

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

# NÁVRH SMĚSI TYPU ASFALTOVÝ KOBEREK MASTIXOVÝ A STANOVENÍ ODOLNOSTI PROTI TVORBĚ TRVALÝCH DEFORMACÍ

DESIGN OF STONE MASTIX ASPHALT AND DETERMINATION OF THE RESISTANCE  
AGAINST PERMANENT DEFORMATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

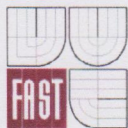
AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

MICHAL ŘEZNÍČEK

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Dr. Ing. MICHAL VARAUS

BRNO 2014



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

**Student** Michal Řezníček

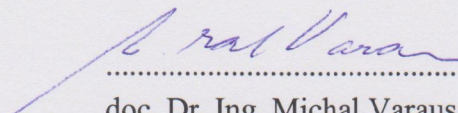
**Název** Návrh směsi typu asfaltový koberec mastixový  
a stanovení odolnosti proti tvorbě trvalých  
deformací

**Vedoucí bakalářské práce** doc. Dr. Ing. Michal Varaus

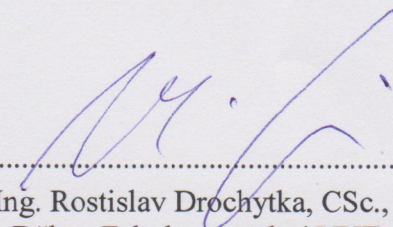
**Datum zadání  
bakalářské práce** 30. 11. 2013

**Datum odevzdání  
bakalářské práce** 30. 5. 2014

V Brně dne 30. 11. 2013

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



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



## Podklady a literatura

ČSN EN 13108-5 Asfaltové směsi - Specifikace pro materiály -Část 1: Asfaltový koberec mastixový

ČSN 73 6160 Zkoušení asfaltových směsí

ČSN EN 12697-22+A1 Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 22: Zkouška poježdění kolem

Sborníky z konferencí - Asfaltové vozovky 2005, 2007, 2009, 2011, 2013

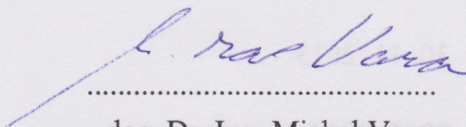
## Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Provést návrhy asfaltové směsí typu asfaltový koberec mastixový podle návrhu národní přílohy revidované normy ČSN EN 13108-5. V návaznosti na návrhy směsi bude porovnána její odolnost proti tvorbě trvalých deformací.

## Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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



doc. Dr. Ing. Michal Varaus  
Vedoucí bakalářské práce

**Abstrakt:**

Bakalářská práce se zabývá návrhem asfaltového koberce mastixového s upravenými parametry oproti stávající platné normě. Popisuje dílčí součásti návrhu jako zkoušky vstupních materiálů (kameniva a asfaltu), návrh upravené čáry zrnitosti a zkoušky směsi. Po navržení vyhovující směsi uvádí zkoušku zhotovených desek na odolnost proti tvorbě trvalých deformací při teplotě 50 °C a 60 °C. Dosažené výsledky vyhodnocuje a vzájemně porovnává.

**Abstract:**

The bachelor thesis deals with designing stone mastic asphalt with modified parameters in comparison to the current applicable standard. It describes the sub-parts of the design such as tests of raw materials (aggregates and asphalt), a proposal for a modified grading curve, and mixture tests. After suggesting a satisfactory mixture, it presents the test of produced boards' resistance to permanent deformations at 50 °C and 60 °C. The obtained results are then evaluated and mutually compared.

**Klíčová slova:**

Asfaltový koberec mastixový, asfalt, kamenivo, návrh asfaltového koberce mastixového, zkoušení odolnosti proti tvorbě trvalých deformací

**Keywords:**

Stone mastic asphalt, asphalt, aggregate, design of stone mastic asphalt, testing of their resistance against permanent deformation



### **Bibliografická citace VŠKP**

Řezníček, Michal. *Návrh směsi typu asfaltový koberec mastixový a stanovení odolnosti proti tvorbě trvalých deformací*. Brno, 2014. 65 s., 79 str. příl. 10 str. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce doc. Dr. Ing. Michal Varaus.

**Prohlášení:**

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

V Brně dne 30. 5. 2014

.....  
podpis autora  
Michal Řezníček



**Poděkování:**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Dr. Ing. Michalovi Varausovi za odborné vedení, cenné rady a připomínky, které mi pomohly při vypracování této bakalářské práce. Dále chci poděkovat Ing. Tomáši Koudelkovi za vedení a pomoc při provádění zkoušek v laboratoři. Mé díky patří ještě všem lidem laboratoře PKO, kteří mi vždy poradili a pomohli. Na závěr děkuji rodině a přítelkyni za jejich podporu.

V Brně dne 30. 5. 2014

.....

Michal Řezníček

# OBSAH

<b>OBSAH</b> .....	<b>5</b>
<b>1 ÚVOD</b> .....	<b>13</b>
1.1    PODNĚT K PRÁCI.....	13
1.2    CÍL .....	13
<b>2 VSTUPNÍ MATERIÁLY</b> .....	<b>14</b>
2.1    VSTUPNÍ MATERIÁLY .....	14
2.1.1    Kamenivo .....	14
2.1.2    Pojivo.....	15
2.1.3    Stabilizační přísady.....	16
<b>3 ZKOUŠENÍ VSTUPNÍCH MATERIÁLŮ</b> .....	<b>16</b>
3.1    ZKOUŠKY KAMENIVA .....	16
3.1.1    Stanovení zrnitosti - Síťový rozbor – ČSN EN 933-1(Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1) .....	17
3.1.2    Stanovení tvaru zrn – Tvarový index - ČSN EN 993-4 (Zkoušení geometrických vlastností kameniva-Část 4) .....	21
3.1.3    Metody pro stanovení odolnosti proti drcení-ČSN EN 1097-2 (Zkoušení mechanických vlastností kameniva – Část 2) .....	23
3.2    ZKOUŠKY ASFALTOVÉHO POJIVA.....	25
3.2.1    Stanovení penetrace jehlou -ČSN EN 142-(Asfalty a asfaltová pojiva) .....	25
3.2.2    Stanovení bodu měknutí – Metoda kroužek a kulička -ČSN EN 1427-(Asfalty a asfaltová pojiva) .....	27
3.2.3    Stanovení vratné duktility modifikovaných asfaltů-ČSN EN 13 398-(Asfalty a asfaltová pojiva) .....	30
<b>4 ASFALTOVÝ KOBEREK MASTIXOVÝ (SMA 11 S)</b> .....	<b>32</b>
<b>5 POPIS NÁVRHU, VÝROBY TĚLES A JEJICH ZKOUŠENÍ</b> .....	<b>32</b>
5.1    NÁVRH SMĚSI .....	33
5.1.1    Obory zrnitosti kameniva.....	33
5.1.2    Navržení čáry zrnitosti SMA 11 S.....	34
5.1.3    Návrh množství pojiva .....	34
5.2    LABORATORNÍ VÝROBA SMĚSI – ČSN EN 12697 -35+A1 (ASFALTOVÉ SMĚSI- ZKUŠEBNÍ METODY PRO ASFALTOVÉ SMĚSI ZA HORKA – ČÁST 35).....	34
5.3    PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLES RÁZOVÝM ZHUTŇOVAČEM- ČSN EN 12697-30+A1 (ASFALTOVÉ SMĚSI – ZKUŠEBNÍ METODY PRO ASFALTOVÉ SMĚSI ZA HORKA – ČÁST 35) .....	35
5.4    ZKOUŠKY ZKUŠEBNÍCH TĚLES .....	38
5.4.1    Stanovení maximální objemové hmotnosti - ČSN EN 12697-5+A1(Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 5).....	38
5.4.2    Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa - ČSN EN 12697-6+A1(Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 6).....	41



5.4.3	Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí - ČSN EN 12697-8(Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 8)	42
5.4.4	Stékavost pojiva – ČSN EN12697 -18 (Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 18)	43
<b>6</b>	<b>REALIZACE NAVRŽENÝCH SMĚSÍ A JEJICH VYHODNOCENÍ.....</b>	<b>49</b>
6.1	NÁVRH Č. 1	49
6.1.1	Navržení čáry zrnitosti SMA 11 S	49
6.1.2	Marshallovo těleso návrh č. 1	50
6.1.3	Objemová hmotnost Marshallových těles	50
6.1.4	Maximální objemová hmotnost – zjišťována ve vodě	50
6.1.5	Mezerovitost směsi, směsi kameniva a stupeň vyplnění mezer	51
6.1.6	Vyhodnocení návrhu č. 1	51
6.2	NÁVRH Č. 2	51
6.2.1	Navržení čáry zrnitosti SMA 11 S	51
6.2.2	Marshallovo těleso návrhu č. 2	52
6.2.3	Objemová hmotnost Marshallových těles	53
6.2.4	Maximální objemová hmotnost – převzata z návrhu č. 1	53
6.2.5	Mezerovitost směsi, směsi kameniva a stupeň vyplnění mezer	53
6.2.6	Vyhodnocení návrhu č. 2	53
6.3	NÁVRH Č. 3	54
6.3.1	Navržení čáry zrnitosti SMA 11 S	54
6.3.2	Marshallovo těleso návrhu č. 3	55
6.3.3	Objemová hmotnost Marshallových těles	55
6.3.4	Maximální objemová hmotnost ve vodě a trichloru	55
6.3.5	Mezerovitost směsi, směsi kameniva a stupeň vyplnění mezer	56
6.3.6	Vyhodnocení návrhu č. 3	56
6.4	VIZUÁLNÍ POROVNÁNÍ VŠECH NÁVRHŮ	57
<b>7</b>	<b>VÝROBA ZKUŠEBNÍCH DESEK PRO STANOVENÍ ODOLNOSTI PROTI TRVALÝM DEFORMACÍM .....</b>	<b>58</b>
7.1	PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLES ZHUTŇOVAČEM DESEK- ČSN EN 12697 – 33+A1 (ASFALTOVÉ SMĚSI – ZKUŠEBNÍ METODY PRO ASFALTOVÉ SMĚSI ZA HORKA – ČÁST 33)	58
7.1.1	Návrh směsi	58
7.1.2	Příprava směsi	59
7.1.3	Plnění formy a hutnění směsi	59
7.1.4	Odstranění formy	61
7.2	POSOUZENÍ ZKUŠEBNÍCH DESEK	62
7.2.1	Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa	62
7.2.2	Vyhodnocení korektnosti zkoušek	62
<b>8</b>	<b>ZKOUŠENÍ DESEK NA ODOLNOST PROTI TRVALÝM DEFORMACÍM .....</b>	<b>63</b>
8.1	PODSTATA ZKOUŠKY:	63
8.2	POPIS ZKUŠEBNÍHO ZAŘÍZENÍ	63
8.3	POSTUP	65
8.3.1	Příprava zkušebního tělesa:	65
8.3.2	Temperování:	65
8.3.3	Upevnění zkušebního tělesa:	65

8.3.4	Záběh: .....	65
8.3.5	Průběh zkoušky postupu B: .....	65
8.4	VÝPOČET A VYJÁDŘENÍ VÝSLEDKŮ: .....	66
8.4.1	Přírůstek hloubky vyjeté koleje na vzduchu (postup B): .....	66
8.4.2	Průměrný přírůstek hloubky vyjeté koleje $WTS_{AIR}$ na vzduchu: .....	66
8.4.3	Průměrná poměrná hloubka vyjeté koleje $PRD_{AIR}$ na vzduchu: .....	66
8.5	NAMĚŘENÉ HODNOTY A VYHODNOCENÍ .....	67
8.5.1	Tloušťky desek.....	67
8.5.2	Hloubka koleje po 5000 a 10 000 cyklech .....	67
8.5.3	Poměrná hloubka a přírůstky hloubky vyjeté koleje .....	68
8.5.4	Podmínky korektnosti zkoušek: .....	68
8.5.5	Vyjádření výsledků v grafické podobě .....	68
8.5.6	Vizuální srovnání desek .....	70
	.....	70
	.....	71
<b>9</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>72</b>
<b>10</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....</b>	<b>73</b>
<b>11</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ .....</b>	<b>75</b>
<b>12</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>76</b>
<b>13</b>	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>78</b>
<b>14</b>	<b>SEZNAM GRAFŮ .....</b>	<b>79</b>
<b>15</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>79</b>

# 1 ÚVOD

## 1.1 Podnět k práci

V současné době probíhá revize evropských norem pro asfaltové směsi za horka řady ČSN EN 13108, což může být dobrou příležitostí pro zlepšení výsledných fyzikálně-mechanických vlastností těchto směsí. Tato práce, jakožto dílčí součást tohoto procesu, se bude zabývat návrhem asfaltového koberce mastixového. Stávající asfaltový koberec mastixový, dále jen SMA, má často příliš otevřenou strukturu směsi, což vede k vyššímu vnikání vody do obrusné vrstvy. Negativní působení vody na konstrukci vozovky vede ke snížení životnosti a vzniku poruch např. trhlin. Dalším problémem je vznik vyjetých kolejí vznikající v horkých letních měsících, kdy teplota vozovky dosahuje až 60 °C. Proto důležitou změnou, která bude testována při provádění zkoušky pojiždění kolem (ČSN EN1267- 22+A1), je přechod z původní teploty 50 °C na novou teplotu 60 °C. Tato práce respektuje požadavky a doporučení pro nový návrh SMA 11 S, které vypracoval pan doc. Ing. Václav Hanzík, CSc.

## 1.2 Cíl

Cílem bakalářské práce je upravení složení SMA 11 S tak, aby bylo dosaženo lepších fyzikálně – mechanické vlastností a zvýšení životnosti. Z hlavních požadavků je snížit mezerovitost zkušebních těles při zkouškách ITT na 2,5 – 3,5 % úpravou čáry zrnitosti. Výsledků je možno docílit zvýšením podílu jemné frakce kameniva o cca 1 až 2 %. Dalším prvkem zlepšení je mírné zvýšení obsahu rozpustného asfaltu o cca 0,2-0,3 % tzn. min. 6,4 % (6,6 %) při objemové hmotnosti kameniva 2650 kg/m<sup>3</sup> a vhodný výběr asfaltového pojiva. Na závěr budou navrhnutá zkušební tělesa zkoušena na odolnost proti tvorbě trvalých deformací, kde pojezd kola bude probíhat při teplotách 50 °C a 60 °C. V případě, že se výsledky pojezdů při odlišných teplotách nebudou razantně lišit, potom bude uvažováno o změně zkoušení odolnosti proti tvorbě trvalých deformací z teploty 50 °C na teplotu 60 °C .

## 2 VSTUPNÍ MATERIÁLY

Vstupními materiály asfaltového koberce mastixového jsou plnivo, pojivo a stabilizační přísada. Plnivo je tvořeno vybranými frakcemi kameniva a vápencové moučky (fileru). Funkci pojiva plní modifikovaný asfalt. Jako stabilizační přísada byla použita celulózová vlákna, která se používají k zamezení stékání asfaltu [1].

### 2.1 Vstupní materiály

#### 2.1.1 Kamenivo

Pro výrobu směsi SMA 11 S bude použito drcené kamenivo moravská droba z kamenolomu Luleč a vápencová moučka (filer) pocházející z lokality Mokrý u Brna. Zvolené frakce kameniva vychází z požadavků na směs SMA 11 S, tedy filer, 0/4, 4/8 a 8/11. Přivezené kamenivo bude homogenizováno s cílem získat stejnorodé vlastnosti jednotlivých frakcí. Homogenizace je proces, při kterém je vysypáno kamenivo na pracovní plochu a důkladně promíšeno metodou, při které se lopatou nabere část materiálu ze souhrnného vzorku a vysype mimo souhrnný vzorek. Snahou je získat kuželovou hromadu, kdy dílčí části materiálu jsou sypány na vrchol hromady do kuželovitého tvaru. Po přesypání celého souhrnného vzorku se celý proces opakuje ještě dvakrát. Snahou je vždy sypat materiál na vrchol kuželové hromady [2].



**Obrázek 2- 1: Vápencová moučka,**  
[Vlastní zpracování]



**Obrázek 2- 2: Frakce 0/4,**  
[Vlastní zpracování]





Obrázek 2- 4: Frakce 4/8,  
[Vlastní zpracování]



Obrázek 2- 3: Frakce 8/11,  
[Vlastní zpracování]

### 2.1.2 Pojivo

Požadovaným pojivem pro navrhované směsi byl modifikovaný silniční asfalt PmB 45/80-65. Bylo vybráno asfaltové pojivo OMV Starfalt PmB 45/80-65 modifikované elastomerem. Vyrábí se v rafinérii a je určeno k použití při stavbě velmi zatěžovaných a frekventovaných vozovek a asfaltových povrchů s vysokými nároky. OMV Starfalt PmB 45/80-65 vykazuje velký rozsah plasticity, výrazné viskoelastické chování, velkou regenerační schopnost, vynikající přilnavost za všech klimatických podmínek. Skladovací teplota v obalovně asfaltových směsí by neměla překročit 180 °C. Při delším skladování se doporučuje snížit teplotu na cca 130 °C [3].

#### Doporučené teploty pro zpracování směsí:

Teplota při výrobě:	max. 190°C
Teplota při pokládce:	150°C až 190°C
Teplota míchání:	165°C
Teplota hutnění:	155°C [3]

Další funkční charakteristiky			
Původní pojivo (nezestárlé)	Viskozita při 135°C	Pa.s	1,3
	Hustota při 25°C	kg/m <sup>3</sup>	1020
	Komplexní smykový modul (při 64°C)	kPa	3,8
	Fázový úhel (při 64°C)	°	63
Urychlené dlouhodobé stárnutí (PAV)	Komplexní smykový modul (při 22°C)	kPa	3000
	Fázový úhel (při 22°C)	°	54
	Tuhost (při -18°C)	MPa	180

Tabulka 2- 1: Funkční charakteristiky PmB 45/80-65, [3]

### 2.1.3 Stabilizační přísady

Stabilizační přísady zamezující stékání asfaltového pojiva. Ve směsi byla použita celulózová vlákna TECHNOCEL.



**Obrázek 2- 5: Celulózová vlákna Technocel,**  
[Vlastní zpracování]

## 3 ZKOUŠENÍ VSTUPNÍCH MATERIÁLŮ

### 3.1 Zkoušky kameniva

Pro správný návrh a funkci směsi je nutné provést na kamenivu potřebné zkoušky na geometrické a mechanické vlastnosti. Zkoušení kameniva bude probíhat v souladu s evropskými normami uvedené níže.

3.2 *Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti - Síťový rozbor – ČSN EN 933-1*

3.3 *Zkoušení geometrických vlastností kameniva - Část 4: Stanovení tvaru zrn - Tvarový index - ČSN EN 933-4*

3.4 *Zkoušení mechanických vlastností kameniva - Část 2: Metody pro stanovení odolnosti proti drcení - ČSN EN 1097-2*

### 3.1.1 Stanovení zrnitosti - Sítový rozbor – ČSN EN 933-1 (Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1)

Zkouška se zabývá mechanickým roztríděním zrn podle velikosti a stanovení % propadu zrn na jednotlivých sítích (stanovení čáry zrnitosti). Z čáry zrnitosti se odvodí nadsítné, podsítné a obsah jemných částic (částic  $< 0,063$  mm) [4].



**Obrázek 3- 6: Setřásací stůl,**  
[Vlastní zpracování]

#### **Podstata zkoušky:**

Sítový rozbor slouží k roztržení a oddělení materiálu do několika frakcí za pomoci sady sít se sestupnou velikostí otvorů. Otvory sít a počet sít jsou vybrány dle druhu vzorků a požadované přesnosti. Metoda praní a prosévání za sucha [4].

#### **Přístroje a pomůcky:**

Zkušební síta s otvory, uvedenými v EN 933-2 a vyhovující požadavkům ISO 3310-1 a ISO 3310-2, pevně líčující víko a dno sady sít, sušárna, prací zařízení, váhy, prosévací přístroj [4].

#### **Postup:**

Příprava zkušebních navážek spočívá ve zmenšení vzorku dle EN 932-2. Hmotnosti zkušebních navážek byly stanoveny dle tabulky 1 uvedené v normě ČSN EN 933-1. Zkušební navážka se vysuší v sušárně při teplotě  $(110 \pm 5)$  °C, nechá se vychladnout a zváží se jako  $M_1$ . Pro zjištění obsahu jemných částic při promývání je nutné připravit síto 0,063 mm a síto ochranné (např. 1 mm). K vysušené navážce je přidána voda tak, aby kamenivo bylo celé pod vodou. Kamenivo je důkladně promícháno za

účelem oddělení jemných částic a přecezeno přes síto 0,063 mm. Tento proces se opakuje do té doby, dokud není voda v kamenivu při míchání čirá. Poté je zbytek na síti 0,063 mm a síť ochranném vysušen a zvážen jako  $M_2$ . Vyprané a vysušené kamenivo se proseje na setřásacím stolku, který je tvořen sadou sít se sestupnou velikostí otvorů. Síta se postupně odebírají, přičemž je materiál znovu ručně proseván nad nádobou, která zachytává propadlé částice. Materiál v nádobě se vždy sype na následující síto určené k ručnímu prosetí. Zůstatky na jednotlivých sítích jsou zváženy jako hmotnosti  $R_1, R_2, \dots, R_n$ . Jemné částice obsažené na dně sady sít se zváží jako hmotnost  $P$  [4].

### Výpočet a vyjádření výsledků

Hmotnostní podíl zůstatků na sítích se určí z celkové hmotnosti navážky  $M_1$ . Hmotnosti zůstatků na každém síti se určí jako procento hmotnosti původní vysušené navážky  $M_1$ . Vypočtou se součtová procenta hmotnosti původní navážky, která propadla každým sítem od shora dolů kromě síta 0,063 mm. Vypočte se procento jemných částic ( $f$ ), které propadly sítem 0,063 mm podle následujícího vztahu:

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

kde  $M_1$  je hmotnost vysušené zkušební navážky, v kilogramech,

$M_2$  hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063, v kilogramech,

$P$  hmotnost propadu jemných částic na dně, v kilogramech [4].

### Naměřené hodnoty a vyhodnocení:

(Uvedené hodnoty jsou výtahem ze síťových rozborů příloh 1-4)

### Vápencová moučka (filer)

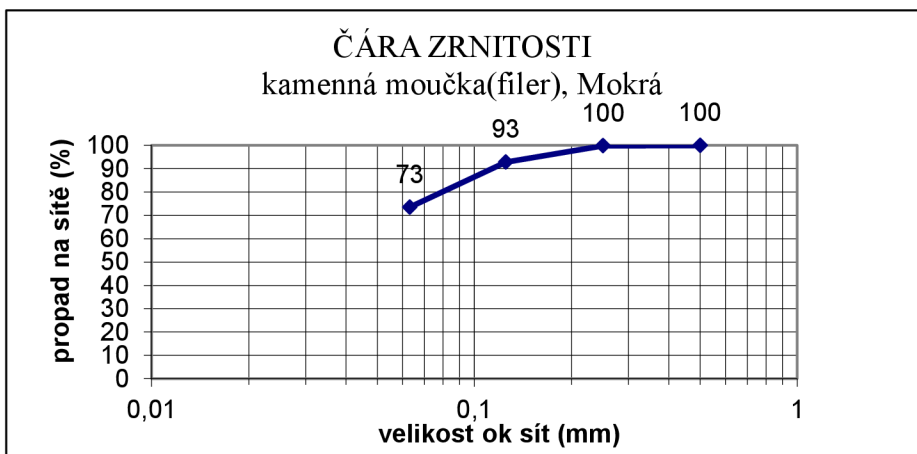
(Síťový rozbor viz Příloha 1)

Obsah jemných částí ( $f$ ) : 73,4 %

**Tabulka 3- 2: Procentuální propady fileru na jednotlivých sítích**

Frakce: Filer	Velikost síta [mm]								
	8	5,6	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
Propad[%]	100	100	100	100	100	100	100	94	73,5





Graf 3- 1: Čára zrnitosti kamenné moučky

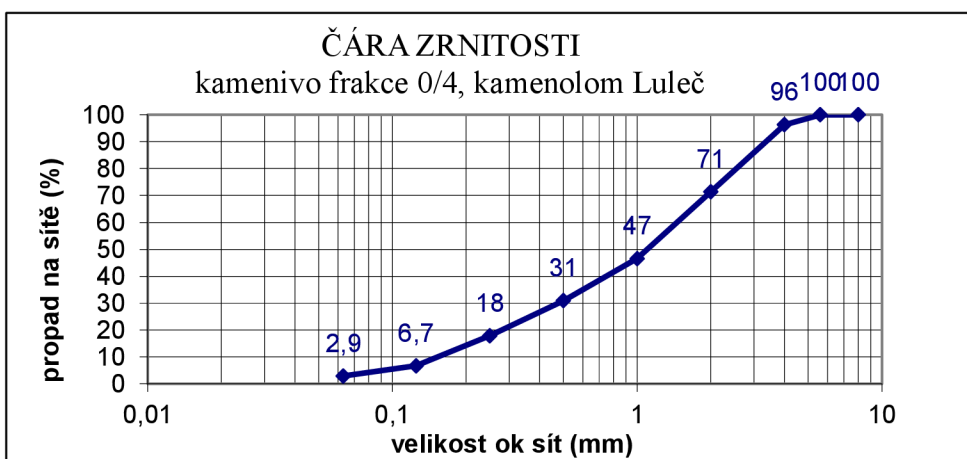
### Frakce 0/4

(sítový rozbor viz Příloha 2)

Obsah jemných částic (f): 2,87 %

Tabulka 3- 3: Procentuální propady frakce 0/4 na jednotlivých sítích,

Frakce: 0/4	Velikost sítá [mm]								
	8	5,6	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
Propad [%]	100	100	96	71	47	31	18	7	3



Graf 3- 2: Čára zrnitosti frakce 0/4

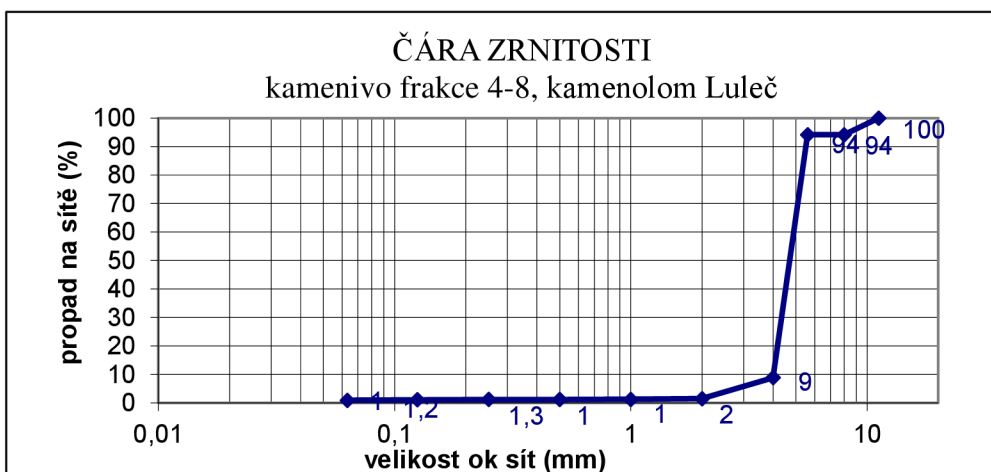
### Frakce 4/8

(sítový rozbor viz Příloha 3)

Obsah jemných částic (f): 1,01 %

**Tabulka 3- 4: Procentuální propady frakce 4/8 na jednotlivých sítích**

Frakce: 4/8	Velikost síta [mm]								
	8	5,6	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
Propad [%]	94	94	9	2	1	1	1	1	1



**Graf 3- 3: Čára zrnitosti frakce 4/8**

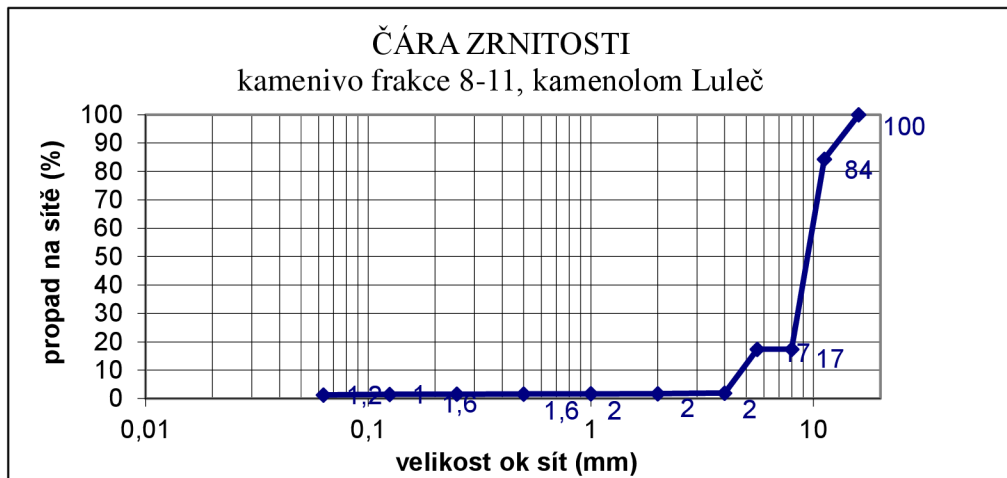
Frakce: 8/11

(sítový rozbor viz Příloha 4)

Obsah jemných částic (f): 1,26 %

**Tabulka 3- 5: Procentuální propady frakce 8/11 na jednotlivých sítích**

Frakce: 8/11	Velikost síta [mm]										
	16	11,2	8	5,6	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
Propad [%]	100	84	17	17	2	2	2	2	2	1	1

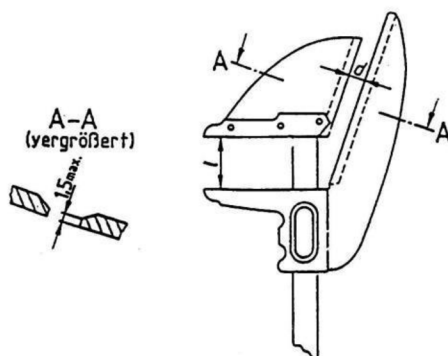


Graf 3- 4: Čára zrnitosti frakce 8/11

### 3.1.2 Stanovení tvaru zrn – Tvarový index - ČSN EN 993-4 (Zkoušení geometrických vlastností kameniva-Část 4)

#### Podstata zkoušky:

Jednotlivá zrna ve vzorku hrubého kameniva se roztřídí na kubická a nekubická zrna za pomoci poměru jejich délky  $L$  k tloušťce  $E$ . Poměr je obvykle stanoven dvoučelistovým posuvným měřítkem, kde rozteče čelistí jsou v poměru 3:1. Nekubická zrna jsou charakterizována poměrem délky ku tloušťce větší než 3 ( $L/E > 3$ ). Na posuvném měřítku je změřena největší délka zrna ( $L$ ) a propadne-li čelistí s 3 krát menší roztečí ( $E$ ), jedná se o nekubické zrn. Tvarový index je potom určen jako hmotnostní podíl nekubických zrn (poměr rozměrů  $L/E > 3$ ) a celkové hmotnosti zkoušených zrn vyjádřený v procentech [5].



Obrázek 3- 7: Dvoučelist'ové posuvné měřítko, [5]

### **Přístroje a pomůcky:**

Dvoučelist'ové posuvné měřítka, zkušební síta, dobře těsnící dno a víko pro síta, sušárna, váhy, misky [5].

### **Postup:**

Vzorek frakce 8/11 je odebrán a zmenšen dle požadavku uvedeném v EN 933-2. Vzorek se vysuší při teplotě  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$  do ustálené hmotnosti. Proseje se na příslušných sítích při dostatečném třepání, aby bylo dosaženo úplné oddělení zrn větších než 4 mm. Vyřadí se zrna, která zůstanou na zkušebním sítu 63 mm a ty, které propadnou zkušebním sítím 4 mm. Hmotnost zkušební navážky pro maximální velikost zrna 11 je stanovena interpolací hodnot uvedené v tabulce 1- Hmotnost zkušebních navážek dle normy ČSN EN 933-4 [5].

Zkouška musí být provedena na každém zrnu kameniva, které propadnou sítím s většími otvory  $D_i$  a zůstanou na sítě s menšími otvory. Ze zkušební navážky jsou oddělena zrna se zrněním  $d_i / D_i$ , kde  $D_i \leq 2d_i$ , proséváním podle EN 933-1. Odstraní se všechna zrna menší než  $d_i$  a větší než  $D_i$ . Zaznamená se hmotnost převládajícího zrnění  $d_i / D_i$  jako  $M_1$ . Změří se délka  $L$  a tloušťka  $E$  každého zrna za pomoci dvoučelist'ového posuvného měřítka a oddělí se zrna, která mají rozměrový součinitel  $L/E > 3$ . Tato zrna jsou klasifikována jako zrna nekubického tvaru. Zrna nekubického tvaru jsou zvážena a zapsána jako hmotnost  $M_2$  [5].



**Obrázek 3 - 8: Roztřídění kubických a nekubických zrn pomocí dvoučelist'ového posuvného měřítka, [Vlastní zpracování]**

### Výpočet a vyjádření výsledků:

(Zkušební navážky kde  $D \leq 2d$ )

Tvarový index (SI) se vypočte podle následujícího vztahu:

$$SI = (M_2/M_1) \times 100$$

kde  $M_1$  je hmotnost zkušební navážky v gramech,

$M_2$  je hmotnost nekubických zrn v gramech [5].

### Naměřené hodnoty a vyhodnocení:

Tabulka 3- 6: Výsledné hodnoty tvarového indexu SI

Navážka	$M_1$ [g]	$M_2$ [g]	SI [%]	Průměr SI [%]
1	409,7g	93,4	22,8	25 %
2	396,6	102,2	26,8	

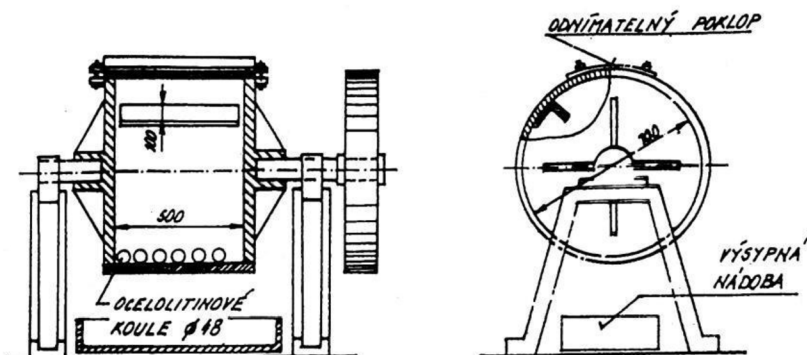
Požadavky na kamenivo do obrusných vrstev podle ČSN EN 13043:2004 stanovují pro horní mez zrnění tvarový index SI pro směs SMA 11 S SI=30 %.

Výsledná hodnota tvarového indexu SI=25 % ( $<SI_{30}$ ) vyhovuje těmto požadavkům určené normou [5].

### 3.1.3 Metody pro stanovení odolnosti proti drčení-ČSN EN 1097-2 (Zkoušení mechanických vlastností kameniva – Část 2)

#### Podstata zkoušky:

Vzorek kameniva se omílá ocelovými koulemi při otáčení bubnu. Po předepsaném počtu otáčení bubnu se zjistí množství materiálu, které zůstane na síti 1,6 mm [6].



Obrázek 3- 9: Otlukový buben pro zkoušku Los Angeles, [6]

### **Přístroje a pomůcky:**

Zkušební síta, váhy, sušárna, otlukový buben Los Angeles, 10 koulí, motor, miska, počítač otáček, kartáč a misky [7].

### **Postup:**

Před samotnou zkouškou je nutno zkontrolovat popřípadě odstranit nečistoty z bubnu. Jako první se vkládají do bubnu ocelové koule (10 koulí dle frakce) a poté zkušební navážka. Otvor bubnu se uzavře a otočí 500 krát při stejné rychlosti 32 otáček za minutu.

Po ukončení procesu otáčení bubnu se vysype kamenivo a koule do misky, která se umístí pod buben, aby nedošlo ke ztrátě materiálu. Nutné je vymést jemné součásti z míst bubnu jako jsou přepážky bubnu. Pak jsou vytaženy koule z misky tak, aby nedošlo ke ztrátě žádných jemných částí. Následně je proveden síťový rozbor materiálu. Praním a proséváním s použitím síta 1,6 mm je získán zůstatek na síti 1,6 mm, který se vysuší při teplotě  $(110 \pm 5)^\circ \text{C}$  do ustálené hmotnosti [7].

### **Výpočet a vyjádření výsledků:**

Součinitel Los Angeles LA se vypočte podle vztahu:

$$LA = \frac{5000 - m}{50}$$

kde  $m$  je hmotnost zůstatku na síti 1,6 mm v gramech [7].

### **Naměřené hodnoty a vyhodnocení:**

**Tabulka 3- 7: Výsledné hodnoty zkoušky LA**

Frakce [mm]	Hmotnost kameniva [g]	Zůstatek na síti 1,6 mm [g]	LA [%]
8-11	5000	3957	20,9

Dle požadavků na kamenivo do obrusných vrstev podle ČSN EN 13043:2004 je stanovena mezní hodnota odolnosti proti drcení pro směs SMA 11 S LA=25 %. Zjištěná hodnota odolnosti proti drcení LA=20,9 % (LA<sub>25</sub>) vyhovuje těmto požadavkům určené normou.



## 3.2 Zkoušky asfaltového pojiva

Zkoušení asfaltových pojiv dělíme na zkoušky konvenční a funkční. Do skupiny konvenčních zkoušek patří penetrace, bod měknutí, bod lámavosti, vratná duktilita, viskozita. Zkoušky funkční simulují stavy během výroby asfaltové směsi (oxidativní stárnutí, únavové vlastnosti, atd.). Výchozí asfaltové pojivo pro SMA 11 S bylo testováno pouze zkouškami konvenčními odpovídajících příslušným normám [8].

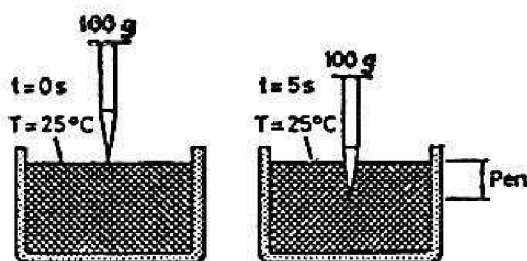
### Provedené zkoušky:

3.2.1 *Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení penetrace jehlou (ČSN EN 1426)*

3.2.2 *Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení bodu měknutí – Metoda kroužek a kulička (ČSN EN 1427)*

3.2.3 *Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení vratné duktility modifikovaných asfaltů (ČSN EN 13 398)*

### 3.2.1 Stanovení penetrace jehlou - ČSN EN 142-(Asfalty a asfaltová pojiva)



Obrázek 3- 10: Princip penetrace, [8]

Na základě této zkoušky vyplívá označení asfaltů. Zkouška určuje tvrdost asfaltu při teplotě 25°C, výsledkem zkoušky je hloubka průniku jehly do vzorku asfaltového pojiva, udává se v desetinách milimetru. Použité pojivo PMB 45/80-65 by mělo vykazovat penetraci v rozmezí 4,5-8 mm [8].

### Podstata metody:

Změří se průnik normalizované jehly do vytemperovaného analytického vzorku za zkušebních podmínek zkoušky a to teplota 25°C pro penetraci do 330 x 0,1 mm, zatížení 100 g a doba zatížení 5 s. Změřená hodnota je penetrace v 0,1 mm [9].

### **Přístroje a pomůcky:**

Penetrometr, penetrační jehla vyhovující EN 10088 – 3, nádoba na zkušební vzorek, vodní lázeň, přenášeč mísky, teploměry [9].

### **Postup:**

Nejprve je odlit vzorek příslušného asfaltového pojiva do připravené nádoby a volně přikryt, než se ochladí na teplotu mezi 15°C – 30°C. Vychladlý vzorek se nechá temperovat v lázni na teplotu, při které bude zkoušen. Zkouška bude probíhat v lázni s řízenou konstantní teplotou. Zkontroluje se držák jehly, jeho vodící zařízení a čistota jehly. Následně se umístí nádoba s asfaltovým pojivem do vodní lázně o teplotě 25°C tak, aby jehla směřovala do místa, kde bude probíhat penetrace jehly. Poté se nastaví jehla tak, že její špička hrotu se dotýká povrchu asfaltového pojiva. Nyní se provedou nejméně tři platná stanovení na místech povrchu vzorku, které jsou minimálně 10 mm vzdálené od strany nádoby a minimálně 10 mm od sebe. Po každém měření je jehla očištěna vhodným rozpouštědlem [9].



**Obrázek 3- 11: Provádění penetrace pomocí penetrometru, [Vlastní zpracování]**

### **Výpočet a vyjádření výsledků:**

Hodnoty penetrace se vyjadřují jako aritmetický průměr hodnot v desetínách milimetru zaokrouhlený na nejbližší celé číslo [9].

**Tabulka 3- 8: Výsledné hodnoty penetrace**

Silniční asfalt PmB 45/80-65			
Číslo vpichu	Hlubka vpichu [mm]	Průměr [mm]	Penetrace x0.1 [mm]
1	5,6	5,8	58
2	5,8		
3	5,8		
4	5,8		
5	5,8		

Jednotlivé hodnoty stanovení splňují maximální rozdíl platných stanovení určené normou, která stanovuje pro penetraci od 50 do 149 rozdíl mezi nejnižším a nejvyšším stanovení právě 4. Výsledná hodnota penetrace 57,6 leží v první polovině intervalu 45-80, což znamená větší rezervu při míchání směsí na obalovnách, kde dochází ke stárnutí asfaltu [9].

### **3.2.2 Stanovení bodu měknutí – Metoda kroužek a kulička -ČSN EN 1427-(Asfalty a asfaltová pojiva)**

Hodnota získaná ze zkoušky kroužek kulička je horní hranicí oboru plasticity, udává se v °C. Za touto hranicí pak přechází asfalt do tekutého stavu.

#### **Podstata metody:**

Ve vodní lázni se zahřívají řízenou rychlostí dva kotoučky z asfaltového pojiva, odlité v mosazných kroužcích s osazením, na kterých je umístěna ocelová kulička ve středícím prstenci. Při dosažení bodu měknutí jsou asfaltové kotoučky na tolik tekuté, že kuličky obalené asfaltem propadnou skrze kroužek o vzdálenost  $25,0 \text{ mm} \pm 0,4 \text{ mm}$ . Tyto propady jsou zaznamenány laserovým snímačem, který uloží dané teploty jednotlivých propadů a výsledky zprůměruje [10].

#### **Zkušební pomůcky a zařízení:**

Zkušební zařízení, kroužky, odlévací destička, kuličky, středící prstence pro kuličky, držák kroužků a sestava, lázeň, teploměry, míchadlo [10].



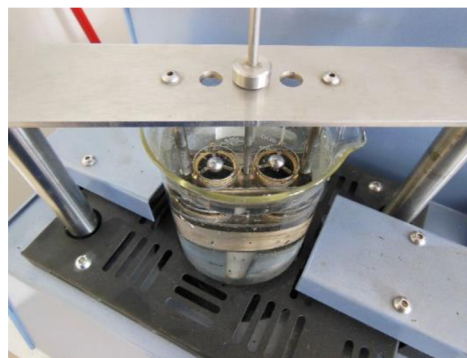
**Obrázek 3- 12: Automatický přístroj Matest pro zkoušku kroužek- kulička, [Vlastní zpracování]**

### **Postup:**

Nejprve jsou odlity vzorky požadovaného asfaltového pojiva dle EN 12 594, které se nechají zchladnout na nejméně 30 min. Dále se připraví čerstvě převařená destilovaná neionizovaná voda do zkoušené kádinky. Konstrukci s vloženými kroužky a míchadlem se umístí do kádinky, která se celá zchladí na teplotu  $5^{\circ}\text{C} \pm 1$ . Zchlazeny jsou i kuličky. Po zchlazení vody je kádinka vložena a upevněna do automatického přístroje s paprskem světla. Přes konstrukci je vložen teploměr, který zaznamenává aktuální teplotu. Po zapnutí přístroje je voda v kádince ohřívána za stálého míchání. Po dosažení teploty  $5^{\circ}\text{C}$  se vloží zchlazené kuličky do středících prstenců na kroužky asfaltového pojiva a zahřívání pokračuje rychlostí  $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$  až do teploty, kdy ocelové kuličky obalené asfaltovým pojivem propadnou skrze kroužky na vzdálenost, kdy je zaznamenají světelné snímače přístroje. Přístroj stanoví teploty obou vzorků, při níž došlo k přerušení paprsku a hodnoty zprůměruje [10].



**Obrázek 3- 14: Kroužky s odlitým asfaltovým pojivem PmB 45/80-65, [Vlastní zpracování]**



**Obrázek 3- 13: Soustava (kádinka, konstrukce, kroužky, kuličky a středící prstence) umístěná v přístroji Matest, [Vlastní zpracování]**

### Výpočet a vyjádření výsledků:

Pro bod měknutí nižší nebo rovný 80°C se bod měknutí vyjádří jako průměr teplot zaznamenaných a zaokrouhlených na nejbližší 0,2°C [10].

### Naměřené hodnoty a vyhodnocení

**Tabulka 3- 9: Výsledné hodnoty stanovení bodu měknutí (metoda K-K)**

Číslo měření	Poloha kuličky	Naměřená teplota [°C]	Průměrná teplota [°C]	Výsledná $\sigma t$ [°C]
1	levá	63	Neplatné	72,6
	pravá	67,8		
2	levá	72,5	72,2	
	pravá	71,9		
3	levá	72,7	73,0	
	pravá	73,5		



**Obrázek 3- 15: Propad kuliček obalených asfaltem skrze kroužky na úroveň paprskových snímačů při 2. měření, [Vlastní zpracování]**



Teploty prvního měření byli velmi rozdílné z důvodu technické chyby, kdy na kroužku zůstal zbytek asfaltu, který zahřátím lázně skápl a ukončil měření ještě před samotným propadem kuličky. Následující dvě zkoušky proběhly korektně a byla tak zjištěna výsledná teplota bodu měknutí  $t=72,6^{\circ}\text{C}$ .

### 3.2.3 Stanovení vratné duktility modifikovaných asfaltů-ČSN EN 13 398-(Asfalty a asfaltová pojiva)

Tato norma určuje vratnou duktilitu modifikovaných asfaltů. Výsledky zkoušky vypovídají o pružnosti vzorku, čili schopnosti navrátit se do původního stavu po odtížení.

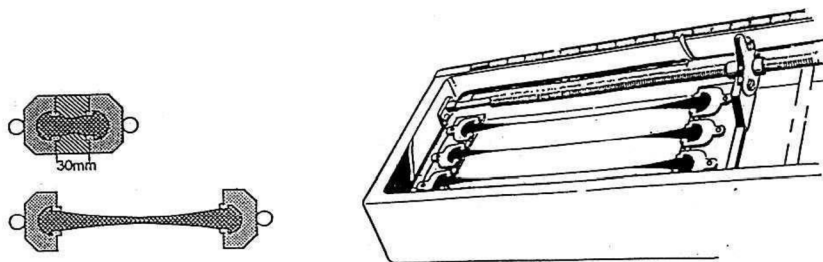
#### Podstata metody:

Připravený vzorek asfaltového tělíska, temperovaný na teplotu  $25^{\circ}\text{C}$ , je následně protahován rychlostí 50 mm/min na cílovou hodnotu 200 mm. Bezprostředně po dosažení hranice 200 mm se protažené asfaltové vlákno přestřihne, čímž vzniknou dvě poloviny vláknů. Po uplynutí stanovené doby (30 min), kdy se vlákna stáhnou zpět, se změří zkrácení polo vláknů. Naměřené zkrácení se vyjádří jako procento z délky protažení [11].

#### Přístroje a pomůcky:

Formovací souprava (Formy vyrobené z kovu skládající se ze dvou polovin), Duktilometr (skládající se z vodní lázně s regulací teploty a protahovacího zařízení), nůž, separační prostředek, nůžky, pravítko s dělením stupnice po 1 mm [11].

#### Postup:



Obrázek 3- 16: Princip vratné duktility, [8]

Nejprve se nechá nahřát modifikovaný asfalt PmB 40/80-65 na požadovanou teplotu dle EN 12594. Připraví se podkladní destičky, které se promažou separačním prostředkem, a formy se na nich smontují a upevní vestavěným šroubem, čímž je zajištěna stanovená vzdálenost mezi bočními stěnami. Dále se naplní předehřáté formy nahřátým asfaltovým vzorkem až po vrch s přečnivajícím meniskem. Takto naplněné formy se nechají 1 hodinu odstat při laboratorní teplotě a poté se nahřátým nožem odřízne

přečnívajíc část vzorku. Formy jsou následně umístěny do vodní lázně, v níž se temperují při zkušební teplotě po dobu  $90 \text{ min} \pm 10 \text{ min}$  před zahájením zkoušky. Je požadován časový odstup  $150 \pm 10 \text{ min}$  od lnění forem do začátku protahování [11].

Po uplynutí požadovaných 90 minutách temperovaných naplněných forem se odstraní podkladní destičky a boční části forem a asfaltové tělísko se vloží na vodící desky. Vzorky se poté protahují při zkušební teplotě  $\pm 0,5^\circ\text{C}$  a rychlostí  $50 \text{ mm/min} \pm 2,5 \text{ mm}$  na prodloužení  $200 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ . Protáhlé vlákno se uprostřed přestříhne a vzniknou tak dvě polo vlákna. Po 30 minutách od přestříhnutí, kdy se polo vlákna vrátila do původního stavu, se změří vzdálenost mezi konci polo vláken [11].



**Obrázek 3- 17:** Naplněná forma asfaltovým pojivem, [Vlastní zpracování]

### Výpočet a vyjádření výsledků:

Vratná duktilita ( $R_E$ ) je v absolutních procentech zaokrouhlená na 1 % se vypočítá dle vztahu:

$$R_E = \frac{d}{L} \times 100$$

kde

d je vzdálenost mezi polovláknky v mm,

L délka protažení, 200 mm [11].

### Naměřené hodnoty a výsledky

**Tabulka 3- 10:** Výsledné hodnoty vratné duktility

	d [mm]	$\bar{d}$	L [mm]	$R_E$ [%]
d <sub>1</sub>	191	190	200	95
d <sub>2</sub>	189			

Hodnota vratné duktility  $R_E = 95 \%$  vypovídá o dobré resilienci asfaltového pojiva (schopnosti vrátit se do původního stavu).

## 4 ASFALTOVÝ KOBEREK MASTIXOVÝ (SMA 11 S)



Obrázek 4- 18: Asfaltový koberec mastixový, [Vlastní zpracování]

Asfaltový koberec mastixový (SMA) byl navržen pro obrusné vrstvy vysoce zatížených silničních a dálničních úseků a křižovatek. SMA se vyznačuje přerušenu čarou zrnitosti, kde nosná kostra směsi je tvořena nejhrubší a druhou nejhrubší frakcí kameniva. Zbývající frakce kameniva plní funkci výplňovou a společně s asfaltovým pojivem a vápencovou moučkou (filerem) vytváří asfaltovou maltu (mastix). Tato malta vzájemně spojuje zrna nosné kostry. SMA vznikl v Německu na základě požadavku pro vozovky, kde byly používány pneumatiky s hřebíky. Vysoké nároky pro tuto směs jsou požadovány na použití vysoce kvalitního kameniva, u kterého je kladen důraz na nízkou otlukovost. Důvodem tohoto požadavku je zajištění správné funkce směsi, která je závislá na vzájemném dotyku velkých zrn [1].

## 5 POPIS NÁVRHU, VÝROBY TĚLES A JEJICH ZKOUŠENÍ

Návrh asfaltové směsi vychází především z doporučujících návrhů projednávaných na konferenci asfaltových vozovek, které upravují složení asfaltové směsi a její fyzikálně mechanické vlastnosti. Tyto změny doporučené panem

doc. Ing. Václavem Hanzíkem, CSc. spočívají v úpravě čáry zrnitosti a mírného zvýšení obsahu asfaltu za účelem snížení mezerovitosti.

## 5.1 Návrh směsi

### 5.1.1 Obory zrnitosti kameniva

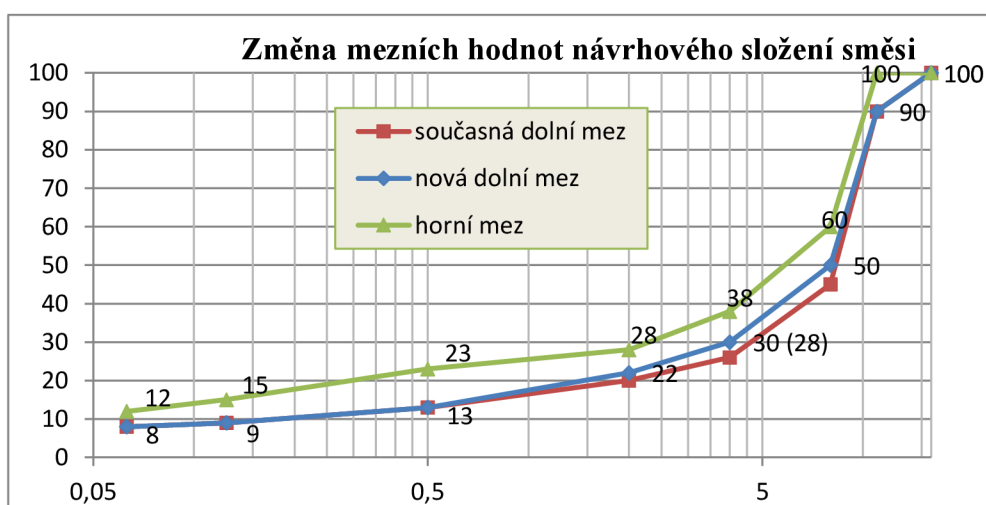
Pro SMA 11 S jsou upraveny nové obory zrnitosti dle pana doc. Ing. Hanzíka, CSc. Změny zpřísňují dolní hranici na sítích 8,4 a 2. Pro srovnání jsou uvedeny stávající mezní hodnoty normy ČSN EN 13108 – 5 a nové navržené mezní hodnoty.

**Tabulka 4- 11: Stávající mezní hodnoty návrhového složení SMA 11 S**

SMA 11								
	Velikost ok síta [mm]							
Meze	16	11	8	4	2	0.5	0.125	0.063
Horní	100	100	60	38	28	23	15	12
Dolní	100	90	45	26	20	13	9	8

**Tabulka 4- 12: Zpřísněné mezní hodnoty návrhového složení SMA 11 S**

SMA 11								
	Velikost ok síta [mm]							
Meze	16	11	8	4	2	0.5	0.125	0.063
Horní	100	100	60	38	28	23	15	12
Dolní	100	90	50	30	22	13	9	8



**Graf 4- 5: Změna mezních hodnot návrhového složení směsi**

### **5.1.2 Navržení čáry zrnitosti SMA 11 S**

Cílem návrhu křivky zrnitosti je dosáhnout optimálního stavu, kdy navržená křivka leží v stanovených mezích horního a dolního oboru zrnitosti kameniva.

### **5.1.3 Návrh množství pojiva**

Na základě doporučení pana doc. Ing. Václava Hanzíka, CSc. bylo zvýšeno množství rozpustného pojiva z původní hodnoty 6,2 % stanovené normou ČSN EN 13108 – 5 na 6,4 % . Důvodem zvýšení pojiva je snaha o větší uzavření směsi, což by mělo vést ke zvýšení odolnosti proti vnikání a působení vody. Současně by mělo toto opatření vést ke zvýšení odolnosti proti vzniku trhlin.

## **5.2 Laboratorní výroba směsi – ČSN EN 12697 -35+A1 (Asfaltové směsi- Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 35)**

### **Podstata zkoušky:**

Připravené asfaltové směsi se zhotoví při předepsané teplotě po dobu, která je redukována s cílem snížení mechanické degradace kameniva [12].

### **Přístroje a pomůcky:**

Laboratorní míchačka s ohřevem, odvětrávaná sušárna pro ohřev kameniva a asfaltu na referenční teplotu, laboratorní váhy s dostatečnou váživostí s přesností vážení nejméně  $\pm 0,1$  g, laboratorní teploměr s přesností dle EN 12697 -38 [12].

### **Postup:**

Nejdříve se vysuší kamenivo a filer při teplotě  $110 \pm 5$  °C. Po vychladnutí se naváží množství kameniva jednotlivých frakcí dle navržené křivky zrnitosti. Připravená směs se společně s asfaltovým pojivem, uzavřeným v kovové nádobě, umístí do sušárny. Směs kameniva i asfaltové pojivo se nahřeje na teplotou určenou pro míchání, tedy 165 °C. Teplota je dána druhem použitého pojiva, v případě PmB 45/80-5 je teplota 165 °C. Při dosažení teploty míchání se směs kameniva nasype do předehřáté nádoby, kde jsou přidány vlákna odpovídající návrhu a obě složky jsou důkladně promíchány. Poté se naváží navržené množství pojiva a celá směs se promíchá v laboratorní míchačce. Míchání směsi trvá do té doby, dokud nejsou všechny zrna kameniva obaleny asfaltovým pojivem. Promíchaná směs je na závěr vysypána na podložku, kde se ručně ještě jednou



promíchá. Směs se uloží opět do sušárny, kde je nahřata na teplotu hutnění. Teplota hutnění pro SMA 11 S je 155 °C. V případě výroby Marshallových těles je směs nadávkována podle předem stanoveného množství do ocelový nádob a vložena do sušárny s nastavenou teplotou hutnění 155 °C [12].



**Obrázek 5- 20: Laboratorní míchačka s ohřevem,**  
[Vlastní zpracování]



**Obrázek 5- 19: Nadávkovaná směs**  
v kovové nádobě, [Vlastní zpracování]

### **5.3 Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem- ČSN EN 12697-30+A1 (Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 35)**

#### **Podstata zkoušky:**

K zjištění mezerovitosti směsi je potřeba spočítat objemovou hmotnost zhutněné směsi. K tomu slouží válcové zkušební (Marshallovo) těleso, jehož forma má průměr válce (101,6±0,1) mm a výšku válce (63,5±2,5) mm. Marshallova tělesa jsou dále využita k optimálnímu návrhu mastixové směsi [13].

### **Přístroje a pomůcky:**

Odvětrávaná sušárna pro ohřev namíchané směsi na referenční teplotu, laboratorní váhy s dostatečnou váživostí s přesností vážení nejméně  $\pm 0,1$  g, laboratorní teploměr přiměřeného rozsahu měření teploty, formy pro výrobu Marshallových těles, rázový zhutňovač, vytlačovací hydraulické zařízení [13].

### **Postup:**

Nejprve se určí množství připravené směsi na jednu dávku Marshallova tělesa. Pro SMA 11 S je hmotnost jedné dávky 1220 g. Pro stanovené zkoušky budou zapotřebí 3 zkušební Marshallovy vzorky a také nezhutněná směs pro stanovení maximální objemové hmotnosti. Návrh SMA 11 S je určen dávkováním uvedeném v tabulce níže.

**Tabulka 5- 13: Dávkování SMA 11 S**

Složky směsi		%	m[g]
Kamenivo	Moučka	10,5	630
	0/4	16	960
	4/8	21	1260
	8/11	52,5	3150
Celkem		100	6000
Asfalt (PmB 45/80-65)		6,6	424
Vlákna (Technocel)		0,3	19,3

Směs se připraví podle postupu uvedeného v kapitole 5.2. Připravená dávka směsi SMA 11 S nahřátá na teplotu hutnění 155 °C (viz kap. 5.2) se vyjme ze sušárny a vysype do nachystané přehřáté formy za pomoci soustavy pro výrobu Marshallova tělesa, která je taktéž nahřátá. Na dno formy se umístí kolečko separačního papírku. Směs se poté sype po třetinách, kdy se po každé dílčí dávce materiál upěchuje špachtlí, aby nedošlo k segregaci materiálu. Po vsypání celé dávky se na vrch směsi umístí další kolečko separačního papírku. Zhutňování musí následovat s co nejmenší časovou prodlevou kvůli zachování hutnicí teploty směsi. Forma se umístí a upevní k hutnicímu podstavci a nasadí se hutnicí pěch. Následuje hutnění směsi 50 údery z výšky ( $460 \pm 0,1$ ) mm po dobu 55 až 60 s. Po dokončení první fáze hutnění následuje obrácení formy a celý proces je opakován znovu. Až se dokončí celý proces, forma se vyjme ze zhutňovacího zařízení, odstraní se

separační papírky, zkušební těleso se popíše a umístí na válcovou podložku za současného ochlazování ventilátorem. Po zchladnutí formy na teplotu okolo 40 °C se zkušební těleso vysune z formy výtlačným zařízením.



**Obrázek 5- 24: Plnění nahřáté formy směsí SMA 11 S, [Vlastní zpracování]**



**Obrázek 5- 23: Hutnění směsi rázovým zhutňovačem, [Vlastní zpracování]**



**Obrázek 5- 22: Chlazení zhutněných vzorků pod ventilátorem, [Vlastní zpracování]**



**Obrázek 5- 21: Vytlačení zhutněného tělesa z formy, [Vlastní zpracování]**



**Obrázek 5- 25: Hotové Marshallovo těleso- pohled z vrchu, [Vlastní zpracování]**



**Obrázek 5- 26: Hotové Marshallovo těleso- pohled z boku, [Vlastní zpracování]**

## 5.4 Zkoušky zkušebních těles

Pro získání vhodné směsi požadovaných vlastností je nutno podrobit zkušební těleso uvedený zkouškám.

### **Zkoušky potřebné k vyhodnocení hotové směsi:**

- 5.4.1 *Stanovení maximální objemové hmotnosti - ČSN EN 12697-5+A1 (Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 5)*
- 5.4.2 *Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa - ČSN EN 12697-6+A1 (Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 6)*
- 5.4.3 *Stanovení mezerovitosti asfaltových směsi - ČSN EN 12697-8 (Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 8)*
- 5.4.4 *Stékavost pojiva – ČSN EN 12697 -18 (Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 18)*

### **5.4.1 Stanovení maximální objemové hmotnosti - ČSN EN 12697-5+A1 (Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 5)**

Maximální objemová hmotnost znamená hmotnost při dané zkušební teplotě připadající na jednotku objemu asfaltové směsi bez mezer [14].

#### **Podstata zkoušky:**

K určení mezerovitosti zhutněného vzorku je nutný výpočet maximální objemové hmotnosti a objemové hmotnosti zkušebního tělesa. Pro výpočet lze použít třech metod a



to volumetrickou, hydrostatickou a matematickou. V našem případě je použit volumetrický postup, kde objem směsi se stanoví jako objem vody nebo rozpouštědla vytěsněného směsí v pyknometru [14].

### Postup:

Nejprve je zvážena hmotnost ( $m_1$ ) prázdného pyknometru s nástavcem o známém objemu ( $V_p$ ). Po vyjmutí namíchané směsi o teplotě  $165\text{ }^\circ\text{C}$  ze sušárny (viz kapitola 5.2) je nutné vložit směs do ventilačního zařízení, kde je směs míchána a rozměňována tak, aby nevznikaly hrudky. Vychladlá zkušební směs se za pomoci kvartace přesype do pyknometru a nechá se temperovat na okolní teplotu. Následně se zváží jeho hmotnost s nástavcem a zapíše se jako hmotnost  $m_2$ . Poté se pyknometr naplní odvzdušněnou destilovanou vodou nebo rozpouštědlem maximálně do výšky 30 mm pod okraj. Zbylý vzduch bude odstraněn použitím vakuovacího přístroje, který způsobí zbytkový tlak 4 kPa nebo méně, po dobu  $(15 \pm 1)$  minuta. Nástavec pyknometru nebo zátka se nasadí po opatrném naplnění pyknometru odvzdušněnou vodou až téměř po referenční značce nástavce nebo zátky tak, aby nedošlo k vniknutí vzduchu. V případě použití vody se pyknometr vloží do vodní lázně s rovnoměrnou zkušební teplotou ( $\pm 1,0\text{ }^\circ\text{C}$ ) na dobu min. 30 minut a max. 180 minut, aby teplota vzorku a vody v pyknometru byla shodná s teplotou vodní lázně [14].

Pyknometr se doplní vodou nebo rozpouštědlem po značce na nástavci. Voda nebo rozpouštědlo, kterým bude doplněna hladina pyknometru musí mít shodnou zkušební teplotu jako teplota vodní lázně. Následně je pyknometr vyjmut z vodní lázně, osušen z vnější strany a okamžitě zvážen a zapsán jako hmotnost  $m_3$  [14].



**Obrázek 5- 28: Vážení samotného pyknometru, [Vlastní zpracování]**



**Obrázek 5- 27: Plnění pyknometru vychladlou směsí, [Vlastní zpracování]**



**Obrázek 5- 31: Vytěsnění vzduchu z pyknometru v nádobě s vývěvou,**  
[Vlastní zpracování]



**Obrázek 5- 30: Teplota pyknometru se směsí,**  
[Vlastní zpracování]



**Obrázek 5- 29: Vážení pyknometru se směsí a doplněnou vodou po rysku,**  
[Vlastní zpracování]

### **Výpočet a vyjádření výsledků:**

(Volumetrický postup)

Veškeré hmotnosti se stanoví v g s přesností 0,1 g. Maximální objemová hmotnost  $\rho_{mv}$  asfaltové směsi stanovená volumetrickým postupem se vypočítá s přesností  $1\text{kg/m}^3$  podle rovnice:



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

- kde:  $\rho_{mv}$  je maximální objemová hmotnost asfaltové směsi v kg/m<sup>3</sup> stanovené volumetrickým postupem s přesností 0,1 kg/m<sup>3</sup>,
- $m_1$  hmotnost pyknometru, nástavce a pružiny,
- $m_2$  hmotnost pyknometru, nástavce, pružiny a zkušební vzorku,
- $m_3$  hmotnost pyknometru, nástavce, pružiny, zkušební vzorku a vody nebo rozpouštědla,
- $V_p$  objem pyknometru při naplnění po referenční značce nástavce,
- $\rho_w$  hustota vody nebo rozpouštědla při zkušební teplotě v kg/m<sup>3</sup> přesností 0,1 kg/m<sup>3</sup> [14].

#### 5.4.2 Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušební tělesa - ČSN EN 12697-6+A1 (Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 6)

Objemová hmotnost je hmotnost při dané zkušební teplotě, připadající na jednotku objemu zkušební tělesa včetně mezer [15].

##### Podstata zkoušky:

Objemová hmotnost zhutněného asfaltového zkušební tělesa se určí z hmotnosti zkušební tělesa a jeho objemu. Hmotnost zkušební tělesa se získá vážením suchého vzorku na vzduchu. Při postupu SSD (nasyčený suchý povrch) se zkušební těleso nejdříve nasytí vodou a poté se jeho povrch osuší vlhkou jelenicí [15].

##### Postup:

Veškeré hmotnosti budou uváděny v gramech s přesností na 0,1 g. Všechny měření budou stanoveny v milimetrech s přesností na 0,1 mm. Pro stanovení objemové hmotnosti je použito postupu SSD neboli nasyceného suchého povrchu.

Nejprve se zváží suché zkušební těleso a zapíše se jako  $m_1$ . Změří se teplota vodní lázně a z tabulky 1 (viz ČSN EN 12697-6+A1) odvodíme hustotu vody. Poté je zvážen ponořený závěs napojený na váhu (váživost s přesností  $\pm 0,1$ g) ve vodní lázni a hodnota váhy se přenastaví na nulu. Zkušební těleso se umístí do závěsu ponořeném ve vodní lázni a nechá se saturovat po dobu, kdy jsou všechny mezery vyplněny vodou. Stav nasycení odpovídá ustálené hmotnosti tělesa, přibližně po 30 minutách. Při ustáleném stavu tělesa

se hmotnost zváží a zapíše jako  $m_2$ . Zvážené těleso se vyjme z vodní lázně a povrchově osuší (odstraněním kapek vody z povrchu) otřením vlhkou jelenicí. Osušené těleso je ihned zváženo a zapsáno jako  $m_3$  [15].

#### **Výpočet a vyjádření výsledků:**

Objemová hmotnost SSD zkušebního tělesa ( $\rho_{bssd}$ ) se vypočítá s přesností na  $1\text{kg/m}^3$  následovně:

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

kde  $\rho_{bssd}$  je objemová hmotnost SSD, v  $\text{kg/m}^3$ ;  
 $m_1$  hmotnost suchého tělesa, v g;  
 $m_2$  hmotnost tělesa ve vodě, v g;  
 $m_3$  hmotnost tělesa nasyceného vodou povrchově osušeného, v g;  
 $\rho_w$  hustota vody při zkušební teplotě stanovené s přesností na  $0,1\text{kg/m}^3$  [15].

#### **5.4.3 Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí - ČSN EN 12697-8(Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 8)**

Mezerovitost ( $V_m$ ) je objem mezer ve zkušebním tělese asfaltové směsi vyjádřený v % celkového objemu zkušebního tělesa [16].

#### **Podstata zkoušky:**

Mezerovitost se vypočítá jako poměr objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa ( $\rho_{bssd}$ ) ku maximální objemové hmotnosti zkušebního tělesa ( $\rho_{mv}$ ). Objemové hmotnosti ( $\rho_{bssd}$  a  $\rho_{mv}$ ) se stanoví dle zkoušek uvedené v kap. 5.4.1 a 5.4.2.

#### **Výpočet a vyjádření výsledků:**

*Stanovení mezerovitosti  $V_m$*

$$V_m = \left(1 - \frac{\rho_{bssd}}{\rho_{mv}}\right) \times 100[\%]$$

kde  $\rho_{bssd}$  je objemová hmotnost SSD, v  $\text{kg/m}^3$ ;  
 $\rho_{mv}$  maximální objemová hmotnost asfaltové směsi v  $\text{kg/m}^3$  stanovené volumetrickým postupem s přesností  $0,1\text{kg/m}^3$  [16].

*Stanovení stupně vyplnění mezer ve směsi kameniva pojivem v % (VFB)*

Stupeň vyplnění mezer ve směsi kameniva v % se vypočítá s přesností 0,1 % (v/v) následujícím způsobem:

$$VFB = ((B \times \rho_b / \rho_B) / VMA) \times 100\% \text{ (v/v)}$$

kde VFB je stupeň vyplnění mezer ve směsi kameniva pojivem s přesností 0,1 % (v/v),

B obsah pojiva ve zkušebním tělese (v 100% směsi) v % s přesností 0,1 % (m/m),

$\rho_b$  objemová hmotnost zkušebního tělesa v  $\text{kg/m}^3$ ,

$\rho_B$  objemová hmotnost pojiva v  $\text{kg/m}^3$ ,

VMA mezerovitost směsi kameniva s přesností 0,1% (v/v),

$$VMA = V_m + B \times \rho_b / \rho_B \text{ \% (v/v) [16].}$$

kde VMA je mezerovitost směsi kameniva v % s přesností 0,1 % (v/v),

$V_m$  mezerovitost zkušebního tělesa s přesností 0,1 %,

B obsah pojiva ve zkušebním tělese (v 100% směsi) v % s přesností 0,1 % (m/m),

$\rho_b$  objemová hmotnost zkušebního tělesa v  $\text{kg/m}^3$ ,

$\rho_B$  objemová hmotnost pojiva v  $\text{kg/m}^3$  [16].

#### **5.4.4 Stékavost pojiva – ČSN EN12697 -18 (Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 18)**

##### **Podstata zkoušky:**

Tato norma navrhuje dvě metody a to metodu děrovaného koše a Schellenbergovu metodu. Jasně také určuje metodu Schellenbergovu pro drenážní asfaltové koberce, které obsahují vlákna. Proto ke zjištění stékavosti pojiva bude postupováno dle Schellenbergovi metody. Stékavost pojiva je vyjádřena jako množství asfaltu, který z obalené směsi kameniva steče na dno kádinky po jedné hodině v peci při maximální teplotě míchání předpokládané na obalovně [17].

### **Zkušební zařízení a pomůcky:**

Sušárna s uzavřenou ventilací, 3 skleněné kádinky s objemem 1000ml, váhy s přesností na 0,1 g, kovové nádoby pro nahřátí směsi kameniva, teploměr s přesností na 1 °C, stopky, síto 1 mm podle ISO 3310-1, trichlor [17].

### **Postup zkoušky:**

Naváží se 3 dávky kameniva o hmotnosti 1kg, kde hmotnostní poměry jednotlivých frakcí odpovídají navržené čáře zrnitosti. Jednotlivé dávky kameniva se uloží do kovových nádob a umístí se do sušárny vyhřáté na teplotu míchání 165 °C, uvedené v ČSN EN 12697-35. Očíslované kádinky se vloží na nejméně 15 minut do sušárny vyhřáté na zkušební teplotu. Po uplynutí doby mohou být zváženy s přesností 0,1g a zapsány jako hmotnost  $w_1$ . Jakmile asfalt a navážené dávky kameniva dosáhnou požadované teploty pro míchání, může začít proces míchání dle EN 12697-35. Dávka kameniva se vysype do vyhřáté nádoby, přidají se vlákna a směs se promíchá. Následně je přidáno asfaltové pojivo dle požadovaného dávkování. Celá směs se míchá za ohřevu nádoby do doby, dokud nejsou obaleny všechny zrna kameniva asfaltem. Poté je směs vysypána do kádinky, zvážena a zapsána jako hmotnost  $w_2$ . Zvážená kádinka se co nejrychleji umístí do sušárny s teplotou 180 °C, neboť kádinka nesmí zůstat mimo stanovenou teplotu déle než 60 s. Zaznamená se číslo a čas, kdy byla kádinka umístěna do sušárny. Postup se zopakuje u zbylých kádinek.

Po uplynutí ( $60 \pm 1$ ) min se vyjme první kádinka, u které je změřena a zaznamenána teplota směsi. První dávka slouží pouze k zjištění teploty, proto se směs dále nepracuje. Druhá kádinka, která byla v sušárně ( $60 \pm 1$ ) min, se vyjme a plynule se otočí dnem vzhůru. V pozici obráceného dna, rovnoběžného se zemí, se kádinka drží ( $10 \pm 1$ ) s. Po ochlazení kádinky se zbývajícím obsahem je hmotnost zvážena a zapsána jako  $w_3$ .

V případě, že zbylý obsah směsi v kádince je větší než 0,5 % původní hmotnosti směsi a evidentně se nejedná o pojivo, ale maltu či částice kameniva, je kádinka se zbylou směsí promyta v rozpouštědle na síti 1 mm. Vysušený materiál na síti 1mm se zváží s přesností 0,1g a zapíše se jako hmotnost  $w_4$ . Výsledky se dosadí do vztahu pro výpočet stečeného materiálu D a zaokrouhlí se na 0,1 % [17].



**Obrázek 5- 35: Vážení prázdné kádinky, [Vlastní zpracování]**



**Obrázek 5- 34: Navážené vzorky kameniva se suší na teplotu míchání 165°C, [Vlastní zpracování]**



**Obrázek 5- 32: Míchání směsi, [Vlastní zpracování]**



**Obrázek 5- 33: Zvážení horké směsi po míchání, [Vlastní zpracování]**

**Výpočet a vyjádření výsledků**

$$D = 100x \frac{(w_3 - w_1 - w_4)}{(w_2 - w_1)}$$

a

$$R = 100x \frac{(w_4)}{(w_2 - w_1)}$$

- Kde  $w_1$  je hmotnost prázdné kádinky,  
 $w_2$  hmotnost kádinky se směsí,  
 $w_3$  hmotnost kádinky a zachyceného materiálu po jejím obrácení,  
 $w_4$  hmotnost vysušeného zbytku zachyceného na síť 1mm,  
R zbytek na síti (v případě, kdy je zbytek na směsi větší než 0,5 % původní hmotnosti směsi),  
D stečený materiál [17].

### Naměřené hodnoty a vyhodnocení:

#### Zkouška stékavost pojiva č. 1

Dávkování SMA 11 S vychází z návrhu č. 3 (viz kapitola 6.3) se vstupní hmotností směsi kameniva 1kg.

**Tabulka 5- 14: Dávkování SMA 11 S zkoušky 1**

Složky směsi		%	m[g]
Kamenivo	Moučka	10,5	105
	0/4	16	160
	4/8	21	210
	8/11	52,5	525
Asfalt (PmB 45/80-65)		6,6	71
Vlákna (Technocel)		0,3	3,21

Referenční teplota směsi  $t=179^{\circ}\text{C}$

**Tabulka 5- 15: Výsledné hodnoty stékavosti zkoušky 1**

Číslo kádinky	$w_1$ [g]	$w_2$ [g]	$w_3$ [g]	$w_4$ [g]	D [%]	$\Delta D$ ( $D_2-D_{VI}$ )	R [%]	průměr
2	265,3	1306,4	280,3	4,2	1,44	0,99	0,4	0,23
VI	261,8	1290,6	266,4	0,6	0,45		0,06	

*Zbytek na síti:*

$\Delta D=0,99\% >0,5\% \rightarrow$  nevyhovuje podmínkám normy, proto je nutné zkoušku provést znovu



### Zkouška stékavosti pojiva č. 2

Dávkování SMA 11 S i hmotnost směsi kameniva je stejná jako u zkoušky 1 s výjimkou přidání vláken o 0,2 % (tedy celkem 0,5 %).

**Tabulka 5- 16: Dávkování SMA 11 S zkoušky 2**

Složky směsi		%	m[g]
Kamenivo	Moučka	10,5	105
	0/4	16	160
	4/8	21	210
	8/11	52,5	525
Asfalt (PmB 45/80-65)		6,6	71
Vlákna (Technocel)		0,5	5,4

Referenční teplota směsi  $t=179\text{ }^{\circ}\text{C}$

**Tabulka 5- 17: Výsledné hodnoty stékavosti zkoušky 2**

Číslo kádinky	w <sub>1</sub> [g]	w <sub>2</sub> [g]	w <sub>3</sub> [g]	w <sub>4</sub> [g]	D [%]	$\bar{D}$ [%]
2	265,2	1298,2	268,1	0	0,28	0,3
VI	261,8	1304,4	264,5	0	0,26	

Zbytek na síť:

$$\frac{(268,1-265,2)}{1298,1} \times 100 = 0,22\% < 0,5\% \rightarrow \text{není nutné promývat rozpouštědlem (w}_4=0\text{)}$$

$$\Delta D = 0,28 - 0,26 = 0,02\% > 0,5\% \rightarrow \text{vyhovuje podmínkám normy}$$

Výsledky vypovídají, že obsažené množství vláken zásadně ovlivňují vlastnost stékavosti pojiva. Výsledné průměrné hodnoty stečeného materiálu  $D=0,3\%$  bylo dosaženo navrženou recepturou směsi se zvýšeným obsahem vláken z původní hodnoty  $0,3\%$  na  $0,5\%$  hmotnosti směsi.

## Vizuální porovnání výsledků zkoušky 1 a 2

*Zkouška stékavosti č. 1 (obsah vláken 0,3 %)*



**Obrázek 5- 37: Stékavost pojiva zkoušky 1- (pohled z vrchu), [Vlastní zpracování]**



**Obrázek 5- 36: Stékavost pojiva zkoušky 1- (pohled z boku), [Vlastní zpracování]**

Z obrázku zkoušky stékavosti č. 1 je patrné nalepení většího množství asfaltu i s kamenivem na dně kádinky.

*Zkouška stékavosti č. 2 (zvýšený obsah vláken na 0,5%)*



**Obrázek 5- 39: Stékavost pojiva zkoušky 2- (pohled z vrchu), [Vlastní zpracování]**



**Obrázek 5- 38: Stékavost pojiva zkoušky 2- (pohled z boku), [Vlastní zpracování]**

Na obrázku zkoušky stékavosti č. 2 je patrné výrazného úbytku pevných částic oproti předešlému obrázku.

## 6 REALIZACE NAVRŽENÝCH SMĚSÍ A JEJICH VYHODNOCENÍ

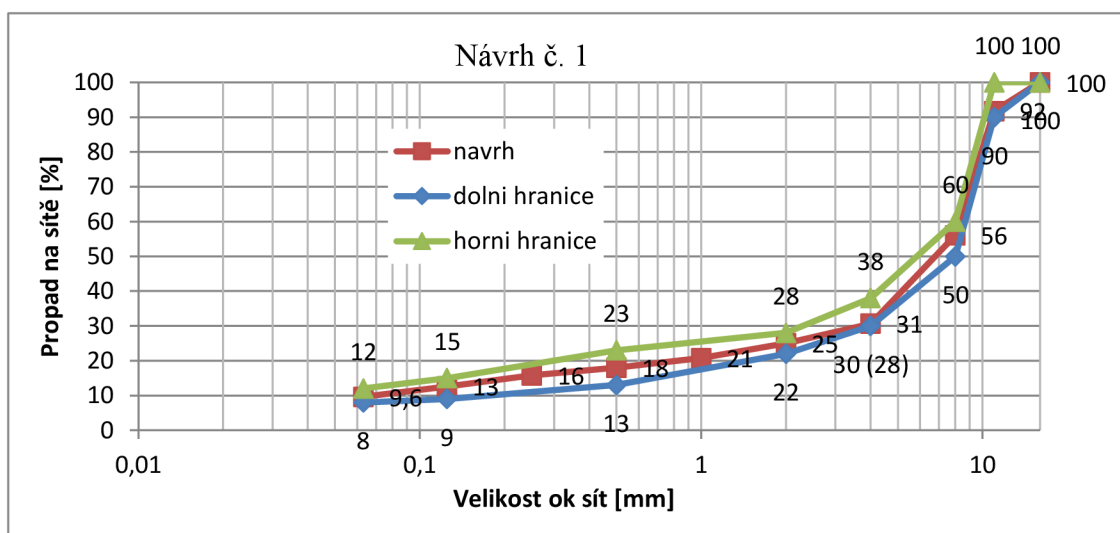
Tato kapitola se zabývá návrhem SMA 11 S s cílem dosáhnout požadované mezerovitosti 2,5 % - 3,5 %. Navržené směsi jsou podle postupů uvedených v předešlých kapitolách namíchány, zkušeny a vyhodnoceny.

### 6.1 Návrh č. 1

#### 6.1.1 Navržená čára zrnitosti SMA 11 S

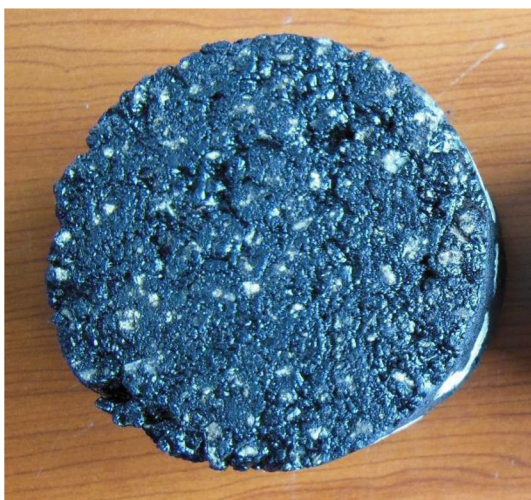
Tabulka 6- 18: Čára zrnitosti SMA 11 S, návrh č. 1

SMA 11 S											
Frakce	Velikost ok síta [mm]										Návrh dávkování [%]
	16	11	8	4	2	1	0.5	0.25	0.125	0.063	
8-11	100	84	17	2	2	2	2	2	1	1	51
4-8	100	100	94	9	2	1	1	1	1	1	20
0-4	100	100	100	96	71	47	31	18	7	3	17
filer	100	100	100	100	100	100	100	100	93	73	12
Celkem	<b>100</b>	<b>92</b>	<b>56</b>	<b>31</b>	<b>25</b>	<b>21</b>	<b>18</b>	<b>16</b>	<b>13</b>	<b>10</b>	100



Graf 6- 6: Čára zrnitosti SMA 11 S, návrh č. 1

### 6.1.2 Marshallovo těleso návrh č.1



**Obrázek 6- 40:** Marshallovo těleso návrhu č.1,  
[Vlastní zpracování]

### 6.1.3 Objemová hmotnost Marshallových těles

**Tabulka 6- 19:** Objemová hmotnost Marshallových těles návrhu č. 1

Směs SMA 11 (obsah asfaltového pojiva 6,6 %)						
Číslo vzorku	m <sub>1</sub> [g]	m <sub>2</sub> [g]	m <sub>3</sub> [g]	ρ <sub>w</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	ρ <sub>bssd</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	∅ρ <sub>bssd</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]
1	1202,3	692,3	1203,8	997.1	2346,5	2345,8
2	1206,2	694,7	1207,9		2346,4	
3	1207,2	694,4	1208,4		2344,6	

### 6.1.4 Maximální objemová hmotnost – zjišťována ve vodě

**Tabulka 6- 20:** Maximální objemová hmotnost návrhu č. 1 stanovená ve vodě

Směs SMA 11 S							
Pyknometr	ρ <sub>w</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	m <sub>1</sub> [g]	m <sub>2</sub> [g]	m <sub>3</sub> [g]	V [m <sup>3</sup> ]	ρ <sub>mw</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	∅ ρ <sub>mw</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]
IV	997,1	690,8	1818,8	2668,0	1323,4	2391,4	2399,7
V		693,2	1762,0	2638,9	1323,3	2408,0	

### 6.1.5 Mezerovitost směsi, směsi kameniva a stupeň vyplnění mezer

Tabulka 6- 21: Mezerovitost směsi, směsi kameniva a stupeň vyplnění mezer návrhu č. 1

Návrh č.	$\rho_{bssd}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\rho_{mv}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$V_m$ [%]	VMA	VFB
1	2345,8	2399,7	2,2	17,425	87,108

$V_m = 2,2 \notin (2,5; 3,5)$  [%] → nevyhovuje stanoveným požadavkům

### 6.1.6 Vyhodnocení návrhu č. 1

Návrh č. 1 nesplňuje stanovené požadavky na mezerovitost směsi. Vypočítaná hodnota  $V_m=2,2\%$  je pod hranicí stanoveného rozsahu mezerovitosti  $V_m=2,5 \%-3,5 \%$ . Na základě toho je nutno upravit čáru zrnitosti, kde bude zvýšen podíl frakce kameniva 8/11 na úkor snížení fileru.

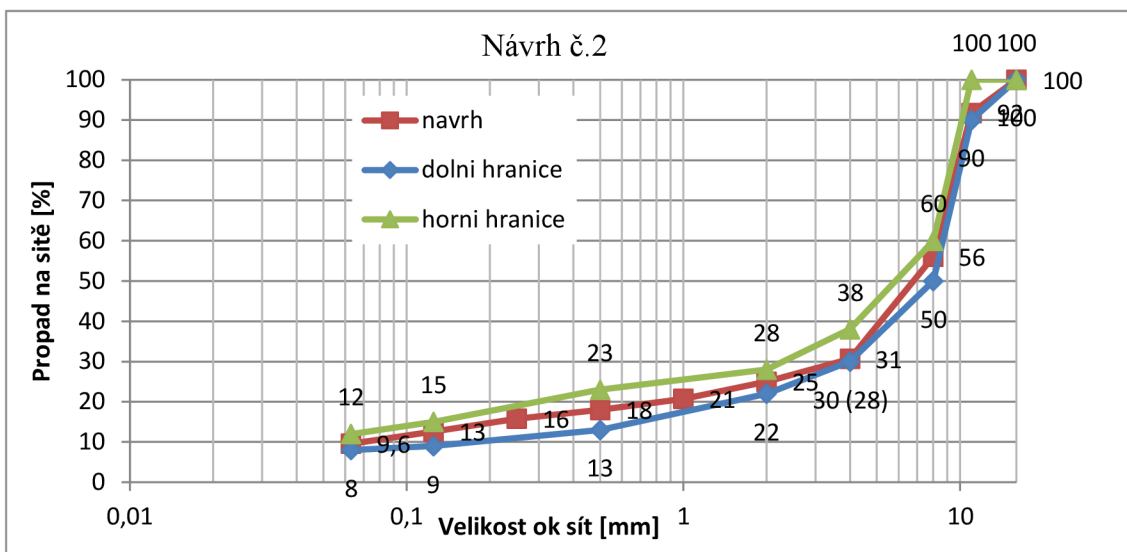
## 6.2 Návrh č. 2

Na základě výsledků návrhu č.1 je nutné zvýšit obsah frakce 8/11 za účelem zvýšení mezerovitosti. Procentuální zastoupení frakce 8/11 bude zvýšeno z 51 % na 51,5 % (o 0,97 %).

### 6.2.1 Navržení čáry zrnitosti SMA 11 S

Tabulka 6- 22: Čára zrnitosti SMA 11 S, návrh č. 2

SMA 11												
Frakce	Velikost ok síta [mm]										Návrh dávkování [%]	
	16	11	8	4	2	1	0.5	0.25	0.125	0.063		
8-11	100	84	17	2	2	2	2	2	2	1	1	51,5
4-8	100	100	94	9	2	1	1	1	1	1	1	20
0-4	100	100	100	96	71	47	31	18	7	3	3	17
filer	100	100	100	100	100	100	100	100	93	73	73	11,5
Celkem	<b>100</b>	<b>92</b>	<b>56</b>	<b>31</b>	<b>25</b>	<b>21</b>	<b>18</b>	<b>16</b>	<b>13</b>	<b>9,6</b>	<b>9,6</b>	100



Graf 6- 7: Čára zrnitosti SMA 11 S, návrh č. 2

### 6.2.2 Marshallovo těleso návrhu č. 2



Obrázek 6- 41: Marshallovo těleso návrhu č.2,  
[Vlastní zpracování]

Již na první pohled je směs velmi uzavřená a zkoušky s největší pravděpodobností potvrdí odhad nízké a tedy nepřipustné mezerovitosti.



### 6.2.3 Objemová hmotnost Marshallových těles

Tabulka 6- 23: Objemová hmotnost Marshallových těles návrhu č. 2

Směs SMA 11 S						
Číslo vzorku	m <sub>1</sub> [g]	m <sub>2</sub> [g]	m <sub>3</sub> [g]	ρ <sub>w</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	ρ <sub>bssd</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	∅ρ <sub>bssd</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]
1	1213,2	698,5	1214,5	997.1	2351,2	2351,6
2	1214,1	698,6	1215,3		2349,7	
3	1207,8	695,7	1208,8		2353,9	

### 6.2.4 Maximální objemová hmotnost – převzata z návrhu č. 1

Zkouška maximální objemové hmotnosti nebyla provedena, neboť hotový Marshallův vzorek vykazoval ještě větší uzavřenost než u prvního návrhu směsi. Do vzorce pro výpočet mezerovitosti byla použita hodnota prvního návrhu, tedy:

$$\rho_{mv} = 2399,7 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

### 6.2.5 Mezerovitost směsi, směsi kameniva a stupeň vyplnění mezer

Tabulka 6- 24: Mezerovitost směsi, směsi kameniva a stupeň vyplnění mezer návrhu č. 1

Návrh č.	∅ρ <sub>bssd</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	∅ρ <sub>mv</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	V <sub>m</sub> [%]	VMA [%]	VFB [%]
2	2345,8	2399,7	2,0	17,179	88,36

$V_m = 2,0 \notin (2,5; 3,5) \text{ [%]}$  → nevyhovuje stanoveným požadavkům

### 6.2.6 Vyhodnocení návrhu č. 2

I přes upravení čáry zrnitosti návrh č. 2 nevyhovuje stanoveným hranicím mezerovitosti směsi. Mezerovitost není zcela přesná, neboť hodnota maximální objemové hmotnosti byla převzata z návrhu č. 1. Ovlivnění výsledku je však zanedbatelné. Z těchto výsledků vyplývá, že musí být opět upravena křivka zrnitosti. Opět bude zvýšen podíl frakce 8/11 na úkor obsahu fileru.

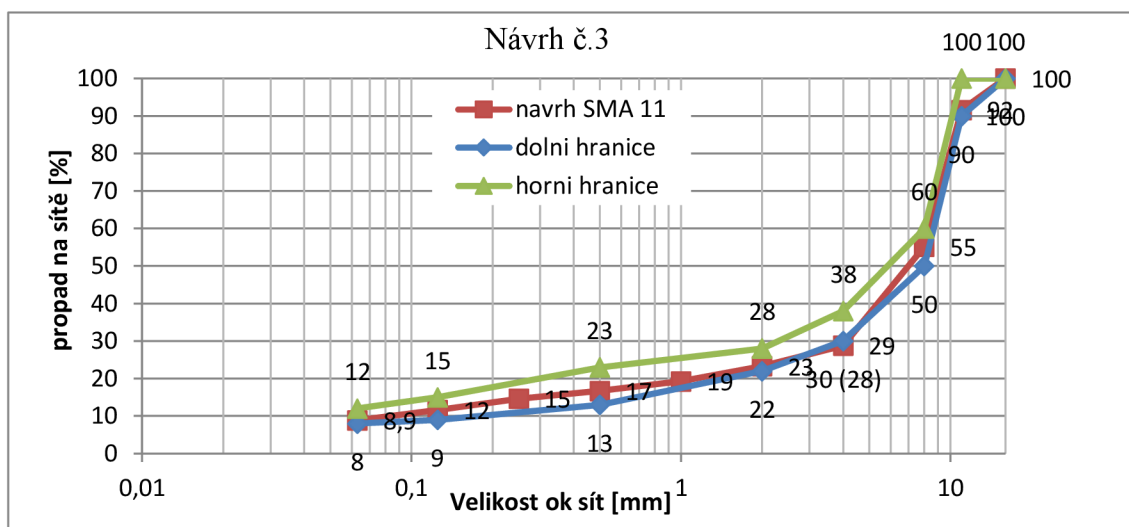
### 6.3 Návrh č. 3

Znovu byla upravena křivka zrnitosti na základě výsledků návrhu č. 2, kde bylo opět navýšeno procentuální zastoupení frakce 8/11 z 51,5 % na 52,5 % (o 1,9 %).

#### 6.3.1 Navržení čáry zrnitosti SMA 11 S

Tabulka 6- 25: Čára zrnitosti SMA 11 S, návrh č. 3

SMA 11											
Frakce	Velikost ok síta [mm]										Návrh dávkování [%]
	16	11	8	4	2	1	0.5	0.25	0.125	0.063	
8-11	100	84	17	2	2	2	2	2	1	1	52,5
4-8	100	100	94	9	2	1	1	1	1	1	21
0-4	100	100	100	96	71	47	31	18	7	3	16
filer	100	100	100	100	100	100	100	100	93	73	10,5
<b>Celkem</b>	<b>100</b>	<b>92</b>	<b>55</b>	<b>29</b>	<b>23</b>	<b>19</b>	<b>17</b>	<b>15</b>	<b>12</b>	<b>8,9</b>	100



Graf 6- 8: Čára zrnitosti SMA 11 S, návrh č. 3

### 6.3.2 Marshallovo těleso návrhu č. 3



Obrázek 6- 42: Marshallovo těleso návrhu č. 3,  
[Vlastní zpracování]

### 6.3.3 Objemová hmotnost Marshallových těles

Tabulka 6- 26: Objemová hmotnost Marshallových těles návrhu č. 3

Směs SMA 11 (obsah asfaltového pojiva 6,6%)						
Číslo vzorku	m <sub>1</sub> [g]	m <sub>2</sub> [g]	m <sub>3</sub> [g]	ρ <sub>w</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	ρ <sub>bssd</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	∅ρ <sub>bssd</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]
1	1211,9	693,5	1214,3	997,1	2327,0	2329,7
2	1210,5	693,7	1212,7		2332,4	

### 6.3.4 Maximální objemová hmotnost ve vodě a trichloru

Tabulka 6- 27: Maximální objemová hmotnost návrhu č. 3 stanovená ve vodě a trichloru

Směs SMA 11							
Pyknometr	Kapalina	ρ <sub>w</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	m <sub>1</sub> [g]	m <sub>2</sub> [g]	m <sub>3</sub> [g]	ρ <sub>mw</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	∅ ρ <sub>mw</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]
II	Voda	997,1	685,2	1624,4	2537,8	2394,7	2394,7
III	Trichlor	1454	690,7	1767,5	3043,7	2416,3	2414,35
IV			693,2	1695,6	3015,5	2412,4	

Z důvodu těžší rozpojitelnosti směsi při chladnutí byla provedena zkouška v rozpouštědle trichlor (TCE) a pro porovnání také ve vodě. Výsledky se výrazně lišily, neboť mastixová hmota společně s kamenivem při chladnutí vytváří shluky, které snižují maximální objemovou hmotnost směsi při použití vody. Za výchozí hodnotu je považována maximální objemová hmotnost zkoušená v trichloru (TCE). Na obrázku si lze všimnout hůře rozpojitelných shluků směsi.



**Obrázek 6- 43: Shluky kameniva spojené mastixem,**  
[Vlastní zpracování]

### 6.3.5 Mezerovitost směsi, směsi kameniva a stupeň vyplnění mezer

**Tabulka 6- 28: Mezerovitost směsi, směsi kameniva a stupeň vyplnění mezer návrhu č. 3**

Návrh č.	$\rho_{bssd}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\rho_{mv}$ [kg/m <sup>3</sup> ]		$V_m$ [%]		VMA [%]		VFB [%]	
		TCE	Voda	TCE	Voda	TCE	Voda	TCE	Voda
3	2329,7	2414,35	2394,7	3,50	2,72	18,7	17,9	81,3	84,8

$V_m = 3,5 \in (2,5; 3,5)$  [%] → vyhovuje stanoveným požadavkům

### 6.3.6 Vyhodnocení návrhu č. 3

Tahle směs vyhovuje všem předem stanoveným požadavkům a normě. Další postupy a zkoušky budou prováděny s touto navrženou směsí.

## 6.4 Vizuální porovnání všech návrhů



Obrázek 6- 44: Vizuální porovnání všech tří návrhů (zleva návrh č. 1, střed návrh č. 2. zprava návrh č. 3), [Vlastní zpracování]

Tabulka 6- 29: Porovnání mezerovitosti všech tří návrhů

Návrh č.	1	2	3	
Kapalina při stanovení $\rho_{mw}$	Voda	Voda	voda	trichlor
Mezerovitost [%]	2,2	2,0	2,75	3,5

## 7 VÝROBA ZKUŠEBNÍCH DESEK PRO STANOVENÍ ODOLNOSTI PROTI TRVALÝM DEFORMACÍM

Tato kapitola se zabývá popisem výroby zkušebních desek a jejich posouzení korektnosti.

### 7.1 Příprava zkušebních těles zhutňovačem desek- ČSN EN 12697 – 33+A1 (Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 33)

#### Podstata zkoušky:

Určené množství asfaltové směsi se zhutní do plošného prvku (desky) při působení zatížení hladkým ocelovým válcem, který vyvíjí tlak na určitý počet lamel způsobujících hutnění směsi. Válec se pohybuje neměnnou rychlostí. Výsledkem jsou zhutněné zkušební tělesa neboli desky [18].

#### Přístroje a pomůcky:

Odvětrávaná sušárna pro ohřev namíchané směsi na referenční teplotu, laboratorní váhy s dostatečnou váživostí s přesností vážení nejméně  $\pm 0,1$  g, laboratorní teploměr přiměřeného rozsahu měření teploty, lamelový zhutňovač, separační nátěr [18].

#### Postup:

##### 7.1.1 Návrh směsi

Výchozím návrhem směsi na desku je návrh č. 3, který je uvedený v kapitole 6.3. Hmotnost celkové směsi je však upravena pro výrobu desky dle uvedeného postupu níže.

#### Hmotnost navážky na desku:

Výpočet hmotnosti navážky na desku vychází z postupu ověřeným praxí. Pro SMA 11 S se hmotnost navážky vyjádří vztahem:

$$M = 0,995 \cdot [(t_d - t_{pl}) \cdot \rho_{bssd} - \rho_{oprav}]$$

kde  $t_d$  je tloušťka desky, 0,04m;

$t_{pl}$  tloušťka plechu, 0,0008 m;



- š šířka formy, 0,26 m;  
 l délka formy, 0,322 m;  
 $\rho_{\text{bssd}}$  objemová hmotnost marshalových těles, 2330 kg.m<sup>-3</sup>;  
 $\rho_{\text{oprav}}$  opravná hodnota objemové hmotnosti pro SMA 11 S, 40 kg.m<sup>-3</sup>.

$$M = 0,995 \cdot [(0,04 - 0,0008) \cdot 0,26 \cdot 0,322 \cdot (2330 - 40)] = 7,478 \text{ kg}$$

Hmotnost navážky na desku  $M=7,478$  kg je hmotnost celková, která se vysype do formy lamelového zhutňovače. Dle návrhu směsi č. 3 z procentuálního zastoupení složek odpovídá 6984 g směsi kameniva v jednotlivých zastoupených frakcích, 494 g modifikovaného asfaltu a 22,4 g celulósových vláken [18].

**Tabulka 6- 30: Dávkování směsi na desku s  $M=7,478$  kg dle návrhu č. 3**

Složky směsi		%	m[g]
Kamenivo	Moučka	10,5	733
	0/4	16	1117
	4/8	21	1467
	8/11	52,5	3667
Asfalt (PmB 45/80-65)		6,6	494
Celkem			7478
Vlákna (Technocel)		0,3	22,4

### 7.1.2 Příprava směsi

Příprava směsi proběhne dle postupu uvedeném v kapitole 5.2 dle normy ČSN EN 12697-35.

### 7.1.3 Plnění formy a hutnění směsi

Před samotným plněním formy je nutno připravit lamelový zhutňovač pro požadovanou tloušťku desky. Hlavní části lamelového zhutňovače tvoří ocelový stůl, na kterém je šrouby připevněna rozebíratelná ocelová forma o rozměrech 260 x 320 mm s tolerancí  $\pm 1$  mm a hutnící pohyblivý válec. Forma se nastaví na požadovanou výšku

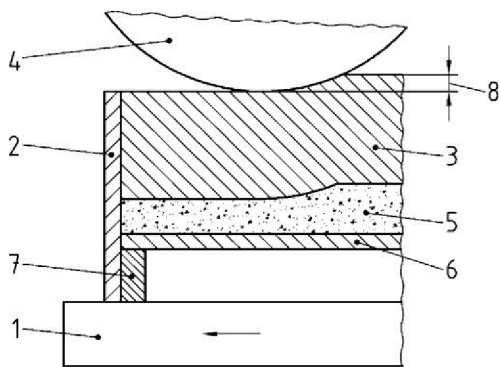
4 cm simulující tloušťku obrusné vrstvy vozovky. Požadované výšky se docílí za pomoci nastavovacích distančních rámečků. Na dno formy, její stěny a podkladní desku se nanese separační prostředek s nepřilnavou vlastností bez rozpouštěcího charakteru pro asfaltové pojivo.

Do formy se vsype nahřátá směs ( $M \pm 0,1 \%$ ) odpovídající teplotě hutnění. Směs se za pomoci špachtle rovnoměrně rozprostře do všech stran i rohů formy. Upěchování desky a rovnoměrná výška v každém bodě se zajistí použitím lopatky, jejíž ramena se opírají o stěny formy. Je požadována co nejrovnější plocha před zahájením hutnění.

Na upěchovanou směs se položí plech, který je natřen separačním prostředkem. Na plech se vertikálně za sebe vyskládají ocelové hutnicí lamely, spustí se ně válec představující zatížení  $F$  a zapne se pojezd válce, který se pohybuje po naskládaných lamelách z jednoho konce na druhý. Lamely se zatlačují konstantní silou  $F \pm 20$  až do úrovně hran formy, kdy se proces ukončí a válec se zvedne do výchozí pozice [18].



**Obrázek 7- 45: Lamelový zhutňovač,**  
[Vlastní zpracování]



**Obrázek 7- 46: Princip lamelového zhutňovače, [18].**

Legenda:

1 stůl pohybující se ve směru šipky

2 forma, přišroubovaná ke stolu

3 lamely

4 válec

5 asfaltová směs

6 podkladní deska

7 distanční rám

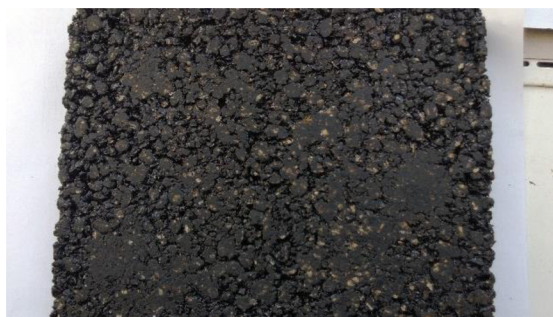
8 rozdíl výšky lamel a hrany formy

#### 7.1.4 Odstranění formy

Rozebrání formy a vytažení desky je možné až po vychladnutí celé sestavy na laboratorní teplotu.



**Obrázek 7- 47: Hotové zhutněné desky (pohled z boku), [Vlastní zpracování]**



**Obrázek 7- 48: Hotová zhutněná deska (pohled z hora), [Vlastní zpracování]**

## 7.2 Posouzení zkušebních desek

U hotových desek stanovíme objemové hmotnosti dle ČSN EN 12697-6+A1 a porovnáme je s objemovou hmotností Marshallových těles. Za korektní zkušební tělesa považujeme ty, jejichž rozdíl  $\Delta$  se nebude lišit o  $\pm 1 \%$ .

### 7.2.1 Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušební tělesa

Desky se zkouší dle postupu uvedeného v kapitole 5.4.2 dle normy ČSN EN 12697-6+A1



Obrázek 7- 50: Vážení suché desky, [Vlastní zpracování]



Obrázek 7- 49: Vážení saturované desky, [Vlastní zpracování]

### Naměřené hodnoty a vyhodnocení:

Tabulka 7- 31: Výsledné objemové hmotnosti desek

Deska č.	M <sub>1</sub> [kg]	M <sub>2</sub> [kg]	M <sub>3</sub> [kg]	$\rho$ [kg.m <sup>-3</sup> ]	$\Delta$ [%]
1	7,442	4,288	7,454	2350,6	0,88
2	7,431	4,2845	7,4535	2345	0,64
3	7,467	4,306	7,482	2351	0,9
4	7,4295	4,282	7,442	2351,1	0,91

### 7.2.2 Vyhodnocení korektnosti zkoušek

$$\Delta = [(\rho_{\text{Desky}} / \rho_{\text{bssd}}) \cdot 100] - 100 [\%]$$

Kde  $\Delta$  je rozdíl objemových hmotností desky a Marshallova tělesa,  
 $\rho_{\text{Desky}}$  objemová hmotnosti desky,  
 $\rho_{\text{bssd}}$  objemová hmotnost Marshallova tělesa návrhu č. 3 (2330 kg.m<sup>-3</sup>).

$$\Delta_{1.2.3.4} = \begin{cases} 0,88 \\ 0,64 \\ 0,9 \\ 0,91 \end{cases} [\%] < \Delta_{MAX} = 1 \%$$

Desky vyhovují podmínkám normy a mohou být zkoušeny na odolnosti proti trvalým deformacím.

## 8 ZKOUŠENÍ DESEK NA ODOLNOST PROTI TRVALÝM DEFORMACÍ

Touto zkouškou se zabývá příslušná norma: Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 22: Zkouška pojíždění kolem - ČSN EN 12697-22.

V současné době norma předepisuje provádět zkoušku při teplotě 50 °C, což mnohdy neodpovídá reálné dosahující teplotě obrusné vrstvy za slunného počasí. Proto budou zkušební desky nově testovány pojezdem kola při 60 °C a pro možnost srovnání také při 50 °C.

### 8.1 Podstata zkoušky:

Náchylnost asfaltové směsi k deformaci se hodnotí měřením hloubky vyjeté koleje vzniklé opakovaným pojezdem zatíženého kola při stálé teplotě [19].

### 8.2 Popis zkušebního zařízení

#### Malé zkušební zařízení:

Zařízení pro vyjíždění kolem se skládá ze zatíženého kola působícího na zkušební těleso upevněného na zkušebním stole. Stůl pod kolem nebo kolo nad stolem se pohybují sem a tam a měřicí zařízení měří nárůst vyjeté koleje ve zkušebním tělese. Vůle

mechanismu zatíženého kola ve vertikální poloze je menší než 0,25 mm. Součástí zařízení jsou:

Obruče s vnějším průměrem 200 mm až 205 mm osazené na kole. Obruč má být bez dezénu a má mít obdélníkový průřez o šířce  $w = (50 \pm 6)$  mm. Tloušťka obruče má být  $(20 \pm 2)$  mm. Obruč má být z pevné pryže.

Prostředky pro vyvození zatížení na kolo. Zatížení kolem je při standardních zkušebních podmínkách  $\left[ \left( 700 \cdot \frac{w}{50} \right) \pm 10 \right]$  N měřeno v úrovni horního povrchu zkušební vzorku kolmo k rovině zkušebního stolu.

Zkušební stůl, který je zkonstruován tak, aby umožňoval pevné uchycení obdélníkového zkušební tělesa připraveného v laboratoři. Horní povrch vzorku je ve vodorovné poloze a v požadované rovině pojíždění. Jeho střed je umístěn tak, aby zajišťoval symetrické pojíždění.

Zařízení pro vyjíždění kolem zkonstruované tak, aby umožňovalo pohyb vpřed a vzad zkušební tělesa v rámu pod zatíženým kolem v ustálené horizontální rovině nebo pohyb zatíženého kola vpřed a vzad po uchyceném zkušebním tělese. Frekvence zatěžovacích cyklů  $(26,5 \pm 1,0)$  za minutu.

Zařízení pro regulaci teploty, udržující v průběhu zkoušení konstantní předepsanou teplotu zkušební tělesa s přesností  $\pm 1$  °C [19].



**Obrázek 8- 51: Zařízení pro vyjíždění kolem,**  
[Vlastní zpracování]



## **8.3 Postup**

### ***8.3.1 Příprava zkušební tělesa:***

Dvě zkušební tělesa vyrobené dle postupu uvedeném v kapitole 7.1 se umístí do připravených forem, které je nutno nastavit na požadovanou výšku 40 mm a důkladně sešroubovat [19].

### ***8.3.2 Temperování:***

Připravené vzorky se nechají temperovat na určenou teplotu po dobu nejméně 4 hodin, jak předepisuje norma pro zkušební tělesa se jmenovitou tloušťkou menší nebo rovnou 60 mm. Temperační teplota je nastavena na teplotu, při které bude proveden pojezd kolem zkušební tělesa, tedy:

- v prvním případě na  $(50 \pm 1 \text{ } ^\circ\text{C})$ ,
- a v druhém případě na  $(60 \pm 1 \text{ } ^\circ\text{C})$  [19].

### ***8.3.3 Upevnění zkušební tělesa:***

Následně se zkušební tělesa umístí do upínacího zařízení, kde se důkladně upevní za pomoci šroubů ke stolu zařízení. Dále se osadí snímače teploty přibližně 20 mm pod povrch zkušební tělesa temperovaného na vzduchu. Teplota tělesa a jeho okolí je udržována na stanovené zkušební teplotě  $\pm 1 \text{ } ^\circ\text{C}$ . V případě použití asfaltové směsi mastixové se na povrch tělesa umístí tenká separační fólie, která zamezí přilepení materiálu na pojezdové kolo a tím také ovlivnění výsledků [19].

### ***8.3.4 Záběh:***

Před vlastní zkouškou se provede 5 zatěžovacích cyklů [19].

### ***8.3.5 Průběh zkoušky postupu B:***

Zařízení se uvede do pohybu a po záběhu je počítačem zaznamenaná počáteční vertikální deformace. Zařízení dále zaznamenává vertikální deformace po 250 cyklech. Vertikální poloha kola je definována jako průměrná hodnota profilu zkušební tělesa na délce  $\pm 50 \text{ mm}$  od středu zatěžované plochy uprostřed stopy, měřená nejméně v 25 bodech

přibližně rovnoměrně rozmístěných. Vertikální poloha kola má být měřena bez zastavení poježdění. Poježdění pokračuje do provedení 10 000 zatěžovacích cyklů nebo do dosažení hloubky koleje 20 mm, podle toho, co nastane dříve [19].

## 8.4 Výpočet a vyjádření výsledků:

### 8.4.1 Přírůstek hloubky vyjeté koleje na vzduchu (postup B):

Přírůstek vyjeté koleje vyjádřený v mm . 10<sup>-3</sup> zatěžovacích cyklů se vypočítá jako:

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

kde  $WTS_{AIR}$  je přírůstek hloubky vyjeté koleje v mm . 10<sup>-3</sup> zatěžovacích cyklů  
 $d_{10000}$ ,  $d_{5000}$  hloubky vyjeté koleje po 5 000 a 10 000 cyklech v milimetrech [19].

### 8.4.2 Průměrný přírůstek hloubky vyjeté koleje $WTS_{AIR}$ na vzduchu:

Výsledek zkoušky je průměr  $WTS_{AIR}$  ze dvou zkušebních těles. Jestliže je zkouška ukončená před dosažením 10 000 cyklů, nárůst by měl být počítán z lineární části křivky hloubky vyjeté koleje za předpokladu, že tato lineární část pokrývá nejméně 2 000 cyklů [19].

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

Hloubka vyjeté koleje pro zkoušenou asfaltovou směs při N zatěžovacích cyklech je průměr poměrné hloubky vyjeté koleje ze dvou (nebo více) zkušebních těles s přesností  $\pm 0,1$  % [19].

Průměrná hloubka vyjeté koleje vychází ze vztahu:

$$PRD_{AIR,5000} = \frac{d_{5000}}{t} \times 100 \text{ [%]}$$

$$PRD_{AIR,10000} = \frac{d_{10000}}{t} \times 100 \text{ [%]}$$

kde  $PRD_{AIR, 5000}$  je poměrná hloubka vyjeté koleje na vzduchu za 5000 cyklů,  
 $PRD_{AIR, 10\,000}$  je poměrná hloubka vyjeté koleje na vzduchu za 10 000 cyklů [19].

## 8.5 Naměřené hodnoty a vyhodnocení

Hodnoty poklesů hloubky z pojižděče byly zaznamenávány po 250 cyklech. Pro vyhodnocení odolnosti proti tvorbě trvalých deformací postačují hodnoty po 5000 a 10 000 cyklech. Celý průběh zkoušky zaznamenaný vyjížděčem je uveden v Příloze 5.

### 8.5.1 Tloušťky desek

Tloušťky desek byly měřeny na 8 různých místech, vždy dvě měření na jedné straně.

**Tabulka 8- 32: Naměřené tloušťky desek**

Číslo desky	Tloušťka t [mm]								$\bar{t}$ [mm]
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	3,95	3,9	3,99	4,04	3,965	3,95	3,99	3,945	3,966
2	3,99	3,97	4	4,2	3,99	3,95	3,98	3,965	4,006
3	3,94	3,98	3,98	4,115	4,075	3,965	4	3,99	4,006
4	3,93	3,94	3,925	4,04	3,96	4,02	4,035	4,04	3,986

### 8.5.2 Hloubka koleje po 5000 a 10 000 cyklech

**Tabulka 8- 33: Průměrná hloubka koleje po 5000 10 000 cyklech**

	Deska č.1	Deska č.2	Deska č.3	Deska č.4
Teplota pojezdu t[°C]	50		60	
Tloušťka desky $\bar{t}$	3,966	4,006	4,006	3,986
Průměrná hloubka koleje $\bar{d}$ po 5000 cyklech [mm]	0,94	0,58	0,100	0,69
Průměrná hloubka koleje $\bar{d}$ po 10 000 cyklech [mm]	1,04	0,65	0,113	0,81

### 8.5.3 Poměrná hloubka a přírůstky hloubky vyjeté koleje

Tabulka 8- 34: Poměrná hloubka a přírůstky hloubky vyjeté koleje

Číslo desky	Teplota [°C]	Tloušťka [mm]	Stupeň zhutnění [%]	PRD <sub>AIR</sub> [%]	$\overline{PRD}_{AIR}$ [%]	WTS <sub>AIR</sub> [mm]	$\overline{WTS}_{AIR}$ [mm]
1	50	3,966	100,88	2,37	1,91	0,02	0,017
2		4,006	100,64	1,45		0,014	
3	60	4,006	100,9013	2,50	2,11	0,026	0,025
4		3,986	100,9056	1,73		0,024	

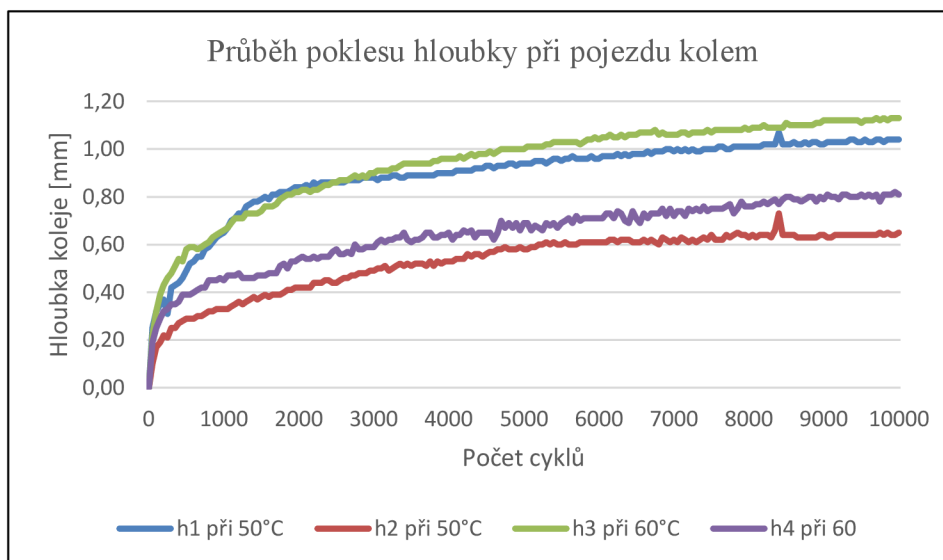
### 8.5.4 Podmínky korektnosti zkoušek:

$$PRD_{AIR,1.2.3.4} = \begin{pmatrix} 2,37 \\ 1,45 \\ 2,50 \\ 1,73 \end{pmatrix} < PRD_{AIR,MAX} = 5$$

a

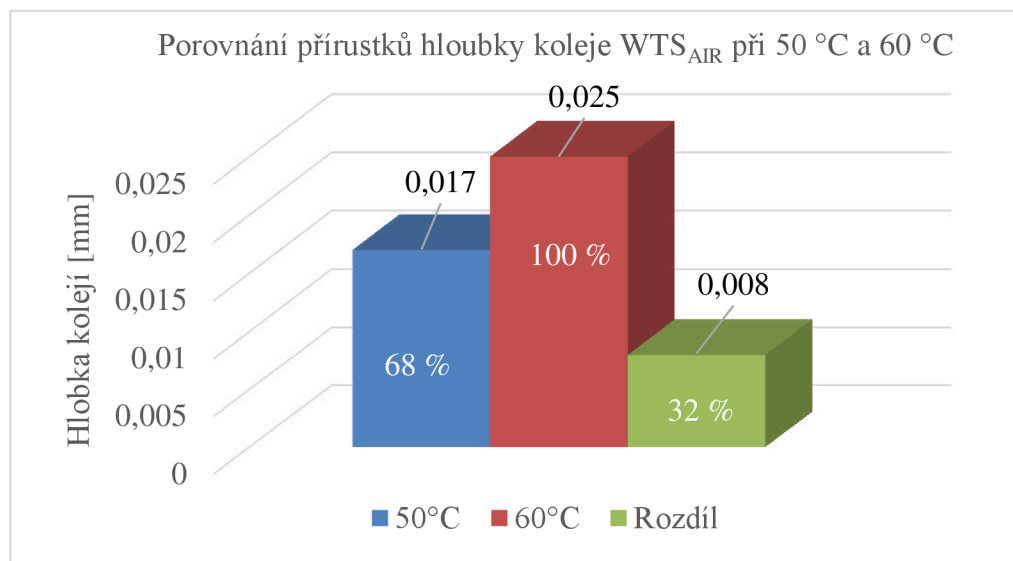
$$WTS_{AIR,1.2.3.4} = \begin{pmatrix} 0,02 \\ 0,014 \\ 0,026 \\ 0,024 \end{pmatrix} < WTS_{AIR,MAX} = 0,07$$

### 8.5.5 Vyjádření výsledků v grafické podobě



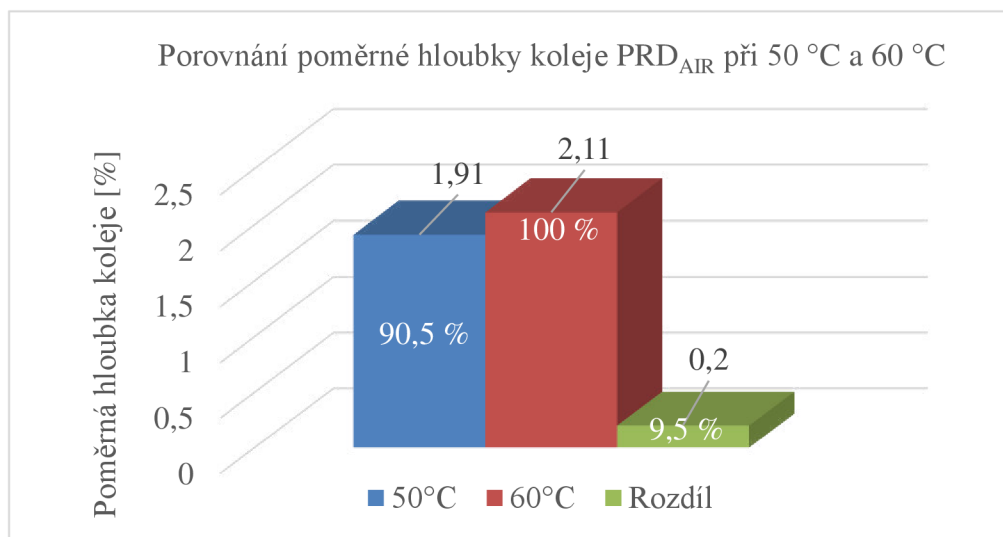
Graf 8- 9: Průběh poklesu hloubky při pojezdu kolem

*Srovnání průměrných přírůstků hloubek koleje  $WTS_{AIR}$  při 50 °C a 60 °C*



**Graf 8- 10: Srovnání průměrných přírůstků hloubek koleje při 50 °C a 60 °C**

*Srovnání průměrných poměrných hloubek  $PRD_{AIR}$  při 50 °C a 60 °C*



**Graf 8- 11: Srovnání průměrných poměrných hloubek koleje při 50 °C a 60 °C**

### 8.5.6 Vizuelní srovnání desek

Porovnání vyjeté koleje Desky 1(50 °C) a Desky 3(60 °C)

**Tabulka 8- 35: Srovnání výsledků desky 1 a desky 3**

Deska č.	1 (Levá)	3 (Pravá)
Teplota [°C]	50	60
WTS <sub>AIR</sub> [mm]	0,02	0,026
PRD[%]	2,37	2,50

**Tabulka 8- 36: Rozdíl hodnot desky 1 a desky 3**

	Rozdíl Hodnot	Rozdíl v %
Teplota [°C]	10	16,7
WTS <sub>AIR</sub> [mm]	0,006	23,1
PRD[%]	0,13	5,2



**Obrázek 8- 52: Vizuelní rozdíl hloubky vyjeté koleje desky 1 (levá) a desky 3 (pravá), [Vlastní zpracování]**



Porovnání vyjeté koleje Desky 2(50 °C) a Desky 4(60 °C)

**Tabulka 8- 37: Srovnání výsledků desky 2 a desky 4**

Deska č.	2 (Levá)	4 (Pravá)
Teplota [°C]	50	60
WTS <sub>AIR</sub> [mm]	0,014	0,024
PRD[%]	1,45	1,73

**Tabulka 8- 38: Rozdíly hodnot desky 2 a desky 4**

	Rozdíl Hodnot	Rozdíl v %
Teplota [°C]	10	16,7
WTS <sub>AIR</sub> [mm]	0,010	41,7
PRD[%]	0,28	16,2



**Obrázek 8 - 53: Vizuální rozdíl hloubky vyjeté koleje desky 2 (levá) a desky 4 (pravá), [Vlastní zpracování]**

## 9 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout vhodný asfaltový koberec mastixový (SMA 11 S), který by vyhověl předem stanoveným požadavkům za účelem zlepšení fyzikálně – mechanických vlastností směsi a prodloužení její životnosti. Hlavním požadavkem bylo snížení mezerovitosti na hodnotu od 2,5 % do 3,5 %. Důležitou dílčí fází byly zkoušky vstupních materiálů, které prokázaly vhodnost použití do asfaltového koberce mastixového. Při návrhu směsi bylo nutné optimálně stanovit čáru zrnitosti tak, aby respektovala nově zpřísněné meze. I přes dodržení zpřísněných mezí a normovaných postupů byly první dva návrhy nevyhovující na požadovanou mezerovitost. Kýžené mezerovitosti bylo dosaženo až při třetím návrhu směsi. S vyhovující směsí bylo možné přejít k druhému stěžejnímu bodu a to stanovení odolnosti proti trvalým deformacím.

Významnou změnou pro tuto zkoušku byl pojezd kolem zkušebních desek při teplotě 60 °C. Pro porovnání výsledků se vyjízděly desky také při standardní teplotě 50 °C. Navržená směs vyhověla kritériím stanovených normou v případě obou teplot. Výsledky přírůstku hloubky vyjeté koleje ( $WTS_{AIR}$ ) při 60 °C splňují požadavky s téměř 60% rezervou a poměrné hloubky koleje ( $PRD_{AIR}$ ) při 60 °C splňují požadavky s 50% rezervou. Hodnoty  $WTS_{AIR}$  při 60 °C byly v porovnání  $WTS_{AIR}$  při 50 °C o 32 % vyšší. Rozdíl hodnot  $PRD_{AIR}$  při teplotě 50 °C a 60 °C byl pouhých 9,5 %. Na základě dosažených výsledků zkoušky pojezdění kolem je doporučen přechod teploty z 50 °C na 60 °C. Výsledky srovnávacích zkoušek ostatních laboratoří jsou uvedeny v Příloze 6.

## 10 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] HÝZL, P. *Praktické aplikace v pozemních komunikacích: Modul 6 – Asfaltové směsi*. Brno, 2006.
- [2] ČSN EN 13043 *Kamenivo pro asfaltové směsi a povrchové vrstvy pozemních komunikací, letištních a jiných dopravních ploch*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [3] Produktový list OMV Starfalt® PmB 45/80-65
- [4] ČSN EN 933-1 *Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Síťový rozbor*. Praha: Český normalizační institut, červen 1998.
- [5] ČSN EN 993-4 *Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 4: Stanovení tvaru zrn – Tvarový index*. Praha: Český normalizační institut, říjen 2008.
- [6] Přednášky předmětu Pozemní komunikace II, *Téma 2: Kamenivo*
- [7] ČSN EN 1097-2 *Zkoušení mechanických vlastností kameniva – Část 2: Metody pro stanovení odolnosti proti drcení*. Praha: Český normalizační institut, červenec 1999.
- [8] VARAUS, M. *Praktické aplikace v pozemních komunikacích: Modul 3 – Asfaltová pojiva*. Brno, 2006.
- [9] ČSN EN 1426 *Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení penetrace jehlou*. Praha: Český normalizační institut, srpen 2007.
- [10] ČSN EN 1427 *Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení bodu měknutí – Metoda kroužek a kulička*. Praha: Český normalizační institut, srpen 2007.
- [11] ČSN EN 13 398 – *Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení vratné duktility modifikovaných asfaltů*. Praha: Český normalizační institut, Listopad 2010.
- [12] ČSN EN 12697-5+A1 *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 5: Laboratorní výroba směsi za horka*. Praha: Český normalizační institut, prosinec 2007.
- [13] ČSN EN 12697-30+A1 *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 30: Příprava zkušebních těles rázovým zhuňovačem*. Praha: Český normalizační institut, prosinec 2007.

- [14] ČSN EN 12697-5+A1 *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 5: Stanovení maximální objemové hmotnosti*. Praha: Český normalizační institut, prosinec 2007.
- [15] ČSN EN 12697-6+A1 *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa*. Praha: Český normalizační institut, prosinec 2007.
- [16] ČSN EN 12697-8 *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 8: Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí*. Praha: Český normalizační institut, květen 2004.
- [17] ČSN EN 12697-8 *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 8: Stékvost pojiva*. Praha: Český normalizační institut, květen 2004.
- [18] ČSN EN 12697-33+A1 *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 33: Příprava zkušebních těles zhutňovačem desek*. Praha: Český normalizační institut, Prosinec 2007.
- [19] ČSN EN 12697-22+A1 *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 22: Zkouška poježdění kolem*. Praha: Český normalizační institut, Prosinec 2007.

## 11 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

SMA 11 S	Asfaltový koberec mastixový s maximální velikostí zrna 11 s odolností proti vzniku trvalých deformací
TCE	Trichlor (rozpouštědlo)
PmB	polymerem modifikované asfaltové pojivo
SMA	asfaltový koberec mastixový (z anglického výrazu Stone Mastic Asphalt)
ČSN	česká technická norma
ČSN EN	evropská norma převzatá do národního systému norem ČR
SI	tvarový index
LA	součinitel Los Angeles
$R_e$	vratná duktilita
$\rho_{mv}$	maximální objemová hmotnost asfaltové směsi
$V_p$	objem pyknometru
$\rho_w$	hustota vody nebo rozpouštědla
SSD	postup SSD nasyceného suchého povrchu
$\rho_{bssd}$	objemová hmotnost zkušebního tělesa SSD
VFB	stupeň vyplnění mezer ve směsi kameniva pojivem
B	obsah pojiva ve zkušebním tělese
VMA	mezerovitost směsi kameniva
$\rho_b$	objemová hmotnost zkušebního tělesa
$\rho_B$	objemová hmotnost pojiva
$WTS_{AIR}$	přírůstek hloubky vyjeté koleje
$d_{10\ 000}, d_{5\ 000}$	hloubky vyjeté koleje po 5 000 a 10 000 cyklech
$PRD_{AIR, 5000}$	poměrná hloubka vyjeté koleje na vzduchu za 5000 cyklů

## 12 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 2- 1: Vápencová moučka, [Vlastní zpracování] .....	14
Obrázek 2- 2: Frakce 0/4, [Vlastní zpracování] .....	14
Obrázek 2- 3: Frakce 8/11, [Vlastní zpracování] .....	15
Obrázek 2- 4: Frakce 4/8, [Vlastní zpracování] .....	15
Obrázek 2- 5: Celulózová vlákna Technocel, [Vlastní zpracování] .....	16
Obrázek 3- 6: Setřásací stůl, [Vlastní zpracování].....	17
Obrázek 3- 7: Dvoučelist'ové posuvné měřítko, [5].....	21
Obrázek 3 - 8: Roztřizení kubických a nekubických zrn pomocí dvoučelist'ového posuvného měřítka, [Vlastní zpracování] .....	22
Obrázek 3- 9: Otlukový buben pro zkoušku Los Angeles, [6] .....	23
Obrázek 3- 10: Princip penetrace, [8] .....	25
Obrázek 3- 11: Provádění penetrace pomocí penetrometru, [Vlastní zpracování] .....	26
Obrázek 3- 12: Automatický přístroj Matest pro zkoušku kroužek- kulička, [Vlastní zpracování].....	28
Obrázek 3- 13: Soustava (kádinka, konstrukce, kroužky, kuličky a středící prstence) umístěná v přístroji Matest, [Vlastní zpracování] .....	29
Obrázek 3- 14: Kroužky s odlitým asfaltovým pojivem PmB 45/80-65, [Vlastní zpracování] .....	29
Obrázek 3- 15: Propad kuliček obalených asfaltem skrze kroužky na úroveň paprskových snímačů při 2. měření, [Vlastní zpracování].....	29
Obrázek 3- 16: Princip vratné duktility, [8] .....	30
Obrázek 3- 17: Naplněná forma asfaltovým pojivem, [Vlastní zpracování] .....	31
Obrázek 4- 18: Asfaltový koberec mastixový, [Vlastní zpracování] .....	32
Obrázek 5- 19: Nadávkovaná směs v kovové nádobě, [Vlastní zpracování].....	35
Obrázek 5- 20: Laboratorní míchačka s ohřevem, [Vlastní zpracování] .....	35
Obrázek 5- 24: Vytlačení zhutněného tělesa z formy, [Vlastní zpracování] .....	37
Obrázek 5- 23: Chlazení zhutněných vzorků pod ventilátorem, [Vlastní zpracování] .....	37
Obrázek 5- 21: Hutnění směsi rázovým zhutňovačem, [Vlastní zpracování].....	37
Obrázek 5- 22: Plnění nahřáté formy směsí SMA 11 S, [Vlastní zpracování] .....	37
Obrázek 5- 25: Hotové Marshallovo těleso- pohled z vrchu, [Vlastní zpracování].....	38
Obrázek 5- 26: Hotové Marshallovo těleso- pohled z boku, [Vlastní zpracování].....	38
Obrázek 5- 27: Plnění pyknometru vychladlou směsí, [Vlastní zpracování].....	39
Obrázek 5- 28: Vážení samotného pyknometru, [Vlastní zpracování].....	39
Obrázek 5- 29: Vážení pyknometru se směsí a doplněnou vodou po rysku, [Vlastní zpracování] .....	40
Obrázek 5- 30: Temperace pyknometru se směsí, [Vlastní zpracování] .....	40
Obrázek 5- 31: Vytěsnění vzduchu z pyknometru v nádobě s vývěvou, [Vlastní zpracování].....	40
Obrázek 5- 32: Míchání směsi, [Vlastní zpracování].....	45
Obrázek 5- 33: Zvážení horké směsi po míchání, [Vlastní zpracování].....	45
Obrázek 5- 34: Navážené vzorky kameniva se suší na teplotu míchání 165°C, [Vlastní zpracování].....	45
Obrázek 5- 35: Vážení prázdné kádinky, [Vlastní zpracování] .....	45
Obrázek 5- 36: Stékavost pojiva zkoušky 1-(pohled z boku), [Vlastní zpracování] ....	48



Obrázek 5- 37:	Stékavost pojiva zkoušky 1-(pohled z vrchu), [Vlastní zpracování] ...	48
Obrázek 5- 38:	Stékavost pojiva zkoušky 2-(pohled z boku), [Vlastní zpracování] ....	48
Obrázek 5- 39:	Stékavost pojiva zkoušky 2-(pohled z vrchu), [Vlastní zpracování] ...	48
Obrázek 6- 40:	Marshallovo těleso návrhu č.1, [Vlastní zpracování].....	50
Obrázek 6- 41:	Marshallovo těleso návrhu č.2, [Vlastní zpracování].....	52
Obrázek 6- 43:	Marshallovo těleso návrhu č. 3, [Vlastní zpracování].....	55
Obrázek 6- 44:	Shluky kameniva spojené mastixem, [Vlastní zpracování] .....	56
Obrázek 6- 45:	Vizuální porovnání všech tří návrhů (zleva návrh č. 1, střed návrh č. 2. zprava návrh č. 3), [Vlastní zpracování] .....	57
Obrázek 7- 46:	Lamelový zhutňovač, [Vlastní zpracování] .....	60
Obrázek 7- 47:	Princip lamelového zhutňovače, [18].....	61
Obrázek 7- 48:	Hotové zhutněné desky (pohled z boku), [Vlastní zpracování] .....	61
Obrázek 7- 49:	Hotová zhutněná deska (pohled z hora), [Vlastní zpracování] .....	61
Obrázek 7- 50:	Vážení saturované desky, [Vlastní zpracování] .....	62
Obrázek 7- 51:	Vážení suché desky, [Vlastní zpracování] .....	62
Obrázek 8- 52:	Zařízení pro vyjíždění kolem, [Vlastní zpracování] .....	64
Obrázek 8- 53:	Vizuální rozdíl hloubky vyjeté koleje desky 1 (levá) a desky 3 (pravá), [Vlastní zpracování] .....	70
Obrázek 8 - 54:	Vizuální rozdíl hloubky vyjeté koleje desky 2 (levá) a desky 4 (pravá), [Vlastní zpracování] .....	71

## 13 SEZNAM TABULEK

Tabulka 2- 1: Funkční charakteristiky PmB 45/80-65, [3] .....	15
Tabulka 3- 2: Procentuální propady fileru na jednotlivých sítích .....	18
Tabulka 3- 3: Procentuální propady frakce 0/4 na jednotlivých sítích,.....	19
Tabulka 3- 4: Procentuální propady frakce 4/8 na jednotlivých sítích.....	20
Tabulka 3- 5: Procentuální propady frakce 8/11 na jednotlivých sítích.....	20
Tabulka 3- 6: Výsledné hodnoty tvarového indexu SI.....	23
Tabulka 3- 7: Výsledné hodnoty zkoušky LA .....	24
Tabulka 3- 8: Výsledné hodnoty penetrace.....	27
Tabulka 3- 9: Výsledné hodnoty stanovení bodu měknutí (metoda K-K) .....	29
Tabulka 3- 10: Výsledné hodnoty vratné duktility.....	31
Tabulka 4- 11: Stávající mezní hodnoty návrhového složení SMA 11 S .....	33
Tabulka 4- 12: Zpřísněné mezní hodnoty návrhového složení SMA 11 S .....	33
Tabulka 5- 13: Dávkování SMA 11 S.....	36
Tabulka 5- 14: Dávkování SMA 11 S zkoušky 1 .....	46
Tabulka 5- 15: Výsledné hodnoty stékavosti zkoušky 1.....	46
Tabulka 5- 16: Dávkování SMA 11 S zkoušky 2 .....	47
Tabulka 5- 17: Výsledné hodnoty stékavosti zkoušky 2.....	47
Tabulka 6- 18: Čára zrnitosti SMA 11 S, návrh č. 1 .....	49
Tabulka 6- 19: Objemová hmotnost Marshallových těles návrhu č. 1 .....	50
Tabulka 6- 20: Maximální objemová hmotnost návrhu č. 1 stanovená ve vodě.....	50
Tabulka 6- 21: Mezerovitost směsi, směsi kameniva a stupeň vyplnění mezer návrhu č. 1 .....	51
Tabulka 6- 22: Čára zrnitosti SMA 11 S, návrh č. 2.....	51
Tabulka 6- 23: Objemová hmotnost Marshallových těles návrhu č. 2 .....	53
Tabulka 6- 24: Mezerovitost směsi, směsi kameniva a stupeň vyplnění mezer návrhu č. 1 .....	53
Tabulka 6- 25: Čára zrnitosti SMA 11 S, návrh č. 3.....	54
Tabulka 6- 26: Objemová hmotnost Marshallových těles návrhu č. 3 .....	55
Tabulka 6- 27: Maximální objemová hmotnost návrhu č. 3 stanovená ve vodě a trichloru .....	55
Tabulka 6- 28: Mezerovitost směsi, směsi kameniva a stupeň vyplnění mezer návrhu č. 3.....	56
Tabulka 6- 29: Porovnání mezerovitosti všech tří návrhů .....	57
Tabulka 6- 30: Dávkování směsi na desku s $M=7,478$ kg dle návrhu č. 3 .....	59
Tabulka 7- 31: Výsledné objemové hmotnosti desek .....	62
Tabulka 8- 32: Naměřené tloušťky desek .....	67
Tabulka 8- 33: Průměrná hloubka koleje po 5000 10 000 cyklech.....	67
Tabulka 8- 34: Poměrná hloubka a přírůstky hloubky vyjeté koleje .....	68
Tabulka 8- 35: Srovnání výsledků desky 1 a desky 3 .....	70
Tabulka 8- 36: Rozdíl hodnot desky 1 a desky 3 .....	70
Tabulka 8- 37: Srovnání výsledků desky 2 a desky 4.....	71
Tabulka 8- 38: Rozdíly hodnot desky 2 a desky 4 .....	71

## 14 SEZNAM GRAFŮ

Graf 3- 1: Čára zrnitosti kamenné moučky .....	19
Graf 3- 2: Čára zrnitosti frakce 0/4 .....	19
Graf 3- 3: Čára zrnitosti frakce 4/8 .....	20
Graf 3- 4: Čára zrnitosti frakce 8/11 .....	21
Graf 4- 5: Změna mezních hodnot návrhového složení směsi .....	33
Graf 6- 6: Čára zrnitosti SMA 11 S, návrh č. 1 .....	49
Graf 6- 7: Čára zrnitosti SMA 11 S, návrh č. 2 .....	52
Graf 6- 8: Čára zrnitosti SMA 11 S, návrh č. 3 .....	54
Graf 8- 9: Průběh poklesu hloubky při pojezdu kolem .....	68
Graf 8- 10: Srovnání průměrných přírůstků hloubek koleje při 50 °C a 60 °C .....	69
Graf 8- 11: Srovnání průměrných poměrných hloubek koleje při 50 °C a 60 °C .....	69

## 15 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Síťový rozbor vápencové moučky
Příloha 2: Síťový rozbor frakce 0/4
Příloha 3: Síťový rozbor frakce 4/8
Příloha 4: Síťový rozbor frakce 8/11
Příloha 5: Výsledky zkoušky pojezdu kolem při 50°C
Příloha 6: Srovnání výsledků zkoušek s ostatními laboratořemi