze směsí nespĺňuje. Z důvodu nízké tuhosti jsou směsi vhodné pro tenké obrusné vrstvy, které budou mít nízký vliv na únosnost celkové tloušťky konstrukce vozovky.



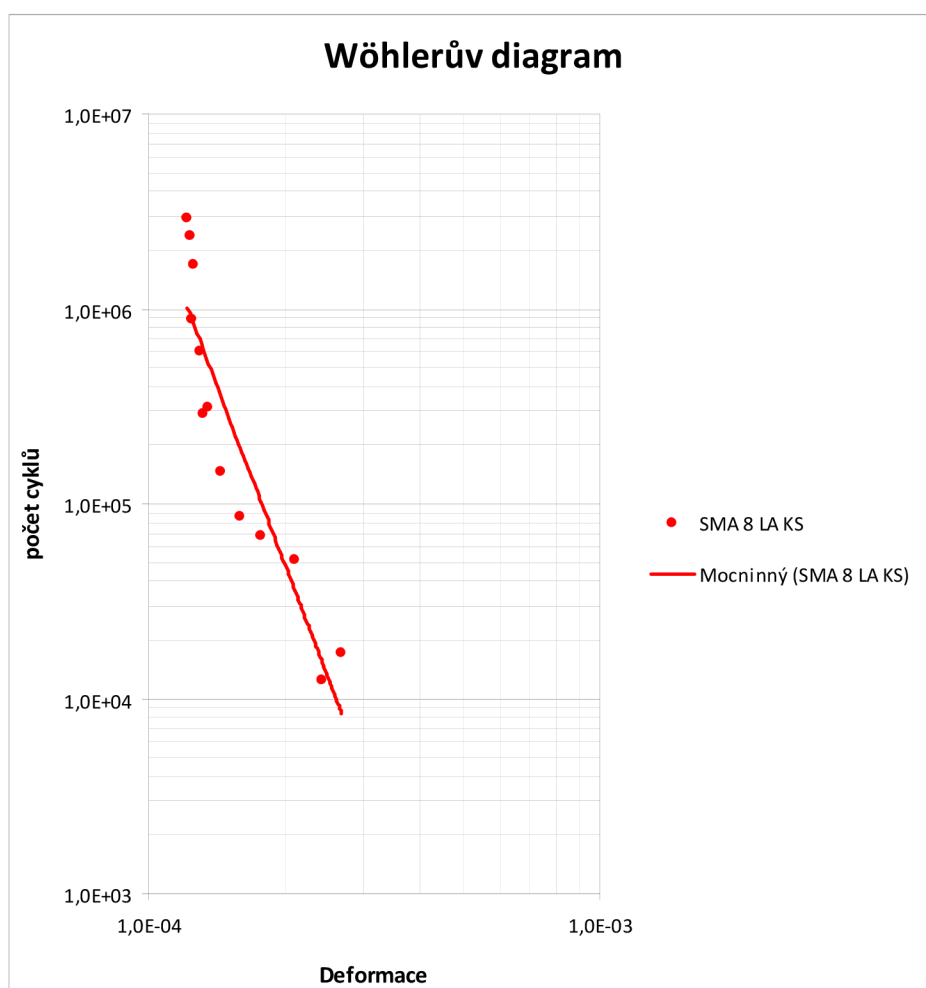
Graf 20 Závislost modulu tuhosti na teplotě pro obě směsi

## 6.6 Výsledky zkoušky měření únavových charakteristik

Stanovení únavových charakteristik bylo provedeno na stejných tělesech pro určení modulu tuhosti. Pro směs SMA 8 LA KS bylo použito 13 zkušebních těles a pro směs SMA 8 LA TR bylo použito 14 zkušebních těles. V tabulkách 30 a 31 jsou uvedeny výsledné hodnoty únavových charakteristik  $\epsilon_6$ , B a  $R^2$ . V grafech 21 až 23 jsou zachyceny Wöhlerovy diagramy únavy obou srovnávaných směsí.

zkušební těleso	poměrné přetvoření	počet cyklů	únavové charakteristiky		
			$\epsilon_6$	B	R <sup>2</sup>
1.1	0,000268	17220	<b>122,2.10<sup>-6</sup></b>	<b>6,096</b>	<b>0,851</b>
1.2	0,000242	12500			
1.3	0,000211	51345			
1.4	0,000177	68827			
1.5	0,000126	1698600			
2.2	0,000145	145190			
2.3	0,000135	313776			
2.4	0,000132	286569			
2.5	0,000125	882286			
3.1	0,00013	600000			
3.2	0,00016	86311			
3.3	0,000122	2900000			
3.4	0,000124	2356000			

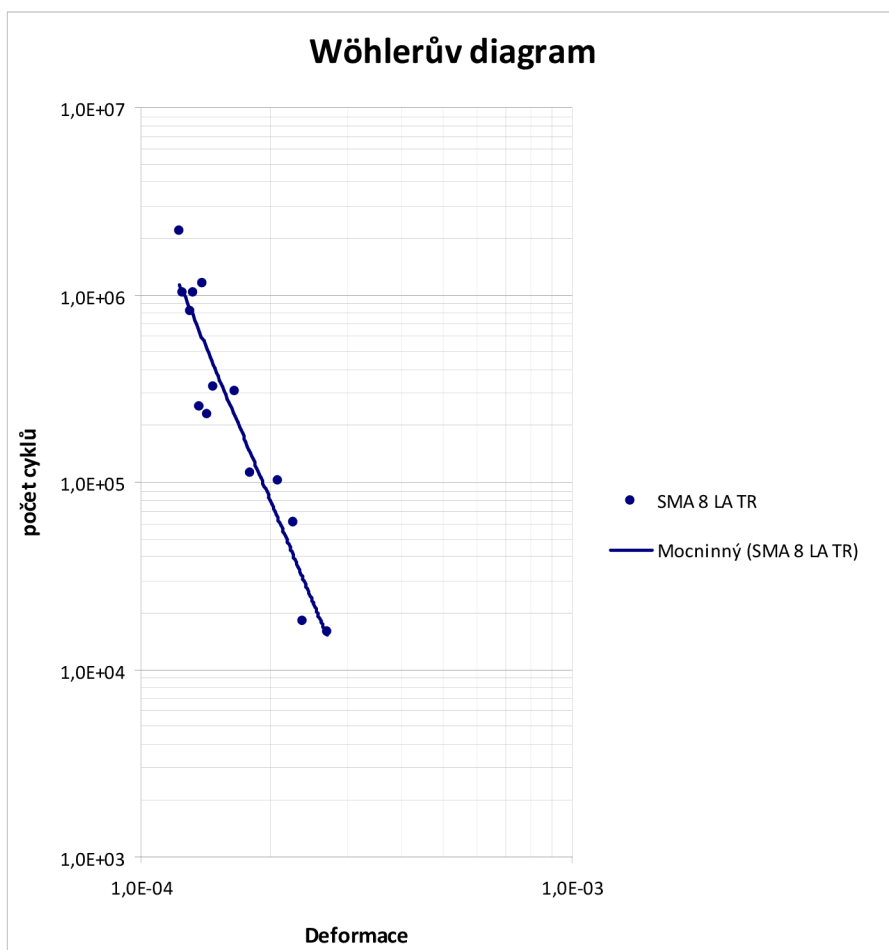
Tabulka 30 Hodnoty únavových charakteristik směsi SMA 8 LA KS



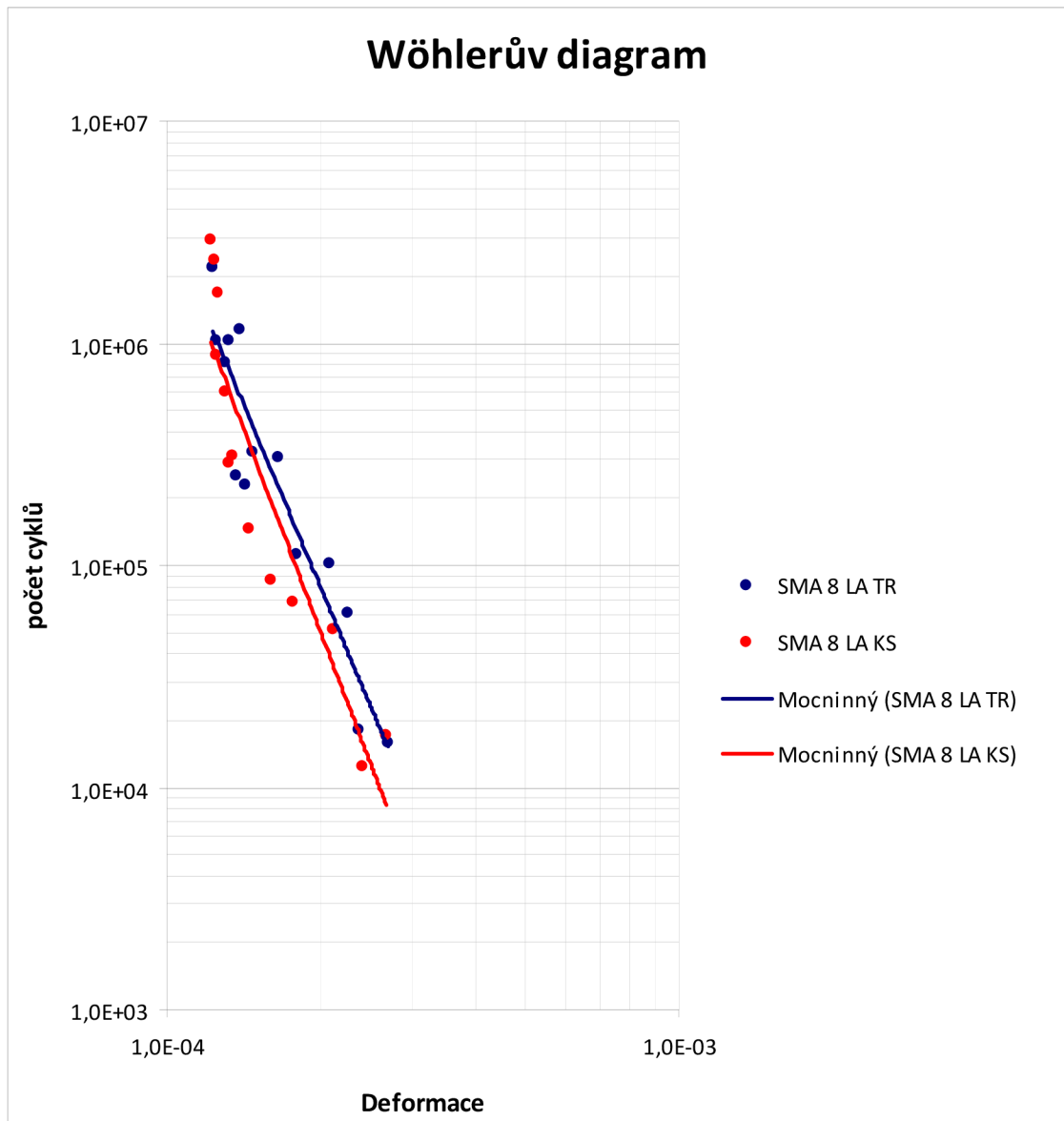
Graf 21 Wöhlerův diagram pro směs SMA8 LA KS

zkušební těleso	poměrné přetvoření	počet cyklů	únavové charakteristiky		
			$\epsilon_6$	B	R <sup>2</sup>
1.1	0,00018	113000	<b>126,2.10<sup>-6</sup></b>	<b>5,661</b>	<b>0,889</b>
1.2	0,000147	322000			
1.3	0,000125	1022000			
1.4	0,000208	102000			
1.5	0,000237	18069			
2.1	0,00027	15996			
2.2	0,000123	2185000			
2.3	0,00013	821840			
2.4	0,000139	1150000			
2.5	0,000165	303191			
3.1	0,000142	230000			
3.2	0,000137	253360			
3.3	0,000132	1037201			
3.4	0,000225	60864			

Tabulka 31 Hodnoty únavových charakteristik směsi SMA 8 LA TR



Graf 22 Wöhlerův diagram pro směs SMA8 LA TR



**Graf 23 Porovnání Wöhlerova diagramu pro obě směsi**

Obě směsi prokázaly téměř shodnou odolnost vůči únavě. Lze to vysvětlit stejnou zrnitostí směsi kameniva a stejným obsahem pojiva s podobnými viskoelastickými vlastnostmi. Nepatrně kvalitnější hodnotu sklonu únavové přímky B vykazovala směs SMA 8 LA KS. Obě směsi splňují kategorii odolnosti vůči únavě  $\epsilon_{6-115}$  podle ČSN EN 13108-1 pro směsi asfaltového betonu, což je kategorie požadovaná národní přílohou normy ČSN EN 13108-1 pro ložní a podkladní vrstvy směsí asfaltového betonu. Z důvodu vyššího obsahu pružného pojiva s obsahem částic pryže většinou vykazují směsi s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem kvalitní únavové charakteristiky.

## 7 SOUHRN VÝSLEDKŮ

V této kapitole jsou stručně shrnuty výsledky laboratorních zkoušek obou srovnávaných směsí. Jako výsledné dávkování pojiva do obou směsí SMA 8 LA bylo stanoveno 6,6 % pojiva obsahujícího 9,9 % pryžového granulátu Kovosteel 0/0,7 mm (SMA 8 LA KS) respektive 22,0 % koncentrátu RMB G (SMA 8 LA TR). Výsledky zkoušek jsou uvedeny v tabulce 32.

Směs	SMA 8 LA KS	SMA 8 LA TR
Obsah pojiva [%]	6,6	6,6
Typ přísady	Pryžový granulát Kovosteel 0/0,7 mm	koncentrát TecRoad (RMB G)
Obsah přísady [%]	9,9	22
Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	1935,7	1943,5
Maximální objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	2432,9	2432,9
Mezerovitost [%]	20,4	20,1
Ztráta částic PL [%]	13,1	14,8
Odolnost vůči vodě,ITSR [%]	58,7	58,7
Odolnost vůči trvalým deformacím WTS <sub>AIR</sub> /PRD <sub>AIR</sub> [mm/10 <sup>3</sup> cyklů / %]	0,156/6,1	0,09/4,3
Odolnost proti trhlinám [°C] Pevnost v tahu [MPa]	-23,5 1,39	-22,1 1,90
Modul tuhosti dle TP 170 při 15 °C a 10 Hz [MPa]	3761	4167
Poměrné přetvoření $\epsilon_6$ při 10 °C a 25 Hz	122,2*10 <sup>-6</sup>	126,2*10 <sup>-6</sup>
Sklon únavové regresní křivky B	6,10	5,66

**Tabulka 32 Srovnání laboratorních výsledků obou směsí**

## 8 ZÁVĚR

Diplomovou prací byly ověřeny možnosti laboratorní výroby směsí nízkohlučného asfaltového koberce mastixového s pojivem obsahujícím pryžový granulát a koncentrát TecRoad.

Z naměřených hodnot uvedených v souhrnné tabulce 32 vyplývá, že navržené směsi nízkohlučného asfaltového koberce mastixového SMA 8 LA mají vysokou mezerovitost, která byla nakonec podle konečného doporučení literatury [1] stanovována z rozměrů. Vysoká mezerovitost odpovídá mezerovitostem drenážních koberců a je způsobena čarou zrnitosti blízkou se těmto směsem. Vyšší nebo kolísající mezerovitost byla také zapříčiněna nízkou teplotou hutnění Marshallových těles při návrhu směsí a stálo by za zvážení zvýšení této teploty (např. na teplotu hutnění 155 °C). Tím by pravděpodobně došlo ke snížení mezerovitosti směsi, která je podle [1] očekávána v rozmezí 14 % až 16 % (při stanovení objemové hmotnosti z rozměrů a maximální objemové hmotnosti volumetrickou metodou ve vodě). Problematika určování objemových hmotností zhutněných těles směsí SMA LA dosud není uspokojivě vyřešena a proto by bylo vhodné provést další měření a srovnání těchto charakteristik.

Podle očekávání obě směsi vykazovaly nízkou hodnotu ITSR při zkoušce odolnosti zkušebních těles vůči vodě. Parametr ITSR je v Národní příloze ČSN EN 13108-5 (tabulka 5.2) pro směsi asfaltových koberců mastixových bez požadavku. Asfaltové směsi obsahující pryžový granulát většinou navíc nedosahují kvalitních odolností vůči účinku vody v laboratorních podmínkách při vyjádření poměru ITSR a z důvodu vyšší tloušťky asfaltového filmu a vyšší mezerovitosti a proto je hodnota ITSR neprůkazná.

Podle výsledků zkoušky vyjíždění kolejí se pro tyto směsi jeví problematiku nebezpečí tvorby trvalých deformací. To by bylo možné řešit snížením mezerovitosti (což není žádoucí z hlediska akustických vlastností), použitím pojiv s vhodnými vlastnostmi (vyšší gradace), popř. používáním popsané směsi do tenkých obrusných vrstev.

Obě směsi prokázaly kvalitní odolnost vůči mrazovým trhlinám, přičemž tělesa vyrobená ze směsi s pryžovým granulátem (KS) se neporušovala mrazovou trhlinou, pouze pokleslo tahové napětí. Obě směsi prokázaly dostatečně kvalitní únavové charakteristiky a nízké moduly tuhosti.

Při výrobě asfaltové směsi obsahující přísadu RMB G je jediným rozdílem oproti výrobě běžných směsí nutnost dávkovat koncentrát do asfaltové směsi. Proto je nutné, aby běžná obalovna asfaltových směsí byla vybavena dávkovačem sypkých přísad nebo pytlovaných dávek. Dávkování koncentrátu pak probíhá stejně jako při přidávání celulósových vláken do směsí typu SMA. Nevýhodou této technologie je vysoká cena přísady. Naproti tomu výroba směsí s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem vyžaduje přítomnost mísicího zařízení na obalovně asfaltových směsí (při využití technologie Continuous Blend) popř. složitější organizační náročnost (při využití technologie Terminal Blend).

Vrstva směsi asfaltového koberce mastixového (nízkohlučného) by měla být pokládána v tloušťkách kolem 25 mm. Je nutné si ale uvědomit, že jak návrh směsí, tak i výroba a pokládka budou vyžadovat zvýšené úsilí na dodržení všech požadavků a směsi SMA 8 LA budou z technologického hlediska náročnější než běžně navrhované směsi SMA. Důležité bude kvalitně provést spojovací postřik a dodržet nízkou mezerovitost ložní vrstvy tak, aby nebyla narušena vodou, která může pronikat tenkou mezerovitou obrusnou vrstvou.

Největší předpokládanou předností vrstvy SMA LA je redukce hlukových emisí vznikajících na styku pneumatiky s vozovkou, který je dán optimalizovanou zrnitostí směsi kameniva a zvýšenou mezerovitostí směsi. Tento útlum může být ještě mírně zvýšen přítomností pryžového granulátu v asfaltovém pojivu. V literatuře je udáváno, že vrstva by si měla své protihlukové charakteristiky udržovat po delší dobu, oproti asfaltovým kobercům drenážním, které je nutné navíc v pravidelných intervalech čistit speciálními čistícími vozy. V ČR zatím nebyly položeny zkušební úseky se směsmi SMA LA a změřeny hladiny hlučnosti, které by výše uvedené předpoklady potvrdily.



## 9 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Mísící zařízení G Asphalt (blender) .....	12
Obrázek 2 Penetrometr se zkušebním tělesem pro určení resilience.....	15
Obrázek 3 Penetrometr se zkušebním tělesem pro určení penetrace .....	17
Obrázek 4 Penetrační jehla .....	17
Obrázek 5 Asfaltové pojivo nalité v kroužcích .....	18
Obrázek 6 Sestava po měření bodu měknutí .....	19
Obrázek 7 Viskoziometr s různými nástavci.....	19
Obrázek 8 Temperování pyknometru se směsí a rozpouštědlem.....	20
Obrázek 9 Zařízení pro rotaci pyknometrů se vzorkem a trichloretylenem kolem šikmé osy.....	21
Obrázek 10 Válcová zkušební tělesa .....	24
Obrázek 11 Otlukový buben Los Angeles .....	24
Obrázek 12 Válcová zkušební tělesa po zkoušce ztráty částic.....	25
Obrázek 13 Vakuová komora.....	26
Obrázek 14 Sušárna v laboratoři .....	27
Obrázek 15 Rázový zhutňovač .....	27
Obrázek 16 Ventilátor pro ochlazení čerstvě zhutněných těles se šesti kruhovými podstavci .....	28
Obrázek 17 Zařízení pro vytlačení zkušebních těles z formy .....	28
Obrázek 18 Vodní lázeň pro temperaci mokrých těles .....	29
Obrázek 19 Zatěžovací lis se zkušebním tělesem .....	30
Obrázek 20 Lamelový zhutňovač desek .....	31
Obrázek 21 Zkušební deska .....	31
Obrázek 22 Zkušební zařízení pro pojíždění desek .....	32
Obrázek 23 Míchací zařízení pro obalení kameniva pojivem .....	33
Obrázek 24 Kotoučová pila s diamantovým kotoučem.....	34
Obrázek 25 Nařezaná a nalepená zkušební tělesa obou směsí.....	34
Obrázek 26 Temperování zkušebních těles a zkušební těleso upevněné ve zkušebním zařízení pro měření modulu tuhosti.....	35
Obrázek 27 Ovládací jednotka pro měření modulu tuhosti a únavových charakteristik.....	35
Obrázek 28 Upevněné zkušební těleso ze směsi SMA 8 LA KS pro měření únavových charakteristik .....	37
Obrázek 29 Nařezané zkušební tělesa ve tvaru trámečku .....	39

Obrázek 30 Centrovací kovový rám .....	39
Obrázek 31 Zkušební těleso upnuté ve zkušebním zařízení po ukončení zkoušky .....	40
Obrázek 32 Zrnitost pryžového granulátu Kovosteel .....	41
Obrázek 33 Míchací zařízení pro výrobu pojiva .....	42
Obrázek 34 Modifikační přísada TecRoad .....	42
Obrázek 35 Marshallovo těleso ve formě .....	50
Obrázek 36 Deska ze směsi SMA 8 LA KS po zkoušce pojíždění kolem .....	60

## 10 SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Požadavky na směsi SMA 8 LA [1].....	11
Tabulka 2 Vyhodnocení hodnot resilience pro obě pojiva .....	45
Tabulka 3 Vyhodnocení hodnot penetrace pro obě pojiva.....	45
Tabulka 4 Teplota bodu měknutí pojiva pro obě pojiva .....	46
Tabulka 5 Viskozita pojiva v závislosti na teplotě pro obě směsi.....	46
Tabulka 6 Laboratorní vlastnosti použitých pojiv.....	47
Tabulka 7 Sítový rozbor frakcí kameniva a vápencové moučky a výsledná zrnitost směsi .....	48
Tabulka 8 Poměry jednotlivých frakcí kameniv ve směsi.....	48
Tabulka 9 Výpočet objemové hmotnosti směsi SMA 8 LA KS.....	51
Tabulka 10 Vyhodnocení mezerovitosti a stupně vyplnění mezer směsi SMA 8 LA KS .....	52
Tabulka 11 Výpočet objemové hmotnosti směsi SMA 8 LA TR.....	52
Tabulka 12 Vyhodnocení mezerovitosti a stupně vyplnění mezer směsi SMA 8 LA TR .....	52
Tabulka 13 Vyhodnocení zkoušky ztráty částic směsi SMA 8 LA KS .....	53
Tabulka 14 Vyhodnocení zkoušky ztráty částic směsi SMA 8 LA TR .....	53
Tabulka 15 Objemové hmotnosti zkušebních těles SMA 8 LA KS pro ITSR.....	54
Tabulka 16 Hodnoty odolnosti vůči vodě (ITSR) směsi SMA 8 LA KS.....	55
Tabulka 17 Hodnoty odolnosti vůči vodě (ITSR) směsi SMA 8 LA TR [1].....	55
Tabulka 18 Naměřené hodnoty hloubky vyjeté koleje pro směs SMA 8 LA KS .....	57
Tabulka 19 Vyhodnocené výsledky zkoušky pojíždění kolem směsi SMA 8 LA KS.....	57
Tabulka 20 Naměřené hodnoty hloubky vyjeté koleje pro směs SMA 8 LA TR .....	58
Tabulka 21 Vyhodnocené výsledky zkoušky pojíždění kolem směsi SMA 8 LA TR.....	59
Tabulka 22 Objemová hmotnost zhutněné desky směsi SMA 8 LA KS.....	60
Tabulka 23 Hodnoty nízkoteplotních charakteristik směsi SMA 8 LA KS .....	61
Tabulka 24 Objemová hmotnost zhutněné desky směsi SMA 8 LA TR.....	61
Tabulka 25 Hodnoty nízkoteplotních charakteristik směsi SMA 8 LA TR .....	61
Tabulka 26 Objemové hmotnosti zhutněných desek směsi SMA 8 LA KS .....	62
Tabulka 27 Komplexní moduly tuhosti směsi SMA 8 KS.....	63
Tabulka 28 Objemové hmotnosti zhutněných desek směsi SMA 8 LA TR .....	63
Tabulka 29 Komplexní moduly tuhosti směsi SMA 8 LA TR.....	63
Tabulka 30 Hodnoty únavových charakteristik směsi SMA 8 LA KS .....	66

Tabulka 31 Hodnoty únavových charakteristik směsi SMA 8 LA TR .....	67
Tabulka 32 Srovnání laboratorních výsledků obou směsí .....	69

## 11 SEZNAM GRAFŮ

Graf 1	Obor zrnitosti pro směs SMA 8 S (vlevo) a SMA 8 LA (vpravo).....	9
Graf 2	Čára zrnitosti kameniva Luleč 0-4 .....	43
Graf 3	Čára zrnitosti kameniva Luleč 4-8 .....	44
Graf 4	Čára zrnitosti vápencové moučky Mokrá.....	44
Graf 5	Průběh viskozity v závislosti na teplotě obou pojiv .....	46
Graf 6	Výsledný návrh čáry zrnitosti směsi SMA 8 LA .....	49
Graf 7	Hodnota ITSR směsi SMA 8 LA KS .....	55
Graf 8	Hodnota ITSR směsi SMA 8 LA TR .....	56
Graf 9	Porovnání hodnot ITSR obou směsí .....	56
Graf 10	Průběh vyjeté koleje v závislosti na počtu pojezdů u směsi SMA 8 LA KS .....	57
Graf 11	Průběh vyjeté koleje v závislosti na počtu pojezdů u směsi SMA 8 LA TR .....	58
Graf 12	Průběh vyjeté koleje v závislosti na počtu pojezdů u směsi SMA 8 LA TR .....	58
Graf 13	Porovnání průběhu průměrné hloubky vyjeté koleje obou směsí.....	59
Graf 14	Závislost síly na klesající teplotě zkušebních těles směsi SMA 8 LA KS .....	60
Graf 15	Závislost síly na klesající teplotě zkušebních těles směsi SMA 8 LA TR .....	61
Graf 16	Porovnání nízkoteplotních charakteristik obou směsí SMA 8 LA.....	62
Graf 17	Závislost modulu tuhosti na teplotě a frekvenci zatěžování směsi SMA 8 LA KS .....	63
Graf 18	Závislost modulu tuhosti na teplotě a frekvenci zatěžování směsi SMA 8 LA TR .....	64
Graf 19	Komplexní modul tuhosti při 15 °C pro obě směsi .....	64
Graf 20	Závislost modulu tuhosti na teplotě pro obě směsi .....	65
Graf 21	Wöhlerův diagram pro směs SMA8 LA KS.....	66
Graf 22	Wöhlerův diagram pro směs SMA8 LA TR.....	67
Graf 23	Porovnání Wöhlerova diagramu pro obě směsi.....	68

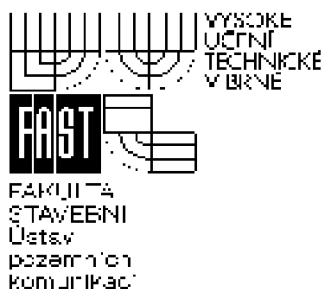
## 12 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Doc. Dr. Ing. Michal Varaus – Nízkohlučné asfaltové koberce mastixové, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2011
- [2] ČSN EN 13880-3 Zálivky za horka – Část 3: Zkušební metoda pro stanovení penetrace a pružné regenerace (resilience), Listopad 2004
- [3] ČSN EN 1426 Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení penetrace jehlou, Srpen 2007
- [4] ČSN EN 1427 Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení bodu měknutí – Metoda kroužek a kulička, Srpen 2007
- [5] TP 148 – Hutněné asfaltové vrstvy s pojivem modifikovaným pryžovým granulátem z pneumatik, Březen 2009
- [6] <http://cs.wikipedia.org/wiki/Viskozita>
- [7] ČSN EN 12697-5 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 5: Stanovení maximální objemové hmotnosti, Prosinec 2007
- [8] ČSN EN 12697-6 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa, Prosinec 2007
- [9] ČSN EN 12697-8 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 8: Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí, Květen 2004
- [10] ČSN EN 12697-17 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 17: Ztráta částic zkušebního tělesa asfaltového koberce drenážního, Prosinec 2007
- [11] ČSN EN 12697-12 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 12: Stanovení odolnosti zkušebního tělesa vůči vodě, Únor 2009
- [12] ČSN EN 12697-22 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 22: Zkouška poježdění kolem, Prosinec 2007
- [13] ČSN EN 12697-26 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 26: Tuhost, Prosinec 2006
- [14] Ing. Dašek Ondřej: Vliv míry zhutnění na funkční charakteristiky asfaltových směsí, Diplomová práce, VUT v Brně, Říjen 2006
- [15] Herr Dr. Ing. Hechtl – Technische Lieferbedingungen für gummimodifizierte Bitumen – TL RmB-StB, 3. Februar 2010

## **13 SEZNAM PŘÍLOH**

- P1            PROTOKOLY ZE ZKOUŠKY NÍZKOTEPLŮNÍCH CHARAKTERISTIK**
- P2            NAMĚŘENÉ HODNOTY MODULŮ TUHOSTI PRO JEDNOTLIVÁ  
              TĚLESA OBOU SMĚSÍ**

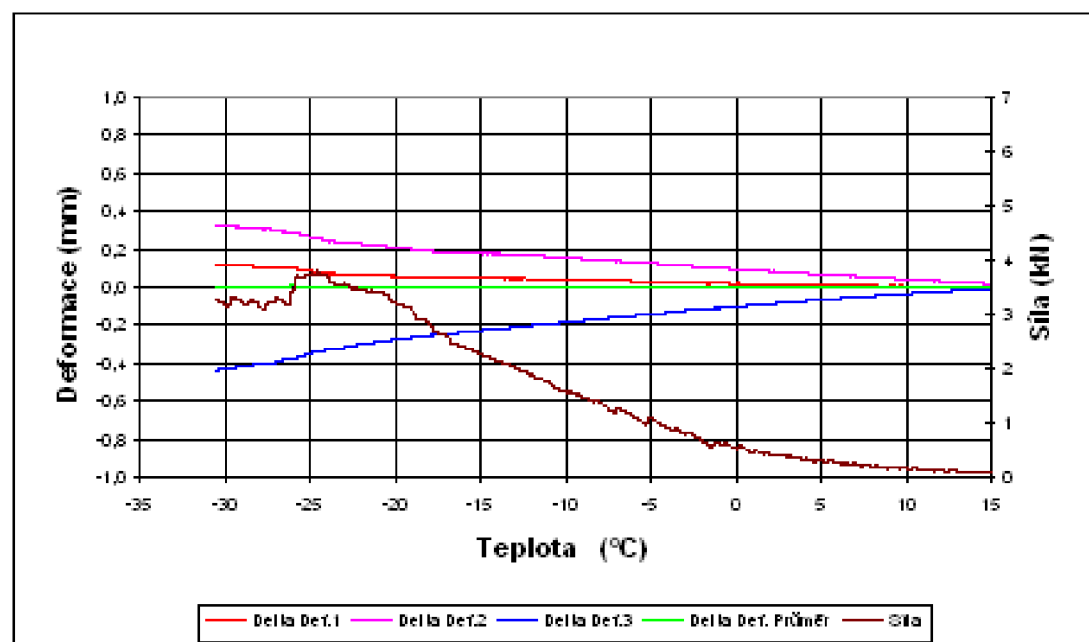
## P1 PROTOKOLY ZE ZKOUŠKY NÍZKOTEPLTNÍCH CHARAKTERISTIK



VUT V BRNĚ, FAKULTA  
STAVEBNÍ  
Ústav pozemních komunikací  
Vestel 95  
662 37 Brno  
tel.: (05) 411 473 40  
fax: (05) 7 45 1 17

### Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin

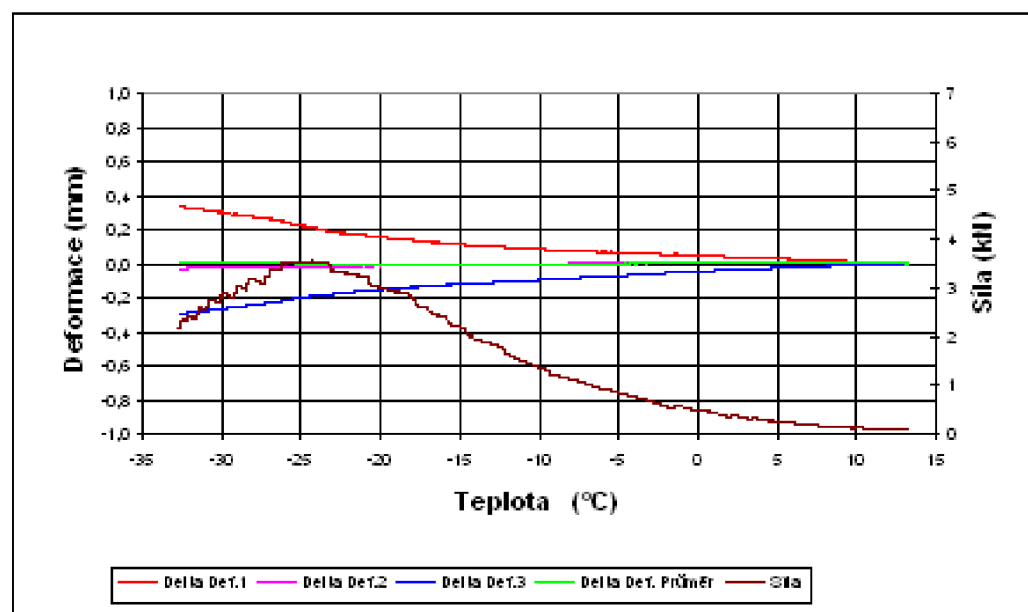
Akce :	DP
Asfaltová směs :	SMA 8 LA KS 1.1
Rozměry zkušebního tělesa - mm :	52 x 49,8 x 200
Datum zkoušky :	26.8.2011
Zkoušku provedl :	Zavrel
Teplota temperování - °C :	10
Doba temperování - min. :	15
Rychlost ochlazování - °C/hod :	10
Max. síla při porušení - kN :	3,80
Max. napětí při porušení - MPa :	1,47
Teplota v komoře při porušení - °C :	-27,5
Teplota vzorku při porušení - °C :	-24,5





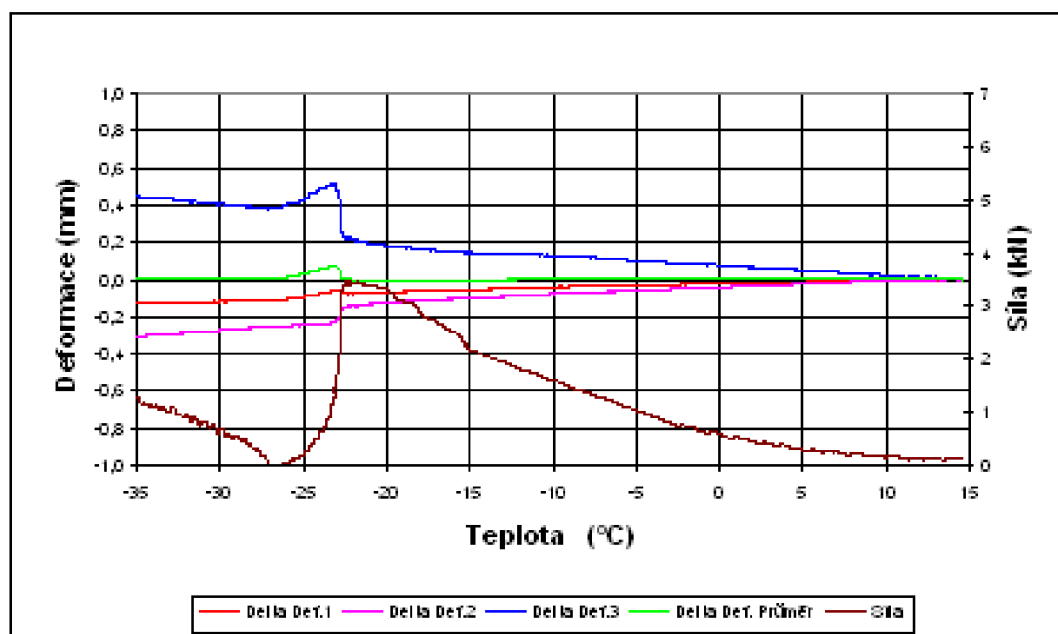
### Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin

Akce :	DP
Asfaltová směs :	SMA 8 LA KS 1.2
Rozměry zkušebního tělesa - mm :	50,2 x 52 x 200
Datum zkoušky :	9.8.2011
Zkoušku provedl :	Zavřel
Teplota temperování - °C :	10
Doba temperování - min. :	15
Rychlost ochlazování - °C/hod :	10
Max. síla při porušení - kN :	3,55
Max. napětí při porušení - MPa :	1,36
Teplota v komoře při porušení - °C :	-27,2
Teplota vzorku při porušení - °C :	-24,3



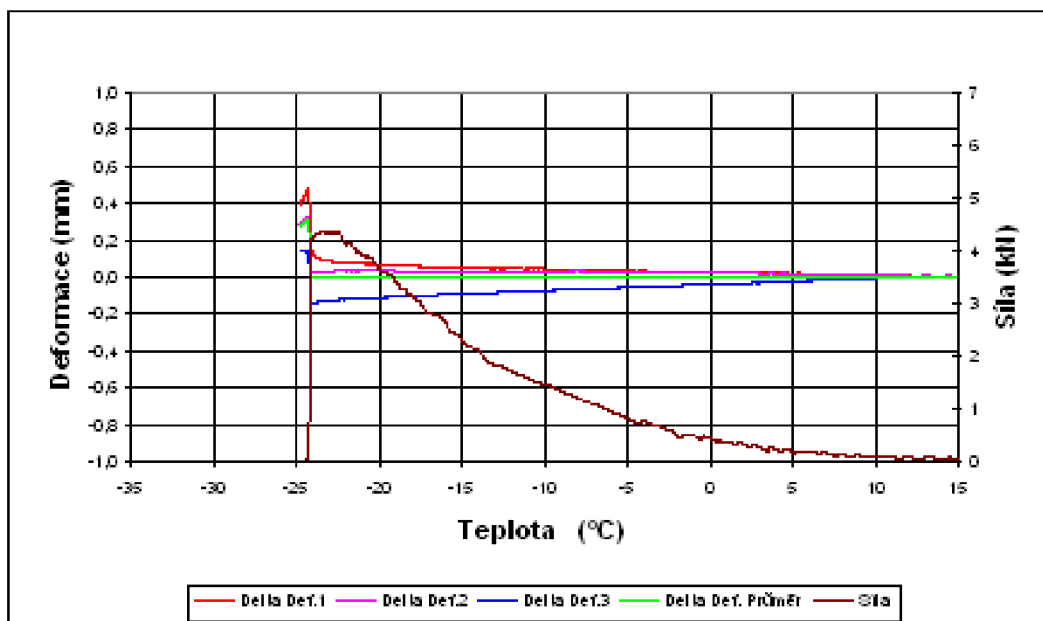
### Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin

Akce :	DP
Asfaltová směs :	SMA 8 LA KS 1.3
Rozměry zkušebního tělesa - mm :	52 x 50 x 200
Datum zkoušky :	10.8.2011
Zkoušku provedl :	Zavřel
Teplota temperování - °C :	10
Doba temperování - min. :	15
Rychlost ochlazování - °C/hod :	10
Max. síla při porušení - kN :	3,46
Max. napětí při porušení - MPa :	1,33
Teplota v komoře při porušení - °C :	-24,1
Teplota vzorku při porušení - °C :	-21,7



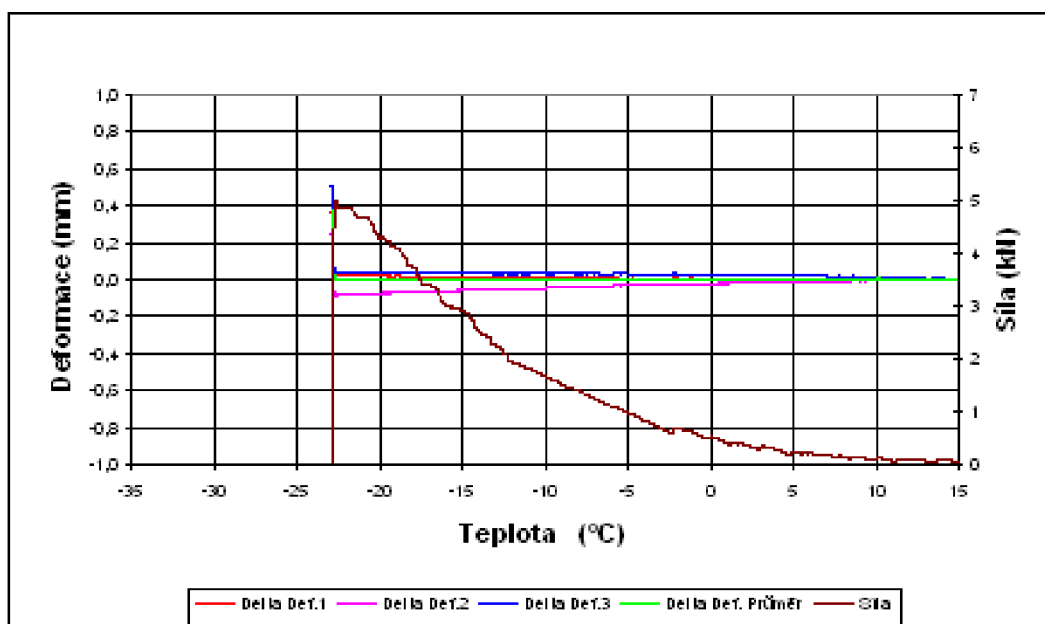
### Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin

Akce :	DP
Asfaltová směs :	SMA 8 LA TR 1
Rozměry zkušebního tělesa - mm :	50.1 x 49.8 x 200
Datum zkoušky :	9.11.2011
Zkoušku provedl :	Zavřel
Teplota temperování - °C :	10
Doba temperování - min. :	15
Rychlost ochlazování - °C/hod :	10
Max. síla při porušení - kN :	4,37
Max. napětí při porušení - MPa :	1,75
Teplota v komoře při porušení - °C :	-25,2
Teplota vzorku při porušení - °C :	-23,3



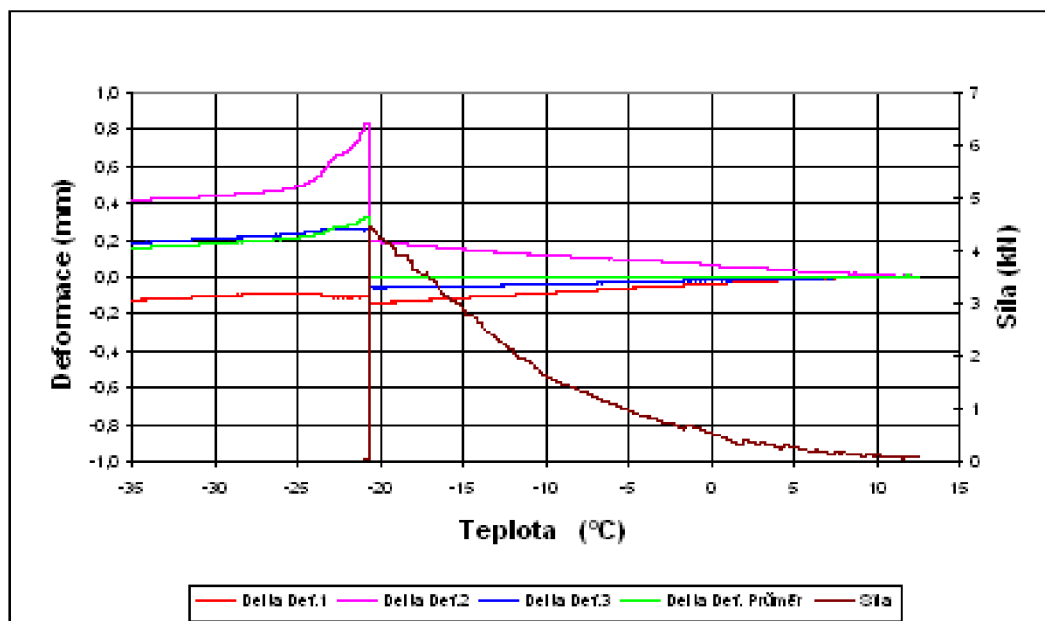
### Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin

<b>Akce :</b>	DP
Asfaltová směs :	SMA 8 LA TR 2
Rozměry zkušebního tělesa - mm :	50,1 x 48,9 x 200
Datum zkoušky :	31.10.2011
Zkoušku provedl :	Zavřel
Teplota temperování - °C :	10
Doba temperování - min. :	15
Rychlost ochlazování - °C/hod :	10
Max. síla při porušení - kN :	5,00
Max. napětí při porušení - MPa :	2,04
Teplota v komoře při porušení - °C :	-26,1
Teplota vzorku při porušení - °C :	-22,7



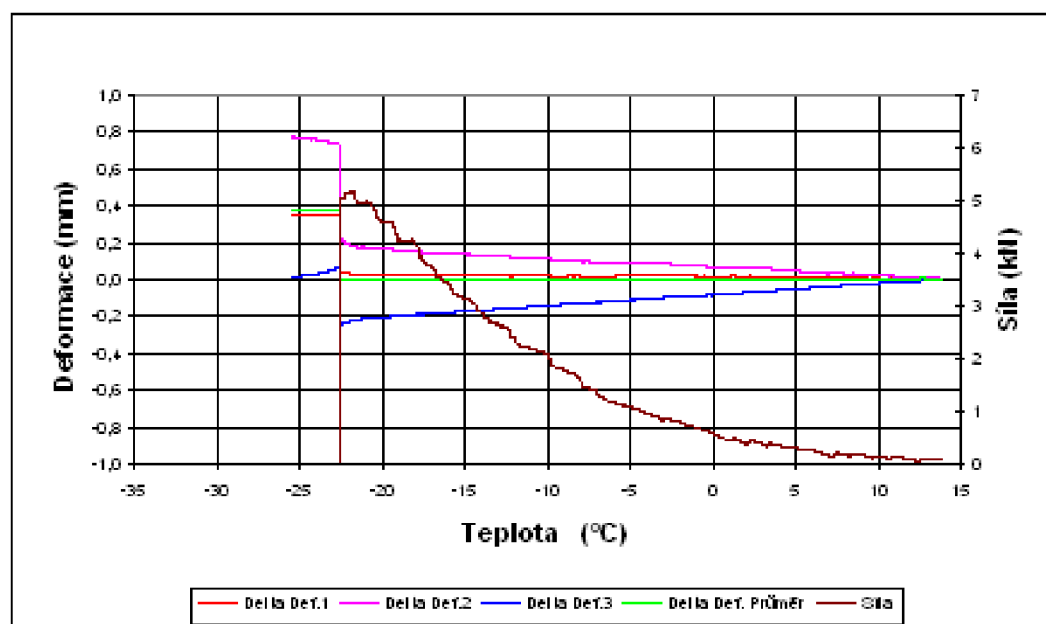
### Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin

Akce :	DP
Asfaltová směs :	SMA 8 LA TR 3
Rozměry zkušebního tělesa - mm :	50,4 x 50,1 x 200
Datum zkoušky :	1.11.2011
Zkoušku provedl :	Zavřel
Teplota temperování - °C :	10
Doba temperování - min. :	15
Rychlost ochlazování - °C/hod :	10
Max. síla při porušení - kN :	4,46
Max. napětí při porušení - MPa :	1,77
Teplota v komoře při porušení - °C :	-23,2
Teplota vzorku při porušení - °C :	-20,6



### Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin

Akce :	DP
Asfaltová směs :	SMA 8 LA TR 4
Rozměry zkušebního tělesa - mm :	50,9 x 50 x 200
Datum zkoušky :	8.11.2011
Zkoušku provedl :	Zavřel
Teplota temperování - °C :	10
Doba temperování - min. :	15
Rychlost ochlazování - °C/hod :	10
Max. síla při porušení - kN :	5,17
Max. napětí při porušení - MPa :	2,03
Teplota v komoře při porušení - °C :	-23,7
Teplota vzorku při porušení - °C :	-21,7



**P2 NAMĚŘENÉ HODNOTY MODULŮ TUHOSTI PRO JEDNOTLIVÁ TĚLESA OBOU SMĚSÍ**

Komplexní modul tuhosti při -5 °C (SMA 8 LA KS)

tělesa	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz	5 Hz
KS 1.4	7264	7508	7635	7810	7878	7175
KS 3.1	7129	7335	7453	7604	7662	7108
KS 3.2	6846	7112	7233	7380	7364	6840
<b>průměr</b>	<b>7080</b>	<b>7318</b>	<b>7440</b>	<b>7598</b>	<b>7635</b>	<b>7041</b>

Komplexní modul tuhosti při 10 °C (SMA 8 LA KS)

tělesa	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz	5 Hz
KS 1.1	4354	4780	5041	5232	5352	4406
KS 1.2	4336	4738	5004	5214	5368	4365
KS 1.3	3888	4251	4467	4612	4724	3929
KS 1.4	3967	4366	4627	4773	4942	4006
KS 1.5	3488	3870	4127	4261	4402	3545
KS 3.1	3997	4462	4653	4868	4999	4026
KS 3.2	3694	4024	4276	4423	4541	3721
KS 3.3	3956	4322	4561	4714	4818	3957
KS 3.4	4151	4556	4819	4959	5060	4198
KS 3.5	4748	5099	5317	5503	5641	4689
<b>průměr</b>	<b>4058</b>	<b>4447</b>	<b>4689</b>	<b>4856</b>	<b>4985</b>	<b>4084</b>

Komplexní modul tuhosti při 15 °C (SMA 8 LA KS)

tělesa	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz	5 Hz
KS 1.1	3886	4288	4515	4737	4875	3825
KS 1.2	3705	4125	4361	4578	4699	3654
KS 1.3	3349	3629	3825	3950	4039	3272
KS 1.4	3340	3637	3875	3980	4074	3271
KS 1.5	3129	3510	3725	3876	3993	3118
KS 3.1	3354	3702	3918	4072	4149	3303
KS 3.2	3233	3619	3847	3975	4139	3221
KS 3.3	3266	3614	3859	4035	4189	3273
KS 3.4	3212	3611	3880	4022	4195	3212
KS 3.5	3482	3875	4144	4361	4494	3494
<b>průměr</b>	<b>3396</b>	<b>3761</b>	<b>3995</b>	<b>4159</b>	<b>4285</b>	<b>3365</b>

Komplexní modul tuhosti při 25 °C (SMA 8 LA KS)

tělesa	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz	5 Hz
KS 1.1	1964	2367	2658	2782	3065	1911
KS 1.2	1869	2289	2557	2697	2912	1831
KS 1.3	1818	2185	2408	2559	2752	1780
KS 1.4	1797	2092	2362	2556	2718	1705
KS 1.5	1560	1866	2085	2217	2451	1503
KS 3.1	1781	2053	2308	2443	2642	1713
KS 3.2	1687	1974	2209	2313	2560	1628
KS 3.3	1716	2023	2248	2403	2544	1678
KS 3.4	1751	2053	2323	2414	2653	1709
KS 3.5	1893	2221	2493	2562	2770	1812
<b>průměr</b>	<b>1784</b>	<b>2112</b>	<b>2365</b>	<b>2495</b>	<b>2707</b>	<b>1727</b>

Komplexní modul tuhosti při 40 °C (SMA 8 LA KS)

tělesa	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz	5 Hz
KS 1.1	483	734	842	1195	1369	467
KS 1.2	509	675	801	1175	1338	509
KS 1.3	530	662	949	1221	1344	449
KS 1.4	461	680	792	1004	1333	429
KS 1.5	422	528	728	1158	1367	381
KS 3.1	549	710	869	1034	1405	534
KS 3.2	507	601	792	913	1300	427
KS 3.3	489	641	761	971	1347	475
KS 3.4	474	676	791	1009	1358	516
KS 3.5	514	631	820	927	1412	487
<b>průměr</b>	<b>494</b>	<b>654</b>	<b>815</b>	<b>1061</b>	<b>1357</b>	<b>467</b>

Komplexní modul tuhosti při -5 °C (SMA 8 LA TR)

tělesa	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz	5 Hz
TR 1.3	8235	8596	8700	8823	8890	8203
TR 2.3	7940	8271	8451	8634	8720	7960
TR 3.1	8374	8695	8920	9042	9224	8449
<b>průměr</b>	<b>8183</b>	<b>8521</b>	<b>8690</b>	<b>8833</b>	<b>8945</b>	<b>8204</b>



Komplexní modul tuhosti při 10 °C (SMA 8 LA TR)

tělesa	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz	5 Hz
TR 1.1	5023	5440	5730	5916	6055	4967
TR 1.2	4904	5448	5677	5918	6102	4905
TR 1.3	4567	5069	5337	5577	5711	4669
TR 1.4	4483	4985	5285	5499	5676	4659
TR 1.5	4433	4873	5130	5346	5490	4516
TR 2.1	4676	5214	5508	5703	5836	4821
TR 2.2	4801	5317	5697	5956	6126	4952
TR 2.3	4602	5081	5414	5622	5775	4724
TR 2.4	4477	5033	5362	5631	5786	4707
TR 2.5	4156	4665	4990	5211	5379	4315
TR 3.1	4543	5061	5373	5585	5753	4671
TR 3.2	4496	4992	5338	5558	5727	4644
TR 3.3	4703	5191	5565	5835	6180	4700
<b>průměr</b>	<b>4605</b>	<b>5105</b>	<b>5416</b>	<b>5643</b>	<b>5815</b>	<b>4712</b>

Komplexní modul tuhosti při 15 °C (SMA 8 LA TR)

tělesa	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz	5 Hz
TR 1.1	3956	4416	4766	4929	5141	3804
TR 1.2	3693	4185	4497	4726	4922	3698
TR 1.3	3651	4107	4430	4615	4797	3675
TR 1.4	3553	4001	4321	4538	4716	3554
TR 1.5	3380	3786	4068	4301	4467	3366
TR 2.1	3721	4208	4494	4758	4905	3728
TR 2.2	3716	4256	4557	4767	4986	3745
TR 2.3	3694	4185	4468	4678	4863	3740
TR 2.4	3771	4211	4490	4716	4877	3771
TR 2.5	3422	3890	4155	4414	4559	3479
TR 3.1	3744	4272	4553	4795	4965	3747
TR 3.2	3732	4217	4524	4722	4918	3773
TR 3.3	3908	4433	4708	4976	5121	3915
<b>průměr</b>	<b>3688</b>	<b>4167</b>	<b>4464</b>	<b>4687</b>	<b>4864</b>	<b>3692</b>

Komplexní modul tuhosti při 25 °C (SMA 8 LA TR)

tělesa	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz	5 Hz
LA 1.1	1942	2416	2673	2883	3079	1909
LA 1.2	1677	2013	2253	2353	2541	1617
LA 1.3	1875	2264	2601	2767	2967	1864
LA 1.4	1848	2240	2530	2755	3025	1799
LA 1.5	1804	2170	2433	2587	2959	1735
LA 2.1	1914	2267	2587	2774	2959	1850
LA 2.2	1965	2372	2718	2846	3189	1903
LA 2.3	1969	2369	2670	2843	3114	1916
LA 2.4	1945	2373	2714	2907	3298	1912
LA 2.5	1765	2147	2424	2577	2777	1709
LA 3.1	2027	2451	2785	2984	3125	2002
LA 3.2	1993	2411	2647	2886	3022	1948
LA 3.3	2144	2581	2938	3071	3434	2092
<b>průměr</b>	<b>1913</b>	<b>2313</b>	<b>2613</b>	<b>2787</b>	<b>3038</b>	<b>1866</b>

Komplexní modul tuhosti při 40 °C (SMA 8 LA TR)

tělesa	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz	5 Hz
LA 1.1	504	644	832	1252	1566	453
LA 1.2	529	706	894	1202	1596	484
LA 1.3	602	705	975	1275	1534	467
LA 1.4	474	734	856	1267	1526	484
LA 1.5	475	675	859	1231	1384	409
LA 2.1	528	740	887	1196	1547	471
LA 2.2	514	802	950	1148	1438	508
LA 2.3	524	772	981	1253	1445	516
LA 2.4	547	737	844	1117	1429	519
LA 2.5	483	716	871	1110	1508	508
LA 3.1	589	794	972	1192	1361	546
LA 3.2	559	725	948	1188	1389	534
LA 3.3	573	754	854	1177	1399	554
<b>průměr</b>	<b>531</b>	<b>731</b>	<b>902</b>	<b>1201</b>	<b>1471</b>	<b>496</b>