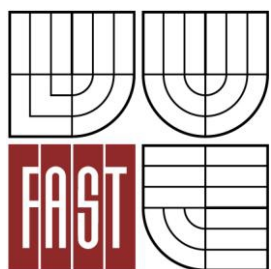




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

# NÁVRH A POSOUZENÍ SMĚSI PRO ASFALTOVÉ VRSTVY SE ZVÝŠENOU ODOLNOSTÍ PROTI ŠÍŘENÍ TRHLIN (SAL)

DESIGN AND EVALUATION OF BITUMINOUS STRESS ABSORBING PAVEMENT LAYER

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. PAVEL COUFALÍK

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

prof. Ing. JAN KUDRNA, CSc.

BRNO 2012



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>Diplomant</b>	Bc. PAVEL COUFALÍK
<b>Název</b>	Návrh a posouzení směsi pro asfaltové vrstvy se zvýšenou odolností proti šíření trhlin (SAL)
<b>Vedoucí diplomové práce</b>	prof. Ing. Jan Kudrna, CSc.
<b>Datum zadání diplomové práce</b>	31. 3. 2012
<b>Datum odevzdání diplomové práce</b>	11. 1. 2013

V Brně dne 31. 3. 2012

.....

doc. Dr. Ing. Michal Varaus  
Vedoucí ústavu

.....

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

## **Podklady a literatura**

Předané vzorky asfaltu, pryžového granulátu a kameniv,  
Publikace Rubber Asphalt Association,  
ASTM D 6117-97 Standard Specification for Asphalt-Rubber Binder,  
ČSN EN pro specifikaci asfaltových směsí, zkoušení asfaltu a asfaltových směsí,  
Technické podmínky MD TP 115, TP 147, TP 148 a TP 151

## **Zásady pro vypracování**

Zpracovat přehled možností použití asfaltových směsí pro asfaltové vrstvy se zvýšenou odolností proti šíření trhlin (SAL) a určení zásad pro návrh těchto směsí. V praktické části práce navrhnout směsi SAL s odlišným vedením čáry zrnitosti kameniva a s různým dávkováním asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem s použitím Marshallovy zkoušky podle TP 147 a TP 148. Na laboratorně připravených tělesech stanovit volumetrické charakteristiky, odolnost vůči vzniku trvalých deformací, nízkoteplotní charakteristiky a případně provést zkoušku v tahu za ohybu podle TP 151 včetně zpracování výsledků.

## **Předepsané přílohy**

.....

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

**LICENČNÍ SMLOUVA**  
**POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO**

uzavřená mezi smluvními stranami:

**1. Pan/paní**

Jméno a příjmení:

Bytem:

Narozen/a (datum a místo):

(dále jen „autor“)

a

**2. Vysoké učení technické v Brně**

Fakulta .....

se sídlem .....

jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:

.....

(dále jen „nabyvatel“)

**Čl. 1**  
**Specifikace školního díla**

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- disertační práce
  - diplomová práce
  - bakalářská práce
  - jiná práce, jejíž druh je specifikován jako .....
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: \_\_\_\_\_

Vedoucí/ školitel VŠKP: \_\_\_\_\_

Ústav: \_\_\_\_\_

Datum obhajoby VŠKP: \_\_\_\_\_

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v\*:

- tištěné formě – počet exemplářů .....
- elektronické formě – počet exemplářů .....

---

\* hodící se zaškrtněte

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

## **Článek 2**

### **Udělení licenčního oprávnění**

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
  - ihned po uzavření této smlouvy
  - 1 rok po uzavření této smlouvy
  - 3 roky po uzavření této smlouvy
  - 5 let po uzavření této smlouvy
  - 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

## **Článek 3**

### **Závěrečná ustanovení**

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: .....

.....  
Nabyvatel

.....  
Autor

## **Abstrakt**

Tato práce se zabývá možností použití asfaltové směsi se zvýšenou odolností proti šíření trhlin (SAL). V teoretické části je pojednáno o problematice vrstvy SAL a jsou zde popsány použité zkušební metody. V praktické části je navrženo několik směsí s odlišnými parametry. Na vybraných směsích byly například provedeny zkoušky nízkoteplotních charakteristik, trvalých deformací, zkoušky v tahu za ohybu, relaxace, modulu tuhosti a únavy. Na základě výsledků zkoušek bylo provedeno porovnání směsí a vyhodnocení v programu LayEps.

## **Klíčová slova**

Asfaltová směs, SAL, CRmB, Marshallova zkouška, nízkoteplotní charakteristiky, trvalé deformace, zkouška v tahu za ohybu, relaxace, modul tuhosti, únava, LayEps.

## **Abstract**

This master's thesis deals with the possibility of special asphalt-rubber mixture using - Stress Absorbing Layer (SAL). In the theoretical part the SAL and test methods are described. In the practical part, several different mixtures are designed and selected mixtures were tested. Low-temperature characteristics, permanent deformations, bending tensile relaxation, stiffness modulus and fatigue properties were determined. Based on the test results the mixtures were compared and their benefit is evaluated according to Performance Pavement Design Method, the pavement structure was evaluated by using of computer programme LayEps.

## **Keywords**

Asphalt mixture, SAL, CRmB, Marshall test, low-temperature characteristics, permanent deformation, bending tensile test , Relaxation, stiffness modulus, fatigue, pavement structure evaluation.



## **Bibliografická citace VŠKP**

COUFALÍK, Pavel. *Návrh a posouzení směsi pro asfaltové vrstvy se zvýšenou odolností proti šíření trhlin (SAL)*. Brno, 2012. 155 s., 67 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce prof. Ing. Jan Kudrna, CSc.



*„Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Návrh a posouzení směsi pro asfaltové vrstvy se zvýšenou odolností proti šíření trhlin (SAL)“ zpracoval zcela sám pod vedením prof. Ing. Jana Kudrny, CSc. Prameny a zdroje informací, které jsem použil k sepsání této práce, jsou uvedeny v seznamu použitých pramenů a literatury.“*

V Brně dne 17. prosince 2012

.....

podpis autora





## Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Janu Kudrnovi, CSc., Ing. Ondřeji Daškovi a Pavlu Strakovi za čas a rady, které mi poskytli během vypracování této diplomové práce. Dále bych rád poděkoval všem zaměstnancům silniční laboratoře VUT v Brně a zaměstnancům firmy Consultest s.r.o. v Brně.

V neposlední řadě bych rád věnoval tuto práci své rodině, která mě podporovala během celé délky studia.

## OBSAH

1. ÚVOD .....	16
2. CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE .....	17
3. PROBLEMATIKA VRSTEV SAL .....	19
3.1. Co je to SAL .....	19
3.2. Důvod návrhu SAL vrstvy .....	19
3.3. Aplikace vrstvy SAL .....	20
3.4. Srovnání chování při vložení nebo nevložení vrstvy SAL .....	22
4. GUMOASFALT .....	24
4.1. Co je to gumoasfalt .....	24
4.2. Pryžový granulát .....	24
4.3. Asfalt modifikovaný pryžovým granulátem .....	26
4.4. Technologie přidavku pryžového granulátu do směsi .....	26
4.4.1. Mokrý proces .....	27
4.5. Historie asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem .....	27
4.6. Příklad použití asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem v Evropě .....	30
4.7. Výroba asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem pomocí mísícího zařízení G-Asfalt .....	32
4.8. Příklady směsí s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem .....	34
4.8.1. Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy (BBTM) .....	34
4.8.2. Asfaltový koberec mastixový (SMA 8 S) .....	35
4.8.3. Asfaltový koberec drenážní (PA 8) .....	35
4.8.4. Asfaltový beton pro ložní vrstvy (ACL 16) .....	36
4.9. Výhody a nevýhody směsí s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem .....	36
4.9.1. Výhody .....	37
4.9.2. Nevýhody .....	37
5. POUŽITÉ ZKUŠEBNÍ METODY .....	38
5.1. Výroba CRmB v laboratoři .....	38
5.1.1. Popis výroby .....	38
5.2. Stanovení penetrace jehlou .....	39
5.2.1. Příprava na zkoušku .....	39

5.2.2.	Postup zkoušky .....	40
5.2.3.	Vyjádření výsledků .....	41
5.3.	Stanovení penetrace a pružné regenerace (resilience) .....	41
5.3.1.	Příprava na zkoušku .....	42
5.3.2.	Postup zkoušky .....	42
5.3.3.	Výpočet a vyhodnocení zkoušky .....	43
5.4.	Stanovení bodu měknutí – Metoda kroužek kulička .....	44
5.4.1.	Příprava na zkoušku .....	44
5.4.2.	Postup zkoušky .....	45
5.4.3.	Vyjádření výsledků .....	45
5.5.	Stanovení dynamické viskozity .....	46
5.5.1.	Příprava na zkoušku .....	46
5.5.2.	Postup měření .....	46
5.5.3.	Vyjádření výsledků .....	47
5.6.	Stanovení zrnitosti .....	47
5.6.1.	Příprava zkušebních navážek .....	47
5.6.2.	Postup zkoušky .....	48
5.6.3.	Výpočet a vyhodnocení zkoušky .....	48
5.7.	Laboratorní výroba směsi .....	48
5.7.1.	Příprava zařízení .....	49
5.7.2.	Postup výroby směsi .....	49
5.8.	Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem .....	50
5.8.1.	Příprava zkušebních těles a zařízení .....	50
5.8.2.	Postup zkoušky .....	50
5.9.	Příprava zkušebních těles zhutňovačem desek .....	52
5.9.1.	Příprava hutněné směsi a zařízení .....	53
5.9.2.	Postup hutnění .....	53
5.10.	Stanovení maximální objemové hmotnosti .....	54
5.10.1.	Příprava a postup zkoušky .....	54
5.10.2.	Výpočet .....	55
5.11.	Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa .....	56
5.11.1.	Příprava zařízení a zkušebních těles .....	56

5.11.2. Postup zkoušky .....	56
5.11.3. Výpočet .....	57
5.12. Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí .....	58
5.12.1. Příprava ke stanovení.....	58
5.12.2. Výpočet .....	58
5.13. Zkouška pojíždění kolem .....	60
5.13.1. Výroba zkušebních těles .....	60
5.13.2. Postup zkoušky .....	60
5.13.3. Výpočet a vyhodnocení zkoušky.....	61
5.14. Stanovení vlastností asfaltových směsí zkouškou v tahu za ohybu .....	62
5.14.1. Příprava zkušebních těles.....	62
5.14.2. Postup zkoušky .....	62
5.14.3. Výpočet a vyhodnocení zkoušky.....	64
5.15. Zkouška relaxace asfaltových směsí.....	65
5.15.1. Příprava zkušebních těles.....	65
5.15.2. Postup zkoušky.....	66
5.15.3. Výpočet a vyhodnocení zkoušky.....	67
5.16. Stanovení odolnosti zkušebního tělesa vůči vodě .....	68
5.16.1. Příprava zkušebních těles.....	68
5.16.2. Postup zkoušky .....	69
5.16.3. Výpočet a vyhodnocení zkoušky.....	70
5.17. Aplikace odolnosti zhutněné asfaltové směsi vůči porušení vodou a mrazem .....	70
5.17.1. Postup zkoušky .....	70
5.17.2. Vyhodnocení zkoušky .....	71
5.18. Stanovení pevnosti v příčném tahu .....	71
5.18.1. Příprava zkušebních těles a zařízení .....	71
5.18.2. Postup zkoušky.....	72
5.18.3. Výpočet a vyhodnocení zkoušky.....	72
5.19. Nízkoteplotní vlastnosti .....	73
5.19.1. Příprava zkušebních těles a zařízení .....	73
5.19.2. Postup zkoušky.....	75
5.19.3. Vyhodnocení zkoušky .....	75

5.20.	Nasákavost .....	76
5.20.1.	Postup zkoušky .....	76
5.20.2.	Vyhodnocení zkoušky .....	77
5.21.	Měření modulu tuhosti asfaltové směsi .....	78
5.21.1.	Definice .....	78
5.21.2.	Podstata zkoušky .....	79
5.21.3.	Příprava zkušebních těles a zařízení .....	79
5.21.4.	Průběh zkoušky .....	80
5.21.5.	Vyhodnocení zkoušky .....	81
5.22.	Měření únavových charakteristik.....	82
5.22.1.	Definice .....	82
5.22.2.	Postup zkoušky .....	82
5.22.3.	Vyhodnocení zkoušky .....	83
6.	POUŽITÉ MATERIÁLY .....	84
6.1.	Kamenivo.....	84
6.2.	Pryžový granulát.....	86
6.3.	Pojivo.....	87
6.4.	Asfalt modifikovaný pryžovým granulátem .....	87
6.4.1.	Stanovení penetrace jehlou .....	87
6.4.2.	Stanovení penetrace a pružné regenerace .....	88
6.4.3.	Stanovení bodu měknutí – metoda kroužek kulička .....	88
6.4.4.	Stanovení dynamické viskozity.....	89
7.	NÁVRH ASFALTOVÝCH SMĚSÍ .....	90
7.1.	Zrnitost.....	90
7.1.1.	Směs 1 .....	91
7.1.2.	Směs 2 .....	92
7.1.3.	Směs 3 .....	93
7.1.4.	Směs 4 .....	94
7.2.	Obsah pojiva .....	95
7.3.	Výrobní a zkušební teploty .....	95
8.	VÝSLEDKY ZKOUŠEK.....	96
8.1.	Maximální objemová hmotnost, objemová hmotnost a mezerovitost .....	96

8.1.1.	Směs 1 .....	96
8.1.2.	Směs 2 .....	97
8.1.3.	Směs 3 .....	99
8.1.4.	Směs 4 .....	100
8.1.5.	Srovnání mezerovitostí.....	102
8.2.	Zjištění parametrů VMA, VFB, tloušťky filmu pojiva a součinitele sytosti .....	102
8.3.	Výsledky zkoušky trvalých deformací.....	105
8.4.	Výsledky zkoušky v tahu za ohybu .....	108
8.5.	Výsledky zkoušky relaxace.....	111
8.5.1.	Směs 1 .....	111
8.5.2.	Směs 2 .....	112
8.5.3.	Směs 3 .....	115
8.5.4.	Srovnání výsledků relaxace .....	116
8.6.	Výsledky odolnosti zkušebních těles vůči vodě a mrazu.....	116
8.7.	Výsledky nízkoteplotních charakteristik směsí .....	118
8.7.1.	Směs 1 .....	118
8.7.2.	Směs 2 .....	119
8.7.3.	Směs 3 .....	120
8.7.4.	Koliště, první pokládka .....	121
8.7.5.	Srovnání výsledků nízkoteplotních charakteristik .....	122
8.8.	Výsledky zkoušky nasákavosti .....	124
8.9.	Výsledky měření modulu tuhosti asfaltové směsi.....	124
8.10.	Odolnost asfaltové směsi vůči únavě .....	126
9.	TABULKA SOUHRNÝCH VÝSLEDKŮ .....	128
10.	ZKUŠEBNÍ POKLÁDKA VRSTVY SAL .....	129
10.1.	Popis místa pokládky .....	129
10.2.	Způsob rekonstrukce .....	129
10.2.1.	Aplikace asfaltové membrány SAMI .....	129
10.2.2.	Pokládka vrstvy SAL .....	131
10.3.	Rekapitulace pokládky .....	134
11.	POUŽITÍ MATEMATICKÉHO MODELU K VYHODNOCENÍ DAT .....	135
11.1.	Popis programu LayEps .....	135



11.2.	Modelovaná konstrukce vozovky .....	136
12.	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ NÁKLADŮ VRSTVY SAL .....	140
12.1.	Ekonomické vyhodnocení matematického modelu konstrukce vozovky.....	140
12.2.	Ekonomické vyhodnocení opravy vozovky s použitím vrstvy SAL .....	141
13.	ZÁVĚR .....	142
14.	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	144
14.1.	Tiskoviny.....	144
14.2.	Seznam použitých norem a technických předpisů .....	144
14.3.	Dokumenty z internetu a elektronické příspěvky.....	146
15.	SEZNAM TABULEK .....	147
16.	SEZNAM GRAFŮ.....	149
17.	SEZNAM OBRÁZKŮ .....	151
18.	SEZNAM PŘÍLOH .....	154

## 1. ÚVOD

Doprava patří k základním potřebám lidstva. Každý z nás se s ní setkává v průběhu celého života. Největší zastoupení má doprava silniční, proto je důležité udržovat silniční síť v adekvátním stavu tak, aby splňovala požadavky všech uživatelů. V dnešní době je silniční síť stále více zatížena především těžkou nákladní dopravou, což má za následek zvyšující se požadavky na komunikace samotné. Dále je kladen důraz na snížení finančních nákladů, jednak na výstavbu samotnou, ale zejména na finance vkládané do údržby a opravy.

Pro splnění komfortu, bezpečnosti, snížení hladiny akustického hluku a snížení finančních nákladů jsou stále vyvíjeny modernější technologie. Mezi ně lze v České republice směle zařadit i pokusy modifikace asfaltového pojiva pryžovým granulátem. Tento postup, který se začal prosazovat nejprve v USA, si postupně hledá své zastánce i na starém kontinentu. Mezi průkopníky se řadí vedle Švédska i Česká republika. Jedná se o technologii, která se snaží vylepšit stávající pozemní komunikace a dále je důležité poznamenat, že se jedná o materiálové využití odpadu, který tvoří ojeté pneumatiky.

Gumoasfalt, jak je širokou veřejností přezdíván asfalt modifikovaný pryžovým granulátem, je již testován na několika zkušebních úsecích v České republice. Mezi příklady patří ulice Otakara Ševčíka v Brně nebo úsek silnice I. třídy u obce Zádveřice ve Zlínském kraji. Jedná se o úseky s použitím asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem do obrusné vrstvy. V této diplomové práci se ale budu zabývat směsí SAL, která je umístěna na podkladní nebo ložní vrstvě a má za úkol zabránit prokopírování reflexních trhlin na povrch vozovky.

Obdoba vrstvy SAL byla použita již při výstavbě některých úseků dálnice D1. Jednalo se o tenkou asfaltovou vrstvu, která byla umístěna pod cementobetonovou obrusnou vrstvou a měla za úkol zabránit prokopírování reflexních trhlin z podkladních vrstev. V posledních dnech se ze všech medií můžeme dozvědět o plánované rekonstrukci této dálnice, která je tepnou mezi největšími městy v České republice – Prahou a Brnem. I zde by případné použití vrstvy SAL mělo být uvažováno, jelikož se jeví jako opodstatněná ochrana proti kopírování trhlin, které může zejména u cementobetonových vozovek znamenat náhlé snížení životnosti. Počáteční náklady mohou být vyšší, ale prostředky, které se ušetří během oprav a rekonstrukcí se vrátí. První pokusný úsek vrstvy SAL s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem byl navržen dle diplomové práce a nachází v Brně na ulici Koliště.



## 2. CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem diplomové práce je zpracovat přehled možností použití asfaltových směsí pro asfaltové vrstvy se zvýšenou odolností proti šíření trhlin (SAL) a dále by měly být určeny zásady pro návrh těchto směsí.

V praktické části bude navržena směs SAL s odlišným vedením čáry zrnitosti a různým dávkováním asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem s použitím Marshallovy zkoušky podle TP 147 a TP 148. Na laboratorně připravených tělesech budou stanoveny volumetrické charakteristiky, odolnost vůči vzniku trvalých deformací, nízkoteplotní charakteristiky a případně provedena zkouška v tahu za ohybu podle TP 151 včetně zpracování a vyjádření výsledků.

Dle zadání byly provedeny zkoušky dle platných českých norem, a to především z řady ČSN EN 12697 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka. Mezi použité zkoušky patří:

- a) Laboratorní výroba směsi dle ČSN EN 12697-35+A1
- b) Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem dle ČSN EN 12697-30+A1
- c) Příprava zkušebních těles zhutňovačem desek dle ČSN EN 12697-33+A1
- d) Stanovení maximální objemové hmotnosti dle ČSN EN 12697-5+A1
- e) Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa dle ČSN EN 12697-6+A1
- f) Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí dle ČSN EN 12697-8
- g) Zkouška poježdění kolem dle ČSN EN 12697-22+A1
- h) Nízkoteplotní vlastnosti dle EN 12697-46
- i) Stanovení vlastností asfaltových směsí zkouškou v tahu za ohybu dle TP 151

Nad rámec zadání diplomové práce byly provedeny zkoušky:

- j) Zkouška relaxace asfaltových směsí dle TP 151
- k) Stanovení odolnosti zkušebního tělesa vůči vodě dle ČSN EN 12697-12
- l) Aplikace odolnosti zhutněné asfaltové směsi vůči porušení vodou a mrazem dle aplikace předpisu AASHTO T 283
- m) Stanovení pevnosti v příčném tahu dle ČSN EN 12697-23
- n) Nasákavost dle ČSN 73 6160
- o) Měření modulu tuhosti asfaltové směsi dle ČSN EN 12697-26

p) Měření únavových charakteristik dle ČSN EN 12697-24

V diplomové práci byly nakonec zkoušeny čtyři rozdílné směsi vrstvy SAL, které se lišily především navrženou čarou zrnitosti. Pro jednotlivé směsi bylo charakteristicky vybráno 10 % pojiva a u směsi 2 bylo v některých zkouškách aplikováno i množství 12 % pojiva. V červenci roku 2012 byla jedna z vybraných směsí položena na ulici Koliště v Brně.

Dále byl nad rámec diplomové práce vyhotoven matematický model, pomocí něhož byly posouzeny navržené vozovky s a bez vrstvy SAL, a byla orientačně zjištěna cena takových konstrukcí.

Závěrem diplomové práce by tedy měl být ucelený souhrn výsledků, které umožní použití a technické a ekonomické posouzení vrstev se zvýšenou odolností proti šíření trhlin (SAL) ve vozovce.

### 3. PROBLEMATIKA VRSTEV SAL

#### 3.1. Co je to SAL<sup>1</sup>

Nejprve by bylo vhodné nastínit, co znamená SAL. Jedná se o zkratku z anglického Stress Absorbing Layer, tedy SAL. V češtině je tato vrstva označována jako Asfaltová vrstva se zvýšenou odolností proti šíření trhlin. Vrstva tedy nepřenáší pohyby spodní vrstvy vozovky s trhlinami do vrstev vyšších.

SAL se navrhuje jako vrstva nebo případně mezivrstva z asfaltových směsí se zvýšenou odolností proti prokopírování a šíření trhlin, což je dáno vynikajícími únavovými a nízkoteplotními charakteristikami. Jde o speciálně pro tyto účely navrženou směs typu asfaltový koberec tenký, mikrokoberec nebo popřípadě nátěr. Vrstva má za nízkých teplot několikanásobně větší pružnost než vrstvy z běžných směsí nebo materiálů, což přispívá ke zpomalení šíření trhlin z pod ní ležících vrstev. Vrstva SAL se navrhuje dle TP 147 – Užití asfaltových membrán a geosyntetik v konstrukci vozovky.

#### 3.2. Důvod návrhu SAL vrstvy

Vrstva SAL je vyvíjena především z důvodu nekopírování reflexních trhlin z podkladních vrstev do obrusných vrstev. Tento problém je charakteristický zejména pro vozovky cementobetonové, které jsou posléze překryty netuhými vrstvami. V cementobetonových vrstvách se nacházejí dilatační spáry, které se snadno prokopírují do dalších vrstev. Tomuto jevu mají za úkol zabránit vrstvy na bázi SAL.



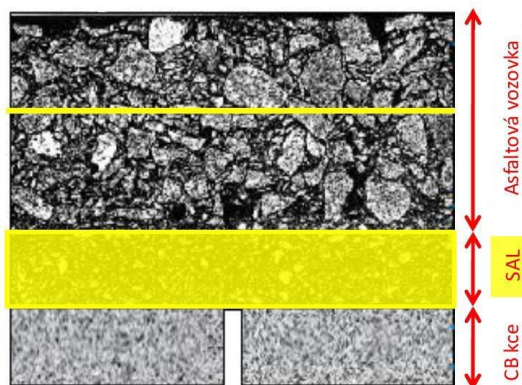
Obrázek 1: Rozdíl při použití a nepoužití vrstvy SAL, Zdroj: SemMaterials<sup>SM</sup>

<sup>1</sup> TP 147. *Užití asfaltových membrán a geosyntetik v konstrukci vozovky*. Brno: Ministerstvo dopravy, 2010.

V České republice se nachází velké množství úseků, kde je cementobetonová vozovka v havarijním stavu. Jejím hlavním představitelem je dálniční tepna mezi Prahou a Brnem (D1), i zde by při plánované rekonstrukci bylo vhodné zvážit, zda použít vrstvu SAL pro opravu vozovky. Obrázek 1 znázorňuje rozdíl mezi použitím nebo respektive nepoužitím vrstvy SAL a zároveň znázorňuje hlavní výhodu této směsi. V levé části je znázorněna spára na cementobetonové vozovce, která byla posléze překryta netuhou konstrukcí vozovky. Ve spodní části byla využita vrstva SAL a naopak v horní části od ní bylo upuštěno. Z druhé části fotografie je zřejmé, že v místě kde nebyla použita vrstva SAL, se trhлина prokopírovala až na povrch vozovky. Naopak u části, kde byla použita vrstva SAL, se trhлина na povrch neprokopírovala.

### 3.3. Aplikace vrstvy SAL

Vrstva SAL se umísťuje pod ložní, podkladní nebo výjimečně pod obrusnou vrstvu. Lze jí s výhodou použít i u návrhu s cementobetonovým krytem. Používá se v tloušťce 15 mm až 30 mm, kdy lze SAL použít i jako vrstvu vyrovnávací. Dle požadavků TP 147 musí být vrstva SAL překryta nejméně 90 mm asfaltových vrstev, u nižších vrstev musí být prokázána zkouška vyjetých kolejí u celého souvrství. SAL lze pokládat jak na podklady z hydraulicky stmelených vrstev, tak i na asfaltové úpravy. V obou případech se navrhuje spojovací postřík z modifikované asfaltové emulze. Podkladní plocha pod vrstvou musí být dostatečně zhutněná a pevná. Podklad musí být čistý s opravenými a ošetřenými výtluky, trhlinami a spárami. Vrstva SAL se předhutňuje pracovním ústrojím finišeru na cca 85 % míry zhutnění. Za finišerem se vrstva zhutní válci s hladkými ocelovými běhouny. Při zhutňování nesmí docházet k nežádoucímu vystupování asfaltového tmelu na povrch zhutněné vrstvy.<sup>2</sup>



Obrázek 2: Znázornění vložení vrstvy SAL mezi tuhou a netuhou vozovku, Zdroj: Stoklásek Svatopluk

<sup>2</sup> Ibid.

Dle požadavků ve Spojených státech amerických vznikla vrstva s označením STRATA – crack relief layer (CRL), která je navržena dle níže popsaného zadávacího protokolu. Jedná se o jemnozrnnou směs za horka vyráběné asfaltové směsi (HMA), která se aplikuje v tloušťce 25 mm. Obsahuje vysoce elastické pojivo a má nízkou mezerovitost, čímž je nepropustná pro vodu. Další výhodou je její recyklovatelnost. Indukční doba pro šíření trhlin je 5 let. Na vrstvu CRL se aplikuje vrstva běžné asfaltové směsi, která musí mít minimální tloušťku 75 mm. Pokud se vrstva CRL provede na vrstvu z cementobetonu (v USA značena jako PCC – Portland Cement Concrete), je nutné aplikovat emulzní postřik.<sup>3</sup>

Srovnání návrhu SAL dle zadávacího protokolu v USA a dle TP 147.<sup>4</sup>

Tabulka 1: Porovnání zadávacího protokolu v USA a TP 147, Zdroj: Stoklásek Svatopluk

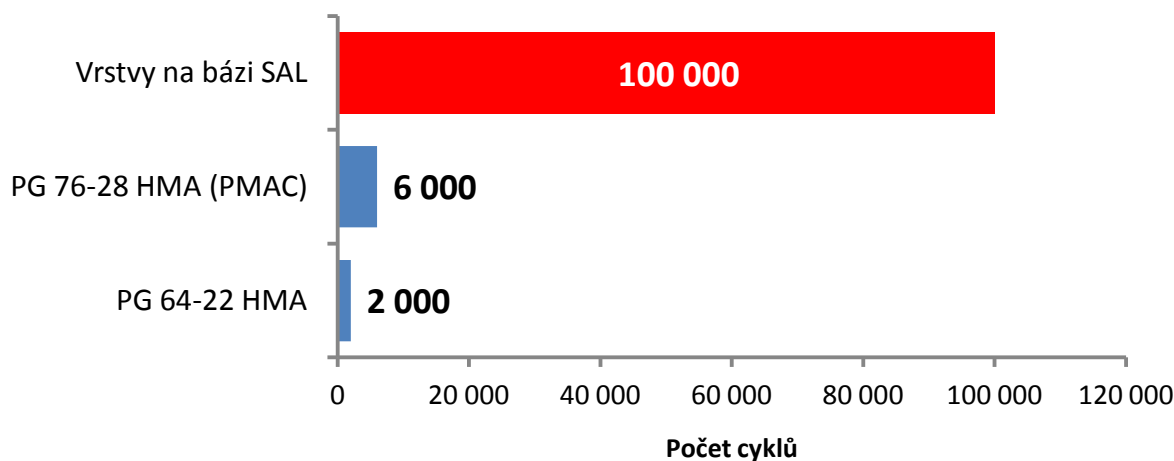
Spojené státy americké - zadávací protokol					Česká republika - TP 147			
Síto (ASTM systém)			Zrnitost - mezní hodnoty (%)		Síto (ČSN EN systém)		Zrnitost - mezní hodnoty (%)	
			Dolní	Horní			Dolní	Horní
(3/8 inch)	mm	9,5	100	100	11	mm	100	100
No. 4	mm	4,75	80	100	8	mm	98	100
No. 8	mm	2,36	60	85	4	mm	-	-
No. 16	mm	1,18	40	70	2	mm	55	75
No. 30	μm	600	25	55	1	mm	-	-
No. 50	μm	300	15	35	0,5	mm	-	-
No. 100	μm	150	8	20	0,125	mm	8	20
No. 200	μm	75	6	14	0,063	mm	min. 10	
Hutnění Gyrator N <sub>max</sub> = 50			50 cyklů		Hutnění Marsch. pěchem			2 x 50
Pojivo			PG 70 - 22		Mezerovitost			1,0 - 3,0 %
Pojivo množství			8,0 - 10,0 %		Koeficient sytosti (ČSN 73 6160)			min. 4.6
Mezerovitost			0,5 - 2,5 %		Obsah modifikovaného pojiva			min. 8,2 %
Mezerovitost směsi kameniva			16%		Mezerovitost směsi kameniva			min. 17,5 %
Únavové vlastnosti (AASHOTO TP-8) 200 με, 10 Hz, 15 °C, 3,0 ± % AVC průměr ze dvou vzorků			100 000 cyklů		Odolnost proti tvorbě trvalých deformací při 40°C			
					PRD <sub>AIR</sub>			max. 8,0 %
					WTS <sub>AIR</sub>			max. 0,08 mm

<sup>3</sup> STOKLÁSEK, Svatopluk. *Použití asfaltových vrstev se zvýšenou odolností proti šíření trhlin (SAL)*. 2011.

<sup>4</sup> Ibid.

### 3.4. Srovnání chování při vložení nebo nevložení vrstvy SAL<sup>5</sup>

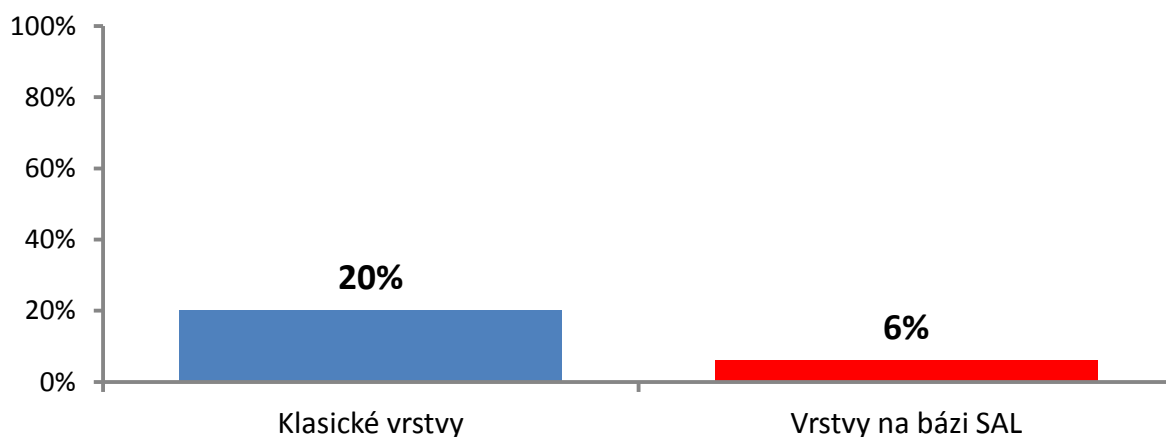
V České republice nejsou prozatím s vrstvou SAL adekvátní zkušenosti, proto se v této kapitole budu věnovat výsledkům amerického výzkumu, který se zabýval otázkou rozdílu, kdy vložíme do konstrukce vozovky vrstvu SAL nebo kdy ji naopak nevložíme. Jak již bylo zmiňováno výše, při použití vrstvy SAL omezíme šíření reflexních trhlin. Graf 1 znázorňuje poměr počtu cyklů, po kterých se průměrně vozovka poruší trhlinou.



Graf 1: Poměr počtu cyklů, které jsou potřeba na porušení, Zdroj: SemMaterials<sup>SM</sup>

Na dalším snímku (Graf 2) je popsáno procento reflexních trhlin, které vznikly za jeden rok. Opět je zde srovnána klasická vrstva, která dle průzkumu měla 20 % poruch. Naopak konstrukce, kde byla použita vrstva na bázi SAL, měla pouze 6 % poruch. Data jsou posbíraná z 15 různých projektů po pěti letech od uvedení do provozu.

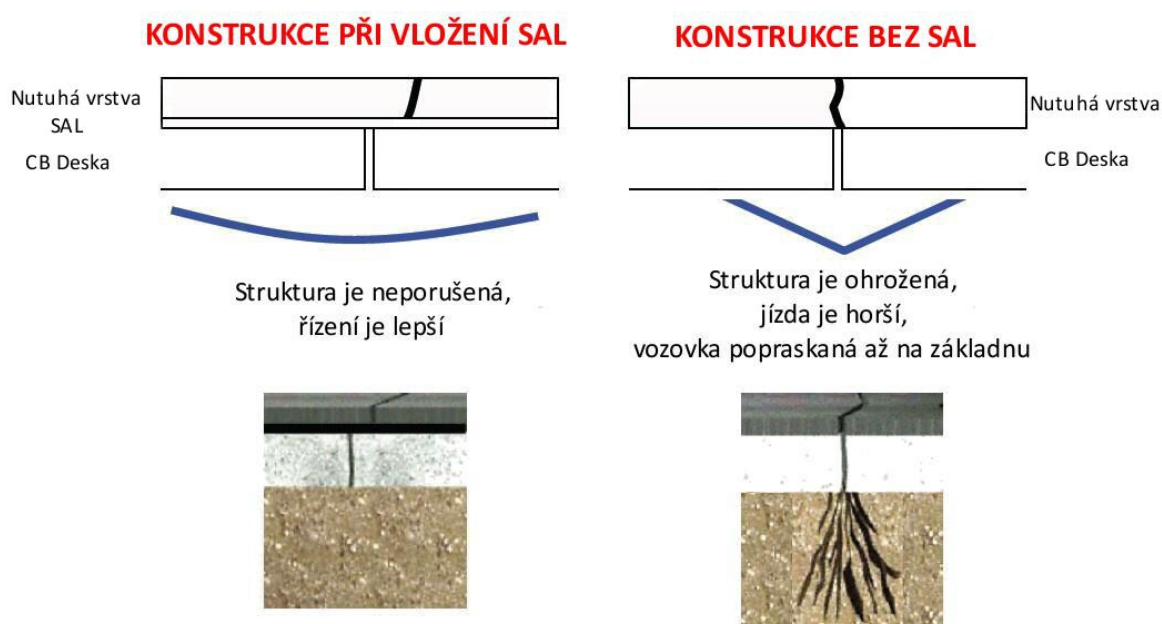
#### Procentuální porušení reflexní trhlinou za jeden rok



Graf 2: Procentuální porušení reflexní trhlinou za jeden rok, Zdroj: SemMaterials<sup>SM</sup>

<sup>5</sup> KING, Helen. SEMMATERIALS. *Strata – Reflective Crack Relief System*. 2006.

Z výsledků je zřejmé, že konstrukce s použitím vrstvy na bázi SAL daleko lépe odolává reflexním trhlinám. Dalším velice důležitým parametrem je místo reflexní trhliny v obrusné vrstvě vůči podkladní vrstvě. U klasického souvrství bez použití vrstvy SAL se trhlinka prokopává nad spárou v cementobetonové vrstvě. Tento fakt má za následek, že se do podloží snáze dostane voda. Naopak u konstrukce, kde se vloží vrstva SAL, je bod lomu posunut od dilatační spáry cementobetonové vrstvy. To má za následek, že voda z povrchu vozovky se nedostane do podloží a je zvýšena životnost vozovky. Tento fakt je znázorněn na následujícím schématu (Obrázek 3).



Obrázek 3: Schéma porušení vozovky s nebo bez vrstvy SAL, Zdroj: SemMaterials<sup>SM</sup>

## 4. GUMOASFALT

### 4.1. Co je to gumoasfalt

Zjednodušeně lze říci, že gumoasfalt je asfaltové pojivo, které obsahuje pryžový granulát. Používá se jako pojivo pro různé typy netuhých vozovek včetně údržby povrchů. Dle amerických předpisů ASTM D 6114 (Standard Specification for Asphalt Rubber Binder) by mělo být v asfaltu minimálně 15 % drcené pryže počítáno na hmotnost asfaltového pojiva. Dále by měl být dle tohoto předpisu asfalt modifikovaný pryžovým granulátem připraven výhradně mokřím procesem (wet process), o kterém bude pojednáno níže. Do směsi lze vhodně přidat různé ropné destiláty nebo oleje, které slouží například ke snížení viskozity, usnadnění nanášení postřiků nebo ke zlepšení zpracovatelnosti. Asfalt modifikovaný pryžovým granulátem se vyrábí za zvýšené teploty, která by měla být vyšší než 177 °C. Při výrobě je důležité, aby pojivo s pryžovým granulátem bylo stále mícháno. Tím se zajistí vznik fyzikálních vazeb mezi silničním asfaltem a pryží a taktéž zajistíme, aby pryž byla rovnoměrně rozptýlena.<sup>6</sup>

### 4.2. Pryžový granulát

Pryžový granulát, který se využívá jako přísada do silničního asfaltu, se nejčastěji získává z ojetých pneumatik, což patří mezi nejvýznamnější výhody této technologie, jelikož se omezí růst skládek s pneumatikami. Pneumatiky lze taktéž využít jako palivo, avšak materiálovému využití se dává přednost. Pryžový granulát se z pneumatik získává mechanickým vícenásobným drcením, které probíhá za běžné teploty. Dále je též umožněno získávat drcený materiál kryogenním drcením pryže, ke kterému je využíván kapalný dusík. Při mikroskopickém přiblížení lze zjistit, že zrna pryže vyráběné při běžné teplotě mají svůj povrch více členěný a lze je přirovnat ke sněhové vločce, kdežto zrna získaná při kryogenním drcení, mají svůj povrch hladký. Dále je důležité, aby byly využity pouze vhodné pneumatiky. Například pneumatiky letadel nebo strojů pro zemní práce nemusí obsahovat složky vhodné pro asfalt modifikovaný pryžovým granulátem.<sup>7</sup>

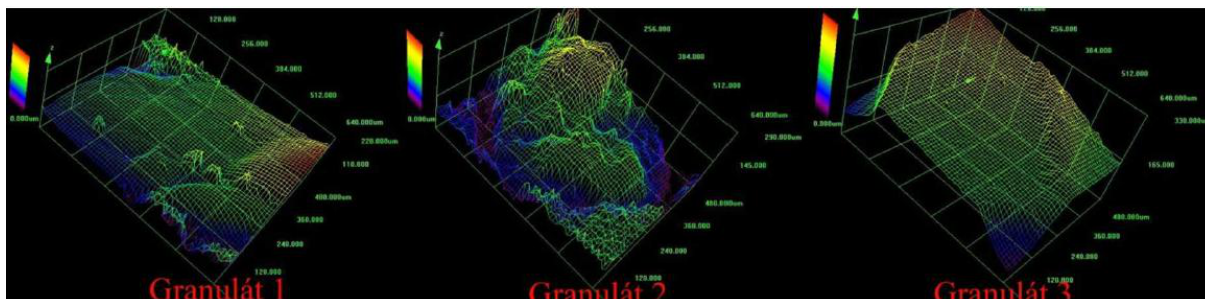
---

<sup>6</sup> STATE OF CALIFORNIA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. *Asphalt Rubber Usage Guide* [online]. Sacramento, California 95819, 2006 [cit. 2012-08-21]. Dostupné z: <http://1url.cz/91ut>

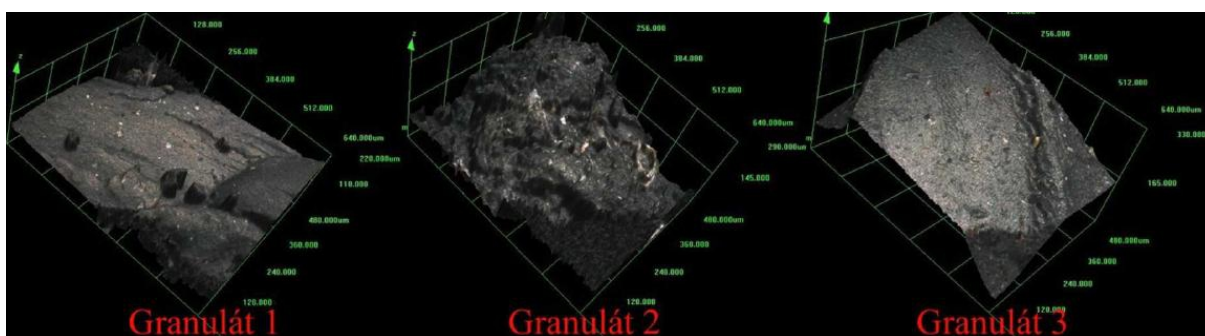
<sup>7</sup> KUDRNA, Jan a Ondřej DAŠEK. Využití gumoasfaltového pojiva do obrusných vrstev vozovek. *Časopis Stavebnictví* [online]. 2007, 06-7/07 [cit. 2012-08-21]. Dostupné z: <http://1url.cz/g1uM>



Na následujících obrázcích (Obrázek 4 a Obrázek 5) můžeme vidět mikroskopické přiblížení třech druhů granulátů. Granulát číslo 1 je získán vícenásobným mechanickým drcením za normální teploty, granulát 2 je získán kalandrováním a nakonec granulát 3 je získán při kryogenním drcení pryže.



Obrázek 4: Nitkové grafy povrchů zrn jednotlivých granulátů, Zdroj: Dašek Ondřej



Obrázek 5: Trojrozměrné grafy jednotlivých granulátů v reálných barvách, Zdroj: Dašek Ondřej

Dle předpisu ASTM D 6114 musí být pryž zbavena drátků a všech kontaminujících přísad. Americká norma 1009 ASRM rozlišuje pro použití dva typy pryžových granulátů (A, B), jež se rozlišují stupněm jakosti, který je testován pomocí Arizonské zkušební metody.<sup>8</sup>

Příklad automatické linky, kterou nabízí americká firma Phoenix Industries, je znázorněn níže (Obrázek 6).



Obrázek 6: Automatická linka na výrobu pryžového granulátu, Zdroj: Phoenix Industries

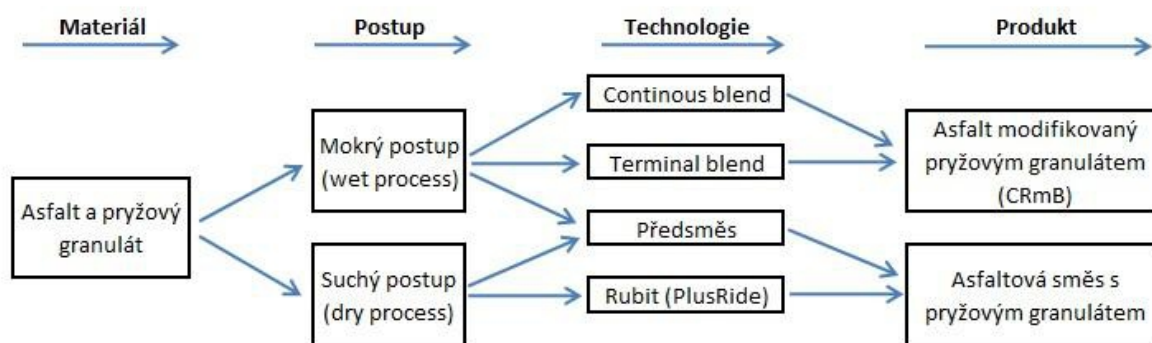
<sup>8</sup> 1009ASRM. *Standard Specification for Asphalt-Rubber Binder*. West Conshohocken: ASTM International, 2002.

### 4.3. Asfalt modifikovaný pryžovým granulátem

Dle předpisů 1009 ASRM lze použít do konstrukce vozovky tři druhy asfaltových pojiv, a to dle klimatických podmínek.<sup>9</sup> V České republice odpovídají této normě silniční asfalty s označením 50/70 nebo případně 70/100. Při výrobě v mísícím zařízení je do asfaltového pojiva postupně vmíchán pryžový granulát v množství 15 % až 20 % z hmotnosti pojiva, čímž se zvýší viskozita pojiva a pryžový granulát začne v pojivu reagovat a bobtnat. Asfalt modifikovaný pryžovým granulátem se přesune do dávkovací nádrže, dále se promíchá a čerpá zubovým čerpadlem k dávkovacímu zařízení v obalovně. Tento proces trvá zhruba 45 až 90 minut a je prováděn při teplotě 175 °C. Při tomto procesu se výrazně mění vlastnosti pojiva, zvýší se viskozita, sníží se penetrace a zvýší se bod měknutí. Především dynamickou viskozitu je nutné pečlivě kontrolovat pomocí rotačního vřetenového viskozimetru. Při nižší teplotě (méně než 160 °C) je uváděno, že se asfalt modifikovaný pryžovým granulátem může dlouhodobě skladovat a na požadovanou teplotu je nahříván dle potřeby.<sup>10</sup>

### 4.4. Technologie přidavku pryžového granulátu do směsi

Jak již bylo nastíněno, rozlišujeme dva základní postupy přidání pryžového granulátu do asfaltu, které můžeme rozdělit na suchý a mokrý proces.



Obrázek 7: Znázornění přidání pryžového granulátu do asfaltového pojiva, Zdroj: Dašek Ondřej

První technologie přidavku pryžového granulátu do směsi označovaná jako suchý proces (dry process) se provádí tak, že přidáme pryžový granulát o frakci 0/4 mm přímo do míchačky obalovny společně s kamenivem. Tento způsob se uplatňoval v České republice

<sup>9</sup> 1009ASRM. *Standard Specification for Asphalt-Rubber Binder*. West Conshohocken: ASTM International, 2002.

<sup>10</sup> KUDRNA, Jan a Ondřej DAŠEK. Využití gumoasfaltového pojiva do obrusných vrstev vozovek. *Časopis Stavebnictví* [online]. 2007, 06-7/07 [cit. 2012-08-21]. Dostupné z: <http://1url.cz/g1uM>

v letech 1998 až 2002, ale poté se od něj ustoupilo, jelikož byl s ohledem na nedostatečnou životnost vhodnější druhý způsob. Druhý proces, který se označuje jako mokrý (wet process), probíhá vmícháním pryžového granulátu do asfaltového pojiva.<sup>11</sup> Při této metodě se výroba asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem provádí ve speciálních míchacích zařízeních, které bývají hovorově označovány jako „blendery“. V těchto zařízeních se pryžový granulát přidává do asfaltu, po reakci mezi asfaltem a pryžovým granulátem se pojivo přesune do dávkovacího zařízení obalovny s přímým dávkováním do míchačky. Výstižný přehled známých postupů znázorňuje Obrázek 7.

#### **4.4.1. Mokrý proces**

Mezi používané metody, které jsou vyvinuty na bázi mokrého procesu, patří například metoda Continuous Blend. Tento způsob funguje tak, že se pojivo vyrobí v míchacím zařízení vyrábějícím CRmB, které je přistaveno přímo u obalovny. Dávkuje se 15 % až 25 % pryžového granulátu při teplotě 170 °C až 180 °C. Dalším způsobem je metoda Terminal Blend. Zde se pryž dávkuje přímo v rafinérii podobně jako například modifikační přísady do polymerem modifikovaných asfaltů. V tomto postupu se obvykle dávkuje 5 % až 15 % pryžového granulátu a vhodné chemické přísady. Sypký asfaltový koncentrát CRmB obsahující 30 % až 50 % pryžového granulátu je kombinací suchého procesu a metody Terminal Blend.<sup>12</sup>

#### **4.5. Historie asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem**

Gumoasfalt se začal uplatňovat koncem třicátých let 20. století v USA. Nejprve se tento materiál používal pro spojovací nátěry, vysprávký a membrány. Po roce 1950 Lewis a Welborn, kteří pracovali v úřadu státních silnic, započali rozsáhlý laboratorní výzkum, jenž měl za úkol zjištění vlivu různých pryží na vlastnosti ropných asfaltů. Dvojice použila pro svůj výzkum 14 druhů pryžové drti a tři druhy asfaltů. Mezi ně patřil například kalifornský asfalt, který se vyznačoval nízkou objemovou hmotností, nízkým obsahem síry a dále nízkým obsahem asfalténů. Výsledky byly publikovány v roce 1954 v Public Roads společně s výzkumem, který prováděli Reck a Peck. Výzkum se zabýval nejrůznějšími pryžovými materiály včetně pryže získané z pneumatik. Dále se výzkum zabýval možností přidání pryže

<sup>11</sup>Kudrna, J.: Využití ojetých pneumatik ve stavbě PK, Sborník Recyklace a využití druhotných surovin při stavbě a opravě pozemních komunikací, VUT FAST, 2006

<sup>12</sup>DAŠEK, Ondřej. *Gumoasfalt: Asfalt modifikovaný pryžovým granulátem*. Brno. Presentace. VUT v Brně, Fakulta stavební.

do směsi mokrým i suchým způsobem. Jelikož se asfalt modifikovaný pryžovým granulátem stal v USA velmi populární, uspořádala asfaltérská společnost Asphalt Institute první konferenci na toto téma v roce 1960 v Chicagu. Na konferenci bylo představeno celkem pět příspěvků.<sup>13</sup>

Využití gumoasfaltu v silniční praxi se začíná znatelně rozmáhat v roce 1960, kdy Charles H. McDonald přišel s nápadem přidat pryž z ojetých pneumatik do asfaltového pojiva. Zároveň je tento autor označován za zakladatele mokrého procesu (wet process). McDonald poprvé použil asfaltové pojivo s přídavkem pryže pro opravu malého úseku komunikace ve Phoenixu v Arizoně v roce 1963. První větší nátěr na vozovku byl proveden v roce 1967, tento pokus ovšem nepřinesl přesvědčivé výsledky, a to s ohledem na vysokou viskozitu použitého pojiva. Po menší dávce pryžového granulátu a při použití ředidel byly ovšem nakonec úspěšně provedeny velkoplošné nátěry v roce 1970.<sup>14</sup>

Předešlý způsob se nakonec stal základem pro dnes již známou metodu SAM (stress absorbing membrane) a dále se začal používat i pro mezivrstvy s označení SAMI (stress absorbing membrane interlayer). V Arizoně byla použita první SAMI v roce 1972 jako součást projektu, který se zabýval snížením šíření reflexních trhlin ve vozovce. Vrstva SAMI se stala velmi populární a vhodná pro řešení problémů s trhlinami. Technologie se postupem času rozšířila i do dalších zemí včetně České republiky. Například vrstva SAMI s přídavkem pryžového granulátu byla použita při pokládce v Brně, ulice Koliště, v roce 2012. O této pokládce bude pojednáno v kapitole 10.<sup>15</sup>

Na konci sedmdesátých let začala Arizona Department of Transportation (ADOT) financovat komplexní výzkumný program pro porozumění mokrému procesu (wet process).<sup>16</sup> Arizona Department of Transportation (ADOT) je obdoba pro nás známá jako ministerstvo dopravy a je zodpovědná za plánování, výstavbu a provoz dálnic v Arizoně.<sup>17</sup> Její výzkum nakonec ukázal, že vlastnosti asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem jsou závislé

<sup>13</sup> STATE OF CALIFORNIA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. *Asphalt Rubber Usage Guide* [online]. Sacramento, California 95819, 2006 [cit. 2012-08-21]. Dostupné z: <http://1url.cz/91ut>

<sup>14</sup> History of asphalt pavement. *Asphalt Rubber.org* [online]. [cit. 2012-08-16]. Dostupné z: [http://www.asphalt Rubber.org/library/lcca\\_australia/history.html](http://www.asphalt Rubber.org/library/lcca_australia/history.html)

<sup>15</sup> Ibid.

<sup>16</sup> EPPS, JON A. *Uses of Recycled Rubber Tires in Highways: NCHRP Synthesis 198* [online]. Washington, D.C.: NATIONAL ACADEMY PRESS, 1994 [cit. 2012-08-16]. ISBN 0-309-05323-4. Dostupné z: [http://asphalt Rubber.org/ARTIC/RPA\\_A1021.pdf](http://asphalt Rubber.org/ARTIC/RPA_A1021.pdf)

<sup>17</sup> About ADOT. *Arizona Department of Transportation* [online]. [cit. 2012-08-16]. Dostupné z: [http://www.azdot.gov/Index\\_docs/About\\_ADOT.asp](http://www.azdot.gov/Index_docs/About_ADOT.asp)

na typu, frakci a koncentraci pryže, dále na typu použitého asfaltu a jeho množství, na typu a koncentraci rozpouštědla, na reakčním čase a na teplotě.<sup>18</sup>

Dalším způsobem přidání pryže do asfaltu je takzvaný suchý proces (dry process), který byl používán v šedesátých letech pro sportovní plochy a chodníky. Proces vyvinula společnost U.S. Rubber Reclaiming of Vicksburg v Mississippi. První pokusy byly provedeny v Mississippi v roce 1968. Suchý proces, který se poté často používal v USA, byl vyvinut ve Švédsku v pozdních šedesátých letech. Produkt byl uveden na trh pod názvem PlusRide.<sup>19</sup>



Obrázek 8: Směs z gumoasfaltu lze použít i v náročných klimatických podmínkách, Zdroj: Rubber Pavements Association

V roce 1975 California Department of Transportation (Caltrans) začala v laboratoři experimentovat s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem a využívala jej především pro lokální opravy. První vozovka s pryžovým granulátem, který byl přidán suchým procesem, byla položena v roce 1975 nedaleko Myers Flat v Kalifornii. Do kameniva bylo přidáno jedno procento drcené pryže před smícháním s asfaltem a výsledek experimentu byl označen jako úspěšný. Dalším pokusem byla pokládka asfaltového betonu modifikovaného pryžovým granulátem v Strawberry a Donner Summit v Kalifornii, který byl vyroben pomocí mokrého procesu. Jednalo se o místa ve vyšších polohách, kde jsou často využívány sněhové řetězy. V projektu Strawberry se jednalo o nouzovou opravu porušené vozovky. V opravě byla

<sup>18</sup> EPPS, JON A. *Uses of Recycled Rubber Tires in Highways: NCHRP Synthesis 198* [online]. Washington, D.C.: NATIONAL ACADEMY PRESS, 1994 [cit. 2012-08-16]. ISBN 0-309-05323-4. Dostupné z:

[http://asphaltrubber.org/ARTIC/RPA\\_A1021.pdf](http://asphaltrubber.org/ARTIC/RPA_A1021.pdf)

<sup>19</sup> Ibid.

použita vyztužená tkanina a 60 mm vrstvy dense-graded asphalt concrete (DGAC), což je vrstva na způsob asfaltového betonu. Jako ohrubná vrstva byla o tloušťce 30 mm použita Rubberized asphalt concrete (RAC). Jedná se o asfaltový beton s malým množstvím přidané pryže s kamenivem. Tato vrstva údajně dobře odolává obrusu sněhovými řetězy a reflexním trhlinám.<sup>20</sup>

Průlomem při porovnání asfaltových směsí modifikovaných pryžovým granulátem a standardních směsí byl projekt Ravendale z roku 1983. Projekt měl za úkol řešit ekonomickou výhodnost vrstev RAC vůči vrstvě DGAC. Projekt byl uskutečněn tak, že bylo provedeno 13 testovacích úseků, které se od sebe lišily dvěma různými tloušťkami. Zkušební úseky byly sledovány v průběhu času. Úseky se suchým procesem přetrvaly přes 19 let, než byly překryty v roce 2002. Z výzkumu je zřejmé, že tenčí vrstvy z RAC jsou výhodnější než tlustší z DGAC. Od roku 1995 do roku 2005 bylo dokončeno společností Caltrans více než 100 RAC projektů a města a okresy v Kalifornii do této doby uskutečnily více než 400 projektů s využitím asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem. Ačkoliv se během této doby vyskytly nějaké problémy, jako například předčasné poruchy, zhodnotili inženýři tuto metodu jako vhodnou. Nejčastější poruchy se týkaly problému, že mnoho zhotovitelů mělo malé nebo žádné zkušenosti s prací s RAC. Dále bylo velice příjemné zjištění, že poruchy v RAC vozovkách se vyskytovaly mnohem méně, než se původně očekávalo. V mnoha případech, kde se předčasně objevily trhliny, bylo zapotřebí relativně menší údržby k dosažení životnosti, jelikož následné porušení se vyvíjelo pomaleji.<sup>21</sup>

#### 4.6. Příklad použití asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem v Evropě<sup>22</sup>

V srpnu roku 2007 Phoenix Industries pronajala jednu ze svých mobilních jednotek pro výrobu gumoasfaltu do Švédska, kde byly naplánovány dvě zkušební pokládky. První poblíž Jonkopingu v centrální části země a druhá poblíž města Malmö na jihu Švédska.

První projekt byl proveden s využitím hot in-place recycling (recyklace provedená na místě za horka). Tento proces je ve Švédsku stále více populární. Proces zahrnuje nejprve předeřhátí vozovky pomocí infrazářičů, následuje rozpojení předeřhátého povrchu

<sup>20</sup> STATE OF CALIFORNIA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. *Asphalt Rubber Usage Guide* [online]. Sacramento, California 95819, 2006 [cit. 2012-08-21]. Dostupné z: <http://1url.cz/91ut>

<sup>21</sup> Ibid.

<sup>22</sup> PHOENIX INDUSTRIES. European Countries Go green with Paving. *Phoenix Industries* [online]. 2009 [cit. 2012-08-22]. Dostupné z: <http://www.phoenixindustries.com/images/European%20Countries%20Go%20green.pdf>

remixérem, poté promíchání asfaltové směsi a její položení pomocí finišeru. Ve stejném pracovním postupu byla vozovka navýšena o 30 mm vrstvou z gumoasfaltu. Jelikož se obě vrstvy pokládají ve stejné pracovní fázi, jsou na závěr hutněny současně.

Směs byla vyrobena na obalovně firmy SKANSKA. Složení směsi bylo obdobné klasické směsi SMA (asfaltový koberec mastixový), který se ve Švédsku často používá. Návrh předpokládal otevřenou zrnitost kameniva a musel se mírně lišit od standardní SMA s ohledem na vlastnosti pryže. S přihlédnutím na zimní měsíce ve Švédsku, které umožňují použití speciálních pneumatik s hroty, byla mezerovitost směsi navržena menší než 4,5 %.



Obrázek 9: Připojení mísícího zařízení AR 150M k obalovně Skanska poblíž Jonkopingu ve Švédsku,  
Zdroj: Phoenix Industries

Projekt nedaleko Malmö měl za úkol především zmírnit šíření reflexních trhlin. Dále byly vyzkoušeny výhody asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem s ohledem na hlučnost povrchu. To znamená, že navržená směs obsahovala 15 % vzduchových pórů.

Pokusné úseky, které měl na starost tým okolo Thorstena Nordgrena, byly nakonec hodnoceny jako prozatímně pozitivní s tím, že bude nutné nadále sledovat stav pokusných úseků. Švédsko je všeobecně velmi nakloněno k ochraně přírody, a proto se dá očekávat, že využití pryže ve vozovkách čeká v případě solidních výsledků zajímavá budoucnost.

V létě roku 2007 se dostaly další dvě mísící zařízení firmy Phoenix Industries do Evropy, a to konkrétně do polského města Wroclaw a dále do České republiky. V obou zemích měla koupě zařízení podporu místních univerzit, ve Wroclawi spolupracovala firma s Dr. Henrykem Kobem a v ČR na VUT s prof. Kudrnou a na ČVUT s doc. Ing. Otakarem

Vacínem, Ph.D. Obrázek 10 ukazuje mísící zařízení Reimo, které se jako první využívalo v České republice.



Obrázek 10: Mísící zařízení Reimo, Zdroj: Dašek Ondřej

#### 4.7. Výroba asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem pomocí mísícího zařízení G-Asfalt

Dále bude popsáno fungování mísícího zařízení, které se v současné době používá v České republice. Jedná se o zařízení, které patří firmě G Asfalt a v době sepsání této diplomové práce bylo připojeno k obalovně v Rajhradcích.



Obrázek 11: Mísící zařízení G-ASFALT



Mísící zařízení, které se hovorově přezdívá „blender“, bylo vyrobeno firmou ASKOM a.s. v roce 2011. Jedná se o druhé zařízení svého druhu v České republice a vůbec první, které bylo v České republice navrženo. Proto se dá říct, že se jedná o prototyp, který je teprve ve zkušebním provozu. Zařízení znázorňuje Obrázek 11.



Obrázek 12: Velkoobjemový pytel s pryžovým granulátem, který je pomocí zvedacího zařízení zvedán do násypky

Obrázek 13: Granulát na záchytném sítě

Jakým způsobem funguje mísící zařízení? V prvním kroku je do směšovací nádrže čerpán asfalt a šnekovým dopravníkem dávkován pryžový granulát z násypky, který je k blenderu dopravován ve speciálních pytlích (viz. Obrázek 12). Ty jsou poté pomocí jeřábu postupně vysypány do násypky (viz. Obrázek 13). Pryžový granulát je společně s asfaltem míchán tak, aby byly zaručeny požadované vlastnosti a homogenita směsi pojiva. Čas míchání by měl být přibližně jednu hodinu. Poté se již hotové pojivo přečerpá do zařízení obalovny nebo je přečerpáno do přilehlé cisterny a následně odvezeno na požadovanou obalovnu.

## 4.8. Příklady směsí s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem<sup>23</sup>

Asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem se současně v České republice zabývá především firma G Asphalt s.r.o., která vznikla v roce 2010 s cílem realizovat výrobu modifikovaných pojiv pryžovým granulátem. Společnost současně úzce spolupracuje s Fakultou stavební VUT v Brně.

Nyní bych rád přiblížil příklady směsí, které byly modifikovány pryžovým granulátem a jsou současně nabízeny pro pokládku v České republice. K níže popsaným směsím lze ještě přidat vrstvu SAL, která je předmětem této práce.

### 4.8.1. Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy (BBTM)

Vlastnosti těchto směsí se vyznačují například tím, že naměřená hladina hluku je při použití těchto vrstev při porovnání s vrstvou SMA 11 o 1 dB až 4 dB nižší. Nejlépe v oblasti snížení hluku vychází vrstva BBTM 5 s mezerovitostí 11 % až 15 %. Dále jsou vrstvy tohoto typu odolné vůči trvalým deformacím a vzniku trhlin.



Obrázek 14: Směs BBTM B 5, Zdroj: G-ASFALT

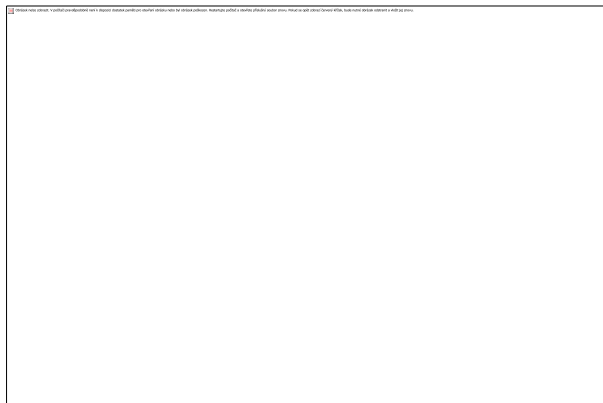
Směs BBTM 5 se vyznačuje menší velikostí maximálního zrna kameniva. Skládá se z kameniv o frakci 0/4 mm a 2/4 mm. Jelikož ne všechny lomy vyrábí frakci 2/4 mm, hlavní nevýhodou směsi je její nedostupnost na všech obalovnách. Vrstvy je nejlépe použít do míst, kde se snažíme snížit hladinu hluku způsobeného silničním provozem. Obrusná vrstva se z těchto vrstev pokládá o mocnostech okolo 20 až 30 mm. Další důležitou výhodou jsou dobré protismykové vlastnosti.

<sup>23</sup> NOVÁČEK, Karel. *Gumoasfaltové směsi*. Brno, 2012. Dostupné z: [http://www.gasfalt.cz/phocadownload/gumoasfalt\\_a3.pdf](http://www.gasfalt.cz/phocadownload/gumoasfalt_a3.pdf)

Vrstva BBTM 8 se vyznačují vyšším dávkováním pojiva než ACO, mezerovitostí 7 % až 10 %, respektive 11 % až 15 %. Vrstvy je vhodné opět použít do míst s požadovaným snížením hladiny hluku. Vrstva se používá jako obrusná.

#### **4.8.2. Asfaltový koberec mastixový (SMA 8 S)**

Tato směs se vyznačuje zejména vysokou odolností vůči trvalým deformacím, vzniku trhlin a trvanlivostí. Tyto vlastnosti jsou dány kvalitními únavovými a nízkoteplotními charakteristikami. Mezerovitost směsi se pohybuje v rozmezí 4 % až 7 %. Obrusná vrstva je vhodná zejména do míst s vyšším dopravním zatížením.



Obrázek 15: Směs SMA 8 S, Zdroj: G-ASFALT

#### **4.8.3. Asfaltový koberec drenážní (PA 8)**

U asfaltového koberce drenážního se nejlépe uplatňují výhody asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem. Vrstva se vyznačuje vysokou mezerovitostí mezi 14 % až 22 %. Vysoká mezerovitost má za následek snížení hladiny hluku o 3 dB až 5 dB a dále se mezerovitou směsí odvádí srážková voda z povrchu vozovky skrz vrstvu a po ložní vrstvě je tato voda sváděna do příkopů nebo jiného zařízení pro odvod srážkové vody. Z těchto vlastností vyplývá, že vrstva je vhodná do míst, kde chceme snížit hladinu hluku, čímž můžeme znatelně ušetřit například na výstavbě protihlukových stěn. Další nespornou výhodou je odvod srážkové vody vrstvou, čímž se zlepší protismykové vlastnosti a zamezí se vzniku aquaplaningu. Hlavní nevýhoda směsi je spojena s vysokou mezerovitostí, a to z důvodu zanášení pórů nečistotami, které mají za následek snížení pohltivosti hluku a dále zejména hrozí, že voda nebude požadovaně odvedena ven z vrstvy, což může mít za následek, že se vrstva bude v zimních měsících porušovat trhlinami. Tohoto problému se

dá vyvarovat, pokud bude u vozovky prováděna kvalitní údržba, zejména se musí nános inertního materiálu vyčistit pomocí speciálních čisticích vozů.



Obrázek 16: Směs PA 8, Zdroj: G-ASFALT

#### **4.8.4. Asfaltový beton pro ložní vrstvy (ACL 16)**

Směs ACL 16 se vyznačuje vysokou odolností vůči trvalým deformacím a odolností proti vzniku trhlin. Tyto vlastnosti jsou dány dobrými únavovými a nízkoteplotními charakteristikami. Směs má nižší obsah drobného kameniva a má vyšší obsah pojiva. Mezerovitost se pohybuje v rozmezí od 4 % až do 7 %. Vrstva se používá jako ložní nebo podkladní u vysoce namáhaných vozovek s nebezpečím vzniku a prokopírování trhlin. Mocnost vrstvy se navrhuje v tloušťce 50 mm až 70 mm.



Obrázek 17: Směs ACL 16, Zdroj: G-ASFALT

#### **4.9. Výhody a nevýhody směsí s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem**

Směsi s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem často rozdělují odbornou veřejnost na dva tábory, na příznivce této technologie a naopak na její odpůrce. Není vždy zcela jednoduché posoudit, zda je směs s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem vhodnou technologií pro návrh konstrukce vozovky. V některých případech je vhodné její

využití a v některých se naopak lépe jeví klasické asfaltové vrstvy. Mezi nejdůležitější parametry se jednoznačně řadí ekonomická výhodnost. Při návrhu je vhodné spočítat, jaké náklady bude představovat směs s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem a naopak na kolik vyjde klasická směs. Směsi s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem mají obecně vyšší počáteční náklady, ale v některých případech může mít konstrukce vozovky vyšší životnost nebo může lépe splňovat námi zadané požadavky. Například lze použít nižší tloušťky asfaltových vrstev, které ve finále vyjdou ekonomicky lépe.

Není tedy úplně snadné posoudit, která metoda je lepší. Vždy je ale důležité provést multikriteriální rozbor, který poukáže na výhodnost nebo respektive na nevýhodnost použití pryžového granulátu v konstrukci vozovky. Následně budou popsány výhody a nevýhody asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem.



Obrázek 18: Výhodou využití pryžového granulátu do konstrukce vozovky je materiálové využití pneumatik, Zdroj: Autoweb

#### 4.9.1. Výhody

- Vyšší odolnost vůči únavě, stárnutí pojiva, trvalým deformacím a trhlinám
- Delší životnost nebo snížení tloušťky vrstvy s CRmB s vyšším obsahem pojiva
- Snížení hladinu hluku
- Materiálové využití odpadové pryže - ekologičnost
- Možnost vytvoření směsí typu asfaltový koberec drenážní
- Odolnost proti otěru (použití pneumatik s hroty)

#### 4.9.2. Nevýhody

- Vyšší počáteční náklady
- Vyšší pracnost a organizační náročnost
- Vyšší energetická náročnost
- Problémová skladovací stabilita pojiva

## 5. POUŽITÉ ZKUŠEBNÍ METODY

### 5.1. Výroba CRmB v laboratoři<sup>24</sup>

Výroba asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem (CRmB) se provádí dle TP 148 – Hutnění asfaltové vrstvy s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem z pneumatik.

CRmB se může míchat různými způsoby, případně lze přidat i nejrůznější přísady. Specifikace způsobu míchání je dána výrobcem a je uvedena v TePř. Dále by měl CRmB splňovat požadavky, které jsou uvedeny v TP 148 (viz Tabulka 2).

Tabulka 2: Vlastnosti CRmB

Pojivo	CRmB	
	Skladovatelnost se neposuzuje	Skladovatelnost se posuzuje podle ČSN EN 13399 při 165 °C po 2 dnech,
Obvyklé dávkování pryžového granulátu, % z hmotnosti pojiva	15 – 25	5 – 15
Viskozita, viz kapitola 5.5	(1,5 až 4,0) Pa·s při 175 °C	(0,5 až 1,0) Pa·s při 150 °C
Penetrace 25 °C, viz kapitola 5.1.1	(25 až 75) p.j.	(25 až 75) p.j.
Bod měknutí, viz kapitola 5.4	min. 55 °C	min. 55 °C
Resilience při 25 °C, viz kapitola 5.3	min. 20 %	min. 20 %

#### 5.1.1. Popis výroby

Výroba probíhá tak, že se nejprve nahřeje vybrané pojivo na teplotu míchání, která je v tomto případě 180 °C. Po nahřání na uvedenou hodnotu se pojivo přelije do míchací nádoby, která se před tím vytáruje na váze. Následně se nádoba zváží včetně pojiva a dle množství se napočítá navážka pryžového granulátu, který bude přidán do pojiva. V další fázi se do předehřáté míchačky umístí nádoba s pojivem a do zařízení se vsune míchací lopatka. Po zapnutí zařízení se přistoupí k vlastnímu dávkování pryže, které se obvykle provádí postupně po třetinách. Po nasypání se nechá pojivo míchat po dobu 45 až 60 minut od dosažení teploty 170 °C.

Po uplynutí požadované doby se míchačka zastaví a namíchané pojivo se přelije do připravených plechovek, které se zakryjí pomocí hliníkové fólie a nechají se vychladnout (viz Obrázek 19). Nakonec se plechovky popíšu a uskladní se. Je důležité, aby CRmB nebylo

<sup>24</sup> TP 148. *Hutnění asfaltové vrstvy s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem z pneumatik*. Brno: Ministerstvo dopravy ČR, 2009.

vystaveno teplotám v rozmezí 170 až 185 °C déle než 10 hodin s ohledem na možnou degradaci pojiva.



Obrázek 19: Míchací nádoba s plechovkami

## 5.2. Stanovení penetrace jehlou<sup>25</sup>

Tato zkouška je popsána v České národní normě ČSN EN 1426 a její název je Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení penetrace jehlou.

Penetrace vyjadřuje hloubku, do které vnikne jehla u asfaltového pojiva. Za stanovených podmínek je dáno zatížení, čas zatížení a teplota. Teplota je předepsána na 25 °C, aplikované zatížení je 100 g a doba zatížení 5 s.



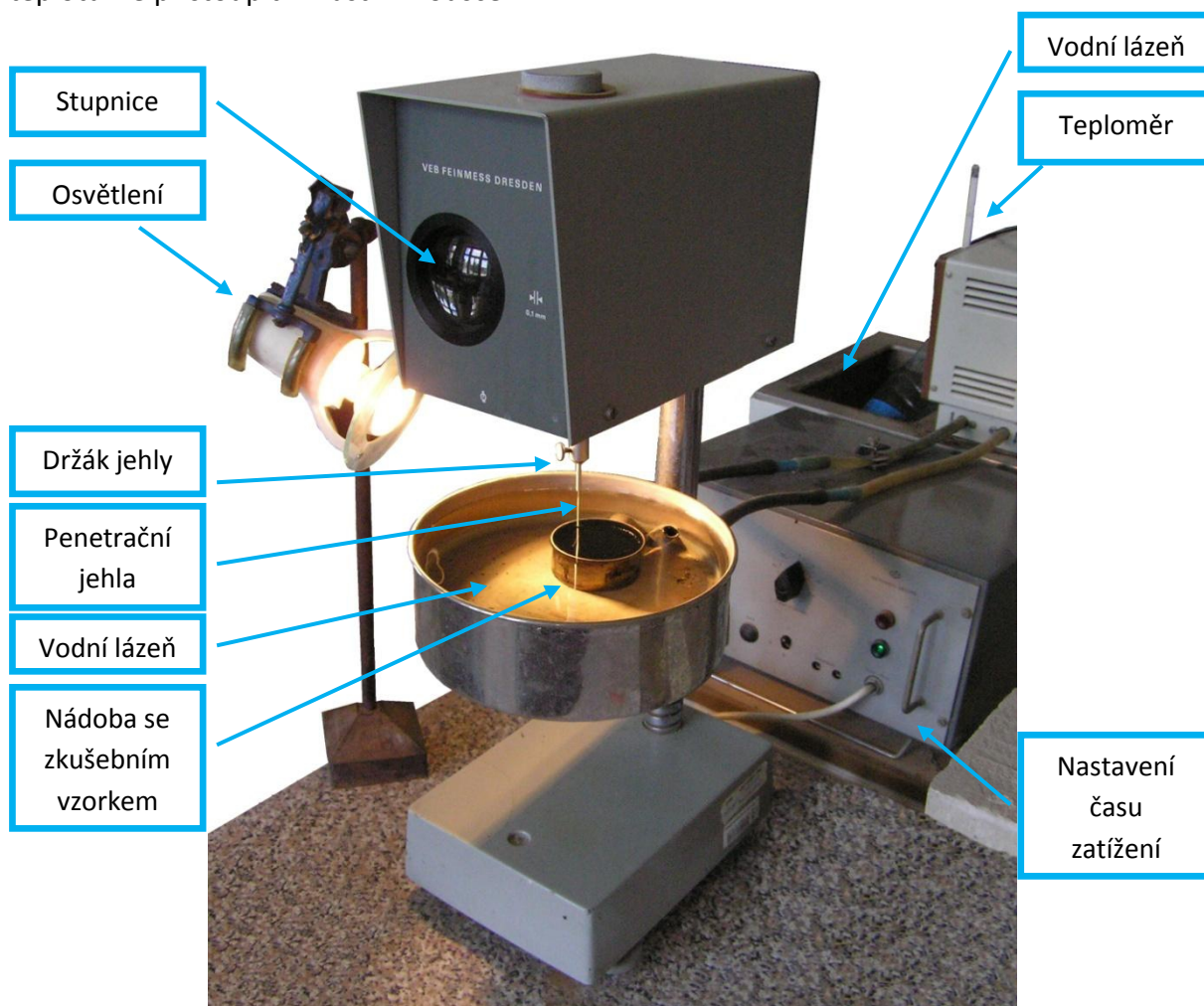
Obrázek 20: Zkušební jehla

### 5.2.1. Příprava na zkoušku

Před samotnou zkouškou se připraví měřící zařízení. Nejprve se připraví držák jehly a jehla samotná (jehla viz Obrázek 20). Zkontroluje se, zda je držák jehly očištěn od nečistot nebo přítomnosti vody. Případně se penetrační jehla očistí toluenem nebo podobným

<sup>25</sup> ČSN EN 1426. *Stanovení penetrace jehlou*. Praha: Český normalizační institut, 2007.

vhodným rozpouštědlem. Následně se zkušební vzorek nahřeje a nalije se do zkušební nádoby, která se zakryje víkem. Nádoba na zkušební vzorek může být kovová nebo skleněná ve tvaru válce. Vnitřní hloubka nádoby je minimálně o 10 mm větší než předpokládaná penetrace a ne menší než 35 mm. Vnitřní průměr by měl být v rozmezí mezi 55 mm až 70 mm. Po přípravě zkušebního zařízení a vychladnutí vzorku na laboratorní teplotu lze přistoupit k vlastní zkoušce.



Obrázek 21: Zkušební sestava pro stanovení penetrace jehlou

### 5.2.2. Postup zkoušky

Připraví se vodní lázeň o teplotě  $(25 \pm 0,15)$  °C. Do této lázně se vloží zkušební nádoba se vzorkem a umístí se na požadovanou pozici. Následně se postupně snižuje jehla až na povrch vzorku a lze zahájit měření. Dobu zatěžování jehly se nastaví na 5 s a spustí se přístroj. Na stupnici lze sledovat hloubku vpichu jehly, tedy penetraci, která se zapíše do protokolu. Rozdíl oproti postupu v normě ČSN EN 1426 je popsán v TP 148. Penetrace se



měří na hladkých a lesklých místech. Postupně se provedou čtyři měření a do výpočtu průměru se neuvažuje nejnižší hodnota.<sup>26</sup> Měřicí zařízení znázorňuje Obrázek 21.

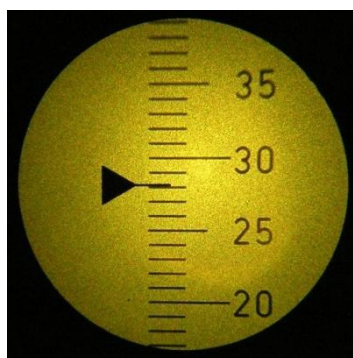
### 5.2.3. Vyjádření výsledků

Dle normy je dán maximální rozdíl platných stanovení. Jednotlivé hodnoty se od sebe nesmí lišit o více než je uvedeno v následující tabulce (Tabulka 3). U modifikovaných asfaltů je možné brát tuto tabulku pouze jako vodítko.

Tabulka 3: Maximální rozdíl platných stanovení, Zdroj: ČSN EN 1426

Penetrace v 0,1 mm	do 49	50 až 149	150 až 249	250 a výše
Maximální rozdíl mezi nejvyšším a nejnižším stanovením	2	4	6	8

Hodnoty penetrace se vyjadřují jako aritmetický průměr naměřených hodnot v desetinách milimetru zaokrouhleno na nejbližší celé místo.



Obrázek 22: Příklad naměřené hodnoty penetrace

### 5.3. Stanovení penetrace a pružné regenerace (resilience)<sup>27</sup>

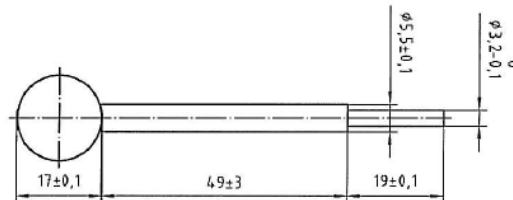
Zkouška je popsána v evropské normě ČSN EN 13880-3 s přesným názvem Zálivky za horka – Část 3: Zkušební metoda pro stanovení penetrace a pružné regenerace (resilience). Podstatou zkoušky je, že se část laboratorního vzorku nalije do dvou nádob a ty se nechají zchladnout na vzduchu. Následně se vzorky zakryjí víky a ponoří se do vodní lázně. V poslední řadě se víka sejmou a provede se laboratorní zkouška – ocelová kulička se vtlačí do povrchu pojiva a sleduje se vytlačení kuličky ven z pojiva, které je zapříčiněno pružností pojiva.

<sup>26</sup> TP 148. *Hutnění asfaltové vrstvy s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem z pneumatik*. Brno: Ministerstvo dopravy ČR, 2009.

<sup>27</sup> ČSN EN 13880-3. *Zálivky za horka – Část 3: Zkušební metoda pro stanovení penetrace a pružné regenerace (resilience)*. Praha: Český normalizační institut, 2004.

### 5.3.1. Příprava na zkoušku

Pro zkoušku resilience je základem penetrometr, který umožňuje měření s přesností 0,1 mm. Držák penetračního nástavce s kuličkou má být lehce odnímatelný a musí mít hmotnost  $(47,50 \pm 0,05)$  g. Penetrační nástavec s kuličkou (Obrázek 23) má předepsanou hmotnost  $(27,5 \pm 0,1)$  g a musí být proveden z oceli.



Obrázek 23: Penetrační nástavec s kuličkou, Zdroj: ČSN EN 13880-3

### 5.3.2. Postup zkoušky

Nejprve se zkušební vzorek nalije do kádinky a nechá se za laboratorní teploty vychladnout. Je vhodné kádinku zakrýt a tím ochránit vzorek od částic prachu nebo příliš rychlého ochlazení, které by mohlo mít za následek zakřivení povrchu vzorku. Po vychladnutí se zkušební tělesa vloží do vodní lázně na dobu  $(1,75 \pm 0,25)$  h. Teplota vodní lázně je předepsána jako  $(25 \pm 0,1)$  °C. Po uplynutí temperační doby se tělesa vyjmou z lázně a okamžitě se provede zkouška, kterou nelze provádět pod vodou. Zkušební nádoba se vloží do penetračního zařízení (viz Obrázek 25) a se zkušební kuličkou se sjede až k povrchu tělesa. Nejprve se uvolní kulička na dobu  $(5,0 \pm 0,1)$  s, čímž je umožněna penetrace do zkušebního vzorku. Následně lze odečíst s přesností na 0,1 mm ze stupnice hloubku vtlačení kuličky. Dále, aniž by se vrátila na stupnici nula, se pokračuje tak, že se kulička zatlačí o 10 mm, a to rovnoměrně po dobu 10 s. Penetrometr se na pozici podrží po dobu 5 s a následně se tlak uvolní a pojivo se zatlačenou kuličkou se nechá regenerovat po dobu 20 s. Po této době se přečte na stupnici hodnota aktuálního vtlačení s přesností  $\pm 0,1$  mm. Stejný postup se provede ve třech bodech, které jsou od sebe a taktéž od okraje nádoby nejméně 10 mm.



Obrázek 24: Zkušební vzorek po zkoušce

### 5.3.3. Výpočet a vyhodnocení zkoušky

Z jednotlivých měření se nejprve zapíše počáteční penetrace  $P$  a konečná penetrace  $F$ . Penetrace se zapisuje s přesností na 0,1 mm. Resilience  $R$  se vypočítá dle rovnice:

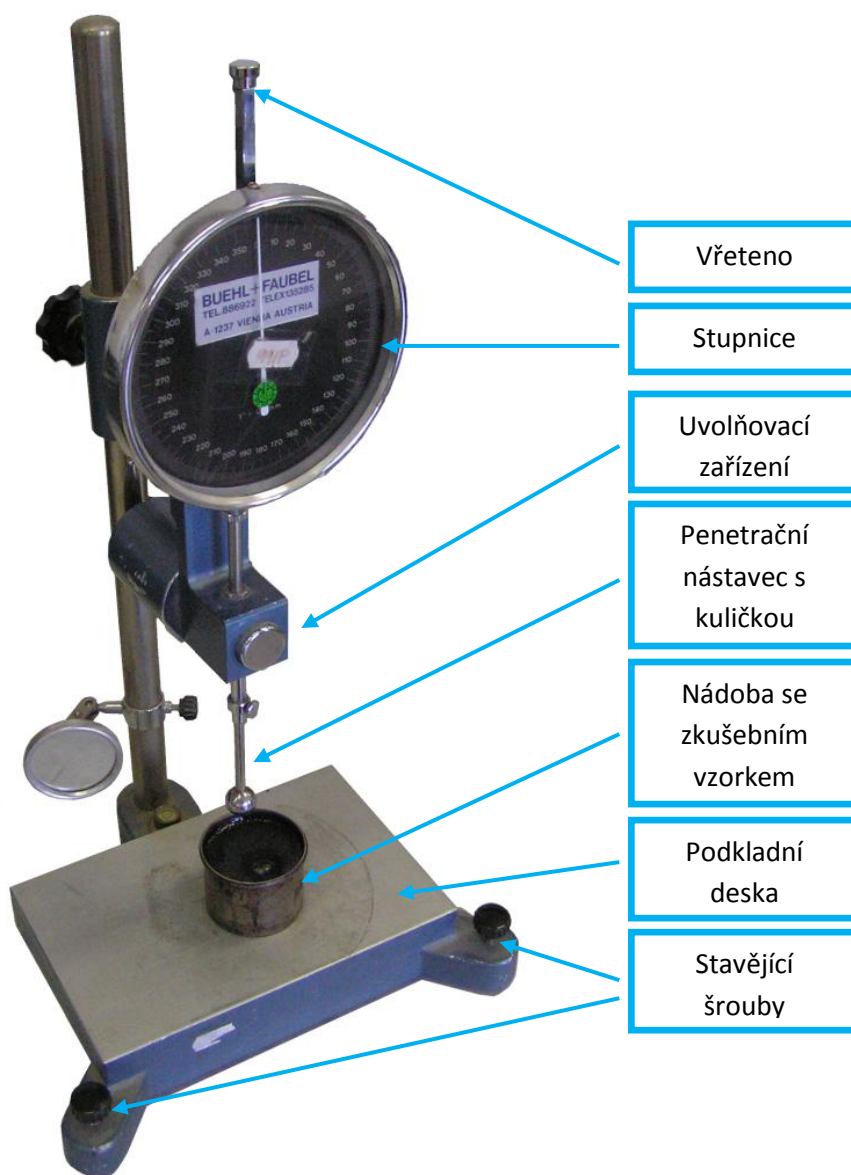
$$R = (P + 10 - F) \cdot \frac{100}{10}$$

Kde  $R$  je resilience, v %;

$P$  je počáteční penetrace kuličky, v mm;

$F$  je konečná penetrace, v mm.

Resilience se vyjadřuje jako průměr ze tří měření a uvádí se s přesností na 1 %.



Obrázek 25: Penetrometr

## 5.4. Stanovení bodu měknutí – Metoda kroužek kulička<sup>28</sup>

Metoda pro stanovení bodu měknutí patří mezi základní zkoušky pojiv. Metoda je popsána v evropské normě ČSN EN 1427 – Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení bodu měknutí - Metoda kroužek a kulička. Podstatou zkoušky jsou dva kotoučky z asfaltového pojiva, které jsou osazeny v mosazných kroužcích a na které se osadí ocelová kulička. Ty se umístí do zkušebního zařízení a jsou řízenou rychlostí zahřívány v kapalně láně až do propadu kuličky o  $(25,0 \pm 0,4)$  mm.

### 5.4.1. Příprava na zkoušku

Před zkouškou se nahřeje požadované pojivo na teplotu tak, aby bylo možné jej nalít do zkušebních kroužků, které se dle normy nahřejí na teplotu okolo 90 °C. Zkušební kroužky se umístí na odlévací destičku, která je natřena separačním prostředkem pro jednodušší odejmutí a pojivo se do nich nalije. Kroužky s pojivem se nechají vychladit na pokojovou teplotu, po vychladnutí se odřízne nadbytečné množství pojiva a posléze se vloží do zkušebního stojanu. Celá zkušební sestava se vloží do odzdušněné destilované vody a nechá se ochladit na počáteční zkušební teplotu  $(5 \pm 1)$  °C. Destilovaná voda se nalije do výšky  $(50 \pm 3)$  mm nad horní okraj kroužku.



Obrázek 26: Příklad na stanovení bodu měknutí

<sup>28</sup> ČSN EN 1427. *Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení bodu měknutí - Metoda kroužek a kulička*. Praha: Český normalizační institut, 2007.

### 5.4.2. Postup zkoušky

Nejprve se vloží vychlazená kádinka společně se stojanem do zkušebního přístroje a přistoupí se k měření. Samotná zkouška probíhá tak, že se spustí ohřívací zařízení, které postupně zahřívá destilovanou vodu rychlostí 5 °C/min. Zkouška probíhá tak dlouho, dokud asfalt obklopující ocelovou kuličku neprotne světelný paprsek. Poté přístroj automaticky zapíše výsledné hodnoty u obou kroužků. Zkouška se opakuje, pokud je rozdíl teplot u obou kroužků vyšší než 1 °C. U asfaltů modifikovaných může být tento rozdíl až 2 °C. Pokud by teplota bodu měknutí ve vodní lázni vyšla vyšší než 80 °C, je nutné provést zkoušku v glycerinu.

Dle TP 148 je možné, že kuličky před protnutím světelného paprsku poruší vrstvu, kterou jsou obaleny nebo lze pozorovat odlepení asfaltu od kuličky. V tomto případě se na rozdíl od popisu v normě ČSN EN 1427 může brát vzorek jako platný, pokud obě kuličky dodrží požadovaný teplotní rozdíl jejich porušení.<sup>29</sup>



Obrázek 27: Protážení pojiva modifikovaného pryžovým granulátem

### 5.4.3. Vyjádření výsledků

Bod měknutí nižší nebo rovný 80 °C se vyjádří jako průměr zjištěných teplot. Výsledek se zaokrouhlí na 0,2 °C. Pokud by byla teplota bodu měknutí vyšší než 80 °C, zaokrouhlí se hodnota na 0,5 °C.

<sup>29</sup> TP 148. *Hutnění asfaltové vrstvy s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem z pneumatik*. Brno: Ministerstvo dopravy ČR, 2009.

## 5.5. Stanovení dynamické viskozity<sup>30</sup>

Jmenovaná zkouška je popsána v ČSN EN 13302 s názvem Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení dynamické viskozity asfaltových pojiv rotačním vřetenovým viskozimetrem. Dle této normy zjistíme dynamickou viskozitu jak u modifikovaných i nemodifikovaných asfaltových pojiv. V předpise je předepsána i měřící teplota, která může být ovšem nahrazena i jinou teplotou. Viskozita je míra odporu tekutiny, která se měří pomocí rotujícího tělesa, které se nachází v tekutině. Čím je viskozita vyšší, tím je vyšší odpor tekutiny.

### 5.5.1. Příprava na zkoušku

Pro přípravu vzorku je základem přichystané pojivo, sušárna s možností regulace teploty a dále rotační vřetenový viskozimetr (viz Obrázek 28).



Obrázek 28: Viskozimetr, nádobka na vzorek a rotační vřeteno

### 5.5.2. Postup měření

Do zkušební nádoby se nalije pojivo a vloží se do laboratorní sušárny. Nastaví se teplota 175 °C a pomocí teploměru se tato teplota kontroluje. V diplomové práci jsem se zabýval asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem, což znamená, že je důležité, aby při různých měřeních byla stejná doba zahřívání a zejména doba, kdy je vzorek na uvedenou teplotu nahříván. Toto je důležité s ohledem na vlastnosti asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem, jelikož viskozita se v průběhu vysoké teploty mění. Nejprve roste a následně

<sup>30</sup> ČSN EN 13302. *Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení dynamické viskozity asfaltových pojiv rotačním vřetenovým viskozimetrem*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.

s časem klesá, což způsobuje degradace pryže při vysoké teplotě. Po zahřátí na požadovanou teplotu lze přistoupit k měření. Připraví se viskozimetr, našroubuje se optimální vřeteno a posléze se vytáhne ze sušárny nádobka se vzorkem. Vzorek se před zkouškou promíchá a ihned se přistoupí k měření. Vřeteno viskozimetru se pomalu ponoří do pojiva po rysku, která je na vřetenu. Udrží se vřeteno v rovnovážné poloze a následně se na displeji viskozimetru přečte hodnota viskozity. Délka měření by neměla přesáhnout délku 100 s. Přesnost viskozimetru VT-04F se udává  $\pm 10\%$ .

### 5.5.3. Vyjádření výsledků

V našem případě je výsledkem dynamická viskozita v Pa·s. Dynamická viskozita uvádí poměr mezi smykovým napětím a smykovou rychlostí.

## 5.6. Stanovení zrnitosti<sup>31</sup>

Zkouška zrnitosti se provádí dle evropské technické normy ČSN EN 933-1, která se nazývá Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – síťový rozbor. Podstatou zkoušky je rozřídění a oddělení materiálu pomocí sad sít do několika frakcí. Velikosti otvorů sít jsou dány pomocí požadavku na přesnost a dále dle normy.

### 5.6.1. Příprava zkušebních navážek

Před samotnou zkouškou je důležité provést správný reprezentativní odběr kameniva a následně jej v laboratoři homogenizovat. Poté je reprezentativně vybrán vzorek pro síťový rozbor. Hmotnost navážky pro síťový rozbor se liší podle zrna největšího kameniva (viz Tabulka 4). Vybraná zkušební navážka se vysuší při teplotě  $110 \pm 5$  °C do ustálené hmotnosti.

Tabulka 4: Hmotnost zkušebních navážek pro hutné kamenivo, Zdroj: ČSN EN 933-1

Velikost zrna kameniva D (největší)	Hmotnost zkušební navážky (nejmenší)
mm	kg
63	40,0
32	10,0
16	2,6
8	0,6
≤4	0,2

<sup>31</sup> ČSN EN 933-1+A1. Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – síťový rozbor. Praha: Český normalizační institut, 2006.

### 5.6.2. Postup zkoušky

Nejprve se kamenivo zváží a provede se praní kameniva. Následně se připraví zkušební síto 0,063 mm a ochranné síto o větší velikosti, například 1 mm. Nakonec se kamenivo s vodou proplavuje přes obě síta do doby, než je pod nejspodnějším sítem pozorována čirá kapalina.

Zůstatek na síte 0,063 mm se vysuší v laboratorní sušárně při teplotě  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$  a přistoupí se k vlastnímu síťovému rozboru. Nejprve se síta sestaví do sloupce tak, že síto nahoře má největší otvory a postupně se otvory chronologicky zmenšují. Na horním sítu se osadí víko a pod něj spodní dno. V laboratoři se automaticky na třesacím zařízení nastaví vibrace a po několika minutách je třepání ukončeno. Následně se postupně odebírají jednotlivá síta. Začíná se od síta s největšími otvory, u těch je nejprve ještě ručně provedeno prosévání a posléze se navážka na každém síte zváží a zapíše se do protokolu.

### 5.6.3. Výpočet a vyhodnocení zkoušky

Všechny výsledky je nutné zapsat do zkušební protokolu. Vypočtou se hmotnosti zůstatku na každém síte jako procento hmotnosti původní vysušené navážky  $M_1$ . Vypočtou se součtová procenta hmotnosti původní navážky, které propadly každým sítem od shora dolů. Nakonec lze vypočítat podíl jemných částic ( $f$ ), který daný odběr obsahuje. K tomu slouží následující vztah:

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

Kde  $M_1$  je hmotnost vysušené zkušební navážky, v kilogramech;

$M_2$  je hmotnost vysušeného zůstatku na síte 0,063 mm, v kilogramech;

$P$  je hmotnost propadu jemných částic na dně, v kilogramech.

## 5.7. Laboratorní výroba směsi<sup>32</sup>

Výroba směsi je popsána v evropské technické normě ČSN EN 12697-35, pod názvem Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 35: Laboratorní výroba směsi. Norma popisuje mechanické nebo ruční míchání asfaltových směsí pro výrobu

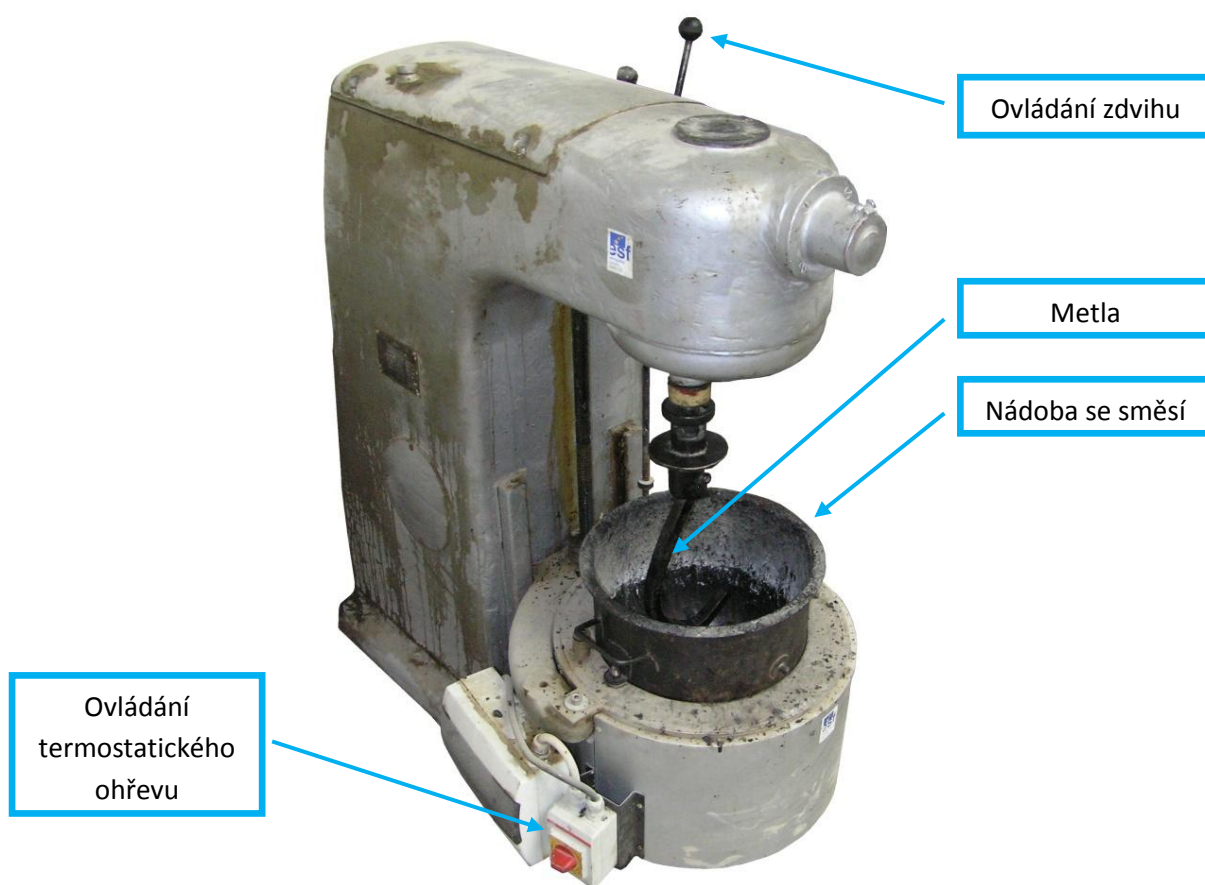
<sup>32</sup> ČSN EN 12697-35+A1. *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 35: Laboratorní výroba směsi*. Praha: Český normalizační institut, 2007.



zkušebních těles. Dále norma stanovuje referenční teploty pro míchání, které závisí na gradaci silničního pojiva.

### 5.7.1. Příprava zařízení

K mechanickému míchání je potřeba laboratorní míchačka (viz Obrázek 29), která umožní obalení všech zrn kameniva do 5 minut a zároveň by měla umožnit řízený ohřev. Míchačka nesmí drtit kamenivo. Je zapotřebí i odvětraná sušárna pro ohřev kameniva a asfaltu na předepsanou teplotu. V případě ručního míchání potřebujeme vařič s regulací teploty.



Obrázek 29: Laboratorní míchačka

### 5.7.2. Postup výroby směsi

Nejprve připravíme kamenivo a filer. Pokud je kamenivo a filer v nevysušeném stavu, musíme je nejprve vysušit v laboratorní sušárně, která se nastavuje na teplotu  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ . Následně napočítáme odpovídající navážku a připravíme kamenivo s přesností na 0,1 % hmotnosti. Kamenivo se nahřeje na požadovanou teplotu, v našem případě  $(170 \pm 5)^\circ\text{C}$ . Pojivo se připravuje v uzavřených kovových plechovkách, které se taktéž nahřejí na teplotu

míchání ( $170\pm 5$ ) °C. Před mícháním se plechovka otevře, promíchá se a zkontroluje se teplota. V případě ručního míchání se umístí elektrický vaříč pod mísící misku nebo komoru.

Míchání probíhá tak, že se nejprve nasype kamenivo společně s filerem do míchací nádoby a společně se smíchají. Následně se do kameniva přidá pojivo, přesné množství pojiva se určuje s přesností na  $\pm 1$  % hmotnosti během přidávání. Směs se míchá tak dlouho, dokud nedojde k obalení kameniva pojivem.

## 5.8. Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem<sup>33</sup>

Příprava zkušebních těles je popsána v ČSN EN 12697-30 s názvem: asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 30: Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem. Tato zkouška popisuje metodu výroby zkušebních těles (nazývány i Marshallova tělesa) za pomoci rázového zhutňovače.

### 5.8.1. Příprava zkušebních těles a zařízení

Zhutnění se provádí pomocí rázového zhutňovače, jehož všechny části jsou popsány ve výše jmenované normě. Připravíme samotné vzorky a formu na hutnění, která má mít průměr ( $101,6\pm 0,1$ ) mm. Forma se skládá z nástavce, válcové formy a podložky. Podložka musí být vyrobena z oceli a nesmí během hutnění docházet k její deformaci. Samotné hutnění probíhá u navážky směsi s předepsanou teplotou.

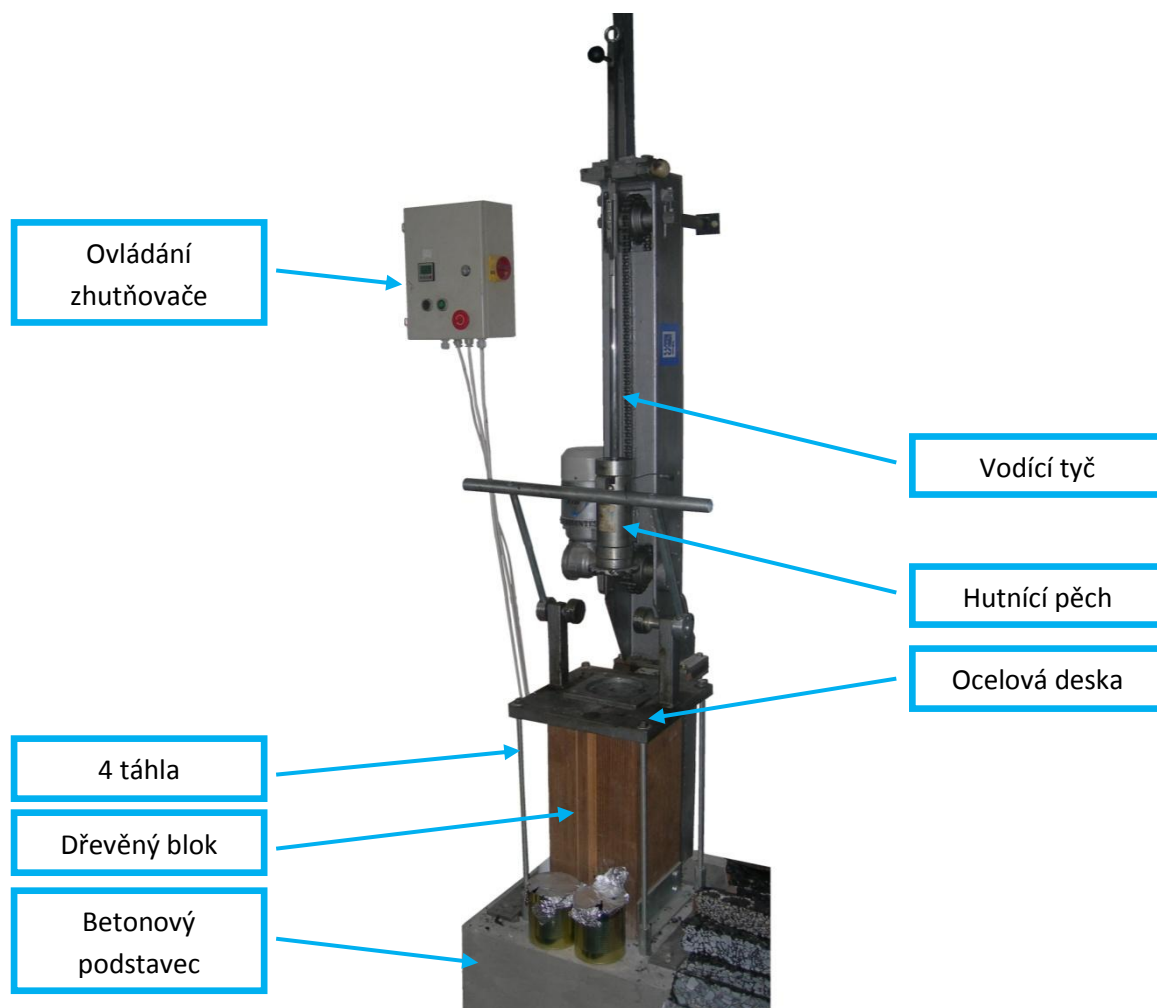
### 5.8.2. Postup zkoušky

Nejprve je potřeba nahřát přesnou navážku směsi, která je určená k hutnění. Směs se v našem případě nahřívá v laboratorní sušárně na teplotu 155 °C. Taktéž forma s podložkou a nástavcem se vloží do laboratorní sušárny a nahřeje se na stejnou teplotu.

Sestaví se forma a posléze se vytáhneme ze sušárny směs a nasype se do sestavené formy. Po nasypání se sejme z nástavce násypka a forma s podložkou a nástavcem se vloží do zhutňovače. Při standardním hutnění jsem použil 2 x 50 úderů a pro tělesa, která se používají u zkoušky odolnosti proti vodě, jsem nastavil hodnotu 2 x 25 úderů. Po osazení tedy začíná samotné hutnění, po první sadě úderů se forma se vzorkem otočí a další sada úderů se provede z druhé strany hutněné směsi.

---

<sup>33</sup> ČSN EN 12697-30+A1. *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 30: Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem*. Praha: Český normalizační institut, 2007.



Obrázek 30: Rázový zhutňovač

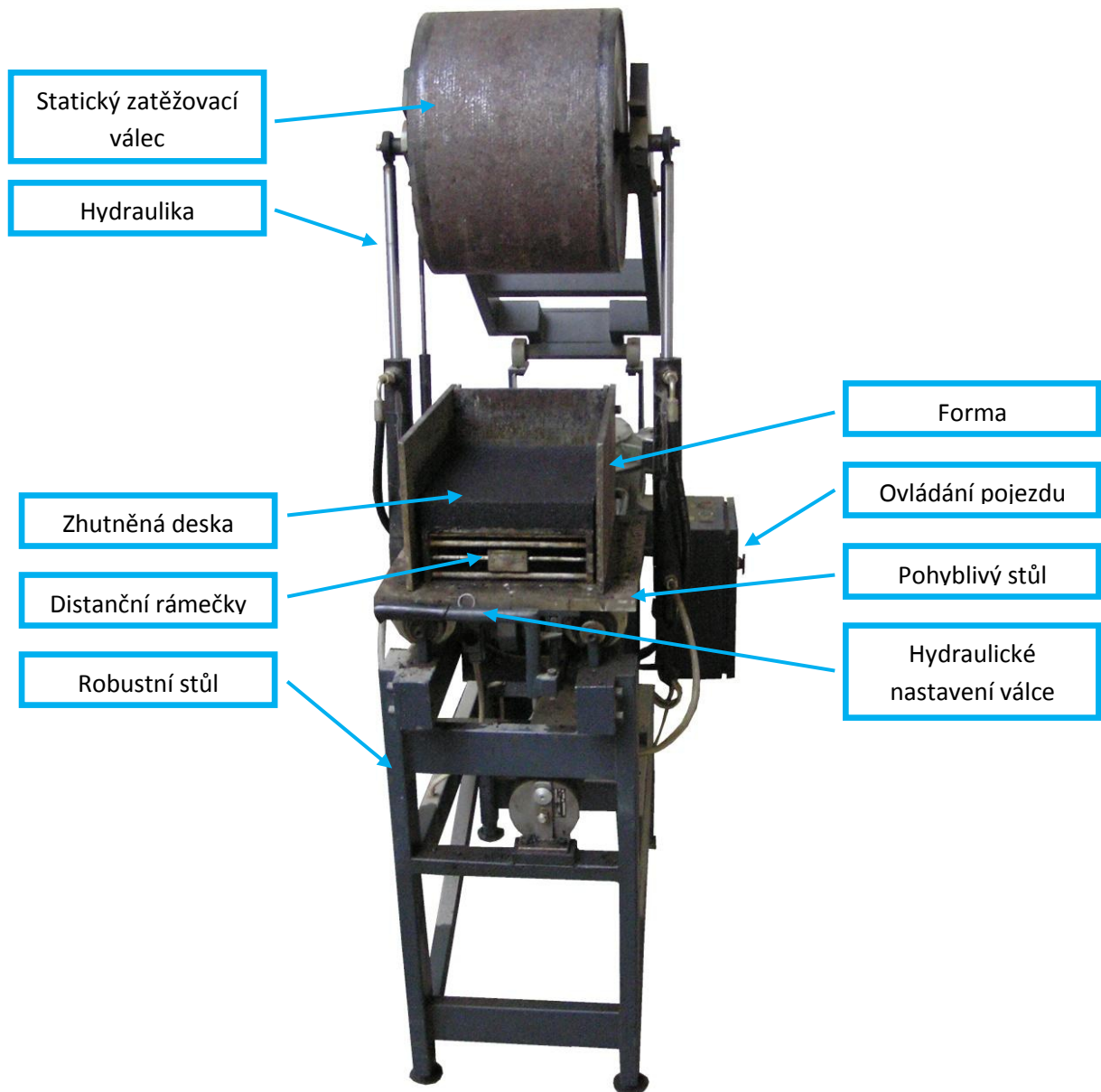
Po ukončení hutnění se těleso nechá s formou vychladnout na laboratorní teplotu a nakonec se pomocí lisu vzorek vytlačí z formy.



Obrázek 31: Příklad Marshallových těles

## 5.9. Příprava zkušebních těles zhutňovačem desek<sup>34</sup>

Pro přípravu zkušebních desek slouží ČSN EN 12697-33+A1 (Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 33: Příprava zkušebních těles zhutňovačem desek). Hutnění se provádí v plošné formě při zatížení hladkým ocelovým válcem. V našem případě působí válec na sestavu lamel, které způsobují hutnění směsi (lamelový zhutňovač). Válec pojíždí konstantní rychlostí.



Obrázek 32: Zhutňovač desek

<sup>34</sup> ČSN EN 12697-33+A1. *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 5: Příprava zkušebních těles zhutňovačem desek*. Praha: Český normalizační institut, 2007.

### 5.9.1. Příprava hutněné směsi a zařízení

Nejprve se připraví navážka směsi, která je připravena dle kapitoly 5.7. Množství směsi se stanovuje výpočtem a dle požadované tloušťky desky. V mém případě například pro zkoušky pojíždění kolem byly použity desky o tloušťce 30 mm, u zkoušky relaxace 40 mm a u zkoušky nízkoteplotních charakteristik tloušťka 50 mm. Délkové a šířkové rozměry desek jsou dány rozměry formy. V laboratoři se jedná o hodnoty  $L = 320$  mm,  $š = 260$  mm. Tloušťku desky lze upravit pomocí distančních rámečků, které umožňují výškové skoky po 10 mm.

Před započítím přípravy desky se tedy nejprve nahřeje směs, která se v mém případě hutnila při teplotě 155 °C. Dále se sestaví hutnicí sestava (viz Obrázek 32). Tuhý rám se sešroubuje a vnitřní plochy se vymažou vhodným separačním prostředkem.

### 5.9.2. Postup hutnění

Pomocí špachtle se ve formě rovnoměrně rozprostře směs vytemperovaná na hodnotu 155 °C. Následně je na směs položen ocelový plech a začnou se do hutnicího zařízení postupně vkládat lamely. Nakonec se pořádně dotáhnou šrouby rámu tak, aby byly dodrženy rozměry desky.

Pomocí hydraulické páky se sjede s ocelovým válcem do výšky přibližně 1 cm nad lamely a může se zhutňovač uvést do chodu. Ocelový válec začne rovnoměrně pojíždět lamely, které postupně směs hutní konstantní silou  $F \pm 20\%$  až do dosednutí válce na formu. Poté lze ukončit hutnění. Válec se zvedne a forma se nechá minimálně 30 minut vychladnout. Forma se rozšroubuje a zhutněná deska lze vyjmout.



Obrázek 33: Příklad zhutněné desky

## 5.10. Stanovení maximální objemové hmotnosti<sup>35</sup>

Stanovení maximální objemové hmotnosti je popsáno v České technické normě ČSN EN 12697-5: Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 5: Stanovení maximální objemové hmotnosti. Maximální objemová hmotnost vyjadřuje objem asfaltové směsi bez mezer a slouží společně s objemovou hmotností zhutněné směsi k vyjádření její mezerovitosti. Dle normy lze využít volumetrický postup, hydrostatický postup a matematický postup. U volumetrického a hydrostatického postupu se maximální objemová hmotnost asfaltových směsí stanoví z objemu vzorku bez mezer a jeho suché hmotnosti. U volumetrického postupu se objem vzorku měří jako objem vody nebo rozpouštědla vytěsněného vzorkem v pyknometru. Při hydrostatickém postupu se objem vzorku vypočítá ze suché hmotnosti vzorku a z jeho hmotnosti ve vodě. Při matematickém postupu se vychází z vlastního složení, tedy z obsahu pojiva a obsahu kameniva a objemových hmotností složek.

### 5.10.1. Příprava a postup zkoušky

Ve své práci jsem použil metodu volumetrickou. S ohledem na přítomnost vysoce lepivého CRmB jsem místo destilované vody použil rozpouštědlo trichloretylen, kvůli němuž bylo možné rozpojit shluky.

Nejprve se stanoví hmotnost ( $m_1$ ) a objem ( $V_p$ ) prázdného pyknometru včetně nástavce. Dále se vysušený zkušební vzorek umístí do pyknometru a nechá se ochladit na laboratorní teplotu. Poté se zjistí jeho hmotnost ( $m_2$ ) a opět se hodnota zapíše do protokolu. Po zvážení se naplní pyknometr rozpouštědlem maximálně do výšky 30 mm pod okraj nádoby. Následně se vloží pyknometr na točící zařízení, které umožní promíchání směsi a rozpojení shluků směsi. Poté se doplní pyknometr až skoro po referenční značku na nástavci pyknometru rozpouštědlem tak, aby se zamezilo přístupu vzduchu. Dále se vloží pyknometr do vodní lázně s teplotou  $(25 \pm 0,2)^\circ\text{C}$  po dobu nejméně 60 min. Po uplynutí temperační doby se doplní rozpouštědlo až po referenční značku a může se pyknometr s nástavcem, rozpouštědlem a vzorkem zvážít ( $m_3$ ).

<sup>35</sup> ČSN EN 12697-5+A1. *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 5: Stanovení maximální objemové hmotnosti*. Praha: Český normalizační institut, 2007.

### 5.10.2. Výpočet

Maximální objemová hmotnost  $\rho_{mv}$  asfaltové směsi stanovena volumetrickým způsobem se vypočítá pomocí vztahu:

$$\rho_{mv} = \frac{m_2 - m_1}{100 \cdot \left( V_P - \frac{m_3 - m_2}{\rho_w} \right)}$$

Kde  $\rho_{mv}$  je maximální objemová hmotnost asfaltové směsi, v  $\text{kg/m}^3$ ;

$m_1$  je hmotnost pyknometru s nástavcem, v g;

$m_2$  je hmotnost pyknometru s nástavcem a zkušební vzorku, v g;

$m_3$  je hmotnost pyknometru s nástavcem, zkušební vzorku a rozpouštědla, v g;

$V_P$  je objem pyknometru po referenční značce na nástavci, v  $\text{m}^3$ ;

$\rho_w$  je hustota rozpouštědla při zkušební teplotě, v  $\text{kg/m}^3$ .

Veškeré hmotnosti musí být stanoveny v g s přesností 0,1 g. Objem pyknometru musí být stanoven v  $\text{m}^3$  s přesností  $0,5 \times 10^{-6} \text{ m}^3$ . Procenta se vyjadřují s přesností na 0,1 %.



Obrázek 34: Pyknometry

## 5.11. Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušební tělesa<sup>36</sup>

Zkušební metoda je popsána v evropské normě ČSN EN 12697-6, dle které se zjišťuje objemová hmotnost. Dle této normy je možné využít jeden ze čtyř postupů:

- a) objemová hmotnost – suchá (tělesa s velmi uzavřeným povrchem);
- b) objemová hmotnost – nasycený suchý povrch (tělesa s uzavřeným povrchem);
- c) objemová hmotnost – utěsněné zkušební těleso (tělesa s otevřeným nebo hrubozrnným povrchem)
- d) objemová hmotnost dle rozměrů.

V diplomové práci jsem využíval objemovou hmotnost pro tělesa s uzavřeným povrchem, tedy tzv. nasycený suchý povrch a dále kontrolně objemovou hmotnost dle rozměrů. Objemová hmotnost zhutněného asfaltového tělesa se určí z hmotnosti zkušební tělesa a jeho objemu. U prvních tří postupů lze objem zkušební tělesa získat na základě jeho hmotnosti na vzduchu a ve vodě.

### 5.11.1. Příprava zařízení a zkušebních těles

Základem zařízení pro zkoušku jsou laboratorní váhy s možností měření na suchu i ve vodě s přesností  $\pm 0,1$  g. Dále pro měření hmotnosti ve vodě je zapotřebí vodní lázeň a v neposlední řadě teploměr s přesností  $\pm 1,0$  °C. Pro zjištění objemové hmotnosti z rozměrů je zapotřebí vhodné zařízení na měření rozměrů s přesností  $\pm 0,1$  mm. Pro povrchové osušení vzorku je vhodné použít jelenici.

Vzorky pro stanovení objemové hmotnosti byly vyrobeny pomocí rázového zhutnění (viz kapitola 5.8) nebo pomocí zhutňovače desek (viz kapitola 5.9). Před zkouškou je nutné zajistit, aby těleso bylo suché a očištěné. Pokud by bylo těleso vlhké, je nutné jej osušit na ustálenou hmotnost v laboratorní sušárně.

### 5.11.2. Postup zkoušky

V prvním kroku se nejprve stanoví suchá hmotnost ( $m_1$ ) zkušební tělesa tak, že se vzorek vloží na váhy a zapíše se jeho suchá hmotnost. Následně se tělesa ponoří do vodní lázně, u které se zjistí hustotu. Tělesa by měla být ve vodě ponořena na dobu alespoň 30 minut. Následně se na laboratorní váhy připevní kovový košík, vytáruje se hodnota vah

<sup>36</sup> ČSN EN 12697-6+A1. *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušební tělesa*. Praha: Český normalizační institut, 2007.



a můžou se do košíku postupně vložit tělesa. Po ustálení hmotnosti se může zapsat hodnota ( $m_2$ ), tedy hmotnost zkušební vzorku pod vodou. V posledním kroku se zjistí hmotnost zkušební vzorku po vytažení ( $m_3$ ). Ta se určí tak, že se nejprve těleso vytáhne z vodní lázně, povrchově se osuší pomocí jelenice a nakonec se vzorek zváží.

Pro stanovení objemové hmotnosti podle rozměrů se stanoví nejprve rozměry tělesa dle EN 12697-29 a následně se potřebuje suchá hmotnost ( $m_1$ ).



Obrázek 35: Vážení zkušební desky ve vodě

### 5.11.3. Výpočet

Objemovou hmotnost dle postupu b, tedy nasycený suchý povrch (SSD), lze zjistit dle následujícího vztahu:

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

- Kde  $\rho_{ssd}$  je objemová hmotnost SSD, v  $\text{kg/m}^3$ ;  
 $m_1$  je hmotnost suchého tělesa, v g;  
 $m_2$  je hmotnost tělesa ve vodě, v g;  
 $m_3$  je hmotnost tělesa nasyceného vodou a povrchově osušeného, v g;  
 $\rho_w$  je hustota vody při zkušební teplotě, v  $\text{kg/m}^3$ .

Objemovou hmotnost z rozměrů na válcovém tělese se vypočítá s přesností na  $1 \text{ kg/m}^3$  dle následujícího vztahu:

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

Kde  $\rho_{b,dim}$  je objemová hmotnost tělesa podle rozměrů, v  $\text{kg/m}^3$ ;

$m_1$  je hmotnost suchého tělesa, v g;

$h$  je výška zkušební tělesa, v mm;

$d$  je průměr zkušební tělesa, v mm.

Veškeré hmotnosti se uvádí v gramech s přesností na 0,1 g. Veškerá měření se stanovují v milimetrech s přesností na 0,1 mm.

## 5.12. Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí<sup>37</sup>

Mezerovitost asfaltové směsi je popsána v evropské normě ČSN EN 12697-8, s kompletním názvem Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 8: Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí. Dle této normy zjistíme postup pro výpočet dvou objemových charakteristik ztuhlého zkušební tělesa. Nejprve se jedná o mezerovitost ( $V_m$ ) a dále o stupeň vyplnění mezer ve směsi kameniva pojivem ( $VFB$ ).

### 5.12.1. Příprava ke stanovení

Se stanovením mezerovitosti asfaltových směsí jsem se v diplomové práci setkal jednak u Marshallových těles tvaru válce a jednak u laboratorně vyrobených desek. Aby bylo možno mezerovitost stanovit, je nejprve potřeba zjistit objemovou hmotnost tělesa a zároveň zjistit maximální objemovou hmotnost směsi. Obě jmenované veličiny se stanoví dle výše popsaných zkoušek (kapitola 5.10 a kapitola 5.11).

### 5.12.2. Výpočet

Mezerovitost se počítá s přesností 0,1 % následujícím způsobem:

$$V_m = \frac{\rho_m - \rho_b}{\rho_m} \cdot 100$$

<sup>37</sup> ČSN EN 12697-8. Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 8: Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí. Praha: Český normalizační institut, 2004.

- Kde  $V_m$  je mezerovitost směsi s přesností, v %;  
 $\rho_m$  je maximální objemová hmotnost směsi, v  $\text{kg/m}^3$ ;  
 $\rho_b$  je objemová hmotnost zkušebního tělesa, v  $\text{kg/m}^3$ .

Dále se stanoví stupeň vyplnění mezer ve směsi kameniva pojivem v % (**VFB**). Stupeň vyplnění mezer ve směsi kameniva v asfaltovém zkušebním tělese v % se vypočítá z obsahu pojiva, mezerovitosti směsi kameniva, objemové hmotnosti zkušebního tělesa a objemové hmotnosti pojiva. Stupeň vyplnění mezer ve směsi kameniva v % se vypočítá s přesností 0,1 % následujícím způsobem:

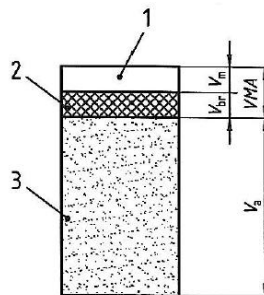
$$VFB = \frac{\frac{B \cdot \rho_b}{\rho_B}}{VMA} \cdot 100$$

- Kde **VFB** je stupeň vyplnění mezer ve směsi kameniva pojivem, v %;  
**B** je obsah pojiva ve zkušebním tělese (ve 100 % směsi) v %;  
 $\rho_b$  je objemová hmotnost zkušebního tělesa, v  $\text{kg/m}^3$ ;  
 $\rho_B$  je objemová hmotnost pojiva, v  $\text{kg/m}^3$ ;  
**VMA** je mezerovitost směsi kameniva, v %.

Mezerovitost směsi kameniva se vypočítá dle vztahu:

$$VMA = V_m + B \cdot \frac{\rho_b}{\rho_B}$$

- Kde **VMA** je mezerovitost směsi kameniva, v %;  
 $V_m$  je mezerovitost zkušebního tělesa, v %;  
**B** je obsah pojiva ve zkušebním tělese (ve 100 % směsi) v %;  
 $\rho_b$  je objemová hmotnost zkušebního tělesa, v  $\text{kg/m}^3$ ;  
 $\rho_B$  je objemová hmotnost pojiva, v  $\text{kg/m}^3$ .



Obrázek 36: Mezerovitost směsi kameniva, Zdroj: ČSN EN 12697-8

### Legenda:

- 1 – mezerovitost ( $V_m$ )
- 2 – objem asfaltového pojiva ( $V_{br}$ )
- 3 – objem směsi kameniva ( $V_a$ )

## **5.13. Zkouška pojíždění kolem<sup>38</sup>**

Zkouška pojíždění kolem je popsána v normě ČSN EN 12697-22 a lze ji použít u směsí s maximální velikostí zrna  $\leq 32$  mm. Podstatou zkoušky je náchylnost asfaltové směsi k deformaci. Ta se měří pomocí hloubky vyjeté koleje vzniklé opakovaným pojezdem zatíženého kola. Zkouška probíhá při konstantní teplotě.

### **5.13.1. Výroba zkušebních těles**

Měření probíhalo na zkušebních deskách, které byly zhutněny pomocí lamelového zhutňovače při teplotě 155 °C. Samotná směs se míchala při teplotě 170 °C. Rozměry desky jsou 260 mm x 320 mm x 30 mm. Tato tloušťka desky byla zvolena z důvodu, že vrstva SAL se pokládá v nižších tloušťkách, kterým nejlépe odpovídá hodnota 30 mm. Po zhutnění jsem desku zvážil, změřil jsem její rozměry a důkladně ji popsal. Z naměřených údajů jsem spočítal objemovou hmotnost desky z vážení ve vodě a taktéž z rozměrů, dále jsem zjistil mezerovitost a spočítal jsem míru zhutnění.

### **5.13.2. Postup zkoušky**

Před zkouškou je nutné desku vložit do rozebíratelné ocelové formy, ve které musí být deska řádně fixována. Následně se těleso před zkouškou vytemperuje na požadovanou teplotu zkoušky 50 °C. Při tloušťce 30 mm je doba temperance při teplotě (50±1) °C nejméně 4 hodiny a zároveň nejvýše 24 hodin. Před vlastní zkouškou je vhodné temperovat i zkušební zařízení, tak aby byla zajištěna požadovaná teplota již od počátku zkoušky.

Po temperaci se zkušební deska uloží do zkušebního zařízení (viz Obrázek 37), kde je forma přidělána pomocí šroubů. Následně se zkušební zařízení uvede do provozu, samotná zkouška od této chvíle probíhá plně automaticky. Každý vzorek je zatěžován 10 000

---

<sup>38</sup> ČSN EN 12697-22+A1. *Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 22: Zkouška pojíždění kolem*. Praha: Český normalizační institut, 2007.

zatěžovacími cykly, což odpovídá 20 000 pojezdů. Po dovršení této hodnoty je zkouška automaticky ukončena.



Obrázek 37: Zařízení na zkoušku pojíždění kolem

### 5.13.3. Výpočet a vyhodnocení zkoušky

Výsledkem zkoušky je grafické znázornění hloubky vyjeté koleje v závislosti na počtu cyklů (pojezdů). Základní charakteristikou je nárůst vyjeté koleje, který se značí  $WTS_{AIR}$ .

$$WTS_{AIR} = \frac{d_{10\,000} - d_{5\,000}}{5}$$

Kde  $WTS_{AIR}$  je přírůstek hloubky vyjeté koleje, v mm/10<sup>3</sup> zatěžovacích cyklů;

$d_{10\,000}$ ,  $d_{5\,000}$  je hloubka vyjeté koleje po 5 000, resp. 10 000 cyklech, v mm.

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

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

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

Průměrná hloubka vyjeté koleje pro zkušenu asfaltovou směs při N zatěžovacích cyklech je průměr poměrné hloubky vyjeté koleje ze dvou (nebo více) zkušebních těles s přesností  $\pm 0,1\%$ .

## **5.14. Stanovení vlastností asfaltových směsí zkouškou v tahu za ohybu<sup>39</sup>**

Zkouška v tahu za ohybu je popsána v Technických podmínkách (TP 151 - Asfaltové směsi s vysokým modulem tuhosti). Podstatou zkoušky je zjištění deformačních charakteristik u vybraných směsí. Zkouška byla realizována u všech navržených směsí. Hlavní příčinou výběru zkoušky byl fakt, že bez této zkoušky se neobejde relaxace asfaltových směsí, která byla v této diplomové práci uvažována jako stěžejní.

### **5.14.1. Příprava zkušebních těles**

Zkouška v tahu za ohybu se provádí na tělesech tvaru hranolu o rozměrech 40 mm x 40 mm x 160 mm. Tělesa jsou vyřezána z desky, která byla zhutněna pomocí lamelového zhutňovače (viz kapitola 5.9). Rozměry vzorků by se po vyřezání neměly lišit od požadovaných o více než 5 %. Dále je velmi důležité, aby protistrany byly rovnoběžné. Po vyřezání jsou jednotlivé vzorky důkladně popsány, změřeny a zváženy. Hodnoty jsem zapsal do záznamového bloku a stanovil jsem objemovou hmotnost, která by se u jednotlivých směsí neměla lišit o více než  $0,04 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ . Dále jsem na vzorky nalepil pomocí vteřinového lepidla kovové plíšky z důvodu omezení možnosti vtlačování podpor a zatěžovacího břitu do zkušebního tělesa. Plíšky jsem nalepil na oříznuté hrany trámečku.

### **5.14.2. Postup zkoušky**

Samotná zkouška probíhala při teplotě  $\pm 0^\circ\text{C}$  až  $+1^\circ\text{C}$  ve vodní lázni na lisu firmy Consultest s.r.o. (viz Obrázek 40), který umožnil požadovanou zkoušku provádět. K lisu bylo dále důležité použít vhodné čelisti (viz Obrázek 39), které byly pro potřebu zkoušky

<sup>39</sup> TP 151. *Asfaltové směsi s vysokým modulem tuhosti (VMT)*. Ministerstvo dopravy, odbor silniční infrastruktury, 2010.

propůjčeny Ústavem technologie stavebních hmot a dílců. Čelisti byly před zkouškou přibližně na hodinu uloženy do mrazícího zařízení, z důvodu aby voda v ocelovém hrnci neztratila požadovanou teplotu. Zkouška probíhala tak, že byl do zařízení lisu nejprve umístěn ocelový hrnec s vodou o teplotě  $\pm 0$  °C až  $+1$  °C. Dále do tohoto hrnce byly dány ocelové čelisti, které umožnily požadované namáhání zkušebních trámečků. Nakonec se do lázně ponořil samotný zkušební trámeček. Po usazení vzorku přišlo na řadu vlastní měření, které bylo řízeno pomocí počítače. Vzorek byl postupně zatěžován a pomocí snímače byla zjištěna maximální síla, než došlo k porušení tělesa, dále byl zaznamenán naměřený průhyb.

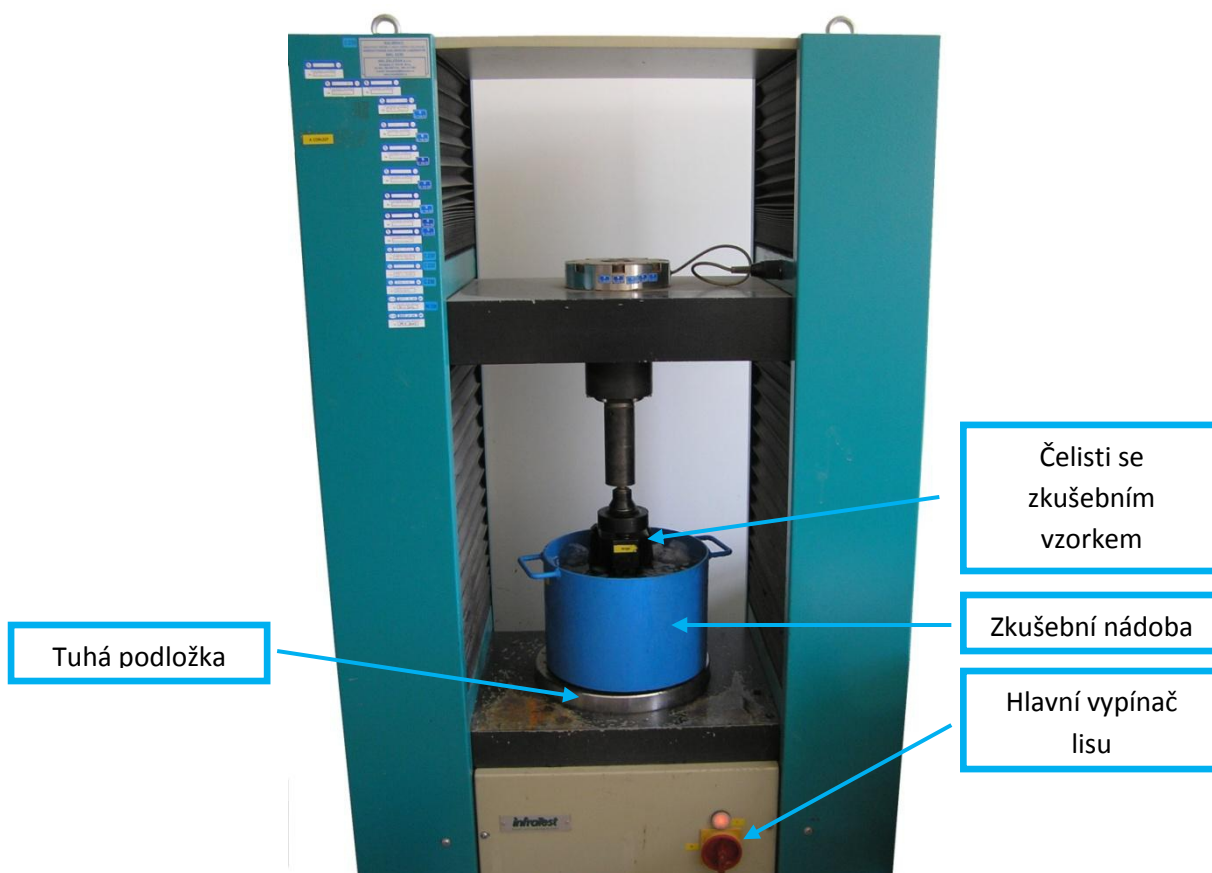


Obrázek 38: Vodní lázeň se zkušebními čelistmi



Obrázek 39: Čelisti se zkušebním vzorkem

Do záznamového listu se postupně zapisují rozměry vzorků s přesností na 0,1 mm, vzdálenost podpor, způsob porušení vzorku (křehký, plastický, atd.), největší dosažená síla v kN s přesností na 0,1 kN odečtená z grafického záznamu zatěžování a nakonec průhyb uprostřed rozpětí při porušení vzorku  $Y_s$  v mm s přesností 0,01 mm.



Obrázek 40: Průběh zkoušky ve zkušebním lisu

### 5.14.3. Výpočet a vyhodnocení zkoušky

Základem zkoušky je výpočet pevnosti v tahu za ohybu  $R_i$  [kN]. Pevnost v tahu za ohybu je základní hodnou pro zkoušku relaxace a vypočítá se pomocí níže uvedeného vztahu.

$$R_i = \frac{3}{2} \cdot \frac{P \cdot l}{b \cdot h^2}$$

- Kde  $P$  je největší dosažená síla v N,  
 $l$  je vzdálenost podpor zkušebního tělesa v mm,  
 $b$  je šířka zkušebního tělesa v mm,  
 $h$  je výška zkušebního tělesa v mm.



Další hodnotou, kterou lze pomocí zkoušky odvodit, je modul tuhosti v tahu za ohybu  $E_s$  [MPa].

$$E_s = \frac{1}{4 \cdot Y_s} \cdot \frac{P \cdot l^3}{b \cdot h^3}$$

Kde  $Y_s$  je (korigovaný) průhyb zjištěný uprostřed rozpětí při okamžiku porušení vzorku v mm.

Poslední veličinou, kterou lze získat, je maximální relativní přetvoření  $\varepsilon_s$  [%]. Ta se stanoví pomocí vztahu:

$$\varepsilon_s = \frac{600 \cdot h}{l^2} \cdot Y_s$$

Pevnost v tahu za ohybu se  $R_t$  se uvádí s přesností 0,01 MPa, modul tuhosti  $E_s$  se zaokrouhlí na 10 MPa, relativní přetvoření  $\varepsilon_s$  se uvádí s přesností na 0,01 %. Výsledná hodnota se spočítá jako aritmetický průměr nejméně tří změřených těles. Žádný výsledek se nesmí od aritmetického průměru lišit o více než 25 %.

### 5.15. Zkouška relaxace asfaltových směsí<sup>40</sup>

Zkouška relaxace asfaltové směsi je popsána v Technických podmínkách (TP 151) pod názvem Asfaltové směsi s vysokým modulem tuhosti (VMT). Podstatou zkoušky je stanovení relaxačních charakteristik dané směsi zkouškou v tahu za ohybu. Dle předpisu by se měla zkouška provádět ve vodní lázni při teplotě  $\pm 0$  °C. Pro orientační stanovení lze zkoušku provést na vytemperovaném a povrchově izolovaném vzorku.

Zkouška byla provedena na všech navrhovaných směsích, a to tak, že byly vybrány tělesa s 10,0 % pojiva a dále u směsi číslo 2, taktéž vzorek s 12,0 % pojiva. U jednotlivých vzorků byla použita vždy tři tělesa.

#### 5.15.1. Příprava zkušebních těles

Zkouška relaxace se provádí na tělesech tvaru hranolu o rozměrech 40 mm x 40 mm x 160 mm. Tělesa jsou vyřezána z desky, která byla zhutněna pomocí lamelového zhutňovače

<sup>40</sup> TP 151. *Asfaltové směsi s vysokým modulem tuhosti (VMT)*. Ministerstvo dopravy, odbor silniční infrastruktury, 2010.

(viz kapitola 5.9). K nařezání desky byla použita pila s diamantovým kotoučem. Protilehlé stěny musí být rovnoběžné, šířka a výška těles by se neměla od požadavků lišit o více než 5 %. Po vyřezání jsem vzorky popsal a změřil jsem jejich rozměry. Dále jsem na jednotlivé vzorky přilepil, pomocí vteřinového lepidla, kovové plíšky pro omezení možnosti vtačování podpor a zatěžovacího břitu do zkušebního tělesa.



Obrázek 41: Čelisti včetně tlačného vzorku

### 5.15.2. *Postup zkoušky*

Zkušební tělesa se před samostatnou zkouškou vždy temperují ve vodní lázni nejméně 1,5 hodiny. Teplota vodní lázně se pohybuje v rozsahu  $\pm 0$  °C až +1 °C. Je nutné si připravit protokol, ve kterém jsou zaznamenány jednotlivé síly na přidržení u každé směsi. Pro zjištění síly na přidržení se před vlastní zkouškou relaxace provede zkouška v tahu za ohybu, o které bylo pojednáno v kapitole 5.14. Hodnota síly na přidržení se spočítá jako 2/3 maximální síly, při které je vzorek porušen při zkoušce v tahu za ohybu.

Samotná zkouška probíhá tak, že je těleso vloženo do zatěžovacího zařízení lisu (viz Obrázek 42). Těleso by mělo být vloženo do izolované vodní lázně temperované na  $\pm 0$  °C drceným ledem. Jelikož v silniční laboratoři a ani v laboratoři firmy Consultest s.r.o. nebylo možné na zařízení lisu provádět tuto zkoušku, byl využit lis Ústavu technologie stavebních hmot a dílců pod vedením doc. Ing. Radomíra Sokoláře, Ph.D. Tento lis ovšem neumožňoval

provádět zkoušku ve vodní lázni, proto bylo těleso vždy obaleno do mokrých papírových ubrousků, které byly vytemperovány ve vodní lázni na teplotu  $\pm 0$  °C až  $+1$  °C.



Obrázek 42: Zkušební lis

Abych co nejlépe docílil požadované teploty, byla zkouška zahájena ihned po umístění tělesa do zařízení lisu. Pomocí řídicí jednotky byla nastavena síla na přidržení. Průběh zkoušky spočíval v tom, že nejprve byly vzorky postupně zatíženy na požadovanou sílu a dále bylo pomocí lisu zajištěno, aby se udrželo konstantní přetvoření vzorku. Dále jsem na záznamovém zařízení sledoval závislost poklesu síly na čase. Charakteristickou hodnotou pro další zpracování výsledků je hodnota po pěti minutách od začátku relaxace.

### 5.15.3. Výpočet a vyhodnocení zkoušky

Z naměřených hodnot se relaxace pro požadovanou dobu vypočítá jako:

Napětí v tahu za ohybu  $\sigma(t)$  v MPa se určí pomocí vztahu:

$$\sigma(t) = \frac{3}{2} \cdot \frac{Pr(t) \cdot l}{b \cdot h^2}$$

Kde  **$Pr(t)$**  je síla zaznamenaná v čase  $t$  v N (např. pro  $t = 0, 15, 30$  s atd.),

**$l$**  je vzdálenost podpor zkušebního tělesa v mm,

**$b$**  je šířka zkušebního tělesa v mm,

**$h$**  je výška zkušebního tělesa v mm,

Výpočet relativního relaxačního napětí  $\sigma_r(t)$  se stanoví pomocí vztahu:

$$\sigma_r(t) = \frac{3}{2} \cdot \frac{Pr(t)}{Pr(t_0)}$$

Kde  $Pr(t_0)$  je největší dosažená síla [N] neboli síla, která je dosažena na začátku relaxace,  $Pr(t)$  je síla zaznamenaná v čase  $t$  [N].

Napětí v tahu za ohybu  $\sigma(t)$  se uvádí do záznamového protokolu s přesností na 0,01 MPa, relaxační napětí  $\sigma_r(t)$  je bezrozměrné číslo a zapisuje se s přesností na 0,001 nebo popřípadě v procentech s přesností 0,1 %. Výsledkem zkoušky je závislost relaxačního napětí  $\sigma_r(t)$  na čase. Výsledná hodnota se spočítá jako aritmetický průměr nejméně tří změřených vzorků. Žádný vzorek se nesmí od aritmetického průměru lišit o více než 25 %. U námi dělané zkoušky jsme jako reprezentativní čas brali hodnotu  $t = 5$  min.

## 5.16. Stanovení odolnosti zkušební tělesa vůči vodě<sup>41</sup>

Jedná se o zkoušku, která je popsána v evropské normě ČSN EN 12697-12 s názvem Asfaltové směsi – zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 12: Stanovení odolnosti zkušební tělesa vůči vodě. K této zkoušce byla vybrána reprezentativní směs č. 2, která obsahuje 10 % pojiva. V diplomové práci se zabývám metodou A, jež je popsána ve výše citované normě. Podstatou zkoušky je, že sada těles ve tvaru válce se rozdělí na dvě skupiny. První skupina je udržována při laboratorní teplotě na suchu a druhá skupina je udržována ve vodní lázni se zvýšenou teplotou. Nakonec se určí pevnost v příčném tahu na každé ze dvou skupin podle kapitoly 5.18 při předepsané zkušební teplotě. Výsledkem zkoušky je poměr pevnosti v příčném tahu u obou skupin.

### 5.16.1. Příprava zkušebních těles

Pro samotnou zkoušku se nejprve vyrobí tělesa ve tvaru válce pomocí rázového zhutňovače (viz 5.8). Zkušební tělesa jsem hutnil rázovým zhutňovačem 2 x 25 úderů. Po zhutnění se tělesa systematicky rozdělí do dvou skupin na mokrá a suchá. Dále je předepsáno, že rozdíl průměrné výšky nesmí být větší než 5 mm a zároveň rozdíl průměrných objemových hmotností nesmí být větší než 15 kg/m<sup>3</sup>.

<sup>41</sup> ČSN EN 12697-12. *Asfaltové směsi – zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 12: Stanovení odolnosti zkušební tělesa vůči vodě*. Praha: Český normalizační institut, 2009.

### 5.16.2. Postup zkoušky

Nejprve se oddělí suchá tělesa a nechají se na vzduchu při laboratorní teplotě  $(20\pm 5)$  °C. Skupina mokrých těles se vloží do vakuové komory, která je naplněna destilovanou vodou o teplotě  $(20\pm 5)$  °C do úrovně nejméně 20 mm nad horní hranu vzorků. Následně se ve vakuové komoře vytvoří během  $(10\pm 1)$  min. tlak  $(6,7\pm 0,3)$  kPa. Tlak se během této doby postupně snižuje, aby nedošlo k porušení těles. Požadovaný tlak se udržuje po dobu  $(30\pm 5)$  min. Poté se pomalu vpouští atmosférický tlak do vakuové komory. Vzorky se po vyrovnání tlaků ponechají ve vodní lázni ještě po dobu  $(30\pm 5)$  min. Následně se tělesa vloží do vodní lázně o teplotě  $(40\pm 1)$  °C na dobu 68 h až 72 h.

Po uplynutí této doby se skupina suchých těles uloží do termostatické komory o teplotě  $(15\pm 2)$  °C na dobu nejméně 2 h. Skupina mokrých těles se přesune do vodní lázně o teplotě stejné, jako mají tělesa suchá, tedy na  $(15\pm 2)$  °C a opět na dobu minimálně 2 h. Po uplynutí doby temperace se může přejít k vlastní zkoušce v příčném tahu (viz 5.18). Zkouška se musí provést do 1 min. po vytažení z vodní lázně nebo respektive z temperační komory.



Obrázek 43: Lis se zkušební vzorkem

### 5.16.3. Výpočet a vyhodnocení zkoušky

Výsledkem zkoušky je výpočet poměru pevností v příčném tahu (ITSR) dle vzorce:

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

Kde **ITSR** je poměr pevností v příčném tahu v %;

**ITS<sub>w</sub>** je průměrná pevnost v příčném tahu u skupiny mokrých těles v kPa;

**ITS<sub>d</sub>** je průměrná pevnost v příčném tahu u skupiny suchých těles v kPa.

### 5.17. Aplikace odolnosti zhutněné asfaltové směsi vůči porušení vodou a mrazem

Jedná se o obdobu zkoušky popsané v kapitole 5.16, tedy stanovení odolnosti zkušebního tělesa vůči vodě s tím rozdílem, že jedna sada zkušebních těles je podrobena mrazovému cyklu. Ke zkoušce byla taktéž vybrána reprezentativní směs č. 2, která obsahuje 10 % pojiva.

#### 5.17.1. Postup zkoušky

Tato nenormová zkouška začíná obdobně jako u skupiny mokrých těles, tedy skupina těles pro zkoušku mrazového cyklu se vloží společně s tělesy z mokré sady do vakuové komory, která je naplněna destilovanou vodou o teplotě (20±5) °C do úrovně nejméně 20 mm nad horní hranu vzorků. Následně se ve vakuové komoře vytvoří během (10±1) min. tlak (6,7±0,3) kPa. Tlak se během této doby postupně snižuje, aby nedošlo k porušení těles. Požadovaný tlak se udržuje po dobu (30±5) min. Poté se pomalu vpouští atmosférický tlak do vakuové komory. Vzorky se po vyrovnání tlaků ponechají ve vodní lázni ještě po dobu (30±5) min.

Následně se tělesa umístí do mrazicí komory o teplotě (-18±3) °C na dobu minimálně 16 hodin. V mrazáku jsou tělesa zabalena v potravinářské fólii a ještě jsou vložena do sáčku. Po uplynutí předepsané doby se tělesa umístí do vodní lázně o teplotě (60±1) °C na dobu (24 ± 1) hodin. Po vložení do vody se co nejdříve odstraní plastový sáček a potravinářská fólie. Nakonec se vloží tělesa do lázně s teplotou (15±0,5) °C na 2 hod ± 10 min. Po uplynutí posledního temperování se může přistoupit k vlastní zkoušce na lise, která probíhá dle kapitoly 5.18.

### 5.17.2. Vyhodnocení zkoušky

Výsledkem zkoušky je stanovení poměru pevností v příčném tahu ( $ITSR_m$ ) dle vzorce níže. Vztah je obdobný jako u předcházející kapitoly 5.16 s tím rozdílem, že místo skupiny mokřých těles se použijí tělesa podrobena mrazu.

$$ITSR_m = 100 \cdot \frac{ITS_m}{ITS_d}$$

Kde  $ITSR_m$  je poměr pevností v příčném tahu v %;

$ITS_m$  je průměrná pevnost v příčném tahu u skupiny zmrazených těles v kPa;

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

### 5.18. Stanovení pevnosti v příčném tahu<sup>42</sup>

Tuto zkoušku jsem použil při zjišťování odolnosti vůči vodě. Zkouška je popsána v evropské normě ČSN EN 12697-23 s kompletním názvem: Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 23 Stanovení pevnosti v příčném tahu. Podstatou zkoušky je, že je vzorek po temperaci na předepsanou teplotu uložen do lisu mezi zatěžovací pásy a je zatížen podél středové osy při konstantní rychlosti zatěžování, a to do okamžiku porušení. Pevnost v příčném tahu je maximální napětí, které zapříčiní porušení tělesa.

Popisovaná zkouška je využita jako součást zkoušky odolnosti asfaltové směsi vůči vodě.

#### 5.18.1. Příprava zkušebních těles a zařízení

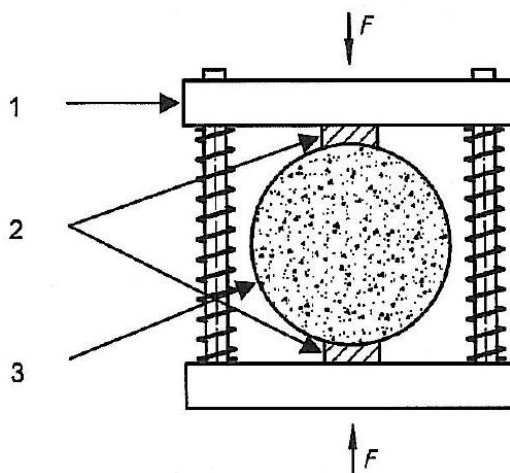
Zkušební tělesa jsou vyrobena pomocí rázového zhutňovače dle popisu ve článku (viz kapitola 5.8). Tlačené čelisti pro zkoušení pevnosti v příčném tahu jsou vybaveny zatěžovacími pásy z kalené oceli, které mají vydutý povrch s poloměrem, který odpovídá poloměru zkušebních těles (viz Obrázek 44).

Pro tělesa o průměru ( $100 \pm 3$ ) mm je šířka zatěžovacích pásů ( $12,7 \pm 0,2$ ) mm. Měřicí zařízení by mělo být schopno měřit s přesností  $\pm 0,2$  kN.

<sup>42</sup> ČSN EN 12697-23. *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 23: Stanovení pevnosti v příčném tahu*. Praha: Český normalizační institut, 2005.

### 5.18.2. Postup zkoušky

Zkouška probíhá při laboratorní teplotě, teplota těles je předepsána dle zkoušky – Odolnost zkušební tělesa vůči vodě. Těleso je před zkouškou temperováno na teplotu  $(15\pm 2)$  °C. Samotný průběh zkoušky by měl proběhnout do jedné minuty od vytažení tělesa z temperovaného prostoru. Zkouška probíhá tak, že se nejprve vloží těleso do zařízení lisu (viz Obrázek 43) a následně se lis pomocí řídicí jednotky aktivuje. Zatížení působí při konstantní rychlosti  $(50\pm 2)$  mm za minutu až do dosažení maximálního zatížení. Výsledkem zkoušky je maximální dosažené zatížení a dále lze zapsat způsob porušení.



Obrázek 44: Tlačná čelist se zatěžovacími pásy a zkušební těleso, Zdroj: ČSN EN 12697-23

- Legenda:**
- 1 - Tlačná čelist
  - 2 - Zatěžovací pásy
  - 3 - Zkušební těleso

### 5.18.3. Výpočet a vyhodnocení zkoušky

Výsledkem zkoušky je pevnost v příčném tahu pro každé těleso (*ITS*). Pro zkoušku odolnosti proti vodě to znamená, že získáme hodnoty *ITS<sub>d</sub>* a *ITS<sub>w</sub>*, tedy hodnoty potřebné pro výpočet *ITSR*. Výpočet *ITS* lze získat pomocí vztahu:

$$ITS = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot d \cdot h}$$

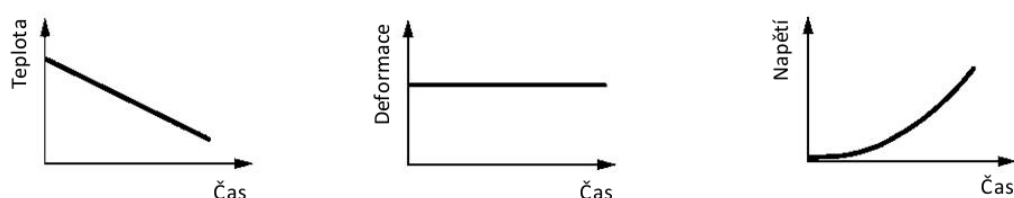
- Kde *ITS* je pevnost v příčném tahu, v MPa, výsledek se zaokrouhluje na tři platné cifry;  
*P* je maximální zatížení, v N, zaokrouhleno na celé číslo;  
*D* je průměr zkušební tělesa, v mm, zaokrouhleno na jedno desetinné místo;  
*H* je výška zkušební tělesa, v mm, zaokrouhleno na jedno desetinné místo.



## 5.19. Nízkoteplotní vlastnosti<sup>43</sup>

Nízkoteplotní charakteristiky směsi se určují podle ČSN EN 12697-46 (Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 46: Nízkoteplotní vlastnosti a tvorba trhlin pomocí jednoosé zkoušky tahem). Norma specifikuje jednoosé zkoušky tahem, které umožňují vyhodnotit například minimální teplotu, kterou je asfaltová směs schopna snést před svým porušením.

Při zkoušce nízkoteplotních vlastností s rovnoměrným řízeným poklesem teploty (TSRST) je vzorek, u něhož se udržuje konstantní délka pomocí tuhého rámu, vystavován poklesu teploty o konstantní rychlosti. Vlivem zamezení tepelného smršťování, kterému brání tuhý rám, se v tělese vytváří kryogenní napětí.



Obrázek 45: Podstata zkoušky TSRST

### 5.19.1. Příprava zkušebních těles a zařízení

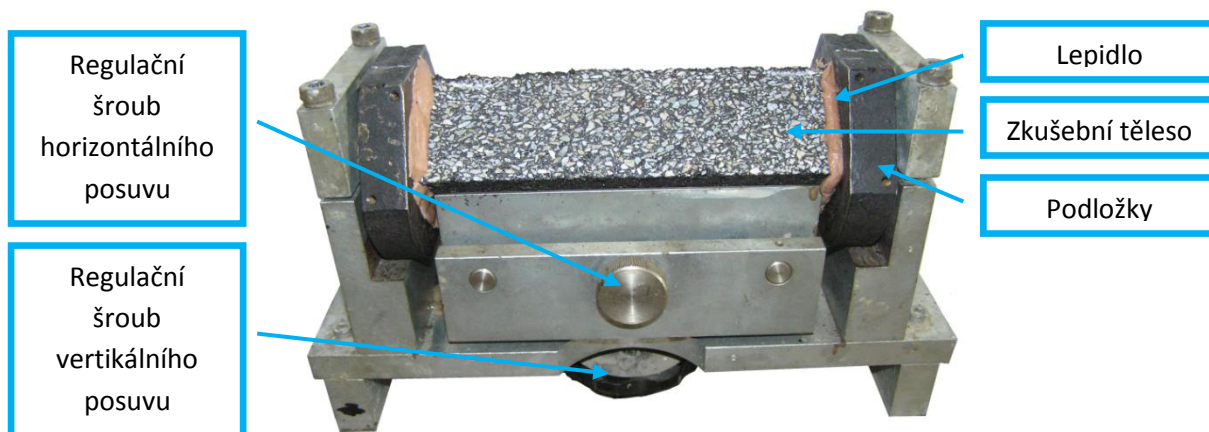
Zkušební tělesa se připravují tak, že se nejprve stanoví navážka na desku, která je posléze zhutněna. Následně se u desky zjistí objemová hmotnost a tím se získá i míra zhutnění. Pokud je deska zhutněna v požadovaných mezích, může se pomocí pily s diamantovým kotoučem nařezat na předepsané trámečky. Zkouška se provádí na trámečcích o rozměrech 50 mm x 50 mm x 200 mm, kdy výška je zvolena jako čtyřnásobek velikosti hrany. Z jedné zhutněné desky se dá vyřezat 5 trámečků. U směsi SAL jsem po konzultaci s vedoucím diplomové práce nezařezával všechny 4 hlavní strany s ohledem na malou povrchovou nerovnost.

Po vyschnutí trámečků bylo možné přistoupit k jejich nalepení do speciálního stojanu (viz Obrázek 46). K nalepení jsem použil dvousložkovou epoxidovou pryskyřici.

Samotná zkouška probíhá v zařízení CYKLON-40. Toto zatěžovací zařízení musí být schopno vyvodit pohyby s přesností 0,1  $\mu\text{m}$ . Aby se zabránilo vzniku radiálních nebo příčných sil a momentů ve zkušebním tělese, je těleso připojeno k zatěžovacímu zařízení dvěma

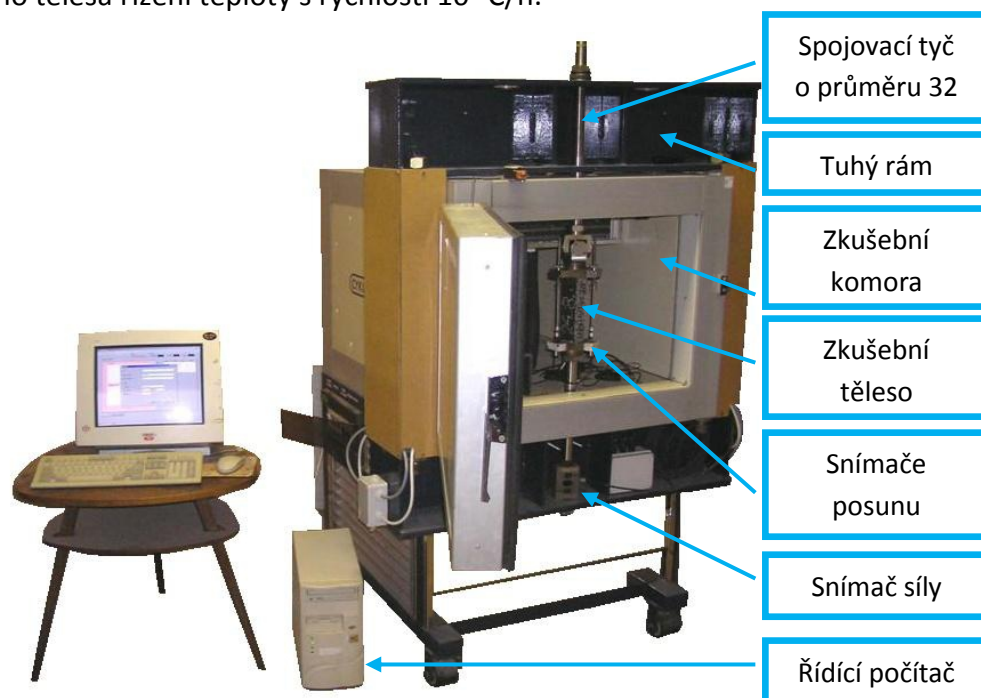
<sup>43</sup> ČSN EN 12697-46. *Asfaltové směsi – zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 46: Nízkoteplotní vlastnosti a tvorba trhlin pomocí jednoosé zkoušky tahem*. Praha: Český normalizační institut, 2012.

kardanovými závěsy. Systém měření deformace musí umožnit měření deformace v rozsahu od  $\pm 2,5$  mm do  $\pm 0,5$   $\mu$ m. Vzhledem k tomu, že je zkušební zařízení vystaveno stejným teplotním změnám jako zkušební tělesa s tepelným smrštěním a roztažností, vyžaduje přesné měření skutečného přetvoření zkušebního tělesa základnu s konstantní délkou při různých teplotách.



Obrázek 46: Kovový rám pro centrické nalepování vzorků

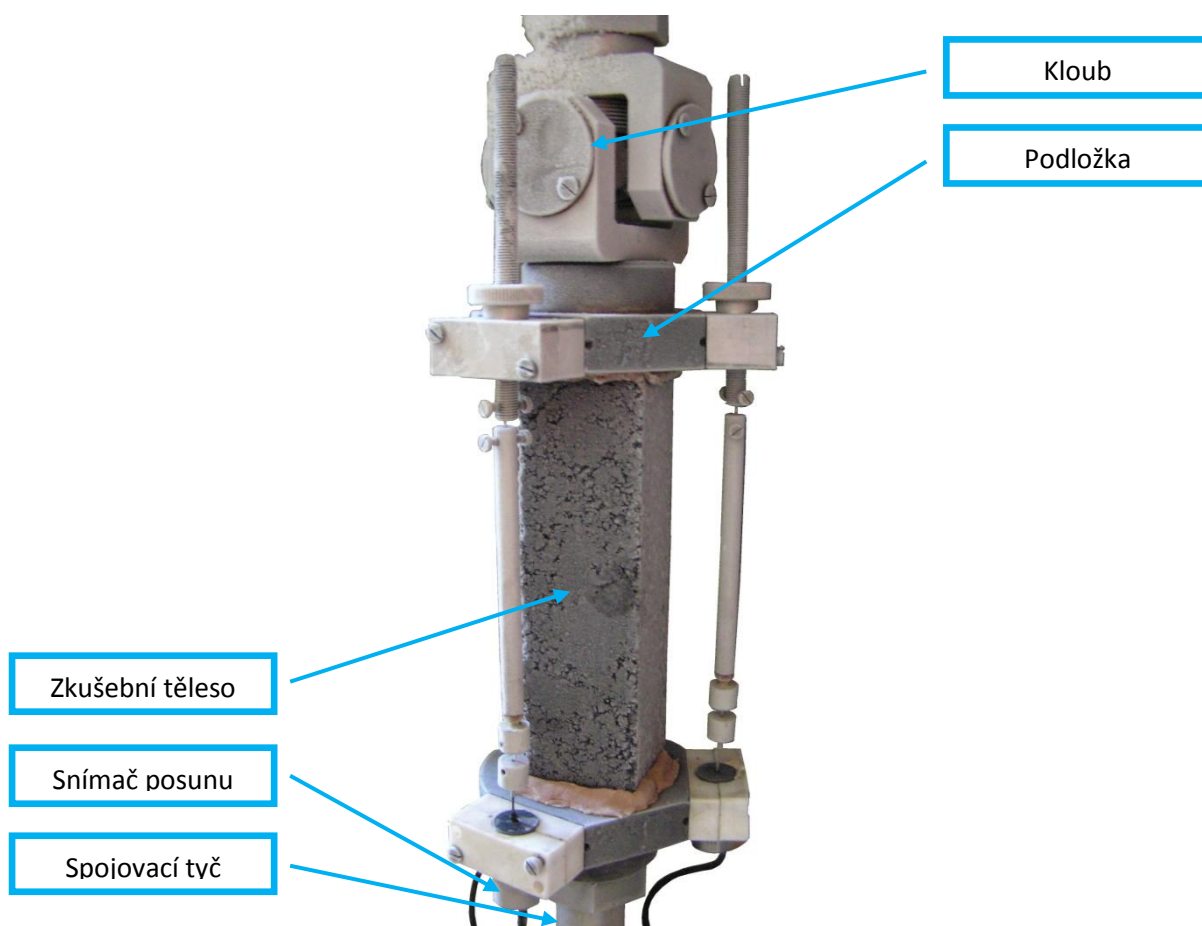
Termostatická komora je tvořena skříní, jež musí umožnit nucený oběh vzduchu a lze do ní umístit zkušební zařízení včetně vzorku. V komoře se udržuje konstantní teplota od  $(-40$  do  $+30)$   $^{\circ}$ C s přesností  $\pm 0,5$   $^{\circ}$ C. Termostatická komora musí být schopna umožnit v jádru zkušebního tělesa řízení teploty s rychlostí 10  $^{\circ}$ C/h.



Obrázek 47: Celkový pohled na zařízení Cyklon-40, Zdroj před úpravou: Dašek Ondřej

### 5.19.2. Postup zkoušky

Zkouška probíhá tak, že se nejprve vyjme vzorek z rámu pro centraci tělesa, poté se vzorek s podložkami připevní do zkušebního zařízení. Následně se přišroubují k zařízení snímače síly, uzavře se komora a můžou se na řídicí jednotce nastavit rozměry, popsat vzorek a v neposlední řadě nastavit snímače. Nakonec se zapne temperace komory a po uplynutí 15 minut začne vlastní měření.



Obrázek 48: Detail uložení vzorku ve zkušebním zařízení po uskutečněné zkoušce

Při zkoušce TSRST se udržuje konstantní délka zkušebního tělesa, zatímco se jeho teplota v čase snižuje. V důsledku zamezovaného tepelného smršťování je zkušební těleso vystaveno kryogennímu (tahovému) napětí.

### 5.19.3. Vyhodnocení zkoušky

Výsledkem zkoušky je grafické znázornění průběhu, z něhož lze zjistit maximální sílu při porušení, dále maximální napětí při porušení a v neposlední řadě teplotu při porušení v komoře a taktéž ve vzorku.

## 5.20. Nasákavost

Nasákavost je popsána v evropské normě pod názvem Zkoušení asfaltových směsí (ČSN 73 6160). Podstatou zkoušky je stanovení objemu vody, která se vsákne do Marshallova tělesa. Zkoušku jsem provedl na vybraných vzorcích u všech navrhovaných směsí a to tak, že byla vybrána tělesa s 10,0 % pojivem a dále u směsi číslo 2, taktéž vzorek s 12,0 % pojivem. U jednotlivých vzorků byla použita vždy tři tělesa.



Obrázek 49: Vážení na hydrostatických vahách v destilované vodě

### 5.20.1. Postup zkoušky

Zkouška nasákavosti probíhá tak, že se nejprve každé těleso ponoří na 5 minut do vodní lázně o teplotě  $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ . Poté se tělesa povrchově osuší a zváží. Tím se získá hodnota  $m_2$ . Po zvážení na vzduchu se tělesa zváží na hydrostatických vahách v destilované vodě (viz Obrázek 49), která má opět teplotu  $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ . Z vážení se získá hodnota  $m_3$ . Následně se vzorky vloží do vakuového exsikátoru, ve kterém jsou vzorky ponořeny do destilované vody. Teplota destilované vody je opět  $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ . Exsikátor se uzavře a pomocí vývěvy se v něm sníží tlak na hodnotu 2,0 kPa až 2,7 kPa (viz Obrázek 50). Tlak se nechá působit po dobu 1,5 hodiny. Po uplynutí doby se tlak vyrovná s atmosférickým, tělesa se

nechají ještě po dobu 1 hodiny v atmosférickém tlaku a nakonec se povrchově osuší a zvaží na vzduchu, čímž se stanoví hodnota  $m_4$ .<sup>44</sup>



Obrázek 50: Exsikátor

### 5.20.2. Vyhodnocení zkoušky

Ze získaných hodnot můžeme spočítat nasákavost  $N$  pomocí vzorce:<sup>45</sup>

$$N = \frac{m_4 - m_2}{m_2 - m_3} \cdot 100$$

Výsledkem zkoušky je tedy hodnota nasákavosti, která je dána v % objemových. Je stanovena jako aritmetický průměr ze tří Marshallových těles. Výsledek se zaokrouhluje na 0,1 %. Jednotlivé vzorky v sérii se mohou lišit maximálně o  $\pm 15$  %. Pokud nějaký vzorek překračuje tuto toleranci, je třeba jej vyloučit.<sup>46</sup>

Dle Československé státní normy - Asfaltový beton pro kryty vozovek - ČSN 73 6148 může být maximální nasákavost v % objemu nejvýše 4 %.<sup>47</sup> Je ovšem důležité si uvědomit, že tato hodnota je jen informativní.

<sup>44</sup> ČSN 73 6160. *Zkoušení asfaltových směsí*. Český normalizační institut, 2008.

<sup>45</sup> Ibid.

<sup>46</sup> Ibid.

<sup>47</sup> ČSN 73 6148. *Asfaltový beton pro kryty vozovek*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1967.

## 5.21. Měření modulu tuhosti asfaltové směsi<sup>48</sup>

Zkouška tuhosti se provádí dle ČSN EN 12697-26 neboli Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 26 Tuhost. Cílem normy je popis zkušební metody, která má za úkol charakterizovat tuhost asfaltových směsí. Zkoušky se provádí na zhutněném asfaltovém materiálu při ustáleném harmonickém zatížení. Z výsledků zkoušky se mohou klasifikovat asfaltové směsi podle modulu tuhosti, které slouží k odhadu chování směsi ve vozovce.

### 5.21.1. Definice

#### Komplexní modul

Jedná se o vztah mezi napětím a přetvořením pro lineárně visko-elastický materiál, který je vystaven ustálenému harmonickému zatížení v čase  $t$ . Používá se napětí  $\sigma \cdot \sin(\omega \cdot t)$ , jehož výsledkem je poměrné přetvoření  $\varepsilon \cdot \sin(\omega \cdot (t - \Phi))$ . Úhel  $\Phi$  je fázový úhel, který znázorňuje posun v porovnání s průběhem napětí. Komplexní modul je charakterizován dvěma složkami, které lze vyjádřit dvěma způsoby. Nejprve reálná složka komplexního modulu  $E_1$  a následně imaginární složka komplexního modulu  $E_2$ .

$$E_1 = |E^*| \cdot \cos(\Phi)$$

$$E_2 = |E^*| \cdot \sin(\Phi)$$

- Kde  $E_1$  je reálná složka komplexního modulu, v MPa;  
 $E_2$  je imaginární složka komplexního modulu, v MPa;  
 $E^*$  je absolutní hodnota komplexního modulu, v MPa;  
 $\Phi$  je fázový úhel, ve stupních (°).

#### Modul tuhosti

Jedná se o absolutní hodnotu komplexního modulu  $|E^*|$  nebo sečného modulu.

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

$$\Phi = \arctg\left(\frac{E_2}{E_1}\right)$$

<sup>48</sup> ČSN EN 12697-26. Asfaltové směsi – Zkušební metody za horka – Část 26: Tuhost. Český normalizační institut, 2006.

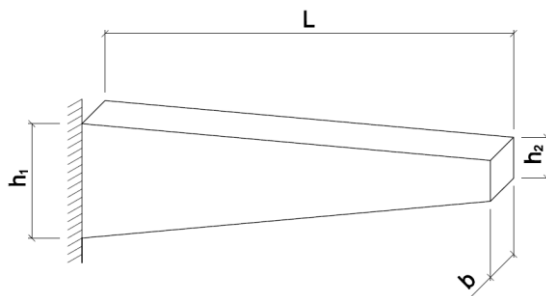
## Sečný modul

Definuje vztah mezi napětím a poměrným přetvořením po dobu zatěžování  $t$ . Materiál je zatěžován konstantním přetvořením s napětím  $\sigma(t)$  a poměrným přetvořením  $\varepsilon(t)$  v čase  $t$ .

$$E(t) = \frac{\sigma(t)}{\varepsilon(t)}$$

### 5.21.2. Podstata zkoušky

Zkoušené vzorky jsou deformovány ve zkušebním zařízení v rozsahu lineárního přetvoření. Využívá se buď stejné zatěžování nebo při zatěžování konstantním přetvořením. Při zkoušce se měří amplituda napětí a poměrné přetvoření spolu s fázovým úhlem mezi napětím a poměrným přetvořením.



#### Rozměry komolého klínu:

$$h_1 = 70 \text{ mm}$$

$$h_2 = 30 \text{ mm}$$

$$b = 30 \text{ mm}$$

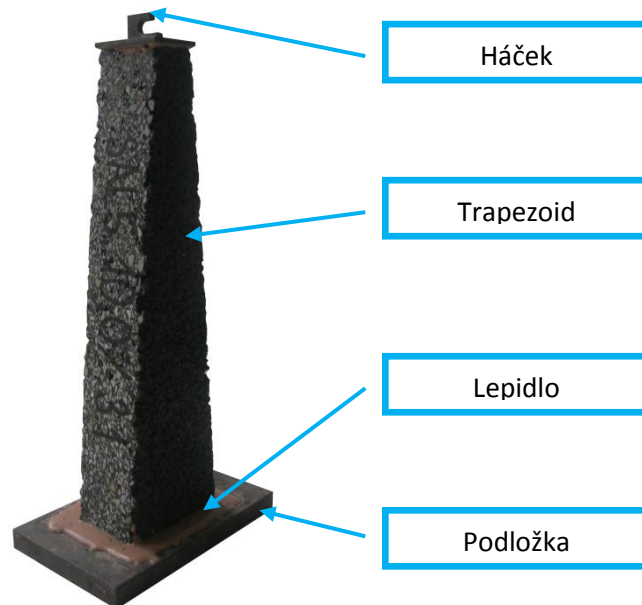
$$L = 30 \text{ mm}$$

Obrázek 51: Rozměry zkušebních těles

### 5.21.3. Příprava zkušebních těles a zařízení

Pro popisovanou zkoušku se vyrábí desky o tloušťce 40 mm. Po vychladnutí se u desky provede zjištění objemové hmotnosti (viz kapitola 5.11), která se porovná s objemovou hmotností Marshalových těles. V následné fázi je deska nařezána pomocí pily s diamantovým kotoučem na trapezoidy. Obrázek 51 znázorňuje rozměry trapezoidu. Po nařezání se nechají trapezoidy vyschnout při laboratorní teplotě a jsou zjištěny jejich rozměry a hmotnost, které jsou zapsány do záznamového protokolu. V poslední řadě se vzorky nalepí na ocelovou destičku a na špičku trapezoidu se nalepí ocelový háček (Obrázek 52). Pro nalepení se používá epoxidová pryskyřice, která se smíchá s tvrdidlem a filerem. Po namíchání na požadovanou hustotu se lepidlo nanese na ocelovou desku pomocí špachtle a vzorek se při mírném stlačení nastaví do požadované polohy. Po částečném zaschnutí lepidla v podložce se malá vrstva lepidla nanese na spodní hranu háčku a přidělá se ke

vzorku. Před samotnou zkouškou je vhodné nechat lepidlo zatvrdnout po dobu nejméně 2 dnů.



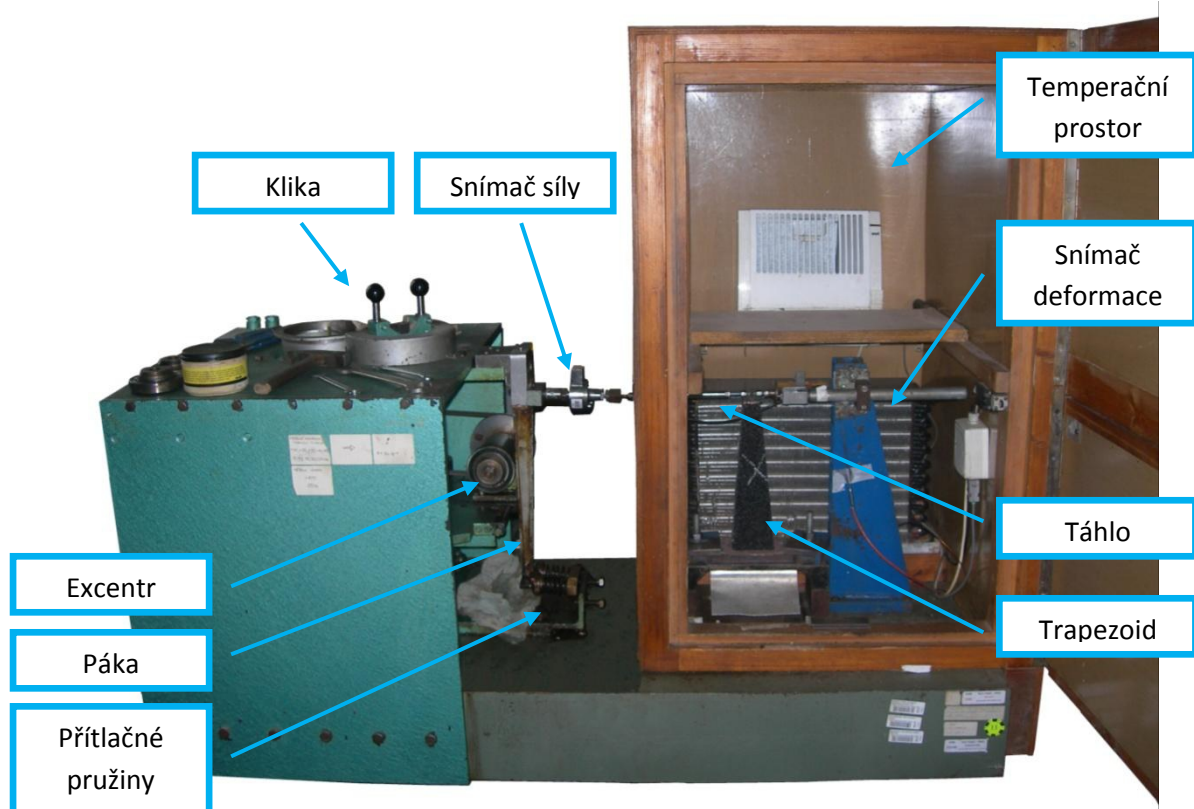
Obrázek 52: Trapezoid nalepený v podložce

Zařízení pro měření musí splňovat nejrůznější faktory. Nejprve zvolená amplituda zatěžování nesmí umožnit poškození vzorku v době potřebné k provedení měření. Dále se volí vhodný rozsah frekvence. V silniční laboratoři se volí frekvence 5 Hz, 10 Hz, 15 Hz, 20 Hz, 25 Hz a následně opětovně 5 Hz. Poslední měření se provádí pro kontrolu. Zjišťuje se, zda je první a poslední měření stejné. Maximální dovolená odchylka jsou 3 %. V neposlední řadě je důležité kontrolovat teplotu, teplota vzorku se nesmí od klimatické komory lišit o více než  $\pm 0,5$  °C. Před samotnou zkouškou musí být tělesa temperována při zkušební teplotě alespoň po dobu 4 hodin. Sada teplot pro zkoušku se uplatňuje -5 °C, 10 °C, 15 °C, 25 °C a 40 °C.

#### 5.21.4. Průběh zkoušky

Zkouška probíhá tak, že se vzorky nejprve temperují tak, jak bylo popsáno v předchozí kapitole. Měření probíhá na jednotlivých vzorcích postupně tak, že se využívá postup 2PB-TR ve výše zmiňované normě. Nejdříve je nutné těleso přes podložku řádně připevnit pomocí šroubů do rámu zařízení, tak aby byla garantována co nejvyšší tuhost. Následně se připevní táhlo, které bude později budit kmitání na háček opět pomocí šroubů a může se přistoupit k vlastnímu měření. Jednotlivé komponenty zobrazuje Obrázek 53.





Obrázek 53: Zařízení pro měření modulů tuhosti asphaltových směsí

### 5.21.5. Vyhodnocení zkoušky

Hodnoty měření, které se získají během zkoušky, jsou vyvozená síla  $F$ , posun  $z$  a jejich fázový úhel  $\Phi$ . Následně lze vypočítat dvě složky modulu tuhosti. Reálnou složku  $E_1$  a imaginární složku  $E_2$ .

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

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

Kde  $\gamma$  je faktor tvaru jako funkce velikosti a tvaru zkušební tělesa. Kde jednotlivé veličiny jsou patrné ze znázornění (Obrázek 51).

$$\gamma = \frac{12L^3}{b(h_1 - h_2)^3} \left[ \left( 2 - \frac{h_2}{2h_1} \right) \frac{h_2}{h_1} - \frac{3}{2} - \ln \frac{h_2}{h_1} \right]$$

$\mu$  je faktor hmotnosti, který je funkcí hmotnostního složení tělesa  $M$  a hmotností pohyblivých částí  $m$ , které svojí setrvačnou silou ovlivňují výslednou sílu.  $M$  a  $m$  se vyjadřují v gramech.

$$\mu = 0,135M + m$$

Hodnotu modulu tuhosti  $|E^*|$  a fázový úhel  $\Phi$ , které vyjadřují ekvivalentní vlastnosti komplexního modulu, lze odvodit z rovnic v kapitole 5.21.1. Výsledkem měření je aritmetický průměr dílčích výsledků modulu tuhosti a fázového posunu  $\phi$  při dané teplotě a frekvenci.

## 5.22. Měření únavových charakteristik

Měření únavových charakteristik se řídí dle evropské normy ČSN EN 12697-24 s názvem: Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 24: Odolnost vůči únavě.

### 5.22.1. Definice<sup>49</sup>

Únava je definována tak, že se porušují vnitřní struktury asfaltových směsí opakovaným střídáním zatížení. Tento jev se projevuje postupným poklesem komplexního modulu tuhosti v závislosti na počtu zatěžovacích cyklů. Lze říct, že měříme životnost směsi, kterou můžeme definovat jako počet opakování zatížení než dojde k porušení vzorku. Za vyčerpanou životnost se uvažuje mez, kdy je vzorek porušen trhlinou nebo dojde k poklesu modulu tuhosti na polovinu počáteční hodnoty.

Norma ČSN EN 12697-24 umožňuje několik postupů pro zjištění únavových charakteristik. Ve své práci jsem použil postup dvoubodového ohybu na trapezoidech.

### 5.22.2. Postup zkoušky<sup>50</sup>

Metoda charakterizuje chování směsi na vzorcích tvaru trapezoidu, které jsou obdobné jako u měření modulů tuhosti. Stejně tak měřící zařízení je použito stejné jako u zkoušky měření modulů tuhosti.

Zkušební vzorky jsou namáhány konstantním přetvořením po celou dobu zkoušky. Namáhání je prováděno pomocí excentru, díky kterému je vzorek namáhán sinusovým posunem. Vzorek je během zkoušky ve vytemperované komoře s řízeným nastavením teploty. Zkouška probíhá při teplotě 10 °C (s tolerancí  $\pm 0,5$  °C), stálá frekvence zatěžování je

<sup>49</sup> ČSN EN 12697-24. *Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 24: Odolnost vůči únavě*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, 2012.

<sup>50</sup> DAŠEK, Ondřej. *Vliv míry zhutnění na funkční charakteristiky asfaltových směsí*. Brno, 2006. Diplomová práce. VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce Ing. Petr Hýzl, Ph.D.

25 Hz. Zařízení se nastaví tak, aby byla dosažena maximální amplituda přetvoření zkušebního tělesa v rozmezí  $1,0 \cdot 10^{-4}$  až  $4,0 \cdot 10^{-4}$ . V tomto rozsahu se předpokládá, že životnost zkušebních těles bude v rozmezí  $10^3$  až  $10^7$  cyklů. Zařízení se uvede do pohybu a okamžitě se měří amplituda síly a průhyb. Zkouška probíhá do té doby, než klesne naměřená síla na polovinu. Následně se tento postup provede i u dalších těles v dané směsi tak, abychom mohli vykryt celé spektrum zatěžovacích cyklů (tedy  $10^3$  až  $10^6$ ).

### 5.22.3. Vyhodnocení zkoušky<sup>51</sup>

Jednotlivé výsledky se vyhodnocují pomocí únavových charakteristik a dále Wöhlerovými diagramy. Wöhlerův diagram uvádí závislost velikostí deformace na počtu cyklů do dosažení únavy v logaritmickém měřítku. Určující vztahy jsou:

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

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

Únavová charakteristika se nahrazuje hodnotou  $\varepsilon_6$ , která charakterizuje velikost počátečního přetvoření získané z únavové zkoušky při  $10^6$  zatěžovacích cyklech.

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

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

Následně můžeme spočítat počet zatížení, které odpovídá počátečnímu přetvoření ve zkušebním tělese  $\varepsilon_0$ .

$$N = 10^6 \left( \frac{\varepsilon_6}{\varepsilon_0} \right)^B$$

Kde  $B$  je charakteristika únavy a vypočítá se jako:

$$B = -\frac{1}{b}$$

---

<sup>51</sup> Ibid.

## 6. POUŽITÉ MATERIÁLY

### 6.1. Kamenivo

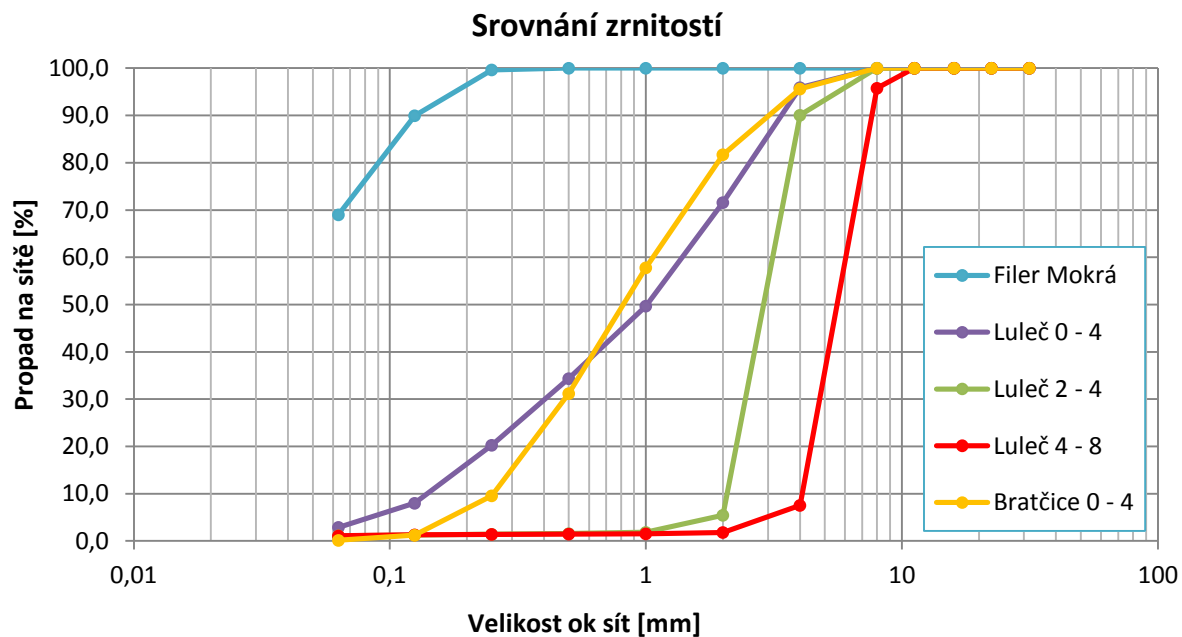
Pro navrhované směsi SAL bylo použito kamenivo z lomu Luleč. Jedná se o drcené kamenivo, které vzniká z větších kusů hornin a jeho následné třídění umožňuje rozdělení do jednotlivých frakcí. Drcené kamenivo je charakteristické nepravidelným, ostrohranným tvarem zrn a drsným povrchem. Z tohoto důvodu je tento druh kameniva vhodný do asfaltových směsí. Kamenivo bylo pro diplomovou práci přivezeno z obalovny v Rajhradcích. Původ přídatného fileru je z cementárny v Mokré, vzorek pro laboratorní práci byl taktéž odebrán z obalovny v Rajhradcích. Pro návrh čtvrté směsi bylo použito těžené kamenivo z Bratčic. Provedení síťového rozboru je popsáno v kapitole 5.6. Jednotlivé protokoly síťových rozborů jsou uvedeny v příloze 1.



Obrázek 54: Místo odběru kameniva Luleč - obalovna Rajhradce

Tabulka 5: Síťový rozbor použitých složek kameniva

Frakce	Původ	Propad na síť											
		31,5	22,4	16	11,2	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
[mm]		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Filer	Mokrá	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,6	90,0	69,0
0 - 4	Luleč	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	95,9	71,6	49,7	34,3	20,3	8,0	2,9
2 - 4	Luleč	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	90,1	5,4	1,8	1,6	1,4	1,3	1,1
4 - 8	Luleč	100,0	100,0	100,0	100,0	95,8	7,5	1,8	1,5	1,5	1,4	1,3	1,1
0 - 4	Bratčice	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	95,6	81,7	57,8	31,2	9,6	1,2	0,1



Graf 3: Srovnání zrnitostí



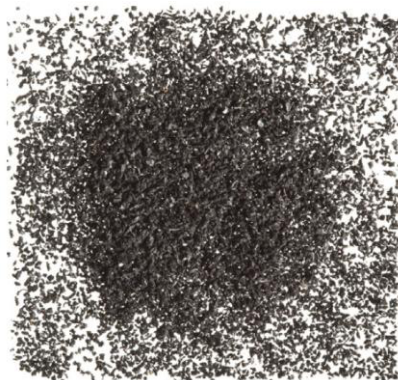
Obrázek 55: Kamenivo Luleč, frakce 0 - 4



Obrázek 56: Kamenivo Luleč, frakce 4 - 8

## 6.2. Pryžový granulát

K diplomové práci byl využit pryžový granulát od firmy KOVOSTEEL, s.r.o. se sídlem v Uherském Hradišti. Po transformaci této firmy se nyní výrobou pryžového granulátu zabývá dceřiná firma RPG Recycling, s.r.o..<sup>52</sup>



Obrázek 57: Pryžový granulát frakce 0,0 - 0,7 mm, Zdroj: RPG Recycling, s.r.o.

V práci byl použit pryžový granulát frakce 0,0 – 0,7 mm, který má katalogové označení G1. Tento granulát byl zpracován za běžné teploty pomocí kalandrů. Výrobce udává minimální stálost 2 roky pro nepoužitý vzorek, který je skladovaný v suchém prostředí.

Tabulka 6: Sítový rozbor pryžového granulátu

Frakce	Původ	Propad na síť					
		2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
[mm]		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
0,0 - 0,7	Guma Kovosteel	100,0	100,0	53,9	5,5	1,1	0,1



Graf 4: Čára zrnitosti pryžového granulátu

<sup>52</sup> RPG Recycling, s.r.o.. [online]. 2011 [cit. 2012-11-19]. Dostupné z: <http://www.rpgrecycling.cz/o-nas/>

### 6.3. Pojivo

V diplomové práci bylo využito pojivo OMV Bitumen 50/70. Jedná se o silniční asfalt vyráběný destilačními postupy výhradně z přesně definovaného výběru rop. Asfaltové pojivo bylo vyrobeno v rafinerii ve Schwechatu, která se nachází jihovýchodně od města Vídeň. Do této rafinerie je ropa přiváděna ropovodem z přístavu Terst.



Obrázek 58: Srovnání běžného pojiva a pojiva modifikovaného pryžovým granulátem, Zdroj: Dašek Ondřej

### 6.4. Asfalt modifikovaný pryžovým granulátem

Při laboratorní práci bylo nutné opakovaně míchat pojivo s ohledem na vysokou spotřebu směsi SAL, která obsahuje vysoké množství pojiva. Míchání bylo provedeno dle kapitoly 5.1. U jednotlivých směsí byly vždy provedeny kontrolní zkoušky pojiv. Jedná se o zkoušky stanovení penetrace jehlou (viz 5.2), stanovení penetrace a pružné regenerace – resilience (viz 5.3), stanovení bodu měknutí – metoda kroužek kulička (viz 5.4) a zkouška dynamické viskozity (viz 5.5). Dále budou popsány jednotlivé výsledky zkoušek pojiva.

Tabulka 7: Namíchané pojiva

Označení pojiva	Datum výroby pojiva	Pojivo
1	12. 6. 2012	50/70 + 19,5% (16,3%) Kovosteel
2	14. 6. 2012	50/70 + 19,5% (16,3%) Kovosteel
3	26. 6. 2012	50/70 + 19,5% (16,3%) Kovosteel

#### 6.4.1. Stanovení penetrace jehlou

Výsledky penetrace jehlou vyjadřuje Tabulka 8. Samotná zkouška je podrobně popsána v kapitole 5.2. Maximální rozdíl jednotlivých měření u jednoho vzorku je v našem případě 2 p.j. U každého odběru byly provedeny čtyři měření, jejichž výsledek jsem zprůměroval.

Tabulka 8: Výsledky penetrace jehlou

Označení	Pojivo	Penetrace [p.j.]				
1	50/70 + 19,5% (16,3%) Kovosteel	27	29	28	28	<b>28</b>
2	50/70 + 19,5% (16,3%) Kovosteel	27	28	29	29	<b>28</b>
3	50/70 + 19,5% (16,3%) Kovosteel	28	28	28	29	<b>28</b>

#### 6.4.2. Stanovení penetrace a pružné regenerace

Při stanovení penetrace a pružné regenerace jsem u každého vzorku provedl tři měření. Resilience se vypočítá dle vzorce v kapitole 5.3. s přesností na 1 %.

Tabulka 9: Výsledky resilience

Označení	Pojivo	Počáteční penetrace kuličky	Konečná penetrace	Resilience	
		[p.j.]	[p.j.]	[%]	
1	50/70 + 19,5% (16,3%) Kovosteel	2	69	33	<b>33</b>
		2	69	33	
		3	70	33	
2	50/70 + 19,5% (16,3%) Kovosteel	4	69	35	<b>33</b>
		3	71	32	
		4	72	32	
3	50/70 + 19,5% (16,3%) Kovosteel	3	71	32	<b>32</b>
		3	71	32	
		4	72	32	

#### 6.4.3. Stanovení bodu měknutí – metoda kroužek kulička

Stanovení bodu měknutí probíhá na dvou vzorcích, jejichž maximální teplotní odchylka může být u modifikovaných asfaltů 2 °C. V případě vyšší teploty než 80 °C by bylo nutné provést zkoušku v glycerinu. Výsledkem zkoušky je průměr získaný ze dvou měření, který se zaokrouhlí na 0,2 °C. Souhrnný popis zkoušky je uveden v kapitole 5.4.

Tabulka 10: Stanovení bodu měknutí

Označení	Pojivo	Bod měknutí [°C]		
1	50/70 + 19,5% (16,3%) Kovosteel	71,5	70,9	<b>71,2</b>
2	50/70 + 19,5% (16,3%) Kovosteel	71,0	71,5	<b>71,2</b>
3	50/70 + 19,5% (16,3%) Kovosteel	70,5	70,6	<b>70,6</b>



#### 6.4.4. Stanovení dynamické viskozity

Stanovení dynamické viskozity je podrobně popsáno v kapitole 5.5. Dynamická viskozita byla naměřena ihned po namíchání pojiva při kontrolní teplotě 175 °C. Souhrnné výsledky jsou uvedeny v následující tabulce. Dynamická viskozita CRmB byla záměrně vyšší, než je požadovaný rozsah v TP 148 (1,5 Pa.s až 4,0 Pa.s), protože pojivo bylo použito do vrstvy, která má eliminovat rozvoj trhlin. Předpokládá se, že přebytek pryžového granulátu má pro omezení šíření trhlin pozitivní vliv.

Tabulka 11: Stanovení dynamické viskozity

Označení	Pojivo	Viskozita [Pa·s]
1	50/70 + 19,5% (16,3%) Kovosteel	<b>4,5</b>
2	50/70 + 19,5% (16,3%) Kovosteel	<b>6,0</b>
3	50/70 + 19,5% (16,3%) Kovosteel	<b>6,0</b>

## 7. NÁVRH ASFALTOVÝCH SMĚSÍ

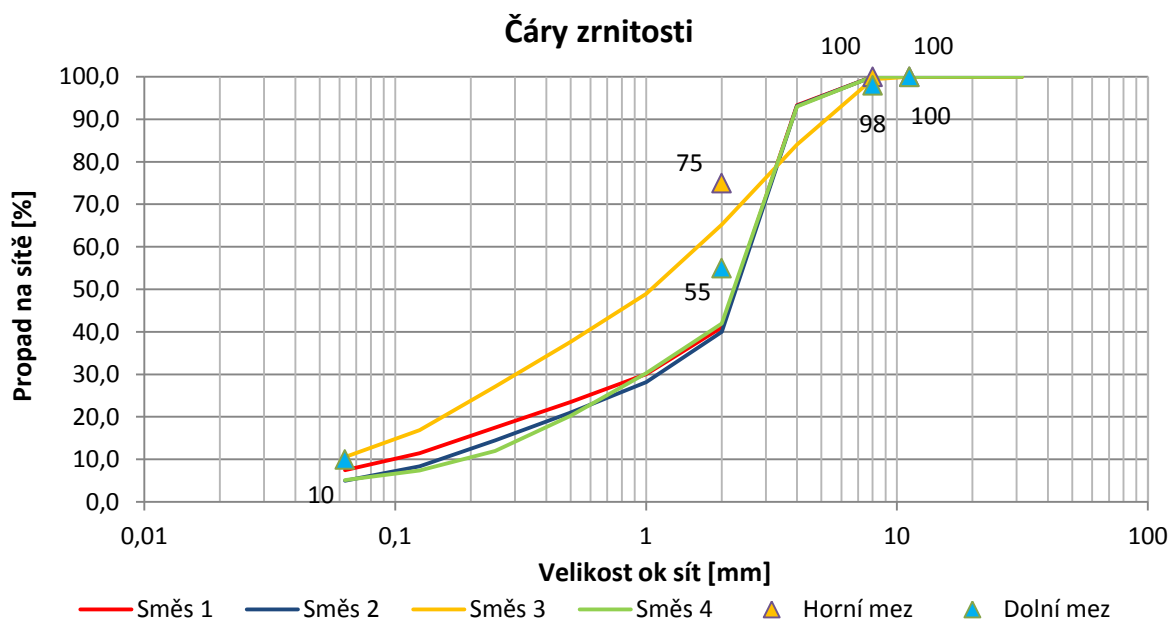
### 7.1. Zrnitost

V diplomové práci byly navrženy celkově čtyři směsi, kdy každá je navržena s ohledem na jiné požadavky. V následující části budou směsi charakterizovány. Tabulka 12 znázorňuje porovnání složek kameniva u jednotlivých druhů směsí.

Tabulka 12: Porovnání navržené skladby kameniva u provedených směsí

Směs	Využité kamenivo [%]					Suma
	Mokrá	Luleč	Luleč	Luleč	Bratčice	
	filer	0 - 4	2 - 4	4 - 8	0 - 4	
1	8,3	42,0	49,7	-	-	100
2	4,5	45,8	49,7	-	-	100
3	12,0	74,0	-	14,0	-	100
4	6,0	12,0	52,0	-	30,0	100

V grafu 5 je znázorněno porovnání čar zrnitosti jednotlivých směsí. Horní a dolní mez je charakterizována dle TP 147. Z grafické podoby je tedy zřejmé, že pouze směs 3 byla provedena dle požadavků TP 147, ostatní směsi mají čáru zrnitosti vedenou mimo obor zrnitosti. Asphalt modifikovaný pryžovým granulátem je totiž vhodný pro použití do směsí s mezerovitější kostrou kameniva, protože je třeba vytvořit prostor pro vyšší obsah pojiva s obsahem částic pryže.



Graf 5: Porovnání čar zrnitostí jednotlivých směsí

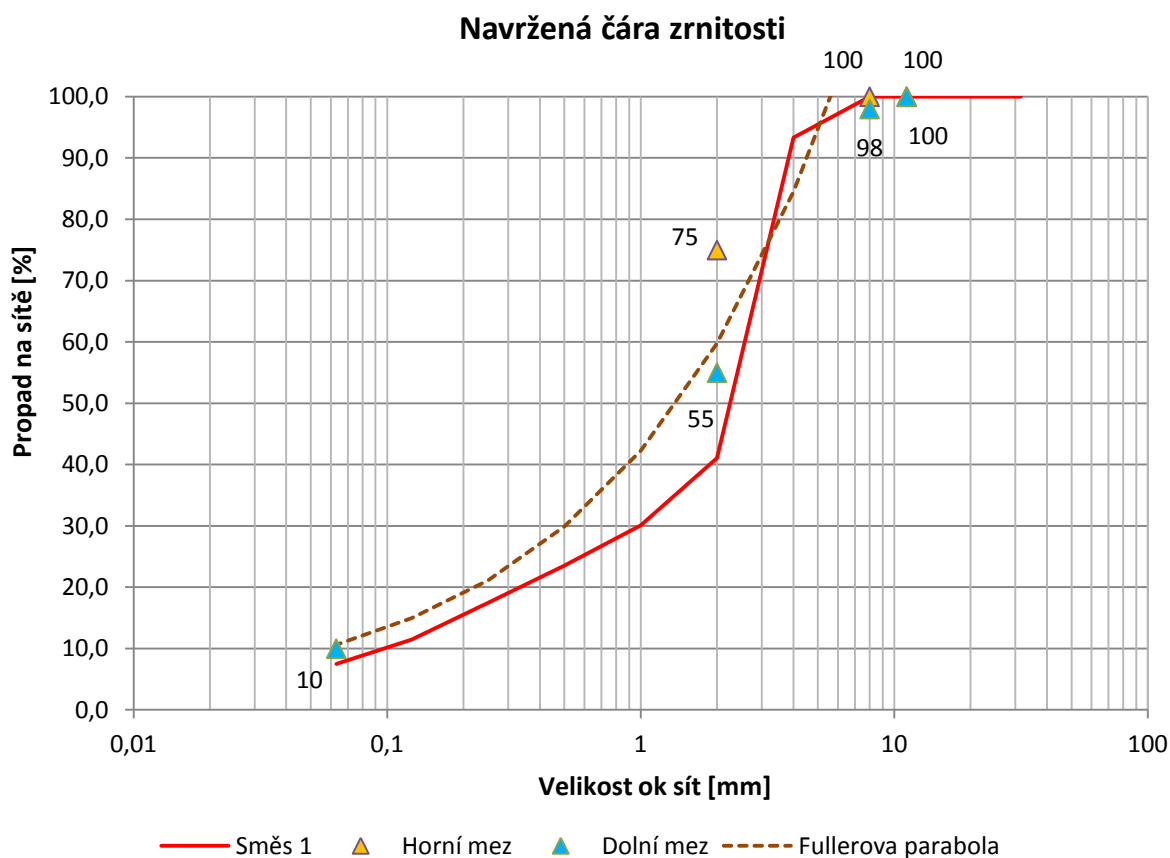
### 7.1.1. Směs 1

V následujících čtyřech kapitolách jsou popsány zrnitosti kameniva čtyř směsí. Graficky je znázorněna čára zrnitosti jednotlivých směsí, horní a dolní mez, které jsou uvedeny v TP 147 a následně Fullerova parabola, která znázorňuje nejtěsnější uspořádání kamenné kostry. Fullerovu parabolu charakterizuje rovnice  $Y = (d/D)^{0,5} \times 100$ , kde  $Y$  je procentuální propad kameniva na daném síti [%],  $d$  je velikost oka síta [mm], na kterém počítáme propad a  $D$  je velikost největšího zrna směsi kameniva (5,6 mm) [mm].

Tabulka 13: Čára zrnitosti pro směs 1

Čára zrnitosti	Propad na síti [%]											
	31,5	22,4	16	11,2	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
Navržená	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	93,3	41,1	30,1	23,5	17,5	11,4	7,5
Fullerova	-	-	-	-	-	84,5	59,8	42,3	29,9	21,1	14,9	10,6
Dolní mez	-	-	-	100,0	98,0	-	55,0	-	-	-	-	10,0
Horní mez	-	-	-	100,0	100,0	-	75,0	-	-	-	-	-

Pozn.: Horní a dolní mez dle TP 147.



Graf 6: Čára zrnitosti směsi 1

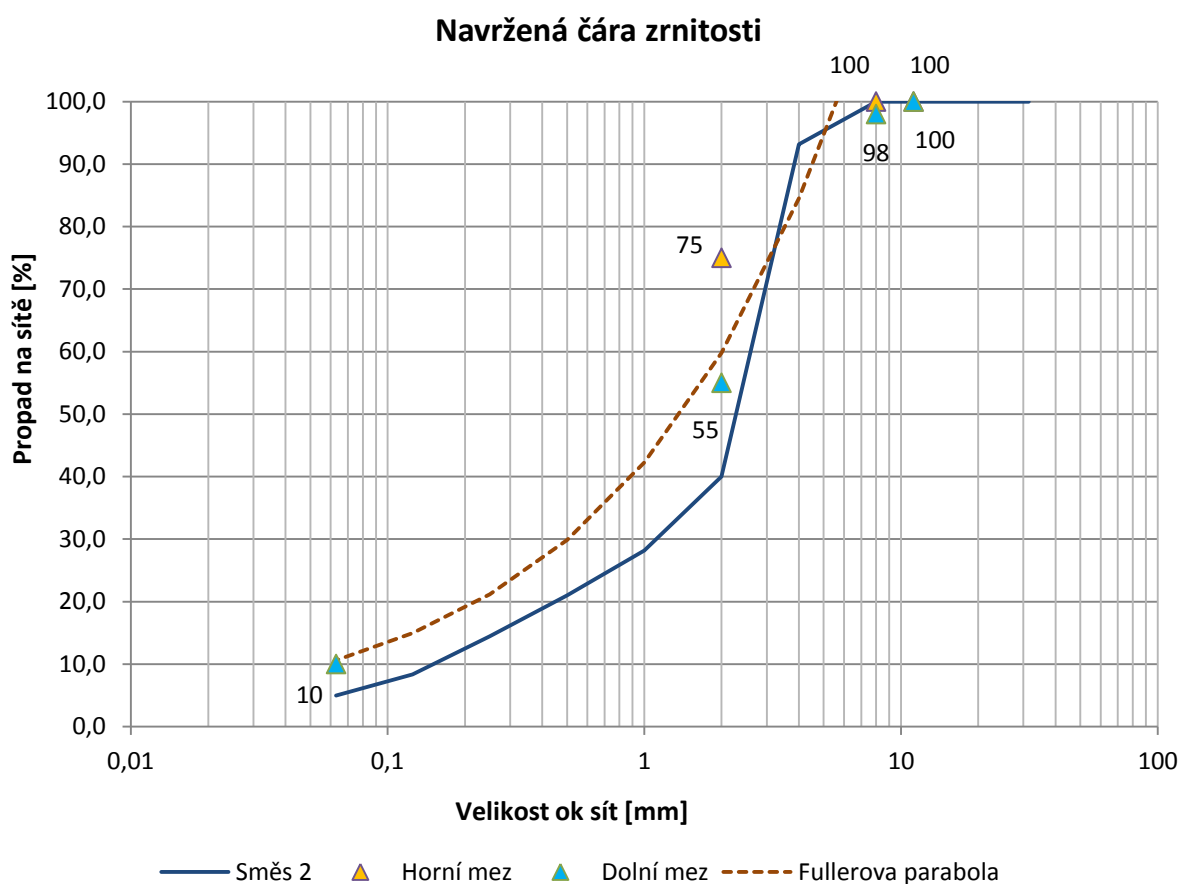
### 7.1.2. Směs 2

Druhá směs byla navržena obdobně jako směs 1 s tím rozdílem, že bylo sníženo dávkování fileru o 3,8 %. Toto bylo provedeno s ohledem na lepší obalení zrn kameniva pojivem.

Tabulka 14: Čára zrnitosti pro směs 2

Čára zrnitosti	Propad na síť [%]											
	31,5	22,4	16	11,2	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
Navržená	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	93,2	40,0	28,2	21,0	14,5	8,3	5,0
Fullerova	-	-	-	-	-	84,5	59,8	42,3	29,9	21,1	14,9	10,6
Dolní mez	-	-	-	100,0	98,0	-	55,0	-	-	-	-	10,0
Horní mez	-	-	-	100,0	100,0	-	75,0	-	-	-	-	-

Pozn.: Horní a dolní mez dle TP 147.



Graf 7: Čára zrnitosti směsi 2

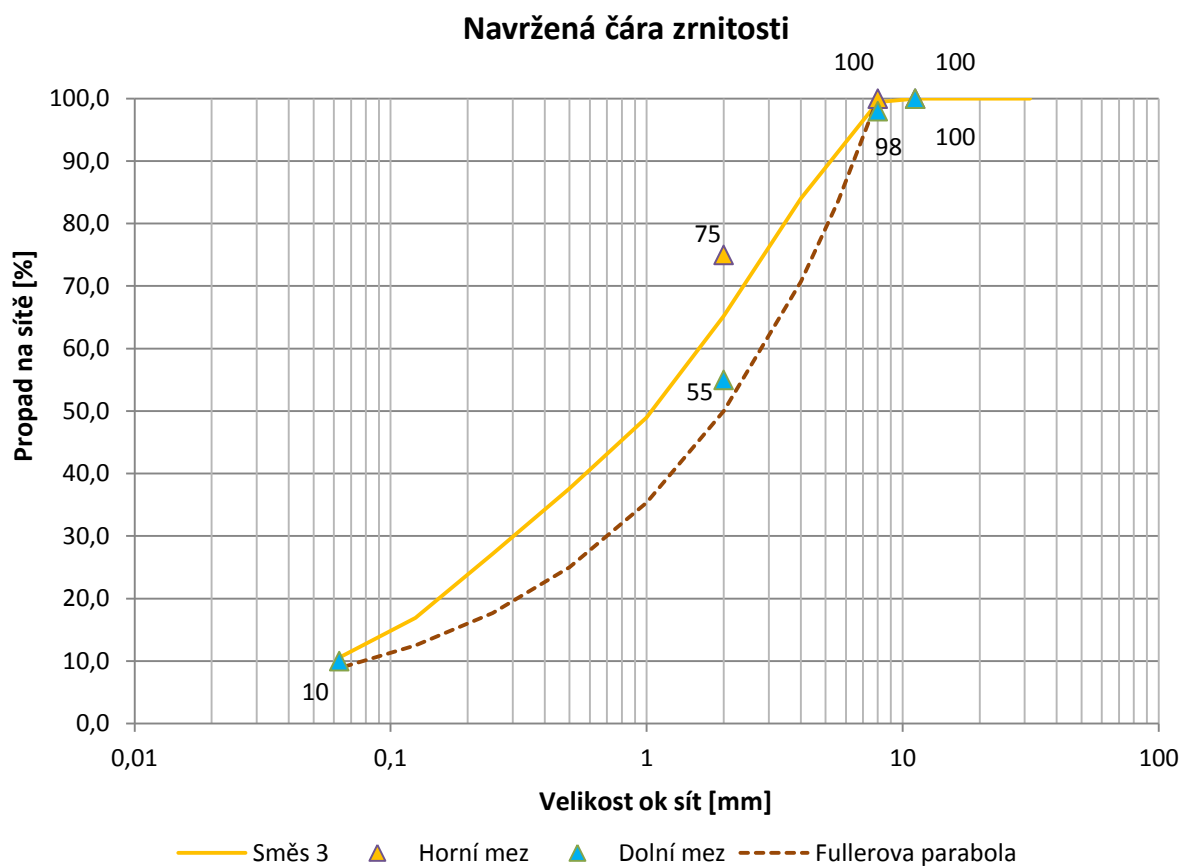
### 7.1.3. Směs 3

Směs 3 byla navržena tak, aby odpovídala požadavkům uvedeným v TP 147.

Tabulka 15: Čára zrnitosti pro směs 3

Čára zrnitosti	Propad na síť [%]											
	31,5	22,4	16	11,2	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
Navržená	100,0	100,0	100,0	100,0	99,4	84,0	65,2	49,0	37,6	27,1	16,9	10,6
Fullerova	-	-	-	-	100,0	70,7	50,0	35,4	25,0	17,7	12,5	8,9
Dolní mez	-	-	-	100,0	98,0	-	55,0	-	-	-	-	10,0
Horní mez	-	-	-	100,0	100,0	-	75,0	-	-	-	-	-

Pozn.: Horní a dolní mez dle TP 147.



Graf 8: Čára zrnitosti směsi 3

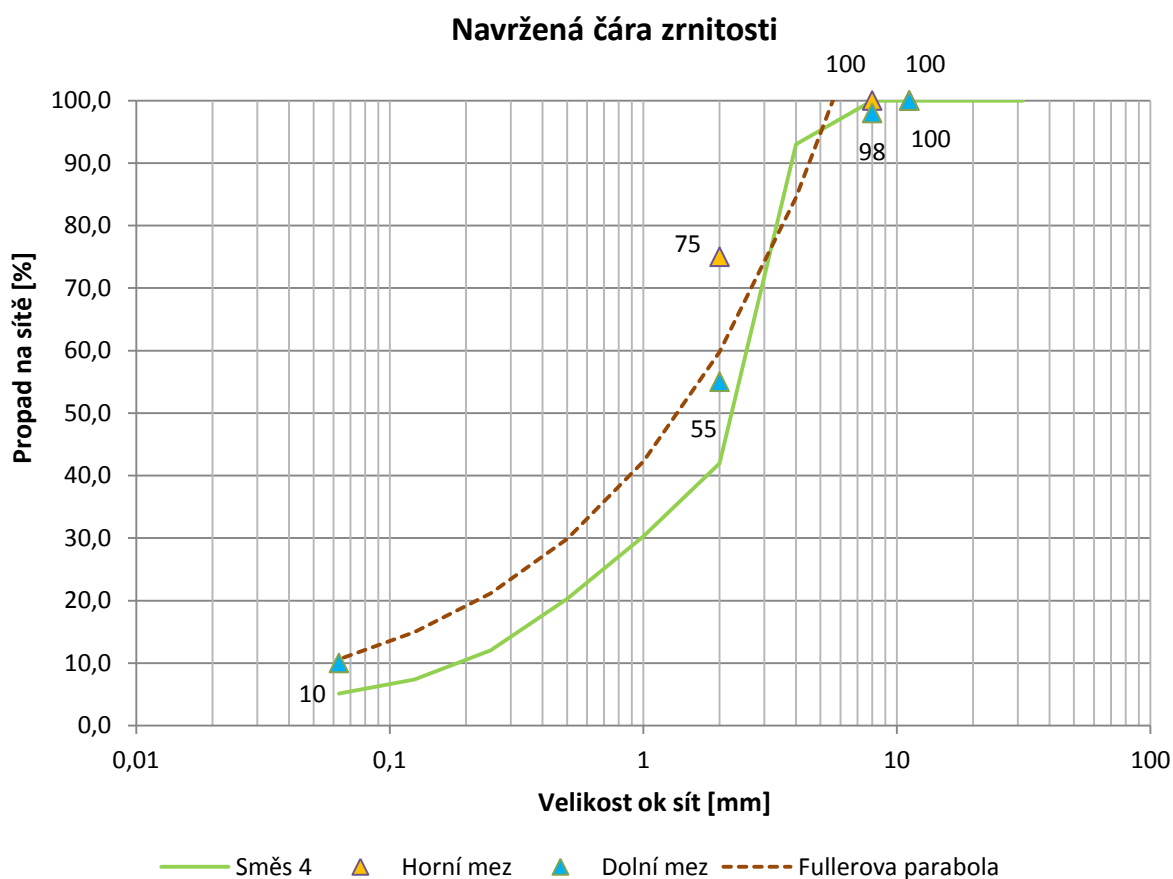
### 7.1.4. Směs 4

Směs 4 je charakterizována především přidavkem těžného kameniva (písku), který byl do směsi přidán za účelem snížení její mezerovitosti. Čára zrnitosti je vedena obdobně jako u směsi 2. Při vyhodnocení mezerovitosti bylo zjišťováno, jakým způsobem ovlivní těžné kamenivo (písek) výsledek.

Tabulka 16: Čára zrnitosti pro směs 4

Čára zrnitosti	Propad na síť [%]											
	31,5	22,4	16	11,2	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
Navržená	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	93,0	41,9	30,3	20,3	12,0	7,4	5,1
Fullerova	-	-	-	-	-	84,5	59,8	42,3	29,9	21,1	14,9	10,6
Dolní mez	-	-	-	100,0	98,0	-	55,0	-	-	-	-	10,0
Horní mez	-	-	-	100,0	100,0	-	75,0	-	-	-	-	-

Pozn.: Horní a dolní mez dle TP 147.



Graf 9: Čára zrnitosti směsi 4

## 7.2. Obsah pojiva

U jednotlivých směsí bylo v počátku uvažováno s několika sadami těles s různým obsahem pojiva. Pro přehlednější znázornění jsou jednotlivá dávkování vypsána v následující tabulce.

Tabulka 17: Zkoušený obsah pojiva u jednotlivých směsí

	Směs 1			Směs 2				Směs 3			Směs 4				
Pojivo[%]	9,5	<b>10,0</b>	10,5	9,5	<b>10,0</b>	10,5	11,0	<b>12,0</b>	13,0	9,5	<b>10,0</b>	10,5	9,5	<b>10,0</b>	10,5

U všech obsahů pojiv bylo vyhodnoceno:

- maximální objemová hmotnost
- objemová hmotnost podle rozměrů a objemová hmotnost určená postupem B – nasycený suchý povrch (SSD)

Z těchto výsledků byla spočítána:

- mezerovitost
- mezerovitost směsi kameniva
- stupeň vyplnění mezer
- tloušťka filmu pojiva na povrchu kameniva
- součinitel sytosti

Z daných výsledků bylo po konzultaci s vedoucím diplomové práce určeno optimální množství pojiva u jednotlivých směsí a na těchto byly následně provedeny další zkoušky. Vybrané množství pojiva je v tabulce znázorněno červenou barvou (Tabulka 17).

## 7.3. Výrobní a zkušební teploty

V diplomové práci byla aplikována teplota 170 °C při míchání asfaltové směsi, při hutnění asfaltové směsi byla požadovaná teplota 155 °C. Zkušební teploty u jednotlivých zkoušek jsou vždy popsány v popisu zkoušky samotné (kapitola 5).

## 8. VÝSLEDKY ZKOUŠEK

V následujících kapitolách budou popsány výsledky prováděných zkoušek. Nebudou zde zahrnuty zkoušky prováděné na asfaltových pojivech, které byly popsány v kapitole 6.4 a dále síťové rozbory, které byly popsány v kapitole 7.1.

### 8.1. Maximální objemová hmotnost, objemová hmotnost a mezerovitost

V této kapitole jsou uvedeny hodnoty maximální objemové hmotnosti, objemové hmotnosti a mezerovitosti zkoušených směsí. Podrobné protokoly jsou přiloženy v příloze 2. Zjištěním maximální objemové hmotnosti se zabývá kapitola 5.10., stanovení objemové hmotnosti je popsáno v kapitole 5.11. a zjištěním mezerovitosti se zabývá kapitola 5.12.

#### 8.1.1. Směs 1

U jednotlivých směsí bylo provedeno zjištění objemové hmotnosti dvěma způsoby. Nejprve se provedlo stanovení dle postupu D, kdy se jedná o zjištění objemové hmotnosti z rozměrů a dále stanovení dle objemové hmotnosti pro nasycený suchý povrch (tělesa s uzavřeným povrchem). Tyto postupy jsou popsány v kapitole 5.11.

Tabulka 18: Stanovení mezerovitosti z rozměrů u směsi 1

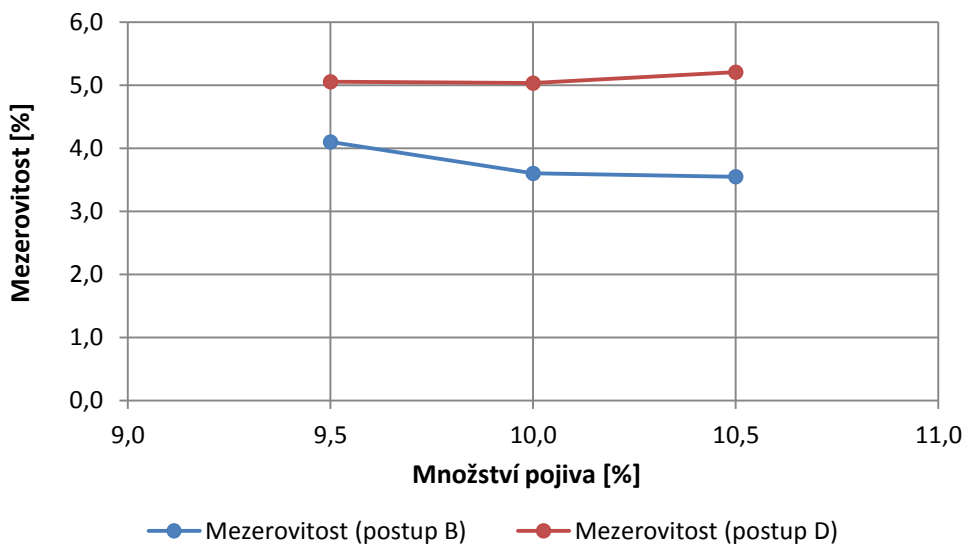
těleso	obsah pojiva	výška tělesa	průměr tělesa	hmotnost suchá	obj.hm.těles z rozměrů	Průměrná obj.hm.	max. obj.hm.	mezer.	průměrná mezerovitost
	[%]	[mm]	[mm]	[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[%]	[%]
1	9,5	64,2	101,6	1152,6	2214,2	2214,6	2333	5,1	5,1
2		64,0	101,8	1154,2	2217,0		2333	5,0	
3		64,4	101,5	1152,1	2212,6		2333	5,1	
4	10,0	65,2	101,4	1157,8	2200,1	2203,5	2320	5,2	5,0
5		64,1	101,9	1152,3	2206,9		2320	4,9	
6		64,7	101,8	1159,1	2203,6		2320	5,0	
7	10,5	65,6	101,7	1157,6	2172,0	2179,4	2299	5,5	5,2
8		64,9	102,0	1158,1	2186,3		2299	4,9	
9		65,3	101,7	1156,1	2179,8		2299	5,2	



Tabulka 19: Stanovení mezerovitosti postupem B z normy ČSN EN 12697-6 u směsi 1

těleso	obsah pojiva	hmotnost suchá	hmotnost ve vodě	hmotnost po vytažení	obj.hm.těles vážením	průměrná obj.hm.	max. obj.hm.	mezer.	průměrná mezerovitost
	[%]	[g]	[g]	[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[%]	[%]
1	9,5	1152,6	638,8	1153,6	2235,6	2236,9	2333	4,2	4,1
2		1154,2	640,8	1154,9	2241,7		2333	3,9	
3		1152,1	638,2	1153,3	2233,3		2333	4,3	
4	10,0	1157,8	640,5	1157,3	2233,8	2236,8	2320	3,7	3,6
5		1152,3	639,9	1153,0	2239,2		2320	3,5	
6		1159,1	642,3	1158,9	2237,2		2320	3,6	
7	10,5	1157,6	636,9	1157,3	2218,0	2217,5	2299	3,5	3,5
8		1158,1	638,2	1158,8	2218,1		2299	3,5	
9		1156,1	636,4	1156,5	2216,4		2299	3,6	

Závislost mezerovitosti na množství pojiva



Graf 10: Závislost mezerovitosti na množství pojiva u směsi 1

### 8.1.2. Směs 2

Tabulka 20 znázorňuje stanovení mezerovitosti u směsi 2, která byla zjištěna podle evropské normy ČSN EN 12697-6. Jedná se o postup D, tedy stanovení objemové hmotnosti z rozměrů.

Tabulka 20: Stanovení mezerovitosti z rozměrů u směsi 2

těleso	obsah pojiva	výška tělesa	průměr tělesa	hmotnost suchá	obj.hm.těles z rozměrů	Průměrná obj.hm.	max. obj.hm.	mezer.	průměrná mezerovitost
	[%]	[mm]	[mm]	[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[%]	[%]
1	9,5	64,70	101,65	1127,1	2146,6	2161,7	2348	8,6	7,9
2		65,17	101,58	1145,9	2169,7		2348	7,6	
3		63,22	101,93	1118,9	2168,9		2348	7,6	

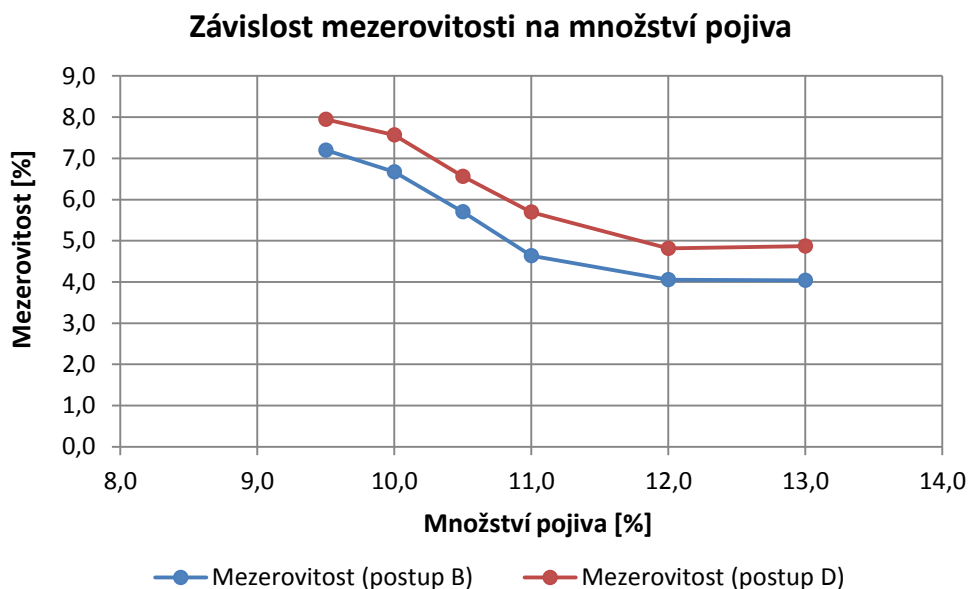
4	10,0	64,87	101,83	1136,2	2150,6	2157,6	2330	7,7	7,4
5		64,37	101,95	1131,0	2152,4		2330	7,6	
6		64,53	101,68	1136,9	2169,7		2330	6,9	
7	10,5	64,50	101,57	1136,5	2174,6	2166,8	2319	6,2	6,6
8		65,42	101,63	1144,7	2157,0		2319	7,0	
9		64,20	101,98	1137,3	2168,8		2319	6,5	
10	11,0	64,59	101,73	1140,2	2171,8	2177,0	2309	5,9	5,7
11		64,31	101,93	1133,7	2160,4		2309	6,4	
12		63,78	101,81	1141,6	2198,7		2309	4,8	
13	12,0	65,19	102,05	1155,3	2166,7	2163,1	2274	4,7	4,9
14		65,11	101,57	1145,5	2171,3		2274	4,5	
15		65,35	101,76	1143,3	2151,1		2274	5,4	
16	13,0	66,38	102,01	1160,6	2139,3	2148,1	2259	5,3	4,9
17		67,16	101,78	1171,7	2144,3		2259	5,1	
18		66,40	101,63	1163,8	2160,6		2259	4,4	

Tabulka 21 zobrazuje získání objemové hmotnosti při využití postupu B z normy ČSN EN 12697-6. V tomto případě se získá objemová hmotnost z nasyceného suchého povrchu (tělesa s uzavřeným povrchem).

Tabulka 21: Stanovení mezerovitosti postupem B z normy ČSN EN 12697-6 u směsi 2

těleso	obsah pojiva	hmotnost suchá	hmotnost ve vodě	hmotnost po vytažení	obj.hm.těles vážením	průměrná obj.hm.	max. obj.hm.	mezer.	průměrná mezerovitost
	[%]	[g]	[g]	[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[%]	[%]
1	9,5	1127,1	612,2	1130,7	2167,5	2179,3	2348	7,7	7,2
2		1145,9	625,3	1147,9	2186,3		2348	6,9	
3		1118,9	609,7	1120,5	2184,1		2348	7,0	
4	10,0	1136,2	616,4	1139,0	2167,8	2174,7	2330	7,0	6,7
5		1131,0	614,1	1133,5	2171,2		2330	6,8	
6		1136,9	619,3	1138,1	2185,0		2330	6,2	
7	10,5	1136,5	621,6	1137,7	2195,7	2186,7	2319	5,3	5,7
8		1144,7	621,3	1145,7	2176,5		2319	6,1	
9		1137,3	620,0	1138,3	2187,9		2319	5,7	
10	11,0	1140,2	623,2	1141,2	2194,8	2197,6	2309	4,9	4,8
11		1133,7	616,4	1134,8	2180,6		2309	5,6	
12		1141,6	628,7	1142,0	2217,6		2309	4,0	
13	12,0	1155,3	629,0	1156,3	2184,6	2181,8	2274	3,9	4,1
14		1145,5	624,6	1146,0	2190,6		2274	3,7	
15		1143,3	619,3	1144,6	2170,2		2274	4,6	
16	13,0	1160,6	625,7	1161,5	2159,8	2167,9	2259	4,4	4,0
17		1171,7	633,2	1172,6	2165,9		2259	4,1	
18		1163,8	631,8	1164,6	2178,0		2259	3,6	

Na následujícím grafu je zřejmá závislost mezerovitosti na množství pojiva. Při rostoucím množství pojiva mezerovitost klesá, avšak při použití 13 % pojiva je rozdíl již zcela minimální.



Graf 11: Závislost mezerovitosti na množství pojiva u směsi 2

### 8.1.3. Směs 3

Směs 3 byla navržena tak, aby odpovídala návrhu dle TP 147. To znamená, že mezerovitost by měla být v rozmezí 1 až 3 %. Nejprve jsou opět uvedeny výsledky získané postupem D, tedy z rozměrů (Tabulka 22).

Tabulka 22: Stanovení mezerovitosti z rozměrů u směsi 3

těleso	obsah pojiva	výška tělesa	průměr tělesa	hmotnost suchá	obj.hm.těles z rozměrů	Průměrná obj.hm.	max. obj.hm.	mezer.	průměrná mezerovitost
	[%]	[mm]	[mm]	[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[%]	[%]
1	9,5	61,32	102,07	1123,5	2239,2	2244,5	2340	4,3	4,1
2		61,70	101,66	1126,6	2249,5		2340	3,9	
3		61,07	101,82	1116,3	2244,9		2340	4,1	
4	10,0	62,15	101,55	1129,5	2243,9	2241,1	2328	3,6	3,7
5		61,82	101,77	1126,9	2240,9		2328	3,7	
6		61,70	102,02	1129,1	2238,7		2328	3,8	
7	10,5	62,47	101,81	1135,5	2232,8	2233,3	2315	3,6	3,5
8		62,28	102,03	1137,7	2234,3		2315	3,5	
9		63,02	101,65	1142,0	2233,0		2315	3,5	

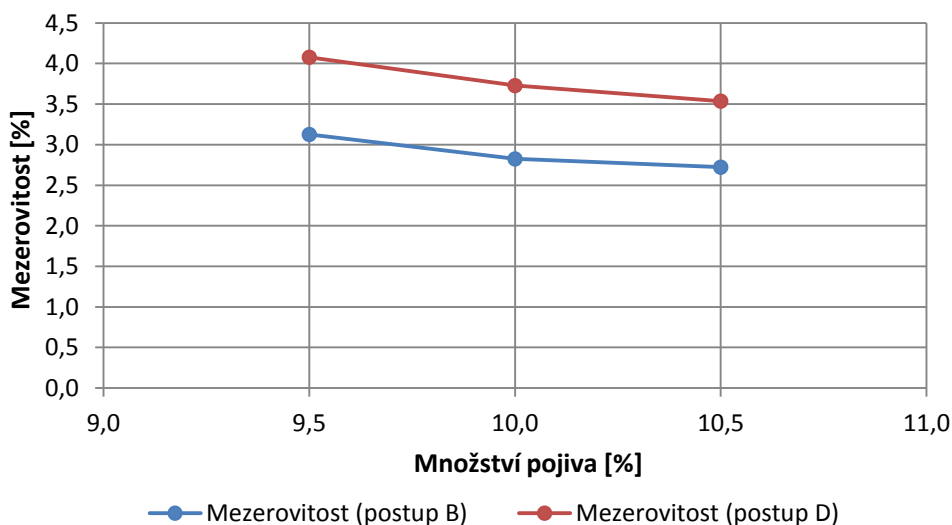
Rozhodující je ovšem stanovení mezerovitosti při zjišťování objemové hmotnosti postupem B. Tedy pro nasycený suchý povrch.

Tabulka 23: Stanovení mezerovitosti postupem B z normy ČSN EN 12697-6 u směsi 3

těleso	obsah pojiva	hmotnost suchá	hmotnost ve vodě	hmotnost po vytažení	obj.hm.těles vážením	průměrná obj.hm.	max. obj.hm.	mezer.	průměrná mezerovitost
	[%]	[g]	[g]	[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[%]	[%]
1	9,5	1123,5	628,4	1124,0	2260,4	2266,9	2340	3,4	3,1
2		1126,6	632,8	1127,2	2272,1		2340	2,9	
3		1116,3	626,2	1116,9	2268,3		2340	3,1	
4	10,0	1129,5	632,4	1129,8	2264,2	2262,2	2328	2,7	2,8
5		1126,9	630,6	1127,3	2262,2		2328	2,8	
6		1129,1	631,4	1129,5	2260,2		2328	2,9	
7	10,5	1135,5	632,6	1135,9	2249,6	2252,2	2315	2,8	2,7
8		1137,7	634,3	1138,0	2252,1		2315	2,7	
9		1142,0	637,3	1142,3	2254,8		2315	2,6	

Na následném grafu je opět znázorněn vliv mezerovitosti na množství pojiva.

### Závislost mezerovitosti na množství pojiva



Graf 12: Závislost mezerovitosti na množství pojiva u směsi 3

#### 8.1.4. Směs 4

Čára zrnitosti směsi 4 byla navržena podobně jako u směsi 2 s tím rozdílem, že bylo použito těžené kamenivo. Původní předpoklad, že bude razantně snížena mezerovitost, nakonec nebyl potvrzen. V následujících tabulkách a grafu je opět znázorněn výsledek mezerovitosti těchto směsí.

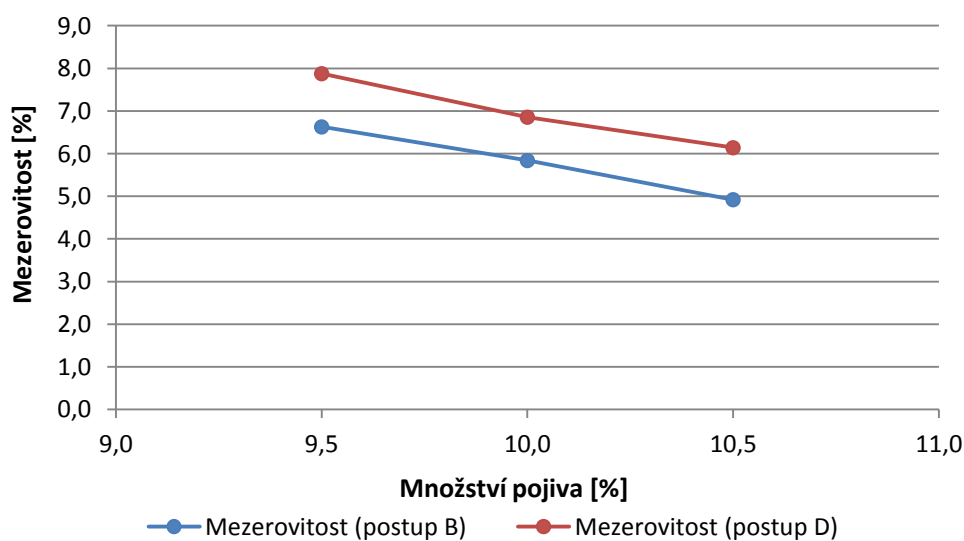
Tabulka 24: Stanovení mezerovitosti z rozměrů u směsi 4

těleso	obsah pojiva	výška tělesa	průměr tělesa	hmotnost suchá	obj.hm.těles z rozměrů	Průměrná obj.hm.	max. obj.hm.	mezer.	průměrná mezerovitost
	[%]	[mm]	[mm]	[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[%]	[%]
1	9,5	64,77	101,89	1115,7	2112,6	2140,1	2329	9,3	8,1
2		63,70	102,07	1123,1	2154,7		2329	7,5	
3		64,35	101,65	1124,3	2152,9		2329	7,6	
4	10,0	64,02	101,94	1135,0	2172,2	2163,3	2323	6,5	6,9
5		64,28	101,63	1132,3	2171,5		2323	6,5	
6		64,65	101,85	1130,5	2146,3		2323	7,6	
7	10,5	64,02	101,73	1132,1	2175,6	2187,0	2312	5,9	5,4
8		64,07	101,17	1134,0	2201,7		2312	4,8	
9		62,07	102,05	1108,6	2183,6		2312	5,6	

Tabulka 25: Stanovení mezerovitosti postupem B z normy ČSN EN 12697-6 u směsi 4

těleso	obsah pojiva	hmotnost suchá	hmotnost ve vodě	hmotnost po vytažení	obj.hm.těles vážením	průměrná obj.hm.	max. obj.hm.	mezer.	průměrná mezerovitost
	[%]	[g]	[g]	[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[%]	[%]
4,1	9,5	1115,7	599,5	1118,4	2143,9	2174,5	2329	7,9	6,6
4,2		1123,1	613,8	1124,0	2194,9		2329	5,8	
4,3		1124,3	612,2	1125,3	2184,8		2329	6,2	
4,4	10,0	1135,0	621,2	1136,6	2195,8	2186,9	2323	5,5	5,9
4,5		1132,3	619,7	1134,2	2194,4		2323	5,5	
4,6		1130,5	613,0	1132,3	2170,7		2323	6,6	
4,7	10,5	1132,1	619,8	1132,9	2200,0	2198,4	2312	4,8	4,9
4,8		1134,0	617,9	1134,8	2187,5		2312	5,4	
4,9		1108,6	609,0	1109,7	2207,7		2312	4,5	

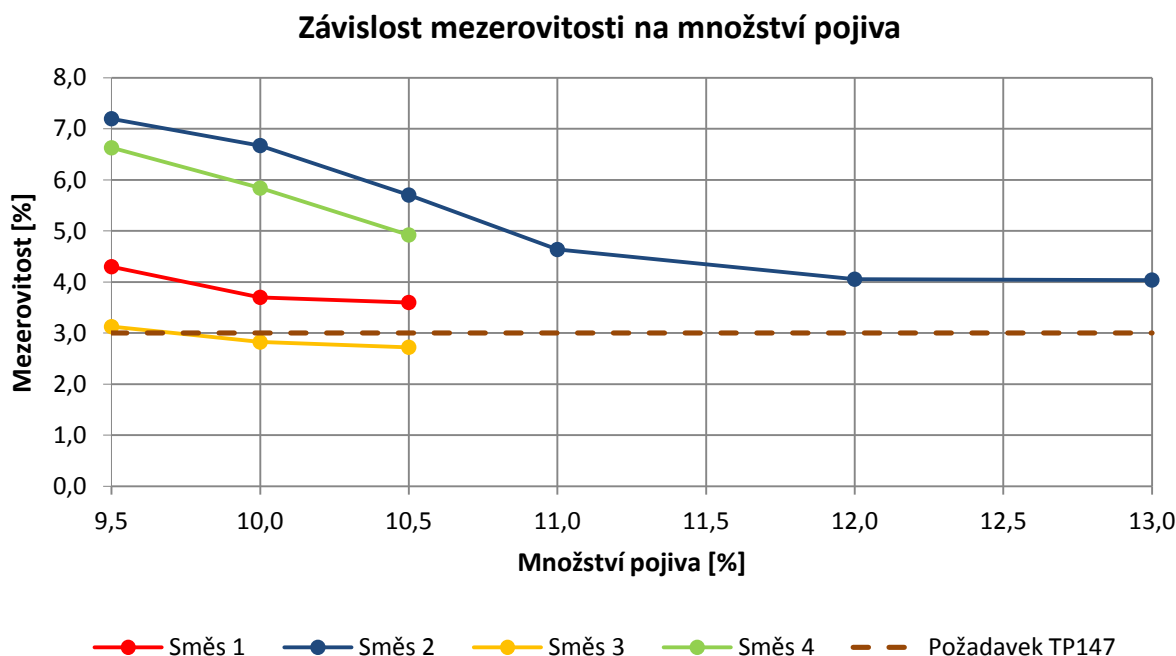
### Závislost mezerovitosti na množství pojiva



Graf 13: Závislost mezerovitosti na množství pojiva u směsi 4

### 8.1.5. Srovnání mezerovitostí

V následujícím grafu jsou zachyceny jednotlivé mezerovitosti, které byly naměřeny při zjištění objemové hmotnosti postupem B (nasyčený suchý povrch). V TP 147 je požadovaná mezerovitost nižší než 3 %. Tento požadavek byl splněn jen u směsi 3.



Graf 14: Srovnání mezerovitosti zjištěné postupem B u všech směsí

Z grafu jsou patrné rozdíly mezerovitostí u jednotlivých směsí. U směsi 2 byla zkouška provedena i u množství pojiva 11 %, 12 % a 13 %, a to z důvodu zjištění, zda bude mít i tak rapidně zvyšující se množství pojiva vliv na mezerovitost. Z grafu je patrné, že mezerovitost u vyššího množství pojiva již klesá velice obtížně. U směsi 4 bylo přidáno těžené kamenivo a byla dodržena čára zrnitosti jako u směsi 2. Předpokládalo se, že bude snížena mezerovitost. Je ovšem patrné, že mezerovitost klesla jen velmi málo. Směs 3 byla navržena tak, aby mezerovitost směsi byla v rozmezí 1 % až 3 %, což je hodnota požadovaná TP 147.

### 8.2. Zjištění parametrů VMA, VFB, tloušťky filmu pojiva a součinitele sytosti

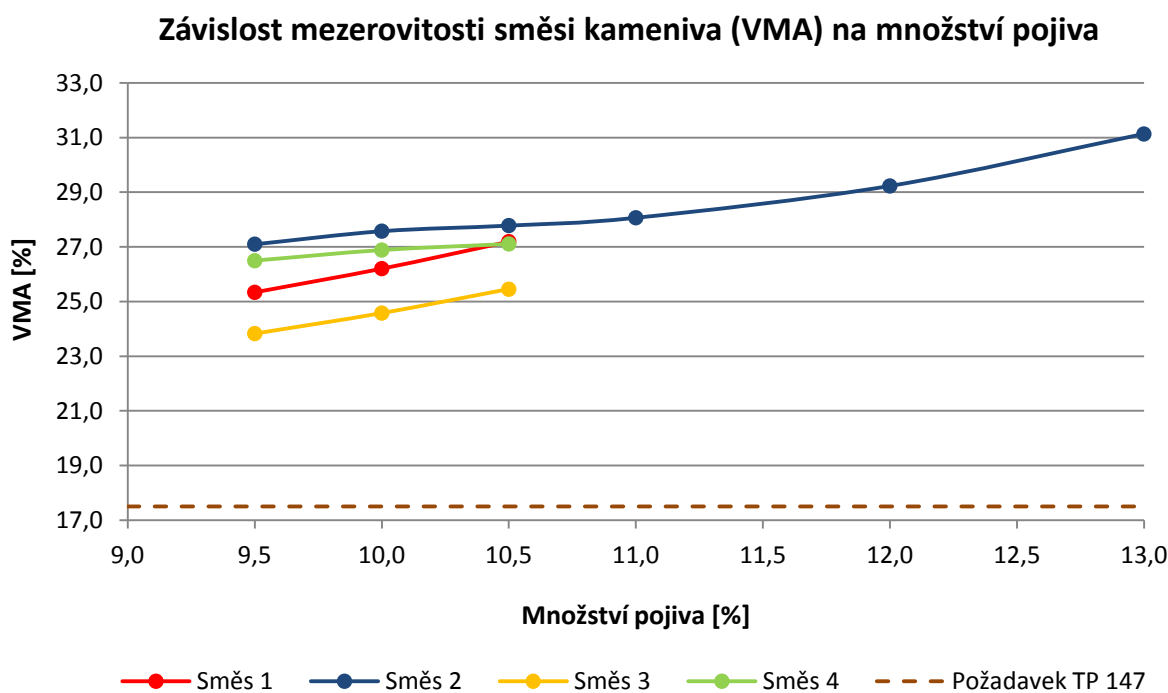
V následující kapitole budou popsány výsledky dalších důležitých charakteristik. Nejprve se jedná o mezerovitost směsi kameniva (VMA) a stupeň vyplnění mezer ve směsi kameniva pojivem (VFB). Zjištění obou těchto veličin je popsáno v kapitole 5.12.

Dále byla stanovena tloušťka filmu pojiva a součinitel sytosti pro jednotlivé směsi. Přehledné výsledky jsou v následující tabulce.

Tabulka 26: VMA, VFB, tloušťka filmu a součinitel sytosti u jednotlivých směsí

Směs	Obsah pojiva [%]	Dle rozměrů			Nasyčený suchý povrch			Tloušťka filmu [mm]	Součinitel sytosti [-]
		Mezer.	VMA	VFB	Mezer.	VMA	VFB		
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]		
1	9,5	4,3	24,7	82,6	5,1	25,3	79,8	0,00731	6,21
	10,0	3,6	25,1	85,7	5,0	26,2	80,9	0,00774	6,57
	10,5	3,5	25,9	86,6	5,2	27,2	80,9	0,00817	6,94
2	9,5	7,9	27,7	71,3	7,2	27,1	73,5	0,00983	6,59
	10,0	7,4	28,1	73,7	6,7	27,6	75,8	0,01040	6,97
	10,5	6,6	28,4	76,9	5,7	27,8	79,5	0,01098	7,36
	11,0	5,7	28,7	80,1	4,8	28,1	82,8	0,01157	7,76
	12,0	4,9	29,8	83,6	4,1	29,2	86,1	0,01276	8,56
	13,0	4,9	31,8	84,5	4,1	31,1	87,0	0,01399	9,38
3	9,5	4,1	24,6	83,4	3,1	23,8	86,9	0,00539	5,84
	10,0	3,7	25,3	85,2	2,8	24,6	88,5	0,00571	6,18
	10,5	3,5	26,1	86,5	2,7	25,5	89,3	0,00603	6,53
4	9,5	8,1	27,7	70,7	6,6	26,5	75,0	0,01000	6,61
	10,0	6,9	27,7	75,2	5,9	26,9	78,2	0,01059	7,00
	10,5	5,4	27,5	80,3	4,9	27,1	81,9	0,01118	7,39

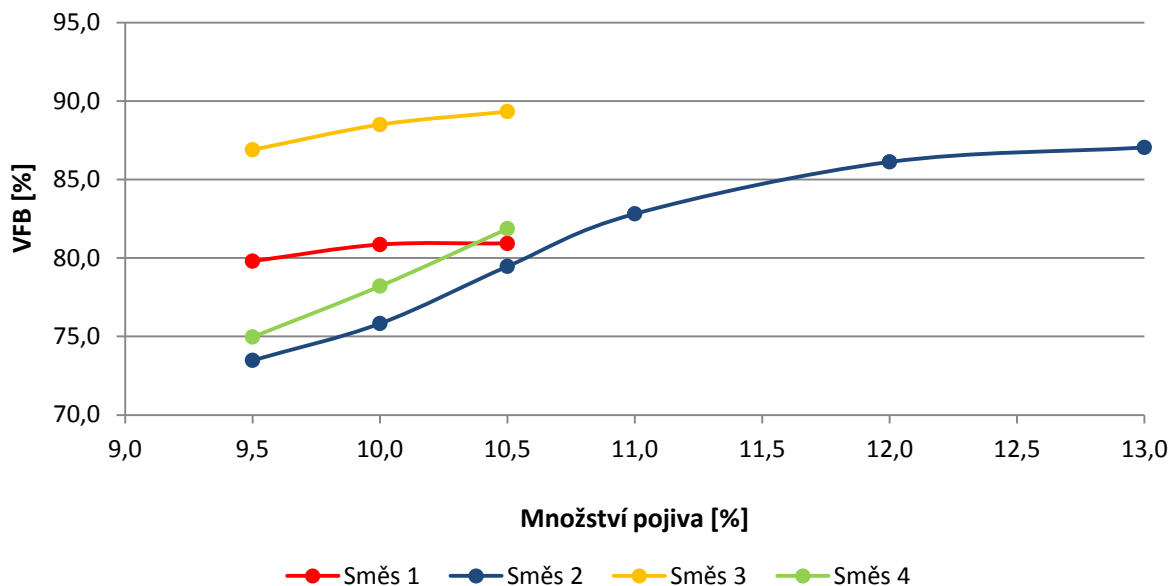
Následující graf zobrazuje závislost mezerovitosti směsi kameniva (VMA) na množství pojiva. Dle TP 147 je dána minimální hodnota VMA jako 17,5 %. Z grafu je zřejmé, že tuto podmínku všechny směsi splňují.



Graf 15: Závislost mezerovitosti směsi kameniva (VMA) na množství pojiva

Další graf znázorňuje závislost stupně vyplnění mezer ve směsi kameniva pojivem (VFB) na obsahu pojiva.

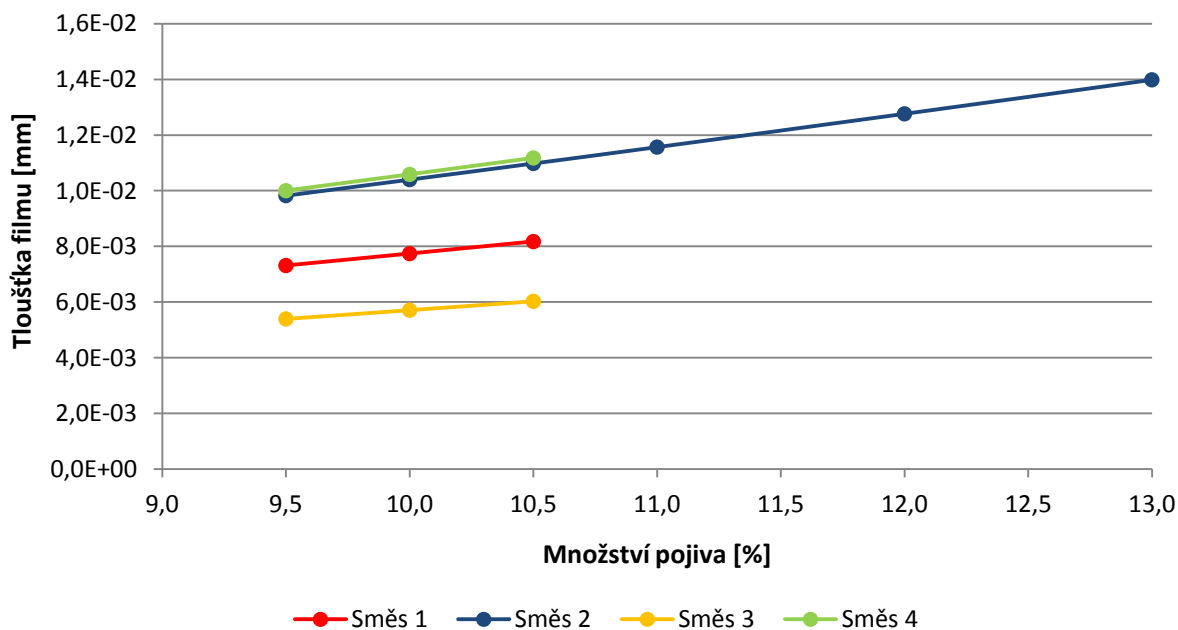
### Závislost stupně vyplnění mezer ve směsi kameniva pojivem (VFB) na obsahu pojiva



Graf 16: Závislost stupně vyplnění mezer ve směsi kameniva pojivem (VFB) na obsahu pojiva

V následujícím grafu je vystižena závislost tloušťky filmu na množství pojiva ve směsi.

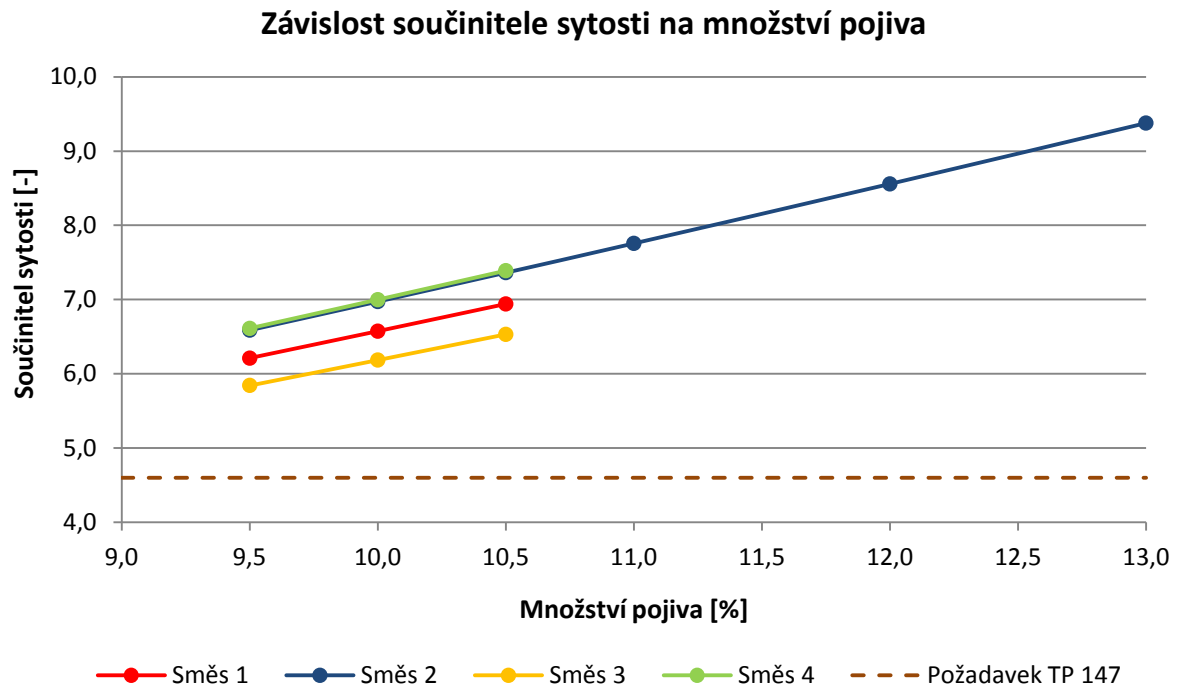
### Závislost tloušťky filmu na množství pojiva



Graf 17: Závislost tloušťky filmu na množství pojiva



V dalším grafickém zobrazení je zřejmá závislost součinitele sytosti na množství pojiva v dané směsi. V TP 147 je uveden minimální požadavek, že součinitel sytosti musí být alespoň 4,6. Z grafu je zřejmé, že tuto hodnotu všechny směsi splňují.



Graf 18: Závislost součinitele sytosti na množství pojiva

### 8.3. Výsledky zkoušky trvalých deformací

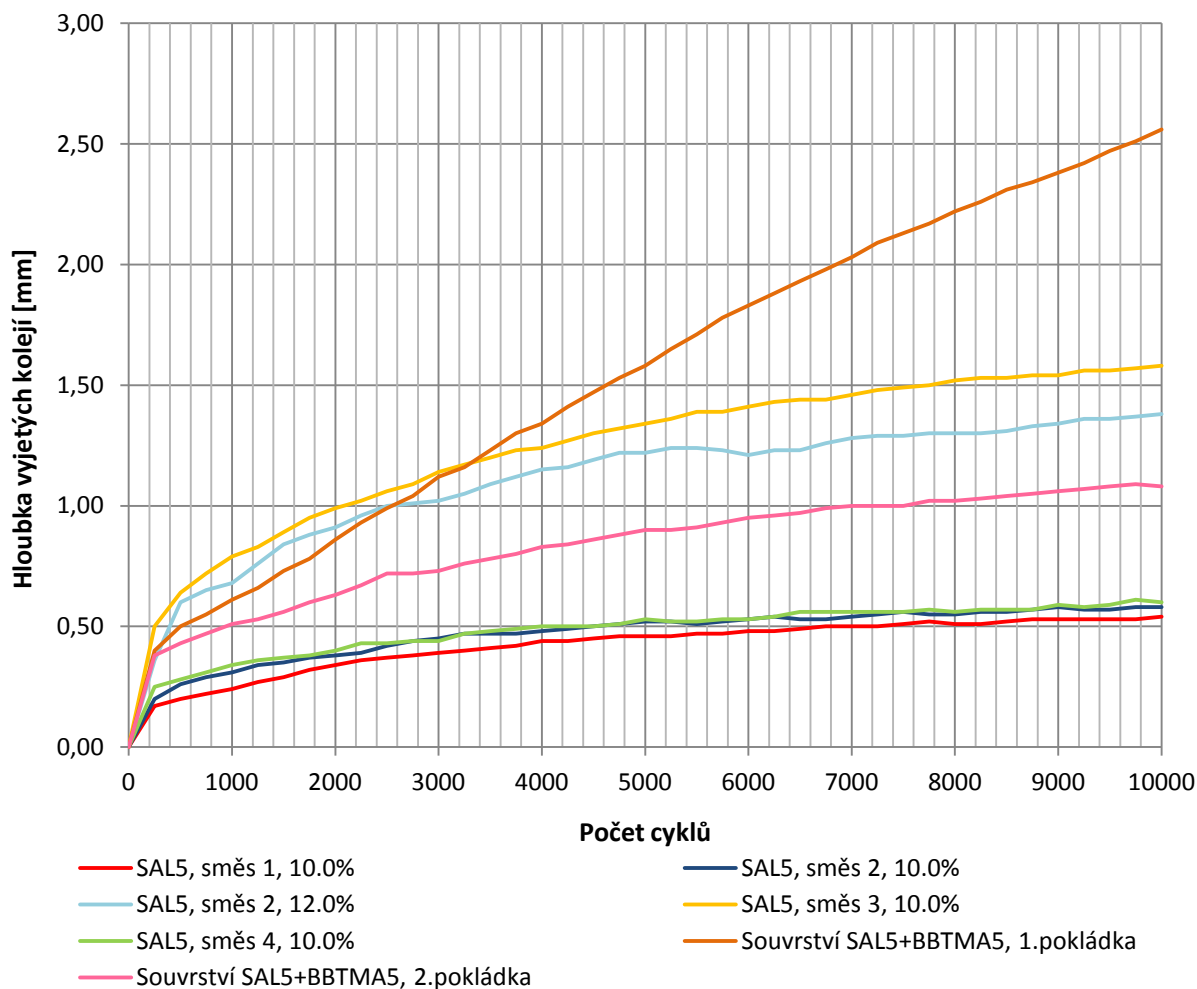
Zkouška trvalých deformací proběhla u všech čtyř navrhovaných směsí a dále byla provedena na dvou souvrstvích. U souvrství se jedná o vrstvy, které byly položeny na pokládce Koliště. V první fázi zde byla položena vrstva SAL s přídavkem písku, ale při průběhu pokládky se tato vrstva nechovala standardně a byla v druhé fázi použita směs navržená podle směsi číslo 2 z této diplomové práce. Použití vrstvy SAL při pokládce na ulici Koliště v Brně je popsáno v kapitole 10.

Desky vyráběné na posouzení trvalých deformací byly zhutněny v tloušťce 3 cm. U souvrství byla zhutněna kopie pokládky na Kolišti v Brně, tedy souvrství SAL o mocnosti 3 cm a dále obrusná vrstva BBTM A 5 o mocnosti taktéž 3 cm. V následující tabulce jsou znázorněny jednotlivé výsledky, úplné protokoly jsou doplněny v příloze 3.

Tabulka 27: Hloubka vyjeté koleje u jednotlivých vzorků

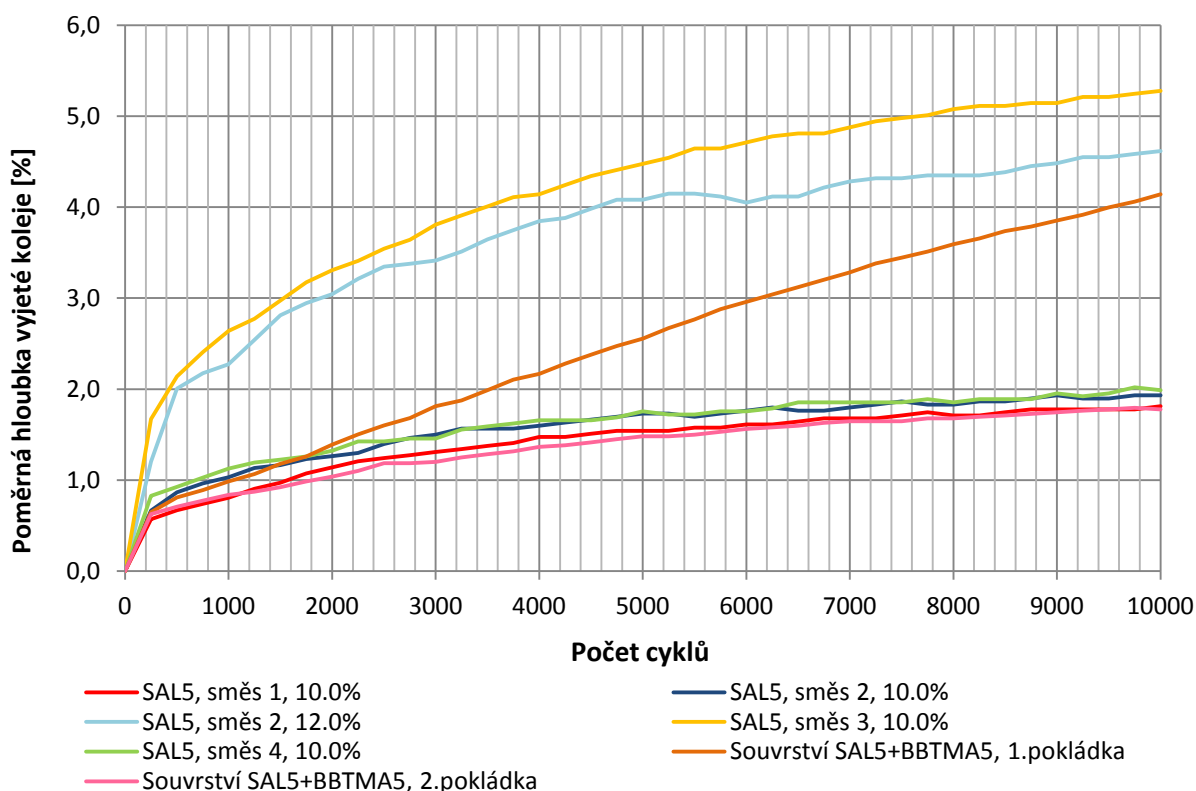
Počet cyklů	SAL 5 směs 1 10.0%	SAL 5 směs 2 10.0%	SAL 5 směs 2 12.0%	SAL 5 směs 3 10.0%	SAL 5 směs 4 10.0%	Souvrství Koliště 1	Souvrství Koliště 2
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
500	0,20	0,26	0,60	0,64	0,28	0,50	0,43
1250	0,27	0,34	0,76	0,83	0,36	0,66	0,53
2500	0,37	0,42	1,00	1,06	0,43	0,99	0,72
5000	0,46	0,52	1,22	1,34	0,53	1,58	0,90
7500	0,51	0,56	1,29	1,49	0,56	2,13	1,00
10000	0,54	0,58	1,38	1,58	0,60	2,56	1,08

### Závislost hloubky vyjetých kolejí na počtu cyklů



Graf 19: Závislost hloubky vyjetých kolejí na počtu cyklů

### Poměrná hloubka vyjetých kolejí na počtu cyklů



Graf 20: Poměrná hloubka vyjetých kolejí závislá na počtu cyklů

U vyrobených desek byla zjištěna míra zhutnění, výjimkou je míra zhutnění u souvrství, jelikož není možné objemové hmotnosti jednotlivých směsí obsažených v souvrství zjistit samostatně. Z tohoto důvodu byla zjištěna míra zhutnění pouze orientačně, to znamená, že jsem zjišťoval průměrnou objemovou hmotnost celého souvrství.

Tabulka 28: Stěžejní hodnoty u zkoušených desek

		SAL 5 směs 1 10.0%	SAL 5 směs 2 10.0%	SAL 5 směs 2 12.0%	SAL 5 směs 3 10.0%	SAL 5 směs 4 10.0%	Souvrství Koliště 1	Souvrství Koliště 2
Tloušťka desky	[mm]	29,8	30,0	29,9	29,9	30,2	61,8	60,7
Objemová hmotnost	[kg/m <sup>3</sup> ]	2200,0	2148,8	2217,8	2239,5	2228,6	-	-
Objemová hmotnost žádaná	[kg/m <sup>3</sup> ]	2236,0	2174,4	2181,8	2262,2	2186,9	-	-
Míra zhutnění	[%]	98,4	98,8	101,6	99,0	101,9	-	-
Mezerovitost	[%]	4,6	7,8	2,5	3,8	4,1	-	-
Y <sub>S,10</sub>	[mm]	0,46	0,52	1,22	1,34	0,53	1,58	0,90
PRD <sub>AIR</sub>	[%]	1,54	1,73	4,08	4,48	1,76	2,56	1,48
WTS <sub>AIR</sub>	[mm/10 <sup>3</sup> cyklů]	0,016	0,012	0,032	0,048	0,014	<b>0,196</b>	0,036

Jak bylo již popsáno v kapitole 5.13., základem zkoušky trvalých deformací je grafické znázornění hloubky vyjeté koleje. Dále lze spočítat základní charakteristiky jako je přírůstek hloubky vyjeté koleje  $WTS_{AIR}$ , jehož maximální hodnota je dána dle TP 147 hodnotou 0,08 mm. Je ovšem důležité zmínit, že tato hodnota je požadována při teplotě 40 °C a teplota zkoušky trvalých deformací v této diplomové práci je 50 °C. Z tohoto důvodu je tedy důležité brát tuto hodnotu pouze orientačně. I přes tuto skutečnost je z předchozí tabulky zřejmé, že tomuto požadavku nevyhovělo pouze souvrství, které bylo použito při první etapě na ulici Koliště. V tabulce je tato hodnota zvýrazněna červeně.

Další předepsanou hodnotou v TP 147 je průměrná poměrná hloubka vyjeté koleje  $PRD_{AIR}$  na vzduchu, která je předepsána taktéž při teplotě 40 °C. Dle předpisu může být maximálně 8,0 %, z čehož je zřejmé, že je tento požadavek splněn u všech zkoušených směsí.



Obrázek 59: Řez souvrstvím Koliště 1 po zkoušce trvalých deformací



Obrázek 60: Řez souvrstvím Koliště 2 po zkoušce trvalých deformací

#### 8.4. Výsledky zkoušky v tahu za ohybu

Popis této zkoušky je uveden v kapitole 5.14. Podstatou zkoušky je zjištění deformačních charakteristik u vybraných směsí. Zkouška byla provedena u směsí 1 (10 % pojiva), směsi 2 (10 % a 12 % pojiva) a u směsi 3 (10 % pojiva). Výsledek slouží k tomu, aby mohla být provedena zkouška relaxace asfaltových směsí, která je uvažována jako stěžejní. Podrobné výsledky popisuje Tabulka 29 a jednotlivé výsledky měření jsou v příloze 6.

Tabulka 29: Stanovení vlastností asfaltových směsí zkouškou v tahu za ohybu dle TP 151

Směs	Číslo vzorku	Obsah pojiva	Hmotnost m	Vzdálenost podpor l	Šířka b	Výška h	Délka d	Síla P	Objemová hmotnost Dim	Pevnost v tahu za ohybu $R_i$	Průměrná pevnost v tahu za ohybu $R_i$	Průhyb při porušení vzorku $\gamma_s$	Modul tuhosti v tahu za ohybu $E_s$	Průměrný modul tuh. v tahu za ohybu $E_s$	Maximální relativní přetvoření $\epsilon_s$	Průměrné relativní přetvoření $\epsilon_s$
		[%]	[g]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[N]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[MPa]	[MPa]	[mm]	[MPa]	[MPa]	[%]	[%]
SAL 1	1	10,0	539,3	100,0	39,6	40,8	159,1	3787	2 098	8,62	8,64	1,33	265	275	3,26	3,15
	2	10,0	550,8	100,0	39,6	40,7	159,3	3383	2 145	7,74		1,10	288		2,69	
	3	10,0	562,0	100,0	39,7	40,8	159,3	4218	2 178	9,57		1,43	273		3,50	
SAL 2	2.1	10,0	538,9	100,0	39,7	40,1	160,1	2742	2 118	6,46	6,95	1,46	184	162	3,51	4,30
	2.3	10,0	541,7	100,0	39,6	40,0	159,3	3022	2 147	7,16		1,89	158		4,53	
	2.5	10,0	538,5	100,0	39,5	39,9	158,6	3500	2 155	8,35		2,15	162		5,15	
	2.7	10,0	508,3	100,0	39,8	38,4	157,7	2278	2 109	5,82		1,74	145		4,01	
SAL 2	2.11	12,0	552,9	100,0	39,5	41,0	160,5	3271	2 128	7,40	8,61	2,27	133	170	5,58	5,09
	2.13	12,0	540,0	100,0	39,6	39,6	159,4	3868	2 159	9,33		2,08	189		4,94	
	2.15	12,0	565,0	100,0	39,6	40,7	159,9	4540	2 190	10,36		2,08	204		5,08	
	2.17	12,0	567,8	100,0	39,8	40,7	160,6	3226	2 183	7,34		1,95	154		4,76	
SAL 3	3.2	10,0	566,8	100,0	39,6	40,5	159,5	4422	2 214	10,21	9,71	2,65	159	160	6,44	6,20
	3.3	10,0	548,9	100,0	40,1	39,3	159,0	3474	2 195	8,44		1,99	180		4,69	
	3.5	10,0	579,3	100,0	39,8	40,7	159,8	4608	2 238	10,49		3,06	141		7,47	

Dále jsou na fotografiích zobrazeny způsoby porušení u zkoušky v tahu za ohybu. Nejprve je znázorněn způsob porušení u směsi 2 s 10 % pojiva.



Obrázek 61: Zkušební vzorek na zkoušku v tahu za ohybu, směs 2, 10 % pojiva



Obrázek 62: Lom na zkušebním tělese, směs 2, 10 % pojiva

Dále je znázorněno těleso směsi 2 s 12 % pojiva.



Obrázek 63: Zkušební vzorek na zkoušku v tahu za ohybu, směs 2, 12 % pojiva



Obrázek 64: Lom na zkušebním tělese, směs 2, 12 % pojiva

Nakonec je zobrazen zkušební vzorek směsi 3 s 10 % obsahem pojiva. U této směsi bylo dávkováno vyšší množství fileru a jak je z lomu porušení zřejmé, jeví se směs 3 při stejném dávkování pojiva jako směs 2 sušší.



Obrázek 65: Zkušební vzorek na zkoušku v tahu za ohybu, směs 3, 10 % pojiva



Obrázek 66: Lom na zkušebním tělese, směs 3, 10 % pojiva

## 8.5. Výsledky zkoušky relaxace

V následující kapitole budou popsány výsledky zkoušky relaxace. Postup zkoušky je popsán v kapitole 5.15. Zkouška byla provedena u směsi 1 s 10 % pojiva, u směsi 2 s 10 % a 12 % pojiva a u směsi 3 s 10 % pojiva.

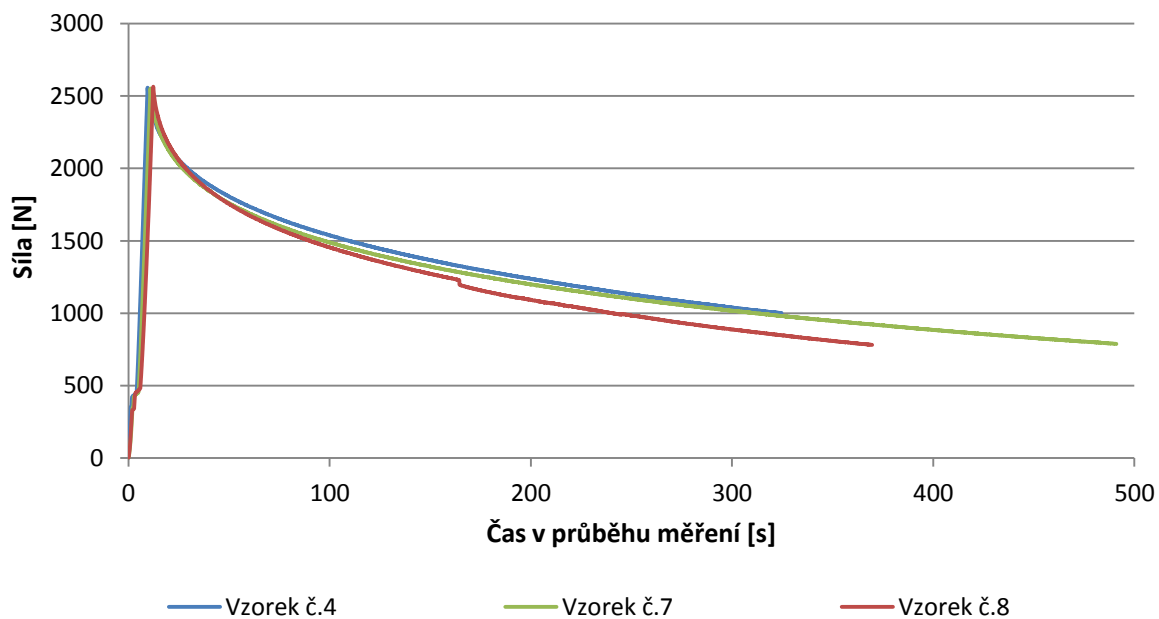
### 8.5.1. Směs 1

U směsi 1 byla určena zkouškou v tahu za ohybu maximální síla na přidržení 2,5 kN. Zkouška relaxace byla provedena na třech vzorcích z každé směsi.

Tabulka 30: Výsledky zkoušky relaxace u směsi 1, 10 % pojiva

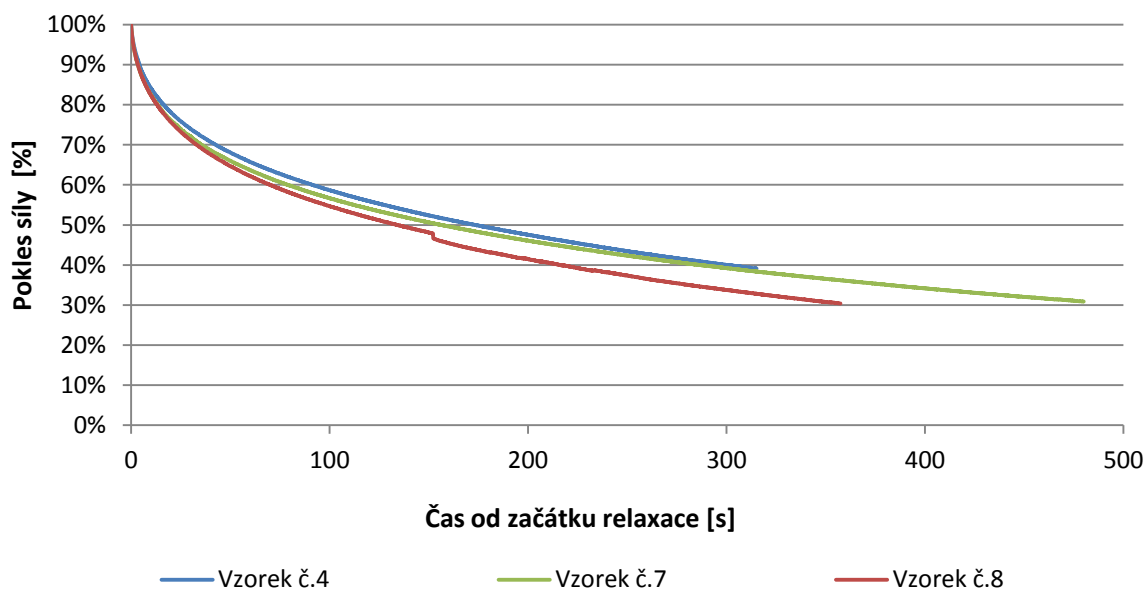
Vzorek	Maximální síla na přidržení [kN]	Rozměry tělesa			Největší dosažené napětí [MPa]	Relaxace při t=300s [%]	Relaxace při t=300s (průměr) [%]
		šířka [mm]	výška [mm]	délka [mm]			
4	2,5	39,8	40,8	159,7	0,577	40,0	37,7
5	2,5	39,6	40,3	159,6	0,599	33,8	
7	2,5	40,3	41,2	159,8	0,561	39,2	

### Grafické znázornění relaxace



Graf 21: Časový průběh zkoušky relaxace, směs 1, 10 % pojiva

### Grafické znázornění relaxace



Graf 22: Časový průběh od začátku relaxace, směs 1, 10 % pojiva

#### 8.5.2. Směs 2

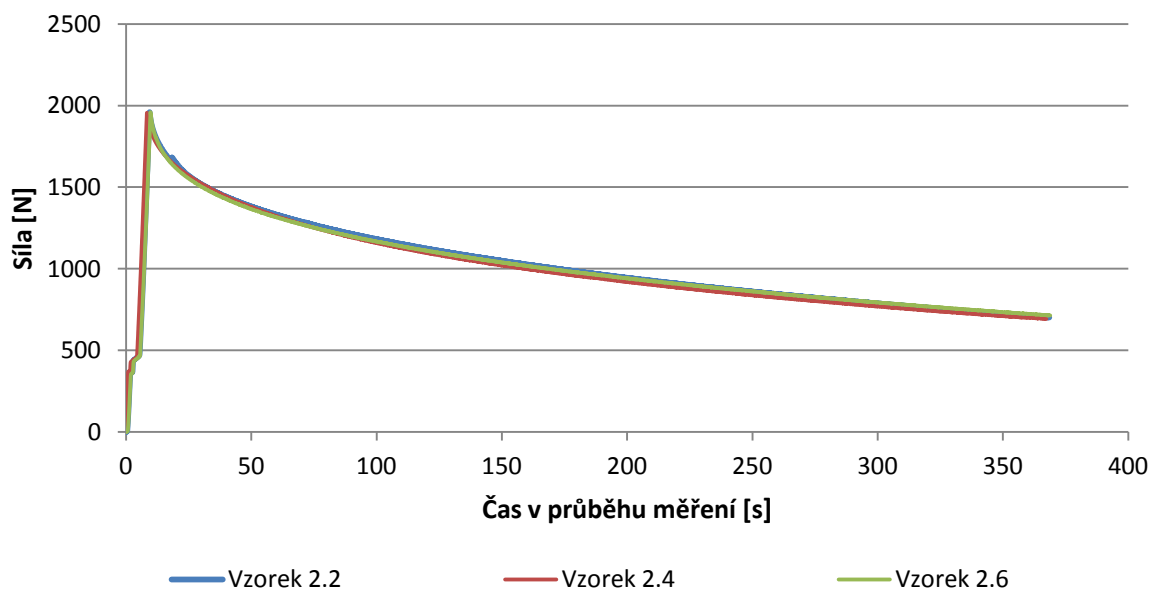
Zkouška relaxace byla provedena u směsi 2 s 10 % a 12 % pojiva. U směsi s obsahem 10 % pojiva byla použita síla na přidržení v hodnotě 1,9 kN.



Tabulka 31: Výsledky zkoušky relaxace u směsi 2, 10 % pojiva

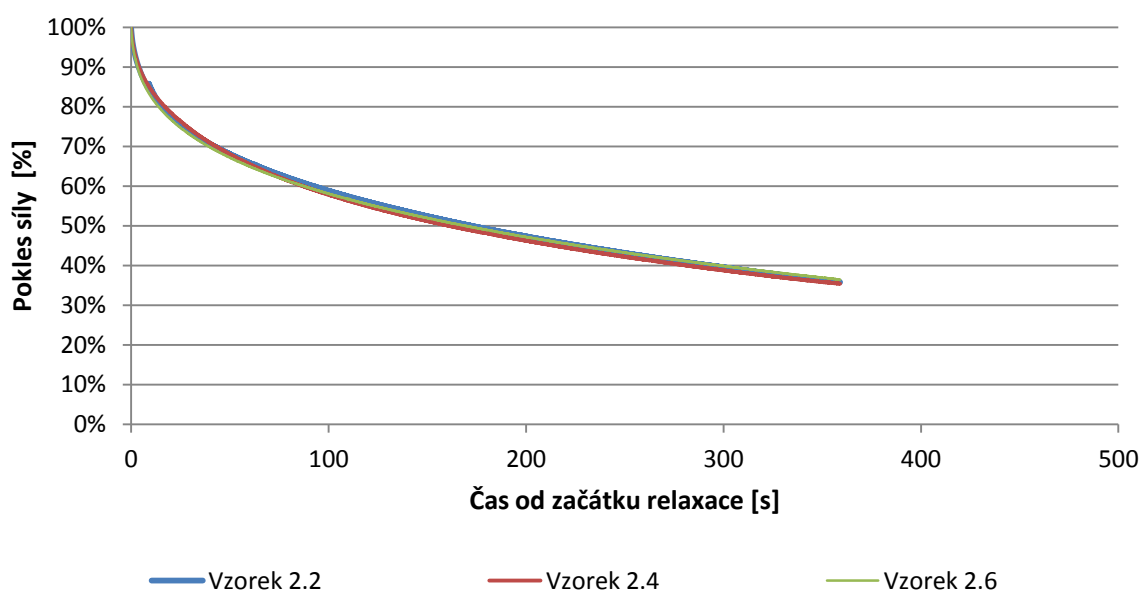
Vzorek	Maximální síla na přidržení [kN]	Rozměry tělesa			Největší dosažené napětí [MPa]	Relaxace při t=300s [%]	Relaxace při t=300s (průměr) [%]
		šířka [mm]	výška [mm]	délka [mm]			
2.2	1,9	39,8	40,1	159,8	0,460	39,5	39,4
2.4	1,9	39,4	40,0	159,0	0,466	38,7	
2.6	1,9	39,9	40,0	158,0	0,462	39,9	

### Grafické znázornění relaxace



Graf 23: Časový průběh zkoušky relaxace, směs 2, 10 % pojiva

### Grafické znázornění relaxace



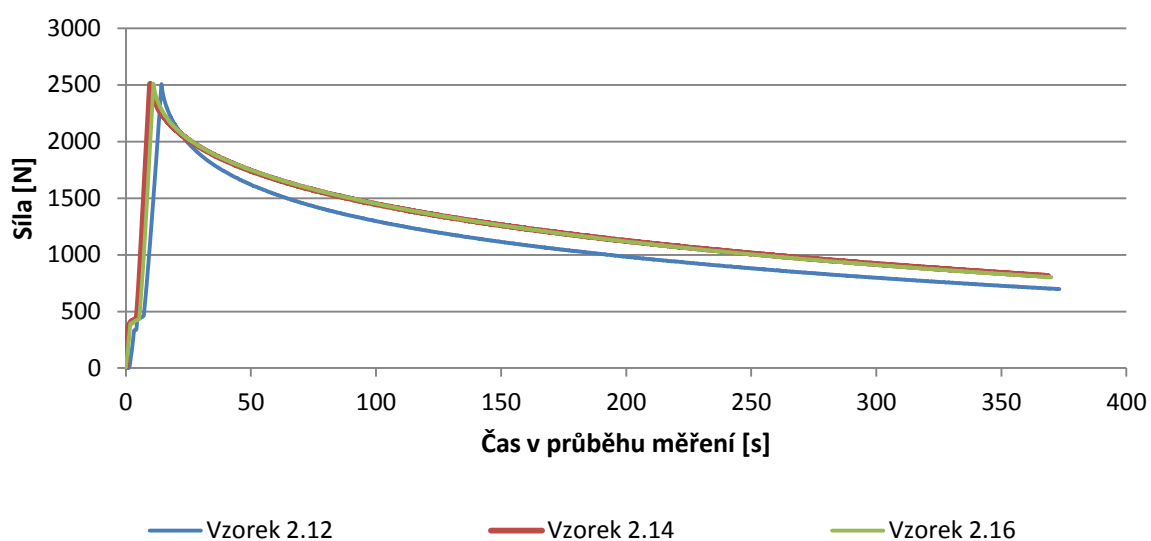
Graf 24: Časový průběh od začátku relaxace, směs 2, 10 % pojiva

Při použití 12% pojiva jsem použil maximální sílu na přidržení 2,5 kN. Zkouška proběhla opět na třech reprezentativních vzorcích.

Tabulka 32: Výsledky zkoušky relaxace u směsi 2, 12 % pojiva

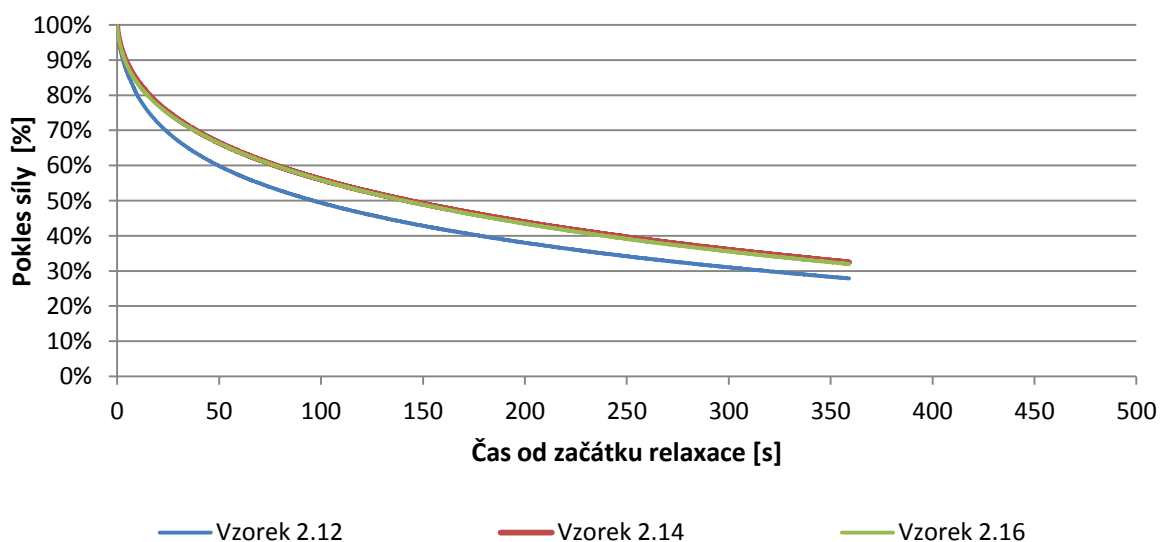
Vzorek	Maximální síla na přidržení [kN]	Rozměry tělesa			Největší dosažené napětí [MPa]	Relaxace při t=300s [%]	Relaxace při t=300s (průměr) [%]
		šířka [mm]	výška [mm]	délka [mm]			
2.12	2,5	39,7	39,0	159,0	0,622	31,0	34,1
2.14	2,5	39,5	40,5	159,4	0,581	35,9	
2.16	2,5	39,7	40,7	159,9	0,574	35,5	

### Grafické znázornění relaxace



Graf 25: Časový průběh zkoušky relaxace, směs 2, 12 % pojiva

### Grafické znázornění relaxace



Graf 26: Časový průběh zkoušky relaxace, směs 2, 12 % pojiva

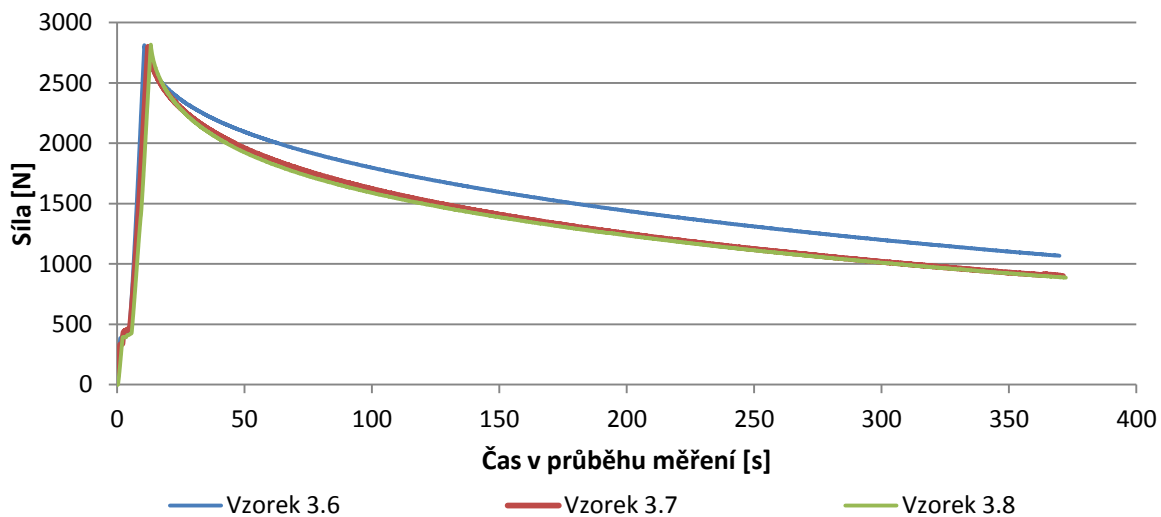
### 8.5.3. Směs 3

Posledními zkoušenými vzorky byla směs 3 s obsahem pojiva 10 %. Jedná se o směs s přísadkou těžného kameniva. Síla na přidržení byla určena zkouškou v tahu za ohybu hodnotou 2,8 kN.

Tabulka 33: Výsledky zkoušky relaxace u směsi 3, 10 % pojiva

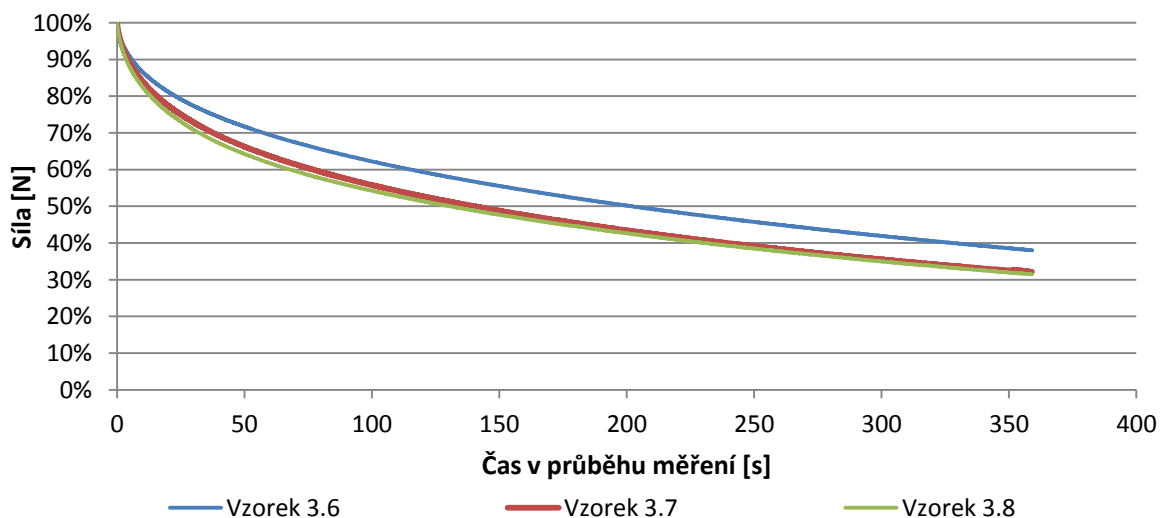
Vzorek	Maximální síla na přidržení [kN]	Rozměry tělesa			Největší dosažené napětí [MPa]	Relaxace při t=300s [%]	Relaxace při t=300s (průměr) [%]
		šířka [mm]	výška [mm]	délka [mm]			
3.6	2,8	39,8	40,9	160,0	0,633	41,9	37,5
3.7	2,8	39,8	40,1	160,1	0,656	35,6	
3.8	2,8	40,0	40,3	160,3	0,650	35,0	

#### Grafické znázornění relaxace



Graf 27: Časový průběh zkoušky relaxace, směs 3, 10 % pojiva

#### Grafické znázornění relaxace

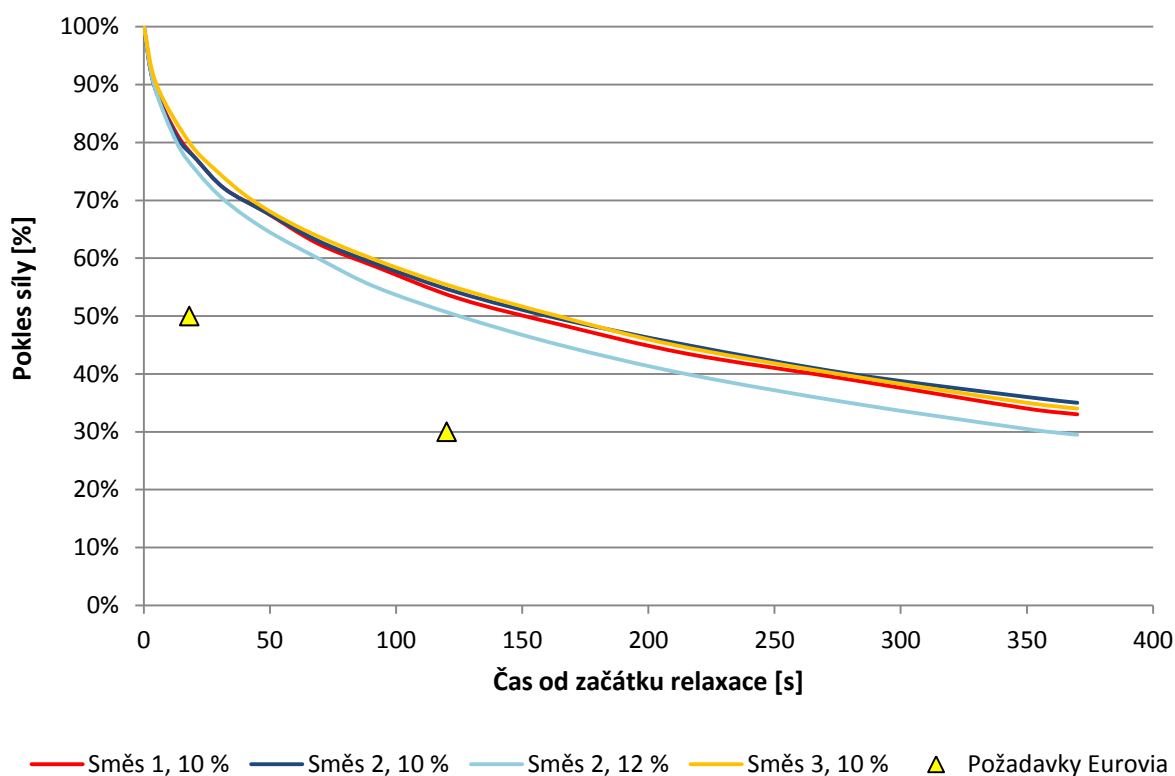


Graf 28: Časový průběh zkoušky relaxace, směs 3, 10 % pojiva

#### 8.5.4. Srovnání výsledků relaxace

Z následujícího grafu je zřejmé, že průběh relaxace se u jednotlivých směsí liší jen minimálně. Jediné vybočení z průměru je zřejmé u směsi 2 s 12 % pojiva. U této směsi je znatelný vyšší pokles síly zatížení (rychlejší relaxace). Dále jsou v grafu znázorněny body, které požaduje vnitřní předpis společnosti Eurovia. Jedná se o požadavek na pokles síly, kdy má síla během 18 s klesnout minimálně na hodnotu 50 %, během 120 s je požadavek na minimální pokles síly na 30 % a posledním požadavkem je pokles počáteční síly minimálně na 15 % během 10 minut. Z grafu je zřejmé, že hodnoty v čase 18 s a v čase 120 s nebyly zdaleka splněny. Jelikož měření v diplomové práci probíhalo pouze do 350 s, není možné posoudit požadavek v hodnotě 10 minut. Takto výrazné nesplnění hodnot může být způsobeno pravděpodobně použitím asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem.

Porovnání průběhů relaxací



Graf 29: Srovnání časového průběhu relaxace

#### 8.6. Výsledky odolnosti zkušebních těles vůči vodě a mrazu

Zkouška odolnosti vůči účinkům vody a mrazu je popsána v kapitolách 5.16. a 5.17. Zkouška byla provedena u směsi 2 s 10 % obsahem pojiva. V následující tabulce jsou vypsané

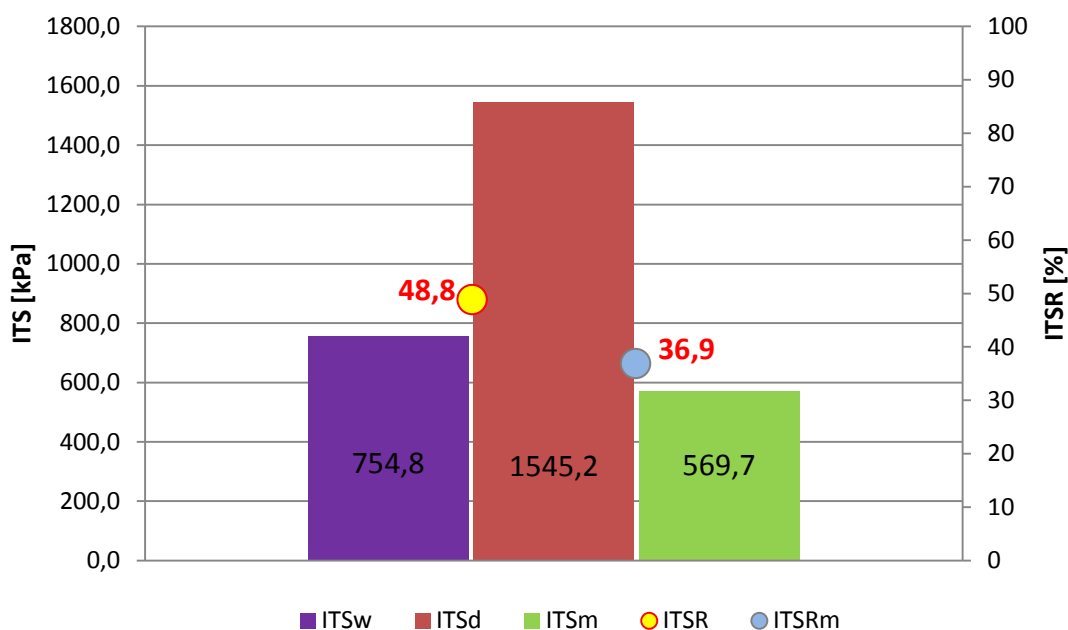
výsledky měření. Dále je dobré podotknout, že nejsou dány striktní požadavky na výsledky, jelikož se jedná o směs s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem.

Tabulka 34: Odolnost vůči vodě a mrazu u směsi 2 s 10% pojiva

Ozn. těles	Skupina	Výška	Průměr	Hmotnost suchá	Objemová hmotnost	Přetvoření	Síla P	ITS	ITSR
---	---	[mm]	[mm]	[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[mm]	[kN]	[kPa]	[%]
1	mokrý	67,3	102,1	1125,8	2044	1,58	7,5	694,7	48,8
4	mokrý	67,6	101,6	1130,3	2062	1,51	8,4	781,4	
7	mokrý	67,9	101,8	1130,0	2047	1,55	8,6	788,4	
<b>Průměr</b>		<b>67,6</b>	<b>101,8</b>	<b>1128,7</b>	<b>2051</b>	<b>1,55</b>	<b>8,2</b>	<b>754,8</b>	
3	suchý	67,8	101,8	1130,3	2047	2,23	16,4	1510,9	36,9
8	suchý	68,1	102,1	1132,7	2029	3,11	15,9	1457,5	
9	suchý	67,4	101,6	1135,0	2075	2,00	17,9	1667,2	
<b>Průměr</b>		<b>67,8</b>	<b>101,9</b>	<b>1132,7</b>	<b>2051</b>	<b>2,45</b>	<b>16,8</b>	<b>1545,2</b>	
2	mráz	68,0	102,0	1129,4	2033	1,65	5,4	494,8	36,9
5	mráz	67,8	101,9	1135,5	2054	1,60	6,8	626,8	
6	mráz	67,0	102,2	1131,0	2059	1,48	6,3	587,5	
<b>Průměr</b>		<b>67,6</b>	<b>102,0</b>	<b>1132,0</b>	<b>2049</b>	<b>1,58</b>	<b>6,2</b>	<b>569,7</b>	

Při vyhodnocení odolnosti vůči vodě se získá poměr pevností v příčném tahu *ITSR* a u odolnosti vůči účinkům mrazu se získá poměr pevností v příčném tahu *ITSR<sub>m</sub>*. Jednotlivé hodnoty jsou zobrazeny v předešlé tabulce a zároveň jsou znázorněny v následujícím grafu.

Teplovní citlivost SAL 5



Graf 30: Odolnost vůči vodě a mrazu u směsi 2 s 10% pojiva

## 8.7. Výsledky nízkoteplotních charakteristik směsí

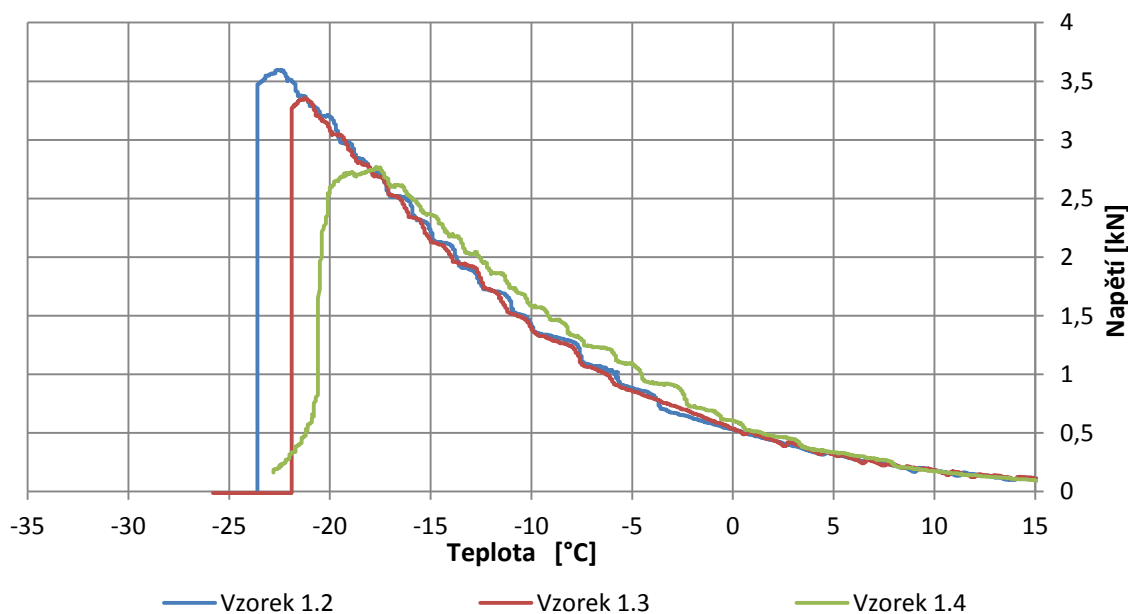
V zařízení Cyklon -40 byly zjišťovány nízkoteplotní vlastnosti u navržené směsi 1 s 10 % pojiva, u směsi 2 s 10 % a 12 % pojiva a u směsi 3 s 10 % pojiva. Dále byla zkouška nízkoteplotních vlastností provedena na směsi, která byla použita při pokládce na ulici Koliště v Brně. Jedná se o první fázi pokládky (směs, která se neosvědčila a byla nahrazena směsí odpovídající směsi 2 z této diplomové práce). O pokládce je pojednáno v kapitole 10.

### 8.7.1. Směs 1

Tabulka 35: Výsledky nízkoteplotních charakteristik směsi 1, 10 % pojiva

Akce		Diplomová práce		
Asfaltová směs		SAL 5, 10.0%, směs 1		
Vzorek		1.2	1.3	1.4
Rozměry zkušebního tělesa	mm	49.3x49.3x200.0	49.6x49.6x200.0	50.0x50.0x200.0
Datum zkoušky		8. 3. 2012	9. 3. 2012	1. 6. 2012
Teplota temperování	°C	10	10	10
Doba temperování	min.	15	15	15
Rychlost ochlazování	°C/hod	10	10	10
Max. síla při porušení	kN	8,74	8,26	6,92
Max. napětí při porušení	MPa	3,60	3,36	2,77
Teplota v komoře při porušení	°C	-26,7	-25,5	-20,5
Teplota vzorku při porušení	°C	-22,6	-21,3	-17,7

Závislost nárůstu napětí na teplotě



Graf 31: Závislost nárůstu napětí na teplotě směsi 2, 10 % pojiva

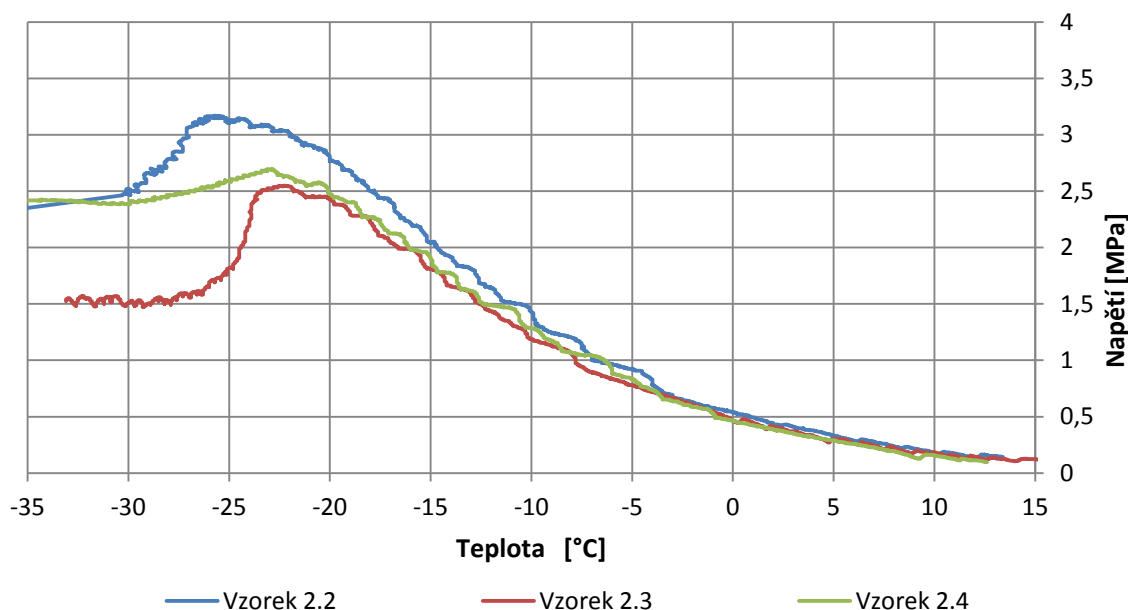
### 8.7.2. Směs 2

Směs 2 s 10 % pojiva se vyznačuje poměrně nízkým nárůstem napětí se snižující se teplotou. Po překročení meze pevnosti se vzorek neporuší lomem, ale napětí klesne přibližně o třetinu a vnitřní síly ve vzorku se vyrovnají. Naopak tělesa u směsi 1 se porušila lomem a napětí klesne na nulu.

Tabulka 36: Výsledky nízkoteplotních charakteristik směsi 2, 10 % pojiva

Akce		Diplomová práce		
Asfaltová směs		SAL 5, 10.0%, směs 2		
Vzorek		2.2	2.3	2.4
Rozměry zkušební tělesa	mm	49.7x49.7x200.0	49.5x50.3x199.3	49.5x50.3x199.4
Datum zkoušky		15. 6. 2012	26. 6. 2012	27. 6. 2012
Teplota temperování	°C	10	10	10
Doba temperování	min.	15	15	15
Rychlost ochlazování	°C/hod	10	10	10
Max. síla při porušení	kN	7,83	6,35	6,71
Max. napětí při porušení	MPa	3,17	2,55	2,69
Teplota v komoře při porušení	°C	-27,3	-26,0	-26,8
Teplota vzorku při porušení	°C	-25,7	-22,2	-23,1

Závislost nárůstu napětí na teplotě



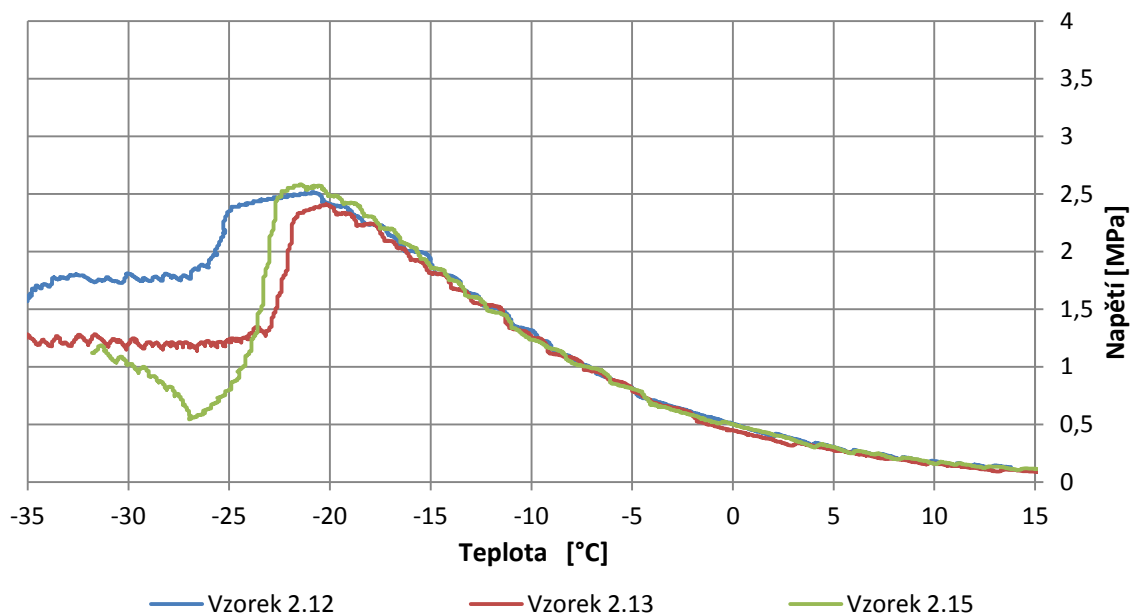
Graf 32: Závislost nárůstu napětí na teplotě směsi 2, 10 % pojiva

Směs 2 s 12 % pojiva se liší od směsi s 10 % pojiva nižším maximálním napětím a vyšší teplotou porušení. Hodnoty jsou znázorněny v následující tabulce.

Tabulka 37: Výsledky nízkoteplotních charakteristik směsi 2, 12 % pojiva

Akce		Diplomová práce		
Asfaltová směs		SAL 5, 12.0%, směs 2		
Vzorek		2.12	2.13	2.15
Rozměry zkušebního tělesa	mm	50.8x49.6x199.6	50.5x49.5x200	49.2x49.5x198.7
Datum zkoušky		10. 7. 2012	28. 6. 2012	9. 7. 2012
Teplota temperování	°C	10	10	10
Doba temperování	min.	15	15	15
Rychlost ochlazování	°C/hod	10	10	10
Max. síla při porušení	kN	6,34	6,03	6,29
Max. napětí při porušení	MPa	2,52	2,41	2,58
Teplota v komoře při porušení	°C	-24,6	-22,0	-25,7
Teplota vzorku při porušení	°C	-20,8	-20,2	-21,4

### Závislost nárůstu napětí na teplotě



Graf 33: Závislost nárůstu napětí na teplotě směsi 2, 12 % pojiva

### 8.7.3. Směs 3

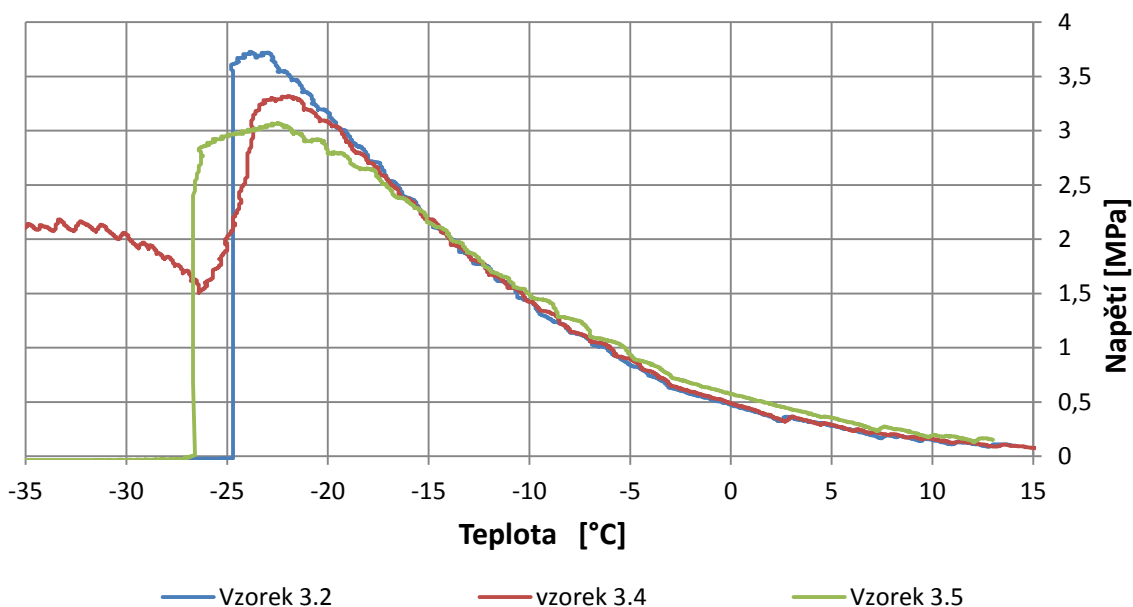
Směs 3, která je navržena tak, aby odpovídala požadavkům TP 147 se vyznačuje lomem, po němž u dvou vzorků napětí kleslo na nulu. U jednoho ze zkušebních těles se po poklesu o 50 % maximální síly začalo napětí opět zvyšovat. Výsledky jsou zřejmé z následující tabulky a grafu.



Tabulka 38: Výsledky nízkoteplotních charakteristik směsi 3, 10 % pojiva

Akce		Diplomová práce		
Asfaltová směs		SAL 5, 10.0%, směs 3		
Vzorek		3.2	3.4	3.5
Rozměry zkušebního tělesa	mm	50.4x51.0x200.5	49.6x50.6x200.7	49.7x50.6x201.0
Datum zkoušky		13. 7. 2012	11. 7. 2012	16. 7. 2012
Teplota temperování	°C	10	10	10
Doba temperování	min.	15	15	15
Rychlost ochlazování	°C/hod	10	10	10
Max. síla při porušení	kN	9,58	8,33	7,73
Max. napětí při porušení	MPa	3,73	3,32	3,07
Teplota v komoře při porušení	°C	-27,3	-25,8	-25,8
Teplota vzorku při porušení	°C	-23,9	-22,0	-22,5

### Závislost nárůstu napětí na teplotě



Graf 34: Závislost nárůstu napětí na teplotě směsi 3, 10 % pojiva

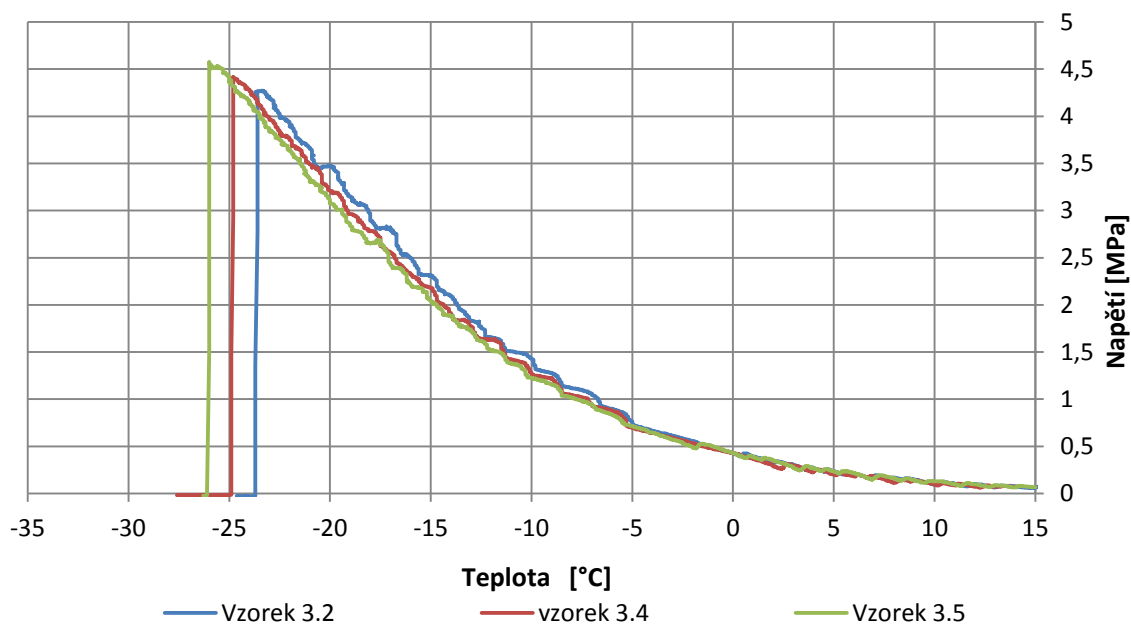
#### 8.7.4. Koliště, první pokládka

Nakonec byla provedena zkouška nízkoteplotních vlastností u směsi, která byla položena na ulici Koliště v Brně. Směs se vyznačuje nejvyšším maximálním napětím ze všech směsí a zároveň nejvyšší teplotní odolností (nízká kritická teplota). Směs se obdobně jako směs 1 a směs 3 porušila lomem a napětí kleslo na nulu.

Tabulka 39: Výsledky nízkoteplotních charakteristik z odběru Koliště č. 1

Akce		Diplomová práce		
Asfaltová směs		SAL 5, odběr koliště, pokládka č. 1		
Vzorek		5.2	5.3	5.4
Rozměry zkušebního tělesa	mm	49.6x49.9x199.4	50.1x49.7x199.8	50.4x49.9x200.0
Datum zkoušky		9. 8. 2012	8. 8. 2012	10. 8. 2012
Teplota temperování	°C	10	10	10
Doba temperování	min.	15	15	15
Rychlost ochlazování	°C/hod	10	10	10
Max. síla při porušení	kN	10,57	10,99	11,50
Max. napětí při porušení	MPa	4,27	4,42	4,57
Teplota v komoře při porušení	°C	-26,7	-26,9	-29,1
Teplota vzorku při porušení	°C	-23,4	-24,8	-26,0

### Závislost nárůstu napětí na teplotě

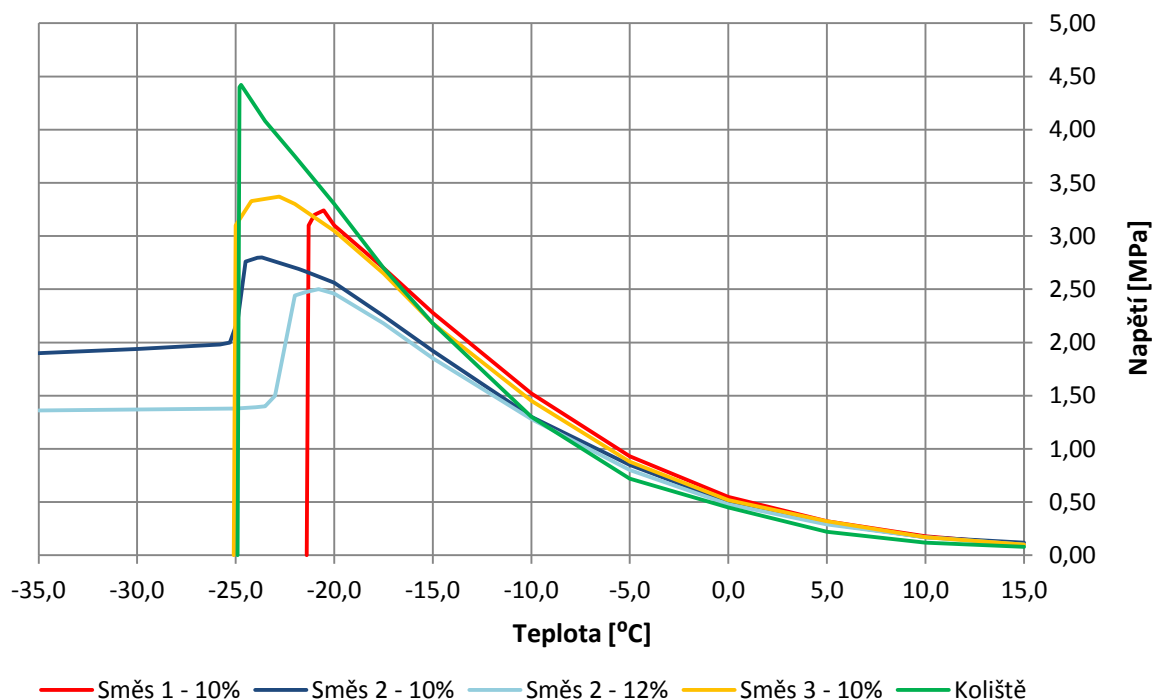


Graf 35: Závislost nárůstu napětí na teplotě u směsi aplikované na pokládce koliště č. 1

#### 8.7.5. Srovnání výsledků nízkoteplotních charakteristik

Jak již bylo popsáno v předchozích odstavcích, jednotlivé směsi se liší maximálním dosaženým napětím, teplotou při porušení a dále způsobem porušení. Graf 36 zobrazuje zprůměrované srovnání jednotlivých směsí. Podrobné protokoly jednotlivých směsí jsou uvedeny v příloze 5.

### Závislost nárůstu napětí na teplotě



Graf 36: Srovnání výsledků nízkoteplotních charakteristik u jednotlivých směsí

Z předchozího grafu je zřejmé, že směs 2, která se vyznačuje především vyšší mezerovitostí a neodpovídající čarou zrnitosti dle TP 147 se neporuší náhlým lomem. Naopak tělesa ze směsi 1 a směsi 3 se porušila náhlým lomem. Směs, která byla použita při pokládce v ulici Koliště v Brně, se vyznačuje výrazně vyšším maximálním dosaženým napětím. Zajímavé může být srovnání výsledků u směsi 2, kdy bylo použito 10 % a 12 % pojiva modifikovaného pryžovým granulátem. U směsi s nižším množstvím pojiva bylo dosaženo vyššího maximálního napětí a nižší teploty při porušení. Zajímavé je, že křivka se přibližně do hodnoty  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  liší zcela minimálně.



Obrázek 67: Příklad porušeného tělesa po zkoušce nízkoteplotních charakteristik směsi

## 8.8. Výsledky zkoušky nasákavosti

Zkouška nasákavosti je popsána v kapitole 5.20., jak již bylo v této kapitole zmíněno, je dle Československé státní normy maximální nasákavost v % objemu nejvýše 4 %. Je ovšem důležité si uvědomit, že tato hodnota je pouze informativní.

Z výsledků v následující tabulce vyplývá, že informativní hodnotu 4 % nesplňuje směs 2 při obsahu pojiva 9,5 a 10,0 %. Dále je zřejmé, že při porovnání výsledků s mezerovitostí, jsou výsledné hodnoty poměrově obdobné.

Tabulka 40: Výsledky zkoušky nasákavosti

Směs	Pojivo	Výška	Průměr	Hmotnost suchá	Objem. hm. z rozměrů	m <sub>2</sub>	m <sub>3</sub>	m <sub>4</sub>	Nasákavost	Průměrná Nasákavost
	[%]	[mm]	[mm]	[g]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg]	[kg]	[kg]	[%]	[%]
1	10,0	63,87	101,81	1133,1	2179,2	1135,2	620,2	1152,7	3,4	2,5
	10,0	63,35	102,05	1131,1	2182,9	1132,8	623,1	1144,0	2,2	
	10,0	62,63	101,75	1128,2	2215,4	1129,0	625,5	1138,1	1,8	
2	9,5	65,17	101,58	1145,9	2169,7	1149,4	626,3	1172,3	4,4	4,4
	10,0	64,53	101,68	1136,9	2169,7	1139,8	620,9	1160,0	3,9	
	10,0	65,05	101,97	1123,4	2114,7	1128,0	604,8	1155,8	5,3	4,4
	10,0	63,53	102,17	1120,9	2152,0	1122,9	609,5	1143,9	4,1	
	12,0	65,11	101,57	1145,5	2171,3	1147,2	626,0	1155,3	1,6	1,6
	12,0	65,35	101,76	1143,3	2151,1	1145,6	621,3	1157,2	2,2	
	12,0	65,17	101,59	1148,5	2174,2	1149,3	627,1	1155,1	1,1	
3	10,0	61,82	101,77	1126,9	2240,9	1127,9	631,3	1130,5	0,5	0,7
	10,0	61,70	102,02	1129,1	2238,7	1130,0	631,7	1132,1	0,4	
	10,0	63,12	101,77	1139,0	2218,3	1139,9	630,9	1145,4	1,1	
4	10,0	64,02	101,94	1135,0	2172,2	1137,5	620,9	1155,6	3,5	3,3
	10,0	64,28	101,63	1132,3	2171,5	1134,5	619,5	1152,5	3,5	
	10,0	63,60	102,05	1136,2	2184,1	1137,1	622,7	1152,0	2,9	

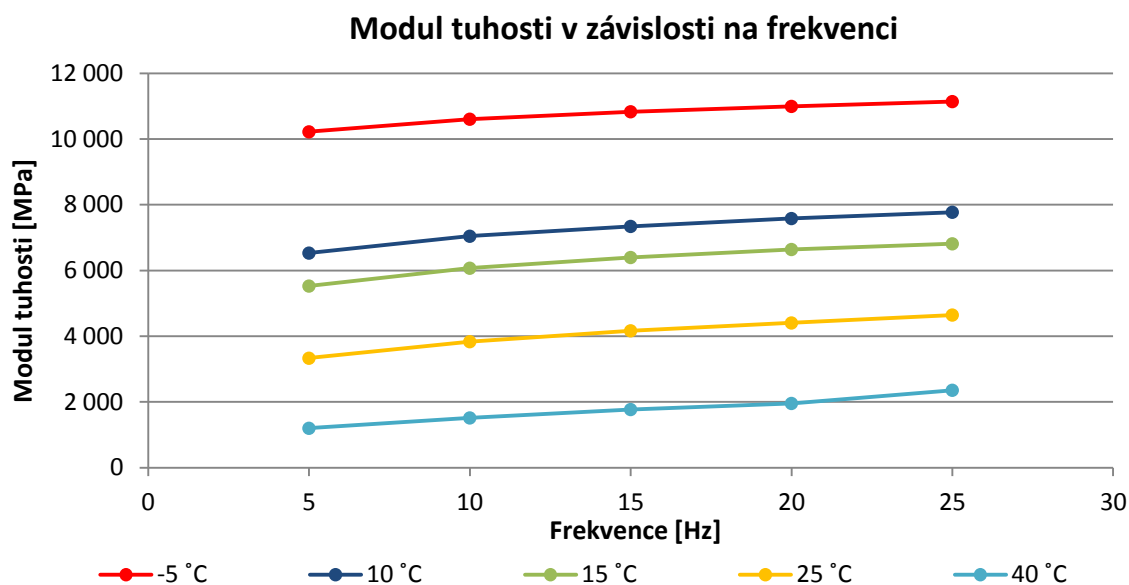
## 8.9. Výsledky měření modulu tuhosti asfaltové směsi

Zkouška měření modulů tuhosti asfaltové směsi je popsána v kapitole 5.21. Výsledkem této zkoušky je mimo jiné modul tuhosti při teplotě 15 °C a frekvenci 10 Hz, který je použit jako vstupní hodnota v programu LayEps (kapitola 11).

Měření proběhlo na směsi 2 s 10 % obsahem pojiva modifikovaného pryžovým granulátem. Měření probíhalo na 15 tělesech při teplotách -5 °C, 10 °C, 15 °C, 25 °C a 40 °C a frekvencích 5 Hz, 10 Hz, 15 Hz, 20 Hz, 25 Hz a opět 5 Hz. Výsledky měření modulů tuhosti jsou shrnuty do následující tabulky a grafu.

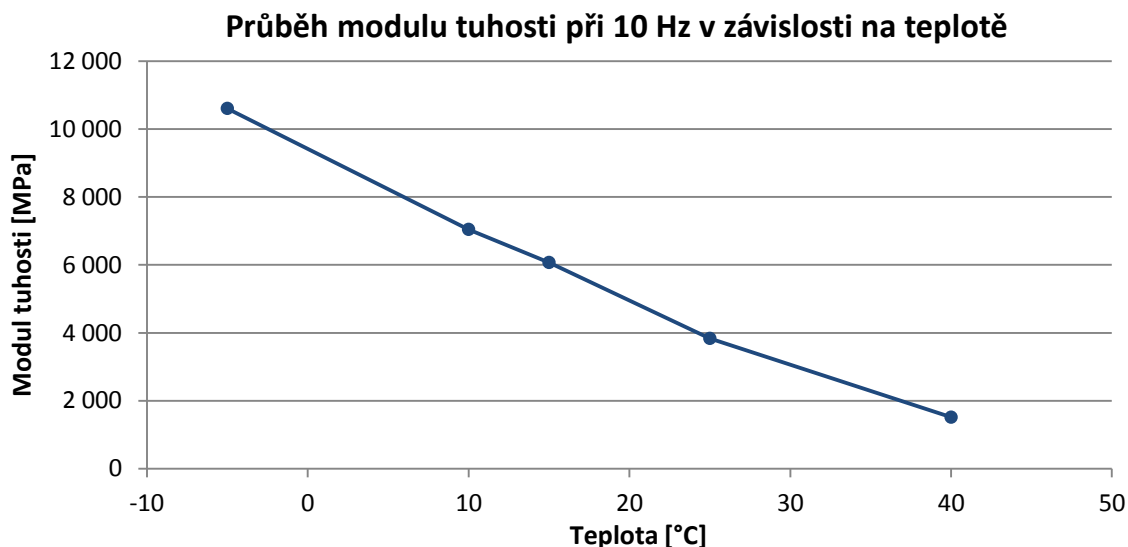
Tabulka 41: Výsledky jednotlivých měření při různých teplotách a frekvencích

Teplota	Zatěžovací frekvence				
	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz
-5 °C	10220	10605	10831	10994	11141
10 °C	6530	7044	7342	7582	7773
15 °C	5527	6070	6397	6640	6813
25 °C	3332	3836	4166	4405	4646
40 °C	1200	1515	1771	1956	2357



Graf 37: Moduly tuhosti směsi SAL5, směs 2, 10 % pojiva

Jak bylo zmíněno výše, modul tuhosti při teplotě 15 °C a frekvenci 10 Hz je základním návrhovým prvek při vstupu do programu LayEps. V tomto ohledu byla pro směs SAL tedy uvažována hodnota modulu tuhosti  $E = 6070$  MPa. V následujícím grafu je znázorněna závislost modulu tuhosti na teplotě, která byla měřena při frekvenci 10 Hz.



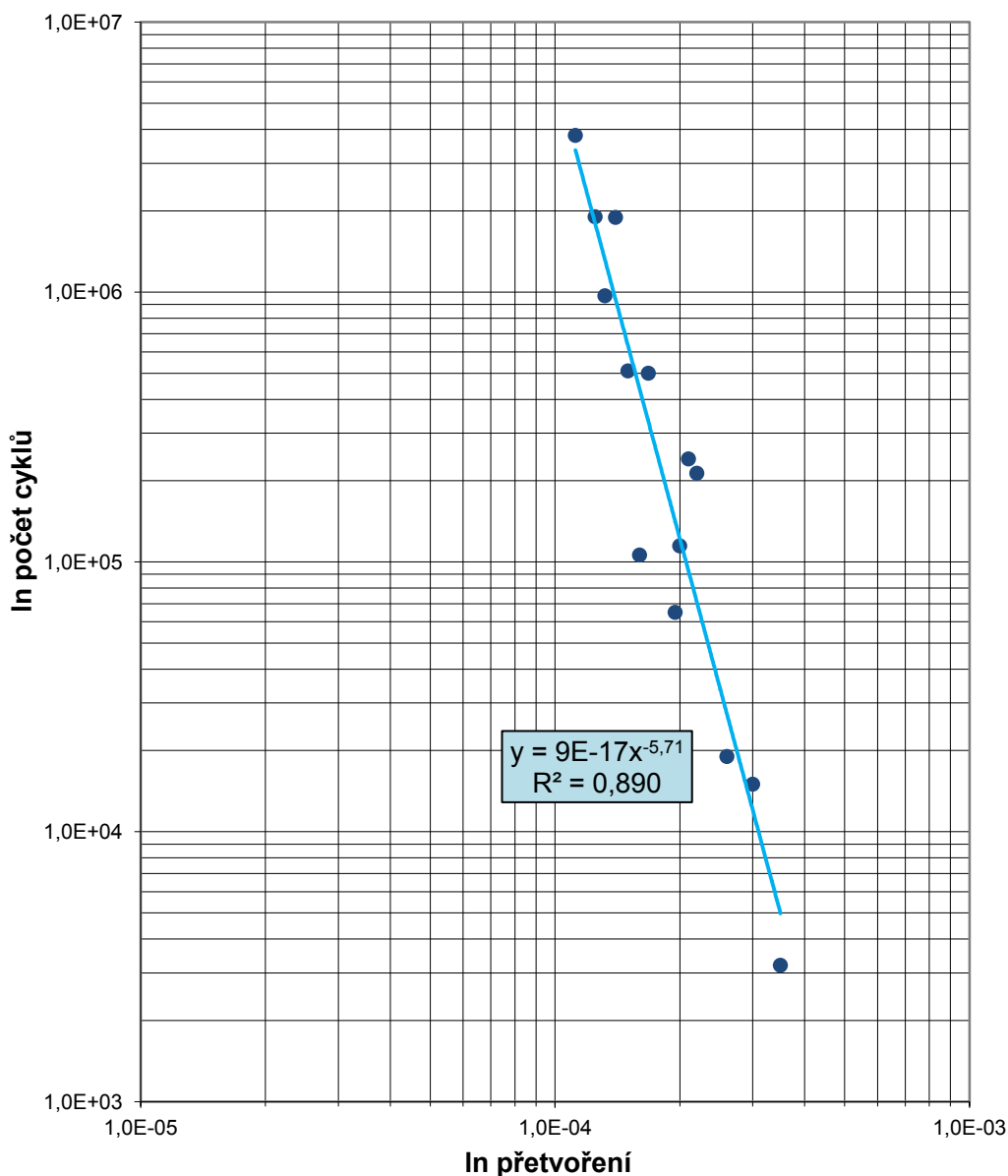
Graf 38: Průběh modulu tuhosti při 10 Hz v závislosti na teplotě

## 8.10. Odolnost asfaltové směsi vůči únavě

Únavové charakteristiky byly naměřeny na zkušebních trapezoidech dle postupu, který je popsán v kapitole 5.22. Zkouška byla provedena u směsi 2 s 10 % asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem.

Základními charakteristikami únavové přímky je hodnota  $B$ , která vyjadřuje sklon přímky. Dále hodnota  $R^2$  je korelační koeficient popisující rozptýlení bodů kolem únavové přímky a hodnota  $\epsilon_6$  vyjadřuje přetvoření při jednom milionu cyklů. V neposlední řadě je znázorněn Wöhlerův diagram, který zobrazuje závislost počtu cyklů na přetvoření. Diagram se uvádí v logaritmickém měřítku.

Wöhlerův diagram



Graf 39: Wöhlerův diagram

Tabulka 42: Výsledky únavových charakteristik

Zkušební těleso	Přetvoření	Počet cyklů	Únavové charakteristiky		
			B	R <sup>2</sup>	ε <sub>6</sub>
1	0,000160	106 000	<b>5,71</b>	<b>0,890</b>	<b>137,8 · 10<sup>-6</sup></b>
2	0,000112	3 804 000			
3	0,000132	968 000			
4	0,000195	65 000			
5	0,000125	1 900 000			
6	0,000140	1 890 000			
7	0,000150	510 000			
8	0,000220	213 000			
9	0,000260	19 000			
10	0,000168	500 000			
11	0,000210	240 700			
12	0,000300	15 000			
13	0,000200	114 600			
14	0,000350	3 200			

Z důvodu vysokého obsahu pružného pojiva s příměsí pryžového granulátu vykazuje směs kvalitní únavové charakteristiky. Výsledky únavových charakteristik byly použity při dosazení do výpočtového modelu v kapitole 11.



Obrázek 68: Zkušební komolé klíny

## 9. TABULKA SOUHRNÝCH VÝSLEDKŮ

Tabulka 43: Souhrnné výsledky diplomové práce

Směs		SAL 5	SAL 5	SAL 5	SAL 5	SAL 5	SAL 5	SAL 5	SAL 5	SAL 5	SAL 5	SAL 5	SAL 5	SAL 5	SAL 5	SAL 5
Návrh číslo		1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	4	4	4
22	%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
16	%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
11	%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
8	%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,4	99,4	99,4	100,0	100,0	100,0
5,6	%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,4	99,4	99,4	100,0	100,0	100,0
4	%	93,3	93,3	93,3	93,2	93,2	93,2	93,2	93,2	93,2	84,0	84,0	84,0	93,0	93,0	93,0
2	%	41,1	41,1	41,1	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	65,2	65,2	65,2	41,9	41,9	41,9
1	%	30,1	30,1	30,1	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2	49,0	49,0	49,0	30,3	30,3	30,3
0,5	%	23,5	23,5	23,5	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	37,6	37,6	37,6	20,3	20,3	20,3
0,25	%	17,5	17,5	17,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	27,1	27,1	27,1	12,0	12,0	12,0
0,125	%	11,4	11,4	11,4	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	16,9	16,9	16,9	7,4	7,4	7,4
0,063	%	7,5	7,5	7,5	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	10,6	10,6	10,6	5,1	5,1	5,1
Množství pojiva	%	9,5	10,0	10,5	9,5	10,0	10,5	11,0	12,0	13,0	9,5	10,0	10,5	9,5	10,0	10,5
Filer	%	8,3	8,3	8,3	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	12	12	12	6	6	6
0/4	%	42	42	42	45,8	45,8	45,8	45,8	45,8	45,8	74	74	74	12	12	12
2/4	%	49,7	49,7	49,7	49,7	49,7	49,7	49,7	49,7	49,7				52	52	52
4/8	%										14	14	14			
Písek	%													30	30	30
Max.obj.hm.	kg/m <sup>3</sup>	2333	2320	2299	2348	2330	2319	2309	2274	2259	2340	2328	2315	2329	2323	2312
Obj.hm.voda	kg/m <sup>3</sup>	2237	2237	2217	2179	2175	2187	2198	2182	2168	2267	2262	2252	2175	2187	2198
Mezerovitost voda	%	4,1	3,6	3,5	7,2	6,7	5,7	4,8	4,1	4,0	3,1	2,8	2,7	6,6	5,9	4,9
VMA	%	24,6	25,1	25,9	27,1	27,6	27,8	28,1	29,2	31,1	23,8	24,6	25,5	26,5	26,9	27,1
VFB	%	83,2	85,7	86,3	73,5	75,8	79,5	82,8	86,1	87,0	86,9	88,5	89,3	75,0	78,2	81,9
Obj.hm.rozm.	kg/m <sup>3</sup>	2215	2204	2179	2162	2158	2167	2177	2163	2148	2245	2241	2233	2140	2163	2187
Mezerovitost rozměry	%	5,1	5,0	5,2	7,9	7,4	6,6	5,7	4,9	4,9	4,1	3,7	3,5	8,1	6,9	5,4
VMA	%	25,3	26,2	27,2	27,7	28,1	28,4	28,7	29,8	31,8	24,6	25,3	26,1	27,7	27,7	27,5
VFB	%	79,9	80,8	80,9	71,3	73,7	76,9	80,1	83,6	84,5	83,4	85,2	86,5	70,7	75,2	80,3
Tloušťka filmu	mm	0,00731	0,00774	0,00817	0,00983	0,01040	0,01098	0,01157	0,01276	0,01399	0,00539	0,00571	0,00603	0,01000	0,01059	0,01118
Součinitel sytosti n		6,21	6,57	6,94	6,59	6,97	7,36	7,76	8,56	9,38	5,84	6,18	6,53	6,61	7,00	7,39
Hustota pojiva	kg/m <sup>3</sup>	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040	1040
Obj.hm.kameniva	kg/m <sup>3</sup>	2650	2650	2650	2650	2650	2650	2650	2650	2650	2650	2650	2650	2650	2650	2650
ITSR	%					48,8										
ITSRm	%					36,9										
WTSair	mm/10 <sup>3</sup> cyklů		0,016			0,012			0,032			0,048			0,014	
PRDair	%		1,54			1,73			4,08			4,48			1,76	
Nasákavost	%		2,5			4,4			1,6			0,7			3,3	
Pev. tah za ohybu	MPa		8,64			6,95			8,61			9,71				
Modul tuh.(tah/ohyb)	MPa		275			162			170			160				
Relativní přetvoření	%		3,15			4,30			5,09			6,20				
Relaxace při t=300s	%		37,7			39,4			34,1			37,5				



## 10. ZKUŠEBNÍ POKLÁDKA VRSTVY SAL

### 10.1. Popis místa pokládky

Ve dnech 16. 7. 2012 až 20. 7. 2012 proběhla v Brně rekonstrukce části ulice Koliště, která je součástí Malého městského okruhu, jenž obepíná historické centrum Brna. Jedná se o ulici, která je velmi intenzivně zatížena dopravou.

Přibližná délka rekonstruovaného úseku byla 500 m. Komunikace je v části od ulice Křenova po železniční podjezd vedena jako čtyřpruhová směrově rozdělená komunikace a následně pokračuje po konec řešeného úseku jako směrově neoddělená. Rekonstrukce proběhla v pravém jízdním pásu ve směru na sever. Tento jízdní pás zahrnuje dva jízdní pruhy, které byly opraveny a dále jeden parkovací pás, kterého se oprava nedotkla. Rekonstrukce proběhla za omezeného provozu.



Obrázek 69: Přehledná mapa místa rekonstrukce, Zdroj: Mapy.cz

### 10.2. Způsob rekonstrukce

Oprava byla započata odstraněním 60 mm stávajících asfaltových vrstev, v místech trhlin byla konstrukce vyfrézována až k ložní vrstvě a hluboké trhliny byly utěsněny zálivkou. Následně se provedla kontrola stávající kanalizace a přistoupilo se k dalším pracím.

#### 10.2.1. Aplikace asfaltové membrány SAMI

V místech, ve kterých se nacházely trhliny ve vozovce, bylo provedeno vyfrézování až k ložní vrstvě. V těchto místech byla utěsněna trhlina zálivkou a poté byla po celé vyfrézované ploše v okolí trhlin provedena aplikace Asfaltové pružné membrány SAMI, která

byla modifikována pomocí pryžového granulátu. Zkratka SAMI je odvozena od anglického názvu Stress Absorbing Membrane Interlayer. Aplikace této vrstvy probíhala za zhoršeného počasí dne 17. 7. 2012.



Obrázek 70: Vysoušení a nahřívání zářezů před aplikací SAMI

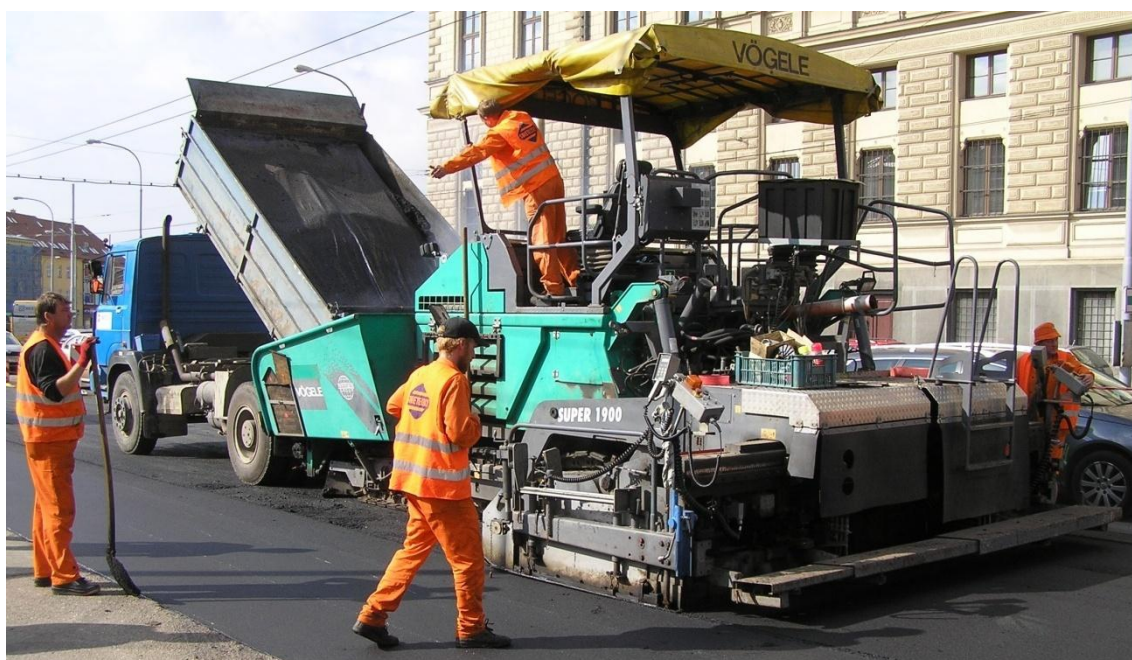
Místo pokládky bylo vysušeno pomocí fukarů a nahřáto plynovým hořákem (viz Obrázek 70). Následně byl dopraven asfalt modifikovaný pryžovým granulátem, který byl pomocí speciální formy rozprostřen v požadované tloušťce (viz Obrázek 71).



Obrázek 71: Rozprostření vrstvy SAMI



Obrázek 72: Průběh prací při aplikaci vrstvy SAMI



Obrázek 73: Finišer Vögele SUPER 1900 při pokládce vrstvy SAL

### 10.2.2. **Pokládka vrstvy SAL**

Pokládka vrstvy SAL proběhla následující den po realizaci asfaltové pružné membrány SAMI. Místa, kde byla tato vrstva aplikována, se dorovnala s okolní výškou stávajících vrstev pomocí podkladní asfaltové vrstvy. Před samotnou pokládkou byl proveden spojovací postřík. Vrstva SAL byla navržena o tloušťce 3 cm a byla v prvním dnu provedena v pravém jízdním pruhu („v pomalém“). Návrh této směsi byl proveden dle TP 147. S ohledem na nízkou požadovanou mezerovitost bylo v této směsi částečně použito těžené kamenivo

(písek). Vrstva byla pokládána firmou Swietelsky, k pokládce byl použit finišer Vögele SUPER 1900 (Obrázek 73) a k hutnění byly použity vibrační válce HAMM HD 90 a menší hutnící válec DYNAPAC CC120 (Obrázek 74).



Obrázek 74: Hutnění vrstvy SAL dvěma hutnícími válci



Obrázek 75: Detail vrstvy SAL

Po pokládce vrstvy SAL byla ve stejném dnu naplánována pokládka obrusné vrstvy BBTMA 8. Jedná se o směs, která obdobně jako vrstva SAL obsahovala asfalt modifikovaný pryžovým granulátem. Před samotnou pokládkou byl aplikován spojovací postřík na vrstvu SAL. Při pokládce vrstvy BBTMA 8 byl zjištěn potenciální problém s odolností směsi SAL vůči vzniku trvalých deformací. Nákladní automobily, které přivážely směs do ústrojí finišeru, za sebou nechávaly náznaky vyjetých kolejí, ačkoli vrstva SAL již vychladla. Tento problém

znázorňuje Obrázek 76. I přes tento nedostatek byla nakonec položena vrstva BBTMA 8, jejíž detail zachycuje Obrázek 77.



Obrázek 76: Vyjeté stopy ve spojovacím postřiku při dlouhodobém stání na vrstvě o teplotě 50 °C



Obrázek 77: Detail směsi BBTM 8

Jak již bylo zmíněno výše, byl zjištěn problém s neúnosnou vrstvou SAL. Z důvodu problematického chování směsi SAL jsem ještě v den pokládky provedl zkoušku vyjetí kolejí na celém souvrství, jejíž výsledek je uveden v kapitole 8.3. Jelikož byl výsledek této zkoušky znepokojující, bylo do dalšího dne rozhodnuto, že bude druhá část pokládky provedena dle návrhu této diplomové práce. Po konzultaci s vedoucím diplomové práce byla vybrána směs číslo 2 s 10 % pojiva. Je vhodné zdůraznit, že tato směs plně nesplňuje požadavky TP 147 s ohledem na požadovanou mezerovitost a meze čáry zrnitosti, avšak zkouška vyjetých kolejí na této směsi proběhla uspokojivě.

Při samotné pokládce se vrstva SAL s upravenou recepturou projevovala mnohem lépe. Především nebyly viditelné náznaky vyjetých kolejí. Posouzení, která vrstva SAL bude lepší, bude možné provést až po určité době provozu.



Obrázek 78: Detail vrstvy SAL dle návrhu diplomové práce

### 10.3. Rekapitulace pokládky

Je důležité zdůraznit, že provedení vrstvy SAL nebylo provedeno dle požadavků TP 147. Zejména nebyla dodržena minimální vrstva, kterou má být vrstva SAL překryta. Dle TP 147 by měla být překryta 90 mm asfaltových vrstev, nižší konstrukce musí být odsouhlasena objednatelem. V našem případě byla překryvná vrstva pouze o mocnosti 30 mm.

Bude zajímavé pozorovat, jakým způsobem si konstrukce vozovky poradí s vysokou intenzitou dopravy a především pomalou jízdou vozidel.

## 11. POUŽITÍ MATEMATICKÉHO MODELU K VYHODNOCENÍ DAT

V diplomové práci byla u směsi 2 s 10 % pojiva provedena zkouška odolnosti asfaltové směsi vůči únavě a dále byly zjištěny moduly tuhosti asfaltové směsi. Výsledky těchto zkoušek byly využity v programu pro návrh a posouzení konstrukce vozovky LayEps. Modelový program je navržen v souladu s TP 170. Každá vrstva konstrukce vozovky je charakterizována modulem pružnosti, Poissonovým číslem a tloušťkou.

### 11.1. Popis programu LayEps<sup>53</sup>

Výpočtový program LayEps vychází ze superpozice relativních poškození. To znamená, že velikost každého namáhání poškodí materiál úměrně meznímu počtu těchto namáhání stanoveného zkouškou:

$$D_{ij} = \frac{N_{ij}}{N_{ij,lim}}$$
$$D_{cd} = \sum_{i=1}^{m_i} \sum_{j=1}^{m_j} D_{ij} \leq 1$$

Kde:  $D_{ij}$  je poměrné porušení návrhového průřezu po  $N_{ij}$  opakování zatížení  $i$ -tou zatěžovací sestavou v  $j$ -tých podmínkách;

$N_{ij}$  je celkový počet opakování zatížení vyjádřeného  $i$ -tou zatěžovací sestavou v  $j$ -tých podmínkách;

$N_{ij,lim}$  je mezní počet opakování zatížení vyjádřený  $i$ -tou zatěžovací sestavou v  $j$ -tých podmínkách;

$D_{cd}$  je celkové poměrné porušení za návrhové období;

$m_i$  je počet různých kategorií zatěžovacích sestav;

$m_j$  je počet různých podmínek.

V programu LayEps bylo zatížení modelováno návrhovou nápravou, která je určena pomocí základních charakteristik:

- Zatížení nápravy  $Q_k = 100 \text{ kN}$
- Počet kol se zdvojenými pneumatikami  $n = 2$

<sup>53</sup> DAŠEK, Ondřej. *Vliv míry zhutnění na funkční charakteristiky asfaltových směsí*. Brno, 2006. Diplomová práce. VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce Ing. Petr Hýzl, Ph.D.

- Poloměr zatěžovací plochy  $a = 0,1203 \text{ m}$
- Dotykový tlak  $p = 0,550 \text{ MPa}$
- Vzdálenost středu dotykových ploch  $v = 0,344 \text{ m}$

## 11.2. Modelovaná konstrukce vozovky

Vrstva SAL se nejlépe uplatní do konstrukce, kde hrozí prokopírování reflexních trhlin. Z tohoto důvodu jsem pro modelování konstrukce vozovky vybral konstrukci, ve které je obsažena vrstva SC C<sub>8/10</sub>.

Nejprve jsem z katalogových listů TP 170 vybral konstrukci vozovky s označením D0-N-4-S-II. Jak vyplývá z označení, zvolil jsem třídu dopravního zatížení S a typ podloží II, který jsem použil i u dvou zbývajících návrhů. Návrh vozovky jsem provedl ve čtvrtém typu výpočtu v programu LayEps a následně jsem provedl úpravu s přidavkem vrstvy SAL. Vodní režim byl u těchto návrhů zvolen jako pendulární a namrzavost byla zvolena mírná. Další uvažované hodnoty jsou:

- $E_{\text{podl.}} = 80 \text{ MPa}$
- $TNV_c = 85\,000\,000 \text{ voz}/25\text{let}$
- Součinitele (hodnoty dle TP 170 – Tabulka A. 1):
  - $C_2 = 1,00$  (pro D0 a TDZ S,I,II)
  - $C_3 = 0,70$  (podíl 20 % - 50 % náprav nad 10 t)
  - $C_4 = 1,00$  (návrhová rychlost nad 50 km/h)

Tabulka 44: Srovnání návrhu vozovky dle TP 170 (D0-N-4-S-II) a při vložení vrstvy SAL

Dle TP170 - D0-N-4-S-II					Návrh při vložení SAL				
Číslo	Materiál	Tloušťka	Spolup.	Poměrné porušení	Číslo	Materiál	Tloušťka	Spolup.	Poměrné porušení
		[mm]					[mm]		
1	SMA	40	0,00	0,0000	1	SMA	40	0,00	0,0000
2	ACL S	80	0,00	0,0000	2	ACL S	70	0,00	0,0000
3	ACP S	120	0,98	<b>0,1462</b>	3	ACP S	60	0,00	<b>0,0644</b>
4	SC C <sub>8/10</sub>	180	0,00	0,0000	4	SAL	30	0,98	<b>0,0338</b>
5	MZ	150	0,00	0,0000	5	SC C <sub>8/10</sub>	200	0,00	0,0000
-	Podloží			<b>0,7172</b>	6	MZ	200	0,00	0,0000
	Celkem	570			-	Podloží			<b>0,9217</b>
						Celkem	600		

V následujícím návrhu jsem vycházel z konstrukce vozovky s označením D0-N-3-I-II. V tomto návrhu jsem počítal s třídou dopravního zatížení I a opět jsem zvolil druhý typ



podloží (PII). Vodní režim je uvažován jako pendulární a namrzavost je mírná. Dalšími uvažovanými hodnotami jsou:

- $E_{\text{podl.}} = 80 \text{ MPa}$
- $TNVC = 28\,000\,000 \text{ voz}/25\text{let}$
- Součinitele (hodnoty dle TP 170 – Tabulka A. 1):
  - $C_2 = 1,00$  (pro D0 a TDZ S,I,II)
  - $C_3 = 0,70$  (podíl 20 % - 50 % náprav nad 10 t)
  - $C_4 = 1,00$  (návrhová rychlost nad 50 km/h)

Tabulka 45: Srovnání návrhu vozovky dle TP 170 (D0-N-3-I-PII) a při vložení vrstvy SAL

Dle TP170 - D0-N-3-I-PII					Návrh při vložení SAL				
Číslo	Materiál	Tloušťka	Spolup.	Poměrné porušení	Číslo	Materiál	Tloušťka	Spolup.	Poměrné porušení
		[mm]					[mm]		
1	SMA	40	0,00	0,0000	1	SMA	40	0,00	0,0000
2	ACL S	80	0,00	0,0000	2	ACL S	80	0,00	<b>0,0077</b>
3	ACP S	80	0,98	<b>0,1156</b>	3	SAL	30	0,98	<b>0,0213</b>
4	SC C <sub>8/10</sub>	170	0,00	0,0000	4	SC C <sub>8/10</sub>	200	0,00	0,0000
5	ŠD	150	0,00	0,0000	5	ŠD	200	0,00	0,0000
-	Podloží			<b>0,7038</b>	-	Podloží			<b>0,9670</b>
	Celkem	520				Celkem	550		

Nakonec jsem provedl porovnání a návrh konstrukce D1-N-5-III-PII. U této konstrukce jsem zvolil třídu dopravního zatížení III a typ podloží obdobně jako u předchozích vrstev PII. Vodní režim je tedy opět uvažován jako pendulární a namrzavost je mírná. Dalšímu parametry jsou:

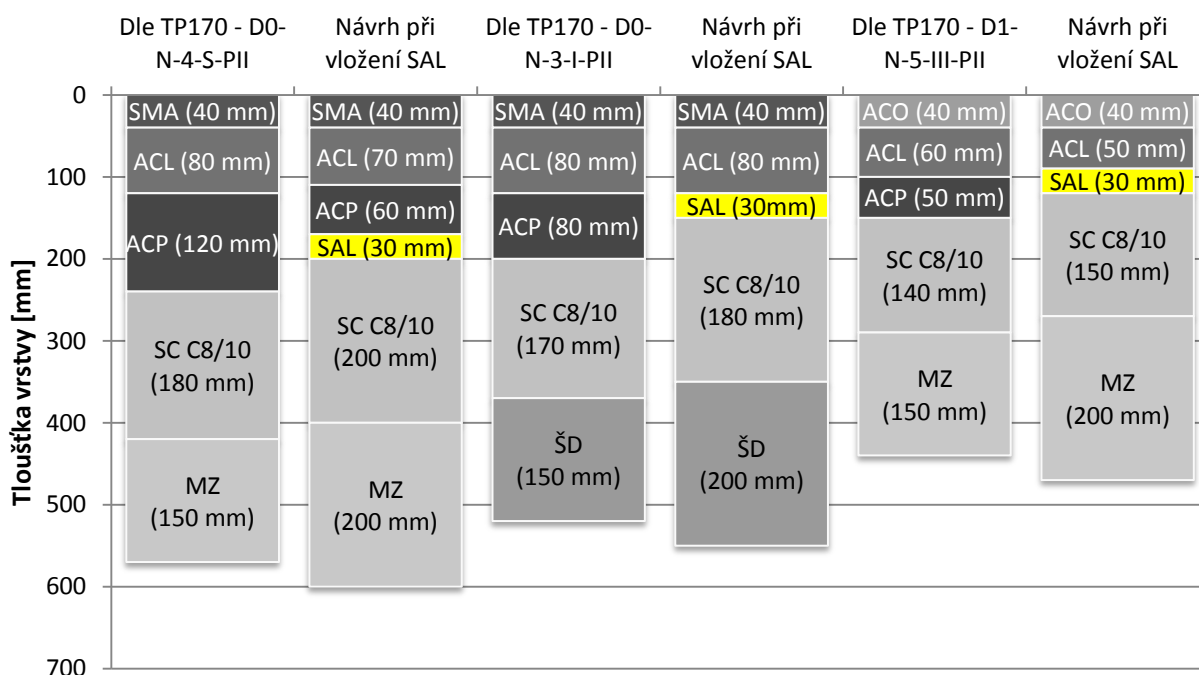
- $E_{\text{podl.}} = 80 \text{ MPa}$
- $TNVC = 6\,900\,000 \text{ voz}/25\text{let}$
- Součinitele (hodnoty dle TP 170 – Tabulka A. 1 – možné korekce dle programu):
  - $C_2 = 1,00$  (pro D1 a TDZ S,I,II a pomalé jízdě)
  - $C_3 = 0,70$  (podíl 20 % - 50 % náprav nad 10 t)
  - $C_4 = 1,00$  (návrhová rychlost nad 50 km/h)

Tabulka 46: Srovnání návrhu vozovky dle TP 170 (D1-N-3-III-PII) a při vložení vrstvy SAL

Dle TP170 - D0-N-5-III-PII					Návrh při vložení SAL				
Číslo	Materiál	Tloušťka [mm]	Spolup.	Poměrné porušení	Číslo	Materiál	Tloušťka [mm]	Spolup.	Poměrné porušení
1	ACO +	40	0,00	0,0000	1	ACO +	40	0,00	0,0000
2	ACL +	60	0,00	<b>0,0008</b>	2	ACL +	50	0,00	<b>0,0022</b>
3	ACP +	50	0,98	<b>0,2138</b>	3	SAL	30	0,98	<b>0,0213</b>
4	SC C <sub>8/10</sub>	140	0,00	0,0000	4	SC C <sub>8/10</sub>	150	0,00	0,0000
5	MZ	150	0,00	0,0000	5	MZ	200	0,00	0,0000
-	Podloží			<b>0,7030</b>	-	Podloží			<b>0,8208</b>
Celkem		440			Celkem		470		

Následně jsem provedl grafické porovnání jednotlivých vrstev vozovky (viz Graf 40). V grafu jsou vždy znázorněny jednotlivé dvojice. Nejprve návrh dle TP 170 a následně návrh s vloženou vrstvou SAL, která je zdůrazněna žlutou barvou.

### Srovnání konstrukce vozovky



Graf 40: Grafické znázornění jednotlivých tloušťek vozovek

Při návrhu v programu LayEps byla konstrukce vozovky navržena tak, abych docílil co největší ekonomičnosti návrhu při plánované životnosti 25 let. U vrstvy SAL byly do programu LayEps vloženy funkční vlastnosti směsi, které byly naměřeny. Jedná se o modul tuhosti E, který byl zjištěn při teplotě 15 °C a frekvenci 10 Hz a dále únavové charakteristiky  $\epsilon_6$  a B, které byly zjištěny při teplotě 10 °C a frekvenci 25 Hz. U ostatních

konstrukčních vrstev byly ponechány hodnoty, které nabízel program LayEps. Následující tabulky vystihují zadané hodnoty do programu.

Tabulka 47: Skladba vrstev při návrhu obdoby D0-N-4-S-PII

Vrstva	h	E	$\mu$	$\epsilon_6$	B	Spol.
	[mm]	[MPa]	[-]	[ $10^{-6}$ ]	[-]	[-]
SMA	40	5 500	0,35	160,0	5,00	0,00
ACL S	70	7 500	0,33	115,0	5,00	0,00
ACP S	60	7 500	0,33	115,0	5,00	0,00
SAL	<b>30</b>	<b>6 070</b>	<b>0,33</b>	<b>137,8</b>	<b>5,71</b>	<b>0,98</b>
SC C <sub>8/10</sub>	200	2 500	0,22	0	0	0,00
MZ	200	150	0,30	0	0	0,00
Celkem	600					

Tabulka 48: Skladba vrstev při návrhu obdoby D0-N-3-I-PII

Vrstva	h	E	$\mu$	$\epsilon_6$	B	Spol.
	[mm]	[MPa]	[-]	[ $10^{-6}$ ]	[-]	[-]
SMA	40	5 500	0,35	160,0	5,00	0,00
ACL S	80	7 500	0,33	115,0	5,00	0,00
SAL	<b>30</b>	<b>6 070</b>	<b>0,33</b>	<b>137,8</b>	<b>5,71</b>	<b>0,98</b>
SC C <sub>8/10</sub>	200	2 500	0,22	0	0	0,00
ŠD	200	400	0,30	0	0	0,00
Celkem	550					

Tabulka 49: Skladba vrstev při návrhu obdoby D1-N-5-III-PII

Vrstva	h	E	$\mu$	$\epsilon_6$	B	Spol.
	[mm]	[MPa]	[-]	[ $10^{-6}$ ]	[-]	[-]
ACO +	40	7 500	0,33	135,0	5,00	0,00
ACL +	50	7 500	0,33	115,0	5,00	0,00
SAL	<b>30</b>	<b>6 070</b>	<b>0,33</b>	<b>137,8</b>	<b>5,71</b>	<b>0,98</b>
SC C <sub>8/10</sub>	150	2 500	0,22	0	0	0,00
MZ	200	400	0,30	0	0	0,00
Celkem	470					

- Kde:
- h je tloušťka vrstvy [mm];
  - E je komplexní modul tuhosti [MPa];
  - $\mu$  je Poissonovo číslo [-];
  - $\epsilon_6$  je průměrná velikost přetvoření při  $10^6$  zatěžovacích cyklech [ $10^6$ ];
  - B je charakteristika únavy, neboli sklon regresní křivky [-];
  - Spol. charakterizuje spolupůsobení mezi jednotlivými vrstvami [-].

## 12. EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ NÁKLADŮ VRSTVY SAL

V první části finančního zhodnocení je provedeno ekonomické porovnání tří konstrukčních vrstev dle TP170 a následně její modifikace při vložení vrstvy SAL. Jedná se o vrstvy, které byly uvažovány v kapitole 11.2. V druhé části je proveden finanční rozbor při souvislé opravě s použitím vrstvy SAL. Obdobná oprava byla provedena u ulice Koliště (viz kapitola 10). Tento návrh je následně porovnán s klasickou opravou.

### 12.1. Ekonomické vyhodnocení matematického modelu konstrukce vozovky

V následující kapitole se pokusím provést přibližné finanční zhodnocení nákladů na vrstvy dle TP 170 a taktéž na vrstvy upravené přidáním vrstvy SAL. Ceny jsou odvozeny dle Katalogu popisů a směrných cen stavebních prací ÚRS Praha z roku 2012. Jelikož tento katalog neobsahuje cenu konstrukce SAL, byla tato cena stanovena dle materiálových nákladů po domluvě s vedoucím diplomové práce na 261 Kč/m<sup>2</sup> při tloušťce vrstvy 30 mm. Vyhodnocení vrstev je uvedeno v následující tabulce.

Tabulka 50: tabulka ocenění jednotlivých vrstev

	Vrstva		SMA	ACO	ACL	ACP	SAL	SC C <sub>8/10</sub>	ŠD	MZ	Celkem
TP170 D0-N-4-S-II	Tloušťka	[mm]	40		80	120		180		150	570
	Cena	[Kč/m <sup>2</sup> ]	261		367	528		320		193	1669
Návrh D0-N-4-S-II	Tloušťka	[mm]	40		70	60	30	200		200	600
	Cena	Kč/m <sup>2</sup> ]	261		319	260	261	352		259	1712
TP170 D0-N-3-I-II	Tloušťka	[mm]	40		80	80		170	150		520
	Cena	[Kč/m <sup>2</sup> ]	261		367	348		304	97,8		1378
Návrh D0-N-3-I-II	Tloušťka	[mm]	40		80		30	200	200		550
	Cena	[Kč/m <sup>2</sup> ]	261		367		261	352	120		1361
TP170 D1-N-5-III-II	Tloušťka	[mm]		40	60	50		140		150	440
	Cena	[Kč/m <sup>2</sup> ]		229	275	217		254		193	1168
Návrh D1-N-5-III-II	Tloušťka	[mm]		40	50		30	150		200	470
	Cena	[Kč/m <sup>2</sup> ]		229	228		261	270		259	1247

Jak je zřejmé z předcházející tabulky, náklady na konstrukci vozovky s použitím vrstvy SAL jsou u prvního návrhu vyšší přibližně o 2,5 %, u druhého návrhu je konstrukce s vrstvou SAL levnější o 17 Kč/m<sup>2</sup>, u třetího návrhu je konstrukce s vrstvou SAL dražší o 6 %. Je třeba si uvědomit, že vrstva SAL se vkládá zejména z důvodu minimalizace šíření reflexních trhlin, ale zároveň její únavové vlastnosti pomáhají snížit tloušťku asfaltových vrstev.

## 12.2. Ekonomické vyhodnocení opravy vozovky s použitím vrstvy SAL

Tato kapitola se věnuje ekonomickému zhodnocení návrhu souvislé opravy vozovky obdobně, jako byla provedena oprava ulice Koliště v Brně (kapitola 10).

Klasická souvislá oprava vozovky se provádí tak, že se nejprve odfrézuje 100 mm porušené konstrukce vozovky. Následně se položí vrstva ACL 16 o mocnosti 60 mm (tloušťka může být v rozmezí 40 mm až 80 mm podle potřeby). Jako obrusná vrstva je uvažovaná vrstva SMA o mocnosti 40 mm.

Jelikož vrstva SAL obsahuje asfalt modifikovaný pryžovým granulátem a osvědčila se při zkoušce trvalých deformací, lze tuto směs využít jako vrstvu ložní s nižší tloušťkou překryvných vrstev, která je dle TP 147 dána jako 90 mm. V našem případě tvoří obrusnou vrstvu směs BBTM, kterou lze aplikovat v tloušťce 30 mm. Tloušťka vrstvy SAL se uvažuje 30 mm s možností výškové nastavitelnosti 10 mm až 40 mm. Je tedy zřejmé, že při tomto použití docílíme frézování o mocnosti 60 mm, což je o 40 mm méně než u klasické souvislé opravy.

Tabulka 51: Cenové porovnání oprav vozovky

Položka	Tloušťka	Cena	Položka	Tloušťka	Cena
	[mm]	[Kč/m <sup>2</sup> ]		[mm]	[Kč/m <sup>2</sup> ]
Frézování	100	75,7	Frézování	60	57,5
SMA 11 PmB	40	261	BBTM 5 CRmB	30	235
ACL 16 A 50/70	60	273	SAL 5 CRmB	30	261
Celkem	-	609,7	Celkem	-	553,5

Frézování je uvažováno pro plochu přes 1 000 do 10 000 m<sup>2</sup> s překážkami v trase a pro šířku pruhu od 1 m do 2 m. Jelikož se v tabulkách nenachází frézování o tloušťce 60 mm, byla cena pro tuto položku interpolována.

Z předcházející tabulky je zřejmé, že oprava vozovky s použitím vrstvy SAL je levnější než klasická oprava přibližně o 55 Kč/m<sup>2</sup> (tedy až o 9 %). Další nespornou výhodou je zamezení šíření reflexních trhlin a nižší tloušťka odfrézované vrstvy. Z těchto ohledů se jeví vrstva SAL jako adekvátní náhrada pro klasickou opravu vozovky.

### 13. ZÁVĚR

V diplomové práci byly ověřeny možnosti laboratorní výroby směsi SAL s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem. Tyto poznatky byly taktéž využity při pokládce v ulici Koliště, která se nachází v Brně.

V práci byly navrženy čtyři různé směsi, které se navzájem liší rozdílným vedením čáry zrnitosti. Problematikou vrstvy SAL se zabývá TP 147, kde jsou právě uvedeny i požadavky na vedení čáry zrnitosti, která nebyla v diplomové práci u většiny směsí dodržena, s ohledem na asfalt modifikovaný pryžovým granulátem. Ten je totiž vhodný do směsí s mezerovitější kostrou kameniva, protože je třeba vytvořit prostor pro vyšší obsah pojiva s obsahem částic pryže. Z tohoto důvodu není dodržena požadovaná mezerovitost směsi s výjimkou směsi 3, která byla pro porovnání navržena dle TP 147.

U všech směsí bylo vybráno optimum obsahu pojiva modifikovaného pryžovým granulátem jako 10 % a u směsi 2 byla taktéž posouzena směs s obsahem pojiva 12 %.

První důležitou zkouškou, která byla provedena u vybraných směsí, je zkouška odolnosti vůči trvalým deformacím. Očekávalo se, že vrstva SAL s ohledem na vysoké množství pojiva vykáže nevyhovující odolnost vůči trvalým deformacím. Zkouška totiž probíhala při teplotě 50 °C, ale v TP 147 je předepsaná zkušební teplota 40 °C. Nakonec se ovšem ukázalo, že směs SAL s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem vyhovuje požadavkům TP 147 s velkou rezervou. Směs 3, která byla navržena s ohledy na požadavky TP 147 vyhověla taktéž, ale ve srovnání s ostatními směsmi měla nižší odolnost. I přesto splňuje požadavky pro nejvyšší dopravní zatížení pro obrusnou vrstvu, požadavky na ložní vrstvu již nesplňuje.

Dále byla provedena zkouška relaxace, která je v TP 147 považována za stěžejní zkoušku. Zkouška proběhla na třech směsích a výsledky nakonec neprokázaly, že by se jednotlivé směsi nějak významně lišily. Oproti interním požadavkům společnosti Eurovia pro směsi SAL s vysoce modifikovaným pojivem bylo zjištěno, že relaxace je pouze méně rychlá, což vyplývá z povahy těchto pojiv.

Za nejdůležitější zkoušku asfaltových směsí k posouzení odolnosti proti trhlinám se na Ústavu pozemních komunikací považuje zkouška nízkoteplotních charakteristik. Závislosti napětí na teplotě (modul pružnosti při záporných teplotách a dlouhodobém zatížení) se v celém rozsahu teplot u jednotlivých směsí SAL nepatrně liší, rozdíly mohou být spojeny

s obsahem filerových částic (ztužením pojiva), tloušťkou asfaltového filmu a mezerovitostí. Nejdůležitější poznatek je, že směsi s výpočtem stanovenou tloušťkou asfaltového filmu vyšší než 0,01 mm se neporušily přetržením, napětí se snižováním teploty od jisté teploty začalo klesat a na hodnotě poklesu u jednotlivých zkušebních těles na 90 % až 50 % maximálního dosaženého napětí se napětí ustálilo a až do minima teploty ve zkušební komoře těleso neprasklo. Toto je nejdůležitější poznatek z provedených zkoušek SAL, z tohoto poznatku lze odvodit další technickou a ekonomickou optimalizaci návrhu SAL.

Nad rámec zadání diplomové práce byl proveden posudek navržené vrstvy SAL podle TP 170 programem LayEps. Z tohoto důvodu bylo nutné provést i měření modulu tuhosti a odolnosti asfaltové směsi vůči únavě. Hodnoty výsledků modulů tuhosti byly poněkud vyšší než se očekávalo a naopak výsledky zkoušky únavy byly nižší, než se původně očekávalo. Dá se předpokládat, že je to z důvodu vyšší mezerovitosti vrstvy SAL a z důvodu jemnozrnnosti směsi.

Výsledky zkoušek byly použity při návrhu vrstvy SAL do konstrukce vozovky nad stmelenou podkladní vrstvou SC C<sub>8/10</sub>. Bylo zjištěno, že vložení vrstvy SAL umožnilo snížit tloušťku asfaltových vrstev a toto snížení se nahradilo zvýšením tloušťky podkladních vrstev. Z ekonomického rozboru počátečních nákladů může být vložení vrstvy SAL s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem výhodné, je ovšem důležité vždy posoudit situaci individuálně.

Jelikož byly zjištěny výborné odolnosti vůči vzniku trvalých deformací, byla navržena technologie opravy s použitím vrstvy SAL. Nejprve se odfrézuje pouze 60 mm stávajících porušených asfaltových vrstev a následně se použije vrstva SAL a na ni se položí vrstva BBTM 5, která taktéž obsahuje asfalt modifikovaný pryžovým granulátem. Obě tyto směsi se pokládají v tloušťce 30 mm (z důvodu jejich jemnozrnnosti). Při ekonomickém zhodnocení byla tato konstrukce vyhodnocena jako levnější než klasická oprava, která uvažuje s vyšší tloušťkou frézování (100 mm). Technologie byla v létě roku 2012 vyzkoušena na úseku vysoce zatížené ulice Koliště v Brně. Dlouhodobé chování této opravy umožní řádné posouzení vhodnosti tohoto způsobu opravy. Směs, která v jisté modifikaci při první pokládce s vysokým obsahem těžného kameniva, byla rovněž v diplomové práci částečně posouzena, stejně tak směs z druhé pokládky v levém jízdním pruhu, která vycházela z návrhu směsi 2.



V diplomové práci byly provedeny základní práce pro posouzení vrstvy SAL, byly nalezeny základní poznatky a ověřeny metody zkoušení, které umožní další vývoj a optimalizaci návrhu směsí. Bylo zjištěno, že vrstvu SAL lze uplatnit v široké nabídce nabízených technologií stavby, opravy a údržby vozovek. V současné době, kdy je nutné v České republice vkládat nemalé finanční prostředky do oprav silniční sítě, se jeví vrstva SAL jako jedna z možných technologií, která prokáže svoje výhody.



## 14. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

### 14.1. Tiskoviny

1. Kudrna, J.: Využití ojetých pneumatik ve stavbě PK, Sborník Recyklace a využití druhotných surovin při stavbě a opravě pozemních komunikací, VUT FAST, 2006
2. DAŠEK, Ondřej. Vliv míry zhutnění na funkční charakteristiky asfaltových směsí. Brno, 2006. Diplomová práce. VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce Ing. Petr Hýzl, Ph.D.

### 14.2. Seznam použitých norem a technických předpisů

1. 1009ASRM. Standard Specification for Asphalt - Rubber Binder. West Conshohocken: ASTM International, 2002.
2. ČSN 73 6148. Asfaltový beton pro kryty vozovek. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1967.
3. ČSN 73 6160. Zkoušení asfaltových směsí. Český normalizační institut, 2008.
4. ČSN EN 12697-5+A1. Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 5: Stanovení maximální objemové hmotnosti. Praha: Český normalizační institut, 2007.
5. 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, 2007.
6. ČSN EN 12697-8. Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 8: Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí. Praha: Český normalizační institut, 2004.
7. ČSN EN 12697-12. Asfaltové směsi – zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 12: Stanovení odolnosti zkušebního tělesa vůči vodě. Praha: Český normalizační institut, 2009.
8. ČSN EN 12697-22+A1. Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 22: Zkouška pojíždění kolem. Praha: Český normalizační institut, 2007.
9. ČSN EN 12697-23. Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 23: Stanovení pevnosti v příčném tahu. Praha: Český normalizační institut, 2005.

10. ČSN EN 12697-24. Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 24: Odolnost vůči únavě. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, 2012.
11. ČSN EN 12697-26. Asfaltové směsi – Zkušební metody za horka – Část 26:Tuhost. Český normalizační institut, 2006.
12. ČSN EN 12697-30+A1. Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 30: Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem. Praha: Český normalizační institut, 2007.
13. ČSN EN 12697-33+A1. Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 5: Příprava zkušebních těles zhutňovačem desek. Praha: Český normalizační institut, 2007.
14. ČSN EN 12697-35+A1. Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 35: Laboratorní výroba směsi. Praha: Český normalizační institut, 2007.
15. ČSN EN 12697-46. Asfaltové směsi – zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 46: Nízkoteplotní vlastnosti a tvorba trhlin pomocí jednoosé zkoušky tahem. Praha: Český normalizační institut, 2012.
16. ČSN EN 13302. Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení dynamické viskozity asfaltových pojiv rotačním vřetenovým viskozimetrem. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
17. ČSN EN 13880-3. Zálivky za horka – Část 3: Zkušební metoda pro stanovení penetrace a pružné regenerace (resilience). Praha: Český normalizační institut, 2004.
18. ČSN EN 1426. Stanovení penetrace jehlou. Praha: Český normalizační institut, 2007.
19. ČSN EN 1427. Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení bodu měknutí - Metoda kroužek a kulička. Praha: Český normalizační institut, 2007.
20. ČSN EN 933-1+A1. Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – síťový rozbor. Praha: Český normalizační institut, 2006.
21. TP 147. Užití asfaltových membrán a geosyntetik v konstrukci vozovky. Brno: Ministerstvo dopravy, 2010.
22. TP 148. Hutnění asfaltové vrstvy s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem z pneumatik. Brno: Ministerstvo dopravy ČR, 2009.
23. TP 151. Asfaltové směsi s vysokým modulem tuhosti (VMT). Ministerstvo dopravy, odbor silniční infrastruktury, 2010.

### 14.3. Dokumenty z internetu a elektronické příspěvky

1. About ADOT. Arizona Department of Transportation [online]. [cit. 2012-08-16].  
Dostupné z: [http://www.azdot.gov/Index\\_docs/About\\_ADOT.asp](http://www.azdot.gov/Index_docs/About_ADOT.asp)
2. Ceník a další služby. Obalovna Boskovice [online]. 2012 [cit. 2012-12-03]. Dostupné z:  
<http://www.obalovna-boskovice.cz/cenik-a-dalsi-sluzby>
3. Ceny betonů, dopravy a čerpání platné od 12.3.2012. In: ZAPA Beton [online]. 2012  
[cit. 2012-12-03]. Dostupné z: [http://www.zapa.cz/fck\\_userfiles/MORAVA-obchod/CEN%C3%8DKY/CEN%C3%8DKY%202012/Cen%C3%ADk%202012-Holubice.pdf](http://www.zapa.cz/fck_userfiles/MORAVA-obchod/CEN%C3%8DKY/CEN%C3%8DKY%202012/Cen%C3%ADk%202012-Holubice.pdf)
4. DAŠEK, Ondřej. Gumoasfalt: Asfalt modifikovaný pryžovým granulátem. Brno.  
Prezentace. VUT v Brně, Fakulta stavební.
5. EPPS, JON A. Uses of Recycled Rubber Tires in Highways: NCHRP Synthesis 198 [online].  
Washington, D.C.: NATIONAL ACADEMY PRESS, 1994 [cit. 2012-08-16]. ISBN 0-309-  
05323-4. Dostupné z: [http://asphaltrubber.org/ARTIC/RPA\\_A1021.pdf](http://asphaltrubber.org/ARTIC/RPA_A1021.pdf)
6. History of asphalt pavement. Asphaltrubber.org [online]. [cit. 2012-08-16]. Dostupné z:  
[http://www.asphaltrubber.org/library/lcca\\_australia/history.html](http://www.asphaltrubber.org/library/lcca_australia/history.html)
7. KING, Helen. SEMMATERIALS. Strata – Reflective Crack Relief System. 2006.
8. KUDRNA, Jan a Ondřej DAŠEK. Využití gumoasfaltového pojiva do obrusných vrstev  
vozovek. Časopis Stavebnictví [online]. 2007, 06-7/07 [cit. 2012-08-21]. Dostupné z:  
<http://1url.cz/g1uM>
9. NOVÁČEK, Karel. Gumoasfaltové směsi. Brno, 2012. Dostupné z:  
[http://www.gasfalt.cz/phocadownload/gumoasfalt\\_a3.pdf](http://www.gasfalt.cz/phocadownload/gumoasfalt_a3.pdf)
10. PHOENIX INDUSTRIES. European Countries Go green with Paving. Phoenix Industries  
[online]. 2009 [cit. 2012-08-22]. Dostupné z: <http://1url.cz/0ekM>
11. RPG Recycling, s.r.o.. [online]. 2011 [cit. 2012-11-19]. Dostupné z:  
<http://www.rpgrecycling.cz/o-nas/>
12. STATE OF CALIFORNIA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. Asphalt Rubber Usage  
Guide [online]. Sacramento, California 95819, 2006 [cit. 2012-08-21]. Dostupné z:  
<http://1url.cz/91ut>
13. STOKLÁSEK, Svatopluk. Použití asfaltových vrstev se zvýšenou odolností proti šíření  
trhlin (SAL). 2011.

## 15. SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Porovnání zadávacího protokolu v USA a TP 147, Zdroj: Stoklásek Svatopluk.....	21
Tabulka 2: Vlastnosti CRmB .....	38
Tabulka 3: Maximální rozdíl platných stanovení, Zdroj: ČSN EN 1426.....	41
Tabulka 4: Hmotnost zkušebních navážek pro hutné kamenivo, Zdroj: ČSN EN 933-1 .....	47
Tabulka 5: Sítový rozbor použitých složek kameniva .....	84
Tabulka 6: Sítový rozbor pryžového granulátu.....	86
Tabulka 7: Namíchané pojiva .....	87
Tabulka 8: Výsledky penetrace jehlou .....	88
Tabulka 9: Výsledky resilience .....	88
Tabulka 10: Stanovení bodu měknutí.....	88
Tabulka 11: Stanovení dynamické viskozity .....	89
Tabulka 12: Porovnání navržené skladby kameniva u provedených směsí .....	90
Tabulka 13: Čára zrnitosti pro směs 1 .....	91
Tabulka 14: Čára zrnitosti pro směs 2 .....	92
Tabulka 15: Čára zrnitosti pro směs 3 .....	93
Tabulka 16: Čára zrnitosti pro směs 4 .....	94
Tabulka 17: Zkoušený obsah pojiva u jednotlivých směsí.....	95
Tabulka 18: Stanovení mezerovitosti z rozměrů u směsi 1 .....	96
Tabulka 19: Stanovení mezerovitosti postupem B z normy ČSN EN 12697-6 u směsi 1 .....	97
Tabulka 20: Stanovení mezerovitosti z rozměrů u směsi 2 .....	97
Tabulka 21: Stanovení mezerovitosti postupem B z normy ČSN EN 12697-6 u směsi 2 .....	98
Tabulka 22: Stanovení mezerovitosti z rozměrů u směsi 3 .....	99
Tabulka 23: Stanovení mezerovitosti postupem B z normy ČSN EN 12697-6 u směsi 3 .....	100
Tabulka 24: Stanovení mezerovitosti z rozměrů u směsi 4 .....	101
Tabulka 25: Stanovení mezerovitosti postupem B z normy ČSN EN 12697-6 u směsi 4 .....	101
Tabulka 26: VMA, VFB, tloušťka filmu a součinitel sytosti u jednotlivých směsí .....	103
Tabulka 27: Hloubka vyjeté koleje u jednotlivých vzorků .....	106
Tabulka 28: Stěžejní hodnoty u zkoušených desek .....	107
Tabulka 29: Stanovení vlastností asfaltových směsí zkouškou v tahu za ohybu dle TP 151 ..	109
Tabulka 30: Výsledky zkoušky relaxace u směsi 1, 10 % pojiva.....	111

Tabulka 31: Výsledky zkoušky relaxace u směsi 2, 10 % pojiva.....	113
Tabulka 32: Výsledky zkoušky relaxace u směsi 2, 12 % pojiva.....	114
Tabulka 33: Výsledky zkoušky relaxace u směsi 3, 10 % pojiva.....	115
Tabulka 34: Odolnost vůči vodě a mrazu u směsi 2 s 10% pojiva .....	117
Tabulka 35: Výsledky nízkoteplotních charakteristik směsi 1, 10 % pojiva.....	118
Tabulka 36: Výsledky nízkoteplotních charakteristik směsi 2, 10 % pojiva.....	119
Tabulka 37: Výsledky nízkoteplotních charakteristik směsi 2, 12 % pojiva.....	120
Tabulka 38: Výsledky nízkoteplotních charakteristik směsi 3, 10 % pojiva.....	121
Tabulka 39: Výsledky nízkoteplotních charakteristik z odběru Koliště č. 1.....	122
Tabulka 40: Výsledky zkoušky nasákavosti.....	124
Tabulka 41: Výsledky jednotlivých měření při různých teplotách a frekvencích .....	125
Tabulka 42: Výsledky únavových charakteristik .....	127
Tabulka 43: Souhrnné výsledky diplomové práce .....	128
Tabulka 44: Srovnání návrhu vozovky dle TP 170 (D0-N-4-S-PII) a při vložení vrstvy SAL .....	136
Tabulka 45: Srovnání návrhu vozovky dle TP 170 (D0-N-3-I-PII) a při vložení vrstvy SAL .....	137
Tabulka 46: Srovnání návrhu vozovky dle TP 170 (D1-N-3-III-PII) a při vložení vrstvy SAL .....	138
Tabulka 47: Skladba vrstev při návrhu obdoby D0-N-4-S-PII .....	139
Tabulka 48: Skladba vrstev při návrhu obdoby D0-N-3-I-PII .....	139
Tabulka 49: Skladba vrstev při návrhu obdoby D1-N-5-III-PII .....	139
Tabulka 50: tabulka ocenění jednotlivých vrstev .....	140
Tabulka 51: Cenové porovnání oprav vozovky.....	141

## 16. SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Poměr počtu cyklů, které jsou potřeba na porušení, Zdroj: SemMaterials <sup>SM</sup> .....	22
Graf 2: Procentuální porušení reflexní trhlinou za jeden rok, Zdroj: SemMaterials <sup>SM</sup> .....	22
Graf 3: Srovnání zrnitostí .....	85
Graf 4: Čára zrnitosti pryžového granulátu .....	86
Graf 5: Porovnání čar zrnitostí jednotlivých směsí .....	90
Graf 6: Čára zrnitosti směsi 1 .....	91
Graf 7: Čára zrnitosti směsi 2 .....	92
Graf 8: Čára zrnitosti směsi 3 .....	93
Graf 9: Čára zrnitosti směsi 4 .....	94
Graf 10: Závislost mezerovitosti na množství pojiva u směsi 1 .....	97
Graf 11: Závislost mezerovitosti na množství pojiva u směsi 2 .....	99
Graf 12: Závislost mezerovitosti na množství pojiva u směsi 3 .....	100
Graf 13: Závislost mezerovitosti na množství pojiva u směsi 4 .....	101
Graf 14: Srovnání mezerovitosti zjištěné postupem B u všech směsí .....	102
Graf 15: Závislost mezerovitosti směsi kameniva (VMA) na množství pojiva .....	103
Graf 16: Závislost stupně vyplnění mezer ve směsi kameniva pojivem (VFB) na obsahu pojiva .....	104
Graf 17: Závislost tloušťky filmu na množství pojiva .....	104
Graf 18: Závislost součinitele sytosti na množství pojiva .....	105
Graf 19: Závislost hloubky vyjetých kolejí na počtu cyklů .....	106
Graf 20: Poměrná hloubka vyjetých kolejí závislá na počtu cyklů .....	107
Graf 21: Časový průběh zkoušky relaxace, směs 1, 10 % pojiva .....	112
Graf 22: Časový průběh od začátku relaxace, směs 1, 10 % pojiva .....	112
Graf 23: Časový průběh zkoušky relaxace, směs 2, 10 % pojiva .....	113
Graf 24: Časový průběh od začátku relaxace, směs 2, 10 % pojiva .....	113
Graf 25: Časový průběh zkoušky relaxace, směs 2, 12 % pojiva .....	114
Graf 26: Časový průběh zkoušky relaxace, směs 2, 12 % pojiva .....	114
Graf 27: Časový průběh zkoušky relaxace, směs 3, 10 % pojiva .....	115
Graf 28: Časový průběh zkoušky relaxace, směs 3, 10 % pojiva .....	115
Graf 29: Srovnání časového průběhu relaxace .....	116

Graf 30: Odolnost vůči vodě a mrazu u směsi 2 s 10% pojiva .....	117
Graf 31: Závislost nárůstu napětí na teplotě směsi 2, 10 % pojiva .....	118
Graf 32: Závislost nárůstu napětí na teplotě směsi 2, 10 % pojiva .....	119
Graf 33: Závislost nárůstu napětí na teplotě směsi 2, 12 % pojiva .....	120
Graf 34: Závislost nárůstu napětí na teplotě směsi 3, 10 % pojiva .....	121
Graf 35: Závislost nárůstu napětí na teplotě u směsi aplikované na pokládce koliště č. 1....	122
Graf 36: Srovnání výsledků nízkoteplotních charakteristik u jednotlivých směsí .....	123
Graf 37: Moduly tuhosti směsi SAL5, směs 2, 10 % pojiva .....	125
Graf 38: Průběh modulu tuhosti při 10 Hz v závislosti na teplotě .....	125
Graf 39: Wöhlerův diagram .....	126
Graf 39: Grafické znázornění jednotlivých tloušťek vozovek .....	138

## 17. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Rozdíl při použití a nepoužití vrstvy SAL, Zdroj: SemMaterials <sup>SM</sup> .....	19
Obrázek 2: Znázornění vložení vrstvy SAL mezi tuhou a netuhou vozovku, Zdroj: Stoklásek Svatopluk .....	20
Obrázek 3: Schéma porušení vozovky s nebo bez vrstvy SAL, Zdroj: SemMaterials <sup>SM</sup> .....	23
Obrázek 4: Nitkové grafy povrchů zrn jednotlivých granulátů, Zdroj: Dašek Ondřej .....	25
Obrázek 5: Trojrozměrné grafy jednotlivých granulátů v reálných barvách, Zdroj: Dašek Ondřej.....	25
Obrázek 6: Automatická linka na výrobu pryžového granulátu, Zdroj: Phoenix Industries.....	25
Obrázek 7: Znázornění přidání pryžového granulátu do asfaltového pojiva, Zdroj: Dašek Ondřej.....	26
Obrázek 8: Směs z gumoasfaltu lze použít i v náročných klimatických podmínkách, Zdroj: Rubber Pavements Association .....	29
Obrázek 9: Připojení mísícího zařízení AR 150M k obalovně Skanska poblíž Jonkopingu ve Švédsku, Zdroj: Phoenix Industries.....	31
Obrázek 10: Mísící zařízení Reimo, Zdroj: Dašek Ondřej.....	32
Obrázek 11: Mísící zařízení G-ASFALT .....	32
Obrázek 12: Velkoobjemový pytel s pryžovým granulátem, který je pomocí zvedacího zařízení zvedán do násypky.....	33
Obrázek 13: Granulát na zachytném síti .....	33
Obrázek 14: Směs BBTM B 5, Zdroj: G-ASFALT.....	34
Obrázek 15: Směs SMA 8 S, Zdroj: G-ASFALT .....	35
Obrázek 16: Směs PA 8, Zdroj: G-ASFALT .....	36
Obrázek 17: Směs ACL 16, Zdroj: G-ASFALT .....	36
Obrázek 18: Výhodou využití pryžového granulátu do konstrukce vozovky je materiálové využití pneumatik, Zdroj: Autoweb .....	37
Obrázek 19: Míchací nádoba s plechovkami .....	39
Obrázek 20: Zkušební jehla.....	39
Obrázek 21: Zkušební sestava pro stanovení penetrace jehlou.....	40
Obrázek 22: Příklad naměřené hodnoty penetrace .....	41
Obrázek 23: Penetrační nástavec s kuličkou, Zdroj: ČSN EN 13880-3.....	42



Obrázek 24: Zkušební vzorek po zkoušce .....	42
Obrázek 25: Penetrometr .....	43
Obrázek 26: Příklad na stanovení bodu měknutí.....	44
Obrázek 27: Protážení pojiva modifikovaného pryžovým granulátem .....	45
Obrázek 28: Viskozimetr, nádobka na vzorek a rotační vřeteno .....	46
Obrázek 29: Laboratorní míchačka.....	49
Obrázek 30: Rázový zhutňovač.....	51
Obrázek 31: Příklad Marshallových těles .....	51
Obrázek 32: Zhutňovač desek .....	52
Obrázek 33: Příklad zhutněné desky .....	53
Obrázek 34: Pyknometry .....	55
Obrázek 35: Vážení zkušební desky ve vodě .....	57
Obrázek 36: Mezerovitost směsi kameniva, Zdroj: ČSN EN 12697-8.....	59
Obrázek 37: Zařízení na zkoušku pojíždění kolem.....	61
Obrázek 38: Vodní lázeň se zkušebními čelistmi.....	63
Obrázek 39: Čelisti se zkušebním vzorkem .....	63
Obrázek 40: Průběh zkoušky ve zkušebním lisu .....	64
Obrázek 41: Čelisti včetně tlačeného vzorku .....	66
Obrázek 42: Zkušební lis .....	67
Obrázek 43: Lis se zkušebním vzorkem .....	69
Obrázek 44: Tlačná čelist se zatěžovacími pásy a zkušební těleso, Zdroj: ČSN EN 12697-23..	72
Obrázek 45: Podstata zkoušky TSRST .....	73
Obrázek 46: Kovový rám pro centrické nalepování vzorků.....	74
Obrázek 47: Celkový pohled na zařízení Cyklon-40, Zdroj před úpravou: Dašek Ondřej.....	74
Obrázek 48: Detail uložení vzorku ve zkušebním zařízení po uskutečněné zkoušce .....	75
Obrázek 49: Vážení na hydrostatických vahách v destilované vodě.....	76
Obrázek 50: Exsikátor .....	77
Obrázek 51: Rozměry zkušebních těles .....	79
Obrázek 52: Trapezoid nalepený v podložce.....	80
Obrázek 53: Zařízení pro měření modulů tuhosti asfaltových směsí.....	81
Obrázek 54: Místo odběru kameniva Luleč - obalovna Rajhradice.....	84
Obrázek 55: Kamenivo Luleč, frakce 0 - 4 .....	85

Obrázek 56: Kamenivo Luleč, frakce 4 – 8.....	85
Obrázek 57: Pryžový granulát frakce 0,0 - 0,7 mm, Zdroj: RPG Recycling, s.r.o. ....	86
Obrázek 58: Srovnání běžného pojiva a pojiva modifikovaného pryžovým granulátem, Zdroj: Dašek Ondřej .....	87
Obrázek 59: Řez souvrstvím Koliště 1 po zkoušce trvalých deformací .....	108
Obrázek 60: Řez souvrstvím Koliště 2 po zkoušce trvalých deformací .....	108
Obrázek 61: Zkušební vzorek na zkoušku v tahu za ohybu, směs 2, 10 % pojiva.....	110
Obrázek 62: Lom na zkušebním tělese, směs 2, 10 % pojiva .....	110
Obrázek 63: Zkušební vzorek na zkoušku v tahu za ohybu, směs 2, 12 % pojiva.....	110
Obrázek 64: Lom na zkušebním tělese, směs 2, 12 % pojiva .....	110
Obrázek 65: Zkušební vzorek na zkoušku v tahu za ohybu, směs 3, 10 % pojiva.....	111
Obrázek 66: Lom na zkušebním tělese, směs 3, 10 % pojiva .....	111
Obrázek 67: Příklad porušeného tělesa po zkoušce nízkoteplotních charakteristik směsi ...	123
Obrázek 68: Zkušební komolé klíny .....	127
Obrázek 69: Přehledná mapa místa rekonstrukce, Zdroj: Mapy.cz .....	129
Obrázek 70: Vysoušení a nahřívání zářezů před aplikací SAMI .....	130
Obrázek 71: Rozprostření vrstvy SAMI .....	130
Obrázek 72: Průběh prací při aplikaci vrstvy SAMI.....	131
Obrázek 73: Finišer <i>Vögele SUPER 1900</i> při pokládce vrstvy SAL .....	131
Obrázek 74: Hutnění vrstvy SAL dvěma hutnícími válci .....	132
Obrázek 75: Detail vrstvy SAL.....	132
Obrázek 76: Vyjeté stopy ve spojovacím postřiku při dlouhodobém stání na vrstvě o teplotě 50 °C.....	133
Obrázek 77: Detail směsi BBTM 8.....	133
Obrázek 78: Detail vrstvy SAL dle návrhu diplomové práce .....	134

## 18. SEZNAM PŘÍLOH

1. Sítové rozbory
2. Maximální objemová hmotnost, objemová hmotnost a mezerovitost směsi
3. Protokoly ze zkoušky trvalých deformací
4. Míra zhutnění jednotlivých zkušebních desek
5. Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin
6. Výsledky zkoušky v tahu za ohybu



## **PŘÍLOHA 1**

### **Sítové rozbor**

## STANOVENÍ ZRNITOSTI - SÍTOVÝ ROZBOR

Místo původu: Bratčice

Datum odběru vzorku: 9. 7. 2012

Frakce: 0 – 4

Místo odběru vzorku:

*Stanovení obsahu jemných částic:*

Hmotnost vysušené navážky před promýváním ( $M_1$ )	g	456,8
Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm ( $M_2$ )	g	450,3
Hmotnost propadu jemných částic na dně (P)	g	0,6
Obsah jemných částic $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \cdot 100$	%	1,6

*Stanovení zrnitosti:*

Vel.ok sít	Zbytky	Zbytky	Celkové zbytky	Propad	
mm	g	%	%	%	
125	0,0	0,0	0,0	100,0	
90	0,0	0,0	0,0	100,0	
63	0,0	0,0	0,0	100,0	
45	0,0	0,0	0,0	100,0	
31,5	0,0	0,0	0,0	100,0	
22,4	0,0	0,0	0,0	100,0	
16	0,0	0,0	0,0	100,0	
11,2	0,0	0,0	0,0	100,0	
8	0,0	0,0	0,0	100,0	
4	19,8	4,4	4,4	95,6	
2	62,6	13,9	18,3	81,7	
1	107,8	23,9	42,2	57,8	
0,5	119,9	26,6	68,8	31,2	
0,25	97,4	21,6	90,4	9,6	
0,125	37,6	8,3	98,8	1,2	
0,063	4,9	1,1	99,9	0,1	
Dno	sítový rozbor (P)	jemné částice ( $M_1 - M_2$ )	0,1	100,0	0,0
	0,6	6,5			
Celkem	450,6	457,1	100,0	100,0	0,0

## STANOVENÍ ZRNITOSTI - SÍTOVÝ ROZBOR

Místo původu: Mokrá

Datum odběru vzorku: 18. 5. 2012

Frakce: filer

Místo odběru vzorku: Obalovna Rajhradice

*Stanovení obsahu jemných částic:*

Hmotnost vysušené navážky před promýváním ( $M_1$ )	g	367,4	
Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm ( $M_2$ )	g	198,2	
Hmotnost propadu jemných částic na dně (P)	g	84,3	
Obsah jemných částic	$f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \cdot 100$	%	69,0

*Stanovení zrnitosti:*

Vel.ok sít	Zbytky	Zbytky	Celkové zbytky	Propad	
mm	g	%	%	%	
125	0,0	0,0	0,0	100,0	
90	0,0	0,0	0,0	100,0	
63	0,0	0,0	0,0	100,0	
45	0,0	0,0	0,0	100,0	
31,5	0,0	0,0	0,0	100,0	
22,4	0,0	0,0	0,0	100,0	
16	0,0	0,0	0,0	100,0	
11,2	0,0	0,0	0,0	100,0	
8	0,0	0,0	0,0	100,0	
4	0,0	0,0	0,0	100,0	
2	0,0	0,0	0,0	100,0	
1	0,0	0,0	0,0	100,0	
0,5	0,0	0,0	0,0	100,0	
0,25	1,3	0,7	0,7	99,3	
0,125	35,6	18,0	18,6	81,4	
0,063	77,0	38,8	57,5	42,5	
Dno	sítový rozbor (P)	jemné částice ( $M_1 - M_2$ )	42,5	100,0	0,0
	84,3	169,2			
Celkem	198,2	367,4	100,0	100,0	0,0

## STANOVENÍ ZRNITOSTI - SÍTOVÝ ROZBOR

Místo původu: Luleč

Datum odběru vzorku: 18. 5. 2012

Frakce: 0 - 4

Místo odběru vzorku: Obalovna Rajhradice

*Stanovení obsahu jemných částic:*

Hmotnost vysušené navážky před promýváním ( $M_1$ )	g	286,8	
Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm ( $M_2$ )	g	279,0	
Hmotnost propadu jemných částic na dně (P)	g	0,5	
Obsah jemných částic	$f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \cdot 100$	%	2,9

*Stanovení zrnitosti:*

Vel.ok sít	Zbytky	Zbytky	Celkové zbytky	Propad	
mm	g	%	%	%	
125	0,0	0,0	0,0	100,0	
90	0,0	0,0	0,0	100,0	
63	0,0	0,0	0,0	100,0	
45	0,0	0,0	0,0	100,0	
31,5	0,0	0,0	0,0	100,0	
22,4	0,0	0,0	0,0	100,0	
16	0,0	0,0	0,0	100,0	
11,2	0,0	0,0	0,0	100,0	
8	0,0	0,0	0,0	100,0	
4	11,8	4,2	4,2	95,8	
2	69,7	25,0	29,2	70,8	
1	62,8	22,5	51,7	48,3	
0,5	44,0	15,8	67,5	32,5	
0,25	40,4	14,5	82,0	18,0	
0,125	35,2	12,6	94,6	5,4	
0,063	14,6	5,2	99,8	0,2	
Dno	sítový rozbor (P)	jemné částice ( $M_1 - M_2$ )	100,0	0,0	0,0
		0,5			
Celkem	279,0	286,8	100,0	0,0	0,0

## STANOVENÍ ZRNITOSTI - SÍTOVÝ ROZBOR

Místo původu: Luleč

Datum odběru vzorku: 18. 5. 2012

Frakce: 2 - 4

Místo odběru vzorku: Obalovna Rajhradice

*Stanovení obsahu jemných částic:*

Hmotnost vysušené navážky před promýváním ( $M_1$ )	g	437,3
Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm ( $M_2$ )	g	432,6
Hmotnost propadu jemných částic na dně (P)	g	0,2
Obsah jemných částic $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \cdot 100$	%	1,1

*Stanovení zrnitosti:*

Vel.ok sít	Zbytky	Zbytky	Celkové zbytky	Propad	
mm	g	%	%	%	
125	0,0	0,0	0,0	100,0	
90	0,0	0,0	0,0	100,0	
63	0,0	0,0	0,0	100,0	
45	0,0	0,0	0,0	100,0	
31,5	0,0	0,0	0,0	100,0	
22,4	0,0	0,0	0,0	100,0	
16	0,0	0,0	0,0	100,0	
11,2	0,0	0,0	0,0	100,0	
8	0,0	0,0	0,0	100,0	
4	43,5	10,1	10,1	89,9	
2	369,9	85,5	95,6	4,4	
1	15,8	3,7	99,2	0,8	
0,5	1,2	0,3	99,5	0,5	
0,25	0,6	0,1	99,7	0,3	
0,125	0,7	0,2	99,8	0,2	
0,063	0,6	0,1	100,0	0,0	
Dno	sítový rozbor (P)	jemné částice ( $M_1 - M_2$ )	100,0	0,0	0,0
Celkem	432,5	437,2	100,0	0,0	0,0



## STANOVENÍ ZRNITOSTI - SÍTOVÝ ROZBOR

Místo původu: Luleč

Datum odběru vzorku: 18. 5. 2012

Frakce: 4 - 8

Místo odběru vzorku: Obalovna Rajhradice

*Stanovení obsahu jemných částic:*

Hmotnost vysušené navážky před promýváním ( $M_1$ )	g	1233,0
Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm ( $M_2$ )	g	1220,7
Hmotnost propadu jemných částic na dně (P)	g	1,0
Obsah jemných částic $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \cdot 100$	%	1,1

*Stanovení zrnitosti:*

Vel.ok sít	Zbytky	Zbytky	Celkové zbytky	Propad	
mm	g	%	%	%	
125	0,0	0,0	0,0	100,0	
90	0,0	0,0	0,0	100,0	
63	0,0	0,0	0,0	100,0	
45	0,0	0,0	0,0	100,0	
31,5	0,0	0,0	0,0	100,0	
22,4	0,0	0,0	0,0	100,0	
16	0,0	0,0	0,0	100,0	
11,2	0,0	0,0	0,0	100,0	
8	52,2	4,3	4,3	95,7	
4	1087,9	89,1	93,4	6,6	
2	70,6	5,8	99,2	0,8	
1	3,5	0,3	99,5	0,5	
0,5	0,7	0,1	99,5	0,5	
0,25	0,8	0,1	99,6	0,4	
0,125	1,3	0,1	99,7	0,3	
0,063	2,7	0,2	99,9	0,1	
Dno	sítový rozbor (P)	jemné částice ( $M_1 - M_2$ )	100,0	0,0	0,0
	1,0	12,3			
Celkem	1220,7	1233,0	100,0	0,0	0,0

## STANOVENÍ ZRNITOSTI - SÍTOVÝ ROZBOR

Místo původu: Pryžový granulát

Datum odběru vzorku: 18. 5. 2012

Frakce:

Místo odběru vzorku:

*Stanovení obsahu jemných částic:*

Hmotnost vysušené navážky před promýváním ( $M_1$ )	g	201,8	
Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm ( $M_2$ )	g	201,8	
Hmotnost propadu jemných částic na dně (P)	g	0,3	
Obsah jemných částic	$f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \cdot 100$	%	0,1

*Stanovení zrnitosti:*

Vel.ok síť	Zbytky	Zbytky	Celkové zbytky	Propad	
mm	g	%	%	%	
125	0,0	0,0	0,0	100,0	
90	0,0	0,0	0,0	100,0	
63	0,0	0,0	0,0	100,0	
45	0,0	0,0	0,0	100,0	
31,5	0,0	0,0	0,0	100,0	
22,4	0,0	0,0	0,0	100,0	
16	0,0	0,0	0,0	100,0	
11,2	0,0	0,0	0,0	100,0	
8	0,0	0,0	0,0	100,0	
4	0,0	0,0	0,0	100,0	
2	0,0	0,0	0,0	100,0	
1	0,0	0,0	0,0	100,0	
0,5	92,9	46,1	46,1	53,9	
0,25	97,6	48,4	94,5	5,5	
0,125	8,8	4,4	98,9	1,1	
0,063	2,0	1,0	99,9	0,1	
Dno	síťový rozbor (P)	jemné částice ( $M_1 - M_2$ )	0,1	100,0	0,0
	0,3	0,0			
Celkem	201,6	201,6	100,0	100,0	0,0



## PŘÍLOHA 2

**Maximální objemová hmotnost, objemová hmotnost a mezerovitost směsi**

## STANOVENÍ MAXIMÁLNÍ OBJEMOVÉ HMOTNOSTI

### STANOVENÍ OBJEMOVÉ HMOTNOSTI ASFALTOVÉHO ZKUŠEBNÍHO TĚLESA

#### STANOVENÍ MEZEROVITOSTI ASFALTOVÝCH SMĚSÍ

Druh asfaltové směsi: SAL 5, směs 1

Zkoušeno: 14. 2. 2012

Označení vzorku		1
Množství pojiva	%	9,5
Označení pyknometru		l.
Pyknometr prázdný $m_1$	g	392,5
Pyknometr+vzorek $m_2$	g	941,2
Pyknometr+vzorek+voda (rozp.) $m_3$	g	1547,0
Objem pyknometru $V_p$	$m^3$	653,900
Hustota rozpouštědla $\rho_w$	$kg/m^3$	1447
Teplota temperace	$^{\circ}C$	25
Navážka asf.směsi [ř.3 - ř.2]	g	548,7
<b>Maximální objemová hmotnost <math>\rho_{mv}</math></b>	<b><math>kg/m^3</math></b>	<b>2 333</b>

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

Zkušební těleso označení		1	2	3	Průměr
Hmotnost, suchá	g	1152,6	1154,2	1152,1	1153,0
Hmotnost, pod vodou	g	638,8	640,8	638,2	639,3
Hmotnost, vlhká	g	1153,6	1154,9	1153,3	1153,9
<b>Objemová hmotnost <math>\rho_{(bssd)}</math></b>	<b><math>kg/m^3</math></b>	<b>2235,6</b>	<b>2241,7</b>	<b>2233,3</b>	<b>2236,9</b>
<b>Mezerovitost</b>	<b>%</b>	<b>4,2</b>	<b>3,9</b>	<b>4,3</b>	<b>4,1</b>

Zkušební těleso označení		1	2	3	Průměr
Hmotnost, suché	g	1152,6	1154,2	1152,1	1153,0
Výška	mm	64,16	63,98	64,03	
		64,25	64,07	65,03	
		64,31	63,99	64,09	
<b>Průměrná výška</b>	<b>mm</b>	<b>64,24</b>	<b>64,01</b>	<b>64,38</b>	<b>64,21</b>
Průměr	mm	101,58	101,80	101,30	
		101,56	101,75	101,43	
		101,58	101,73	101,70	
<b>Průměrný průměr tělesa</b>	<b>mm</b>	<b>101,57</b>	<b>101,76</b>	<b>101,48</b>	<b>101,60</b>
<b>Objemová hmotnost <math>\rho_{(rozměry)}</math></b>	<b><math>kg/m^3</math></b>	<b>2214,2</b>	<b>2217,0</b>	<b>2212,6</b>	<b>2214,6</b>
<b>Mezerovitost</b>	<b>%</b>	<b>5,1</b>	<b>5,0</b>	<b>5,1</b>	<b>5,1</b>

## STANOVENÍ MAXIMÁLNÍ OBJEMOVÉ HMOTNOSTI

### STANOVENÍ OBJEMOVÉ HMOTNOSTI ASFALTOVÉHO ZKUŠEBNÍHO TĚLESA

#### STANOVENÍ MEZEROVITOSTI ASFALTOVÝCH SMĚSÍ

Druh asfaltové směsi: SAL 5, směs 1

Zkoušeno: 16. 2. 2012

Označení vzorku		4
Množství pojiva	%	10,0
Označení pyknometru		l.
Pyknometr prázdný $m_1$	g	382,9
Pyknometr+vzorek $m_2$	g	897,9
Pyknometr+vzorek+voda (rozp.) $m_3$	g	1523,8
Objem pyknometru $V_p$	$m^3$	654,500
Hustota rozpouštědla $\rho_w$	$kg/m^3$	1447
Teplota temperace	$^{\circ}C$	25
Navážka asf.směsi [ř.3 - ř.2]	g	515,0
<b>Maximální objemová hmotnost <math>\rho_{mv}</math></b>	<b><math>kg/m^3</math></b>	<b>2 320</b>

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

Zkušební těleso označení		4	5	6	Průměr
Hmotnost, suchá	g	1157,8	1152,3	1159,1	1156,4
Hmotnost, pod vodou	g	640,5	639,9	642,3	640,9
Hmotnost, vlhká	g	1157,3	1153,0	1158,9	1156,4
<b>Objemová hmotnost <math>\rho_{(bssd)}</math></b>	<b><math>kg/m^3</math></b>	<b>2233,8</b>	<b>2239,2</b>	<b>2237,2</b>	<b>2236,8</b>
<b>Mezerovitost</b>	<b>%</b>	<b>3,7</b>	<b>3,5</b>	<b>3,6</b>	<b>3,6</b>

Zkušební těleso označení		4	5	6	Průměr
Hmotnost, suché	g	1157,8	1152,3	1159,1	1156,4
Výška	mm	65,00	64,30	64,70	
		65,40	63,70	64,70	
		65,10	64,20	64,60	
<b>Průměrná výška</b>	<b>mm</b>	<b>65,17</b>	<b>64,07</b>	<b>64,67</b>	<b>64,63</b>
Průměr	mm	101,40	101,80	101,80	
		101,40	101,90	101,70	
		101,40	101,90	101,80	
<b>Průměrný průměr tělesa</b>	<b>mm</b>	<b>101,40</b>	<b>101,87</b>	<b>101,77</b>	<b>101,68</b>
<b>Objemová hmotnost <math>\rho_{(rozměry)}</math></b>	<b><math>kg/m^3</math></b>	<b>2200,1</b>	<b>2206,9</b>	<b>2203,6</b>	<b>2203,5</b>
<b>Mezerovitost</b>	<b>%</b>	<b>5,2</b>	<b>4,9</b>	<b>5,0</b>	<b>5,0</b>

## STANOVENÍ MAXIMÁLNÍ OBJEMOVÉ HMOTNOSTI

### STANOVENÍ OBJEMOVÉ HMOTNOSTI ASFALTOVÉHO ZKUŠEBNÍHO TĚLESA

### STANOVENÍ MEZEROVITOSTI ASFALTOVÝCH SMĚSÍ

Druh asfaltové směsi: SAL 5, směs 1

Zkoušeno: 16. 2. 2012

Označení vzorku		7
Množství pojiva	%	10,5
Označení pyknometru		l.
Pyknometr prázdný $m_1$	g	392,5
Pyknometr+vzorek $m_2$	g	907,6
Pyknometr+vzorek+voda (rozp.) $m_3$	g	1529,6
Objem pyknometru $V_p$	$m^3$	653,900
Hustota rozpouštědla $\rho_w$	$kg/m^3$	1447
Teplota teploty	$^{\circ}C$	25
Navážka asf.směsi [ř.3 - ř.2]	g	515,1
<b>Maximální objemová hmotnost <math>\rho_{mv}</math></b>	<b><math>kg/m^3</math></b>	<b>2 299</b>

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

Zkušební těleso označení		7	8	9	Průměr
Hmotnost, suchá	g	1157,6	1158,1	1156,1	1157,3
Hmotnost, pod vodou	g	636,9	638,2	636,4	637,2
Hmotnost, vlhká	g	1157,3	1158,8	1156,5	1157,5
<b>Objemová hmotnost <math>\rho_{(bssd)}</math></b>	<b><math>kg/m^3</math></b>	<b>2218,0</b>	<b>2218,1</b>	<b>2216,4</b>	<b>2217,5</b>
<b>Mezerovitost</b>	<b>%</b>	<b>3,5</b>	<b>3,5</b>	<b>3,6</b>	<b>3,5</b>

Zkušební těleso označení		7	8	9	Průměr
Hmotnost, suché	g	1157,6	1158,1	1156,1	1157,3
Výška	mm	65,60	64,80	65,40	
		65,80	64,80	65,40	
		65,30	65,00	65,20	
<b>Průměrná výška</b>	<b>mm</b>	<b>65,57</b>	<b>64,87</b>	<b>65,33</b>	<b>65,26</b>
Průměr	mm	101,80	101,90	101,70	
		101,70	102,00	101,70	
		101,70	102,00	101,60	
<b>Průměrný průměr tělesa</b>	<b>mm</b>	<b>101,73</b>	<b>101,97</b>	<b>101,67</b>	<b>101,79</b>
<b>Objemová hmotnost <math>\rho_{(rozměry)}</math></b>	<b><math>kg/m^3</math></b>	<b>2172,0</b>	<b>2186,3</b>	<b>2179,8</b>	<b>2179,4</b>
<b>Mezerovitost</b>	<b>%</b>	<b>5,5</b>	<b>4,9</b>	<b>5,2</b>	<b>5,2</b>

## STANOVENÍ MAXIMÁLNÍ OBJEMOVÉ HMTNOSTI

### STANOVENÍ OBJEMOVÉ HMTNOSTI ASFALTOVÉHO ZKUŠEBNÍHO TĚLESA

### STANOVENÍ MEZEROVITOSTI ASFALTOVÝCH SMĚSÍ

Druh asfaltové směsi: SAL 5, směs 2

Zkoušeno: 4. 6. 2012

Označení vzorku		1
Množství pojiva	%	9,5
Označení pyknometru		l.
Pyknometr prázdný $m_1$	g	667,5
Pyknometr+vzorek $m_2$	g	1630,3
Pyknometr+vzorek+voda (rozp.) $m_3$	g	2930,7
Objem pyknometru $V_p$	$m^3$	1305,586
Hustota rozpouštědla $\rho_w$	$kg/m^3$	1452
Teplota teperace	$^{\circ}C$	25
Navážka asf.směsi [ř.3 - ř.2]	g	962,8
<b>Maximální objemová hmotnost <math>\rho_{mv}</math></b>	<b><math>kg/m^3</math></b>	<b>2 348</b>



Ilustrativní vzorek zkoušené směsi, SAL5, 9.5%  
vzorek č. 1

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

Zkušební těleso označení		1	2	3	Průměr
Hmotnost, suchá	g	1127,1	1145,9	1118,9	1130,6
Hmotnost, pod vodou	g	612,2	625,3	609,7	615,7
Hmotnost, vlhká	g	1130,7	1147,9	1120,5	1133,0
<b>Objemová hmotnost <math>\rho_{(bssd)}</math></b>	<b><math>kg/m^3</math></b>	<b>2167,5</b>	<b>2186,3</b>	<b>2184,1</b>	<b>2179,3</b>
<b>Mezerovitost</b>	<b>%</b>	<b>7,7</b>	<b>6,9</b>	<b>7,0</b>	<b>7,2</b>

Zkušební těleso označení		1	2	3	Průměr
Hmotnost, suché	g	1127,1	1145,9	1118,9	1130,6
Výška	mm	64,60	64,95	63,15	
		64,70	65,40	63,20	
		64,80	65,15	63,30	
<b>Průměrná výška</b>	<b>mm</b>	<b>64,70</b>	<b>65,17</b>	<b>63,22</b>	<b>64,36</b>
Průměr	mm	101,70	101,55	101,90	
		101,55	101,60	102,05	
		101,70	101,60	101,85	
<b>Průměrný průměr tělesa</b>	<b>mm</b>	<b>101,65</b>	<b>101,58</b>	<b>101,93</b>	<b>101,72</b>
<b>Objemová hmotnost <math>\rho_{(rozměry)}</math></b>	<b><math>kg/m^3</math></b>	<b>2146,6</b>	<b>2169,6</b>	<b>2168,9</b>	<b>2161,7</b>
<b>Mezerovitost</b>	<b>%</b>	<b>8,6</b>	<b>7,6</b>	<b>7,6</b>	<b>7,9</b>

## STANOVENÍ MAXIMÁLNÍ OBJEMOVÉ HMTNOSTI

### STANOVENÍ OBJEMOVÉ HMTNOSTI ASFALTOVÉHO ZKUŠEBNÍHO TĚLESA

### STANOVENÍ MEZEROVITOSTI ASFALTOVÝCH SMĚSÍ

Druh asfaltové směsi: SAL 5, směs 2

Zkoušeno: 4. 6. 2012

Označení vzorku		5	4
Množství pojiva	%	10,0	10,0
Označení pyknometru		VI.	III.
Pyknometr prázdný $m_1$	g	700,4	685,1
Pyknometr+vzorek $m_2$	g	1807,5	1751,1
Pyknometr+vzorek+voda (rozp.) $m_3$	g	3022,9	2976,2
Objem pyknometru $V_p$	$m^3$	1312,005	1301,374
Hustota rozpouštědla $\rho_w$	$kg/m^3$	1452	1452
Teplota teploty	$^{\circ}C$	25	25
Navážka asf.směsi [ř.3 - ř.2]	g	1107,1	1066,0
<b>Maximální objemová hmotnost <math>\rho_{mv}</math></b>	<b><math>kg/m^3</math></b>	<b>2 331</b>	<b>2 329</b>



Ilustrativní vzorek zkoušené směsi, SAL5, 10.0% vzorek č. 5

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

Zkušební těleso označení		4	5	6	Průměr
Hmotnost, suchá	g	1136,2	1131,0	1136,9	1134,7
Hmotnost, pod vodou	g	616,4	614,1	619,3	616,6
Hmotnost, vlhká	g	1139,0	1133,5	1138,1	1136,9
<b>Objemová hmotnost <math>\rho_{(bssd)}</math></b>	<b><math>kg/m^3</math></b>	<b>2167,8</b>	<b>2171,2</b>	<b>2185,0</b>	<b>2174,7</b>
<b>Mezerovitost</b>	<b>%</b>	<b>7,0</b>	<b>6,8</b>	<b>6,2</b>	<b>6,7</b>

Zkušební těleso označení		4	5	6	Průměr
Hmotnost, suché	g	1136,2	1131,0	1136,9	1134,7
Výška	mm	64,70	64,30	64,60	
		65,05	64,55	65,55	
		64,85	64,25	64,45	
<b>Průměrná výška</b>	<b>mm</b>	<b>64,87</b>	<b>64,37</b>	<b>64,87</b>	<b>64,70</b>
Průměr	mm	101,80	102,00	101,75	
		101,90	101,95	101,70	
		101,80	101,90	101,60	
<b>Průměrný průměr tělesa</b>	<b>mm</b>	<b>101,83</b>	<b>101,95</b>	<b>101,68</b>	<b>101,82</b>
<b>Objemová hmotnost <math>\rho_{(rozměry)}</math></b>	<b><math>kg/m^3</math></b>	<b>2150,6</b>	<b>2152,5</b>	<b>2158,3</b>	<b>2153,8</b>
<b>Mezerovitost</b>	<b>%</b>	<b>7,7</b>	<b>7,6</b>	<b>7,4</b>	<b>7,6</b>



## STANOVENÍ MAXIMÁLNÍ OBJEMOVÉ HMTNOSTI

### STANOVENÍ OBJEMOVÉ HMTNOSTI ASFALTOVÉHO ZKUŠEBNÍHO TĚLESA

#### STANOVENÍ MEZEROVITOSTI ASFALTOVÝCH SMĚSÍ

Druh asfaltové směsi: SAL 5, směs 2

Zkoušeno: 4. 6. 2012

Označení vzorku		7
Množství pojiva	%	10,5
Označení pyknometru		IV.
Pyknometr prázdný $m_1$	g	690,7
Pyknometr+vzorek $m_2$	g	1799,1
Pyknometr+vzorek+voda (rozp.) $m_3$	g	3025,7
Objem pyknometru $V_p$	$m^3$	1322,736
Hustota rozpouštědla $\rho_w$	$kg/m^3$	1452
Teplota temperace	$^{\circ}C$	25
Navážka asf.směsi [ř.3 - ř.2]	g	1108,4
<b>Maximální objemová hmotnost <math>\rho_{mv}</math></b>	<b><math>kg/m^3</math></b>	<b>2 319</b>



Ilustrativní vzorek zkoušené směsi, SAL5, 10,5%  
vzorek č. 7

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

Zkušební těleso označení		7	8	9	Průměr
Hmotnost, suchá	g	1136,5	1144,7	1137,3	1139,5
Hmotnost, pod vodou	g	621,6	621,3	620,0	621,0
Hmotnost, vlhká	g	1137,7	1145,7	1138,3	1140,6
<b>Objemová hmotnost <math>\rho_{(bssd)}</math></b>	<b><math>kg/m^3</math></b>	<b>2195,7</b>	<b>2176,5</b>	<b>2187,9</b>	<b>2186,7</b>
<b>Mezerovitost</b>	<b>%</b>	<b>5,3</b>	<b>6,1</b>	<b>5,7</b>	<b>5,7</b>

Zkušební těleso označení		7	8	9	Průměr
Hmotnost, suché	g	1136,5	1144,7	1137,3	1139,5
Výška	mm	64,50	65,40	64,15	
		64,50	65,35	64,15	
		64,50	65,50	64,30	
<b>Průměrná výška</b>	<b>mm</b>	<b>64,50</b>	<b>65,42</b>	<b>64,20</b>	<b>64,71</b>
Průměr	mm	101,55	101,65	101,90	
		101,60	101,60	102,05	
		101,55	101,65	102,00	
<b>Průměrný průměr tělesa</b>	<b>mm</b>	<b>101,57</b>	<b>101,63</b>	<b>101,98</b>	<b>101,73</b>
<b>Objemová hmotnost <math>\rho_{(rozměry)}</math></b>	<b><math>kg/m^3</math></b>	<b>2174,8</b>	<b>2157,0</b>	<b>2168,7</b>	<b>2166,8</b>
<b>Mezerovitost</b>	<b>%</b>	<b>6,2</b>	<b>7,0</b>	<b>6,5</b>	<b>6,6</b>

## STANOVENÍ MAXIMÁLNÍ OBJEMOVÉ HMTNOSTI

### STANOVENÍ OBJEMOVÉ HMTNOSTI ASFALTOVÉHO ZKUŠEBNÍHO TĚLESA

### STANOVENÍ MEZEROVITOSTI ASFALTOVÝCH SMĚSÍ

Druh asfaltové směsi: SAL 5, směs 2

Zkoušeno: 15. 6. 2012

Označení vzorku		10
Množství pojiva	%	11,0
Označení pyknometru		I.
Pyknometr prázdný $m_1$	g	667,5
Pyknometr+vzorek $m_2$	g	1501,1
Pyknometr+vzorek+voda (rozp.) $m_3$	g	2872,6
Objem pyknometru $V_p$	$m^3$	1305,586
Hustota rozpouštědla $\rho_w$	$kg/m^3$	1452
Teplota temperace	$^{\circ}C$	25
Navážka asf.směsi [ř.3 - ř.2]	g	833,6
<b>Maximální objemová hmotnost <math>\rho_{mv}</math></b>	<b><math>kg/m^3</math></b>	<b>2 309</b>



Ilustrativní vzorek zkoušené směsi, SAL5, 11.0% vzorek č. 10

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

Zkušební těleso označení		10	11	12	Průměr
Hmotnost, suchá	g	1140,2	1133,7	1141,6	1138,5
Hmotnost, pod vodou	g	626,2	616,4	628,7	623,8
Hmotnost, vlhká	g	1141,2	1134,8	1142,0	1139,3
<b>Objemová hmotnost <math>\rho_{(bssd)}</math></b>	<b><math>kg/m^3</math></b>	<b>2207,6</b>	<b>2180,6</b>	<b>2217,6</b>	<b>2201,9</b>
<b>Mezerovitost</b>	<b>%</b>	<b>4,4</b>	<b>5,6</b>	<b>4,0</b>	<b>4,6</b>

Zkušební těleso označení		10	11	12	Průměr
Hmotnost, suché	g	1140,2	1133,7	1141,6	1138,5
Výška	mm	64,45	64,45	63,90	
		64,60	64,10	63,70	
		64,70	64,30	63,75	
<b>Průměrná výška</b>	<b>mm</b>	<b>64,58</b>	<b>64,28</b>	<b>63,78</b>	<b>64,22</b>
Průměr	mm	101,74	101,94	101,84	
		101,70	101,88	101,78	
		101,74	101,96	101,80	
<b>Průměrný průměr tělesa</b>	<b>mm</b>	<b>101,73</b>	<b>101,93</b>	<b>101,81</b>	<b>101,82</b>
<b>Objemová hmotnost <math>\rho_{(rozměry)}</math></b>	<b><math>kg/m^3</math></b>	<b>2172,2</b>	<b>2161,4</b>	<b>2198,7</b>	<b>2177,4</b>
<b>Mezerovitost</b>	<b>%</b>	<b>5,9</b>	<b>6,4</b>	<b>4,8</b>	<b>5,7</b>

## STANOVENÍ MAXIMÁLNÍ OBJEMOVÉ HMTNOSTI

### STANOVENÍ OBJEMOVÉ HMTNOSTI ASFALTOVÉHO ZKUŠEBNÍHO TĚLESA

### STANOVENÍ MEZEROVITOSTI ASFALTOVÝCH SMĚSÍ

Druh asfaltové směsi: SAL 5, směs 2

Zkoušeno: 15. 6. 2012

Označení vzorku		13
Množství pojiva	%	12,0
Označení pyknometru		III.
Pyknometr prázdný $m_1$	g	685,1
Pyknometr+vzorek $m_2$	g	1521,4
Pyknometr+vzorek+voda (rozp.) $m_3$	g	2877,0
Objem pyknometru $V_p$	$m^3$	1301,374
Hustota rozpouštědla $\rho_w$	$kg/m^3$	1452
Teplota teploty	$^{\circ}C$	25
Navážka asf.směsi [ř.3 - ř.2]	g	836,3
<b>Maximální objemová hmotnost <math>\rho_{mv}</math></b>	<b><math>kg/m^3</math></b>	<b>2 274</b>



Ilustrativní vzorek zkoušené směsi, SAL5, 12,0% vzorek č. 13

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

Zkušební těleso označení		13	14	15	Průměr
Hmotnost, suchá	g	1155,3	1145,5	1143,3	1148,0
Hmotnost, pod vodou	g	629,0	624,6	619,3	624,3
Hmotnost, vlhká	g	1156,3	1146,0	1144,6	1149,0
<b>Objemová hmotnost <math>\rho_{(bssd)}</math></b>	<b><math>kg/m^3</math></b>	<b>2184,6</b>	<b>2190,6</b>	<b>2170,2</b>	<b>2181,8</b>
<b>Mezerovitost</b>	<b>%</b>	<b>3,9</b>	<b>3,7</b>	<b>4,6</b>	<b>4,1</b>

Zkušební těleso označení		13	14	15	Průměr
Hmotnost, suché	g	1155,3	1145,5	1143,3	1148,0
Výška	mm	65,05	65,00	65,35	
		65,20	65,05	65,00	
		65,25	65,25	65,40	
<b>Průměrná výška</b>	<b>mm</b>	<b>65,17</b>	<b>65,10</b>	<b>65,25</b>	<b>65,17</b>
Průměr	mm	102,04	101,58	101,84	
		102,06	101,52	101,74	
		102,04	101,62	101,70	
<b>Průměrný průměr tělesa</b>	<b>mm</b>	<b>102,05</b>	<b>101,57</b>	<b>101,76</b>	<b>101,79</b>
<b>Objemová hmotnost <math>\rho_{(rozměry)}</math></b>	<b><math>kg/m^3</math></b>	<b>2167,6</b>	<b>2171,5</b>	<b>2154,4</b>	<b>2164,5</b>
<b>Mezerovitost</b>	<b>%</b>	<b>4,7</b>	<b>4,5</b>	<b>5,3</b>	<b>4,8</b>

## STANOVENÍ MAXIMÁLNÍ OBJEMOVÉ HMTNOSTI

### STANOVENÍ OBJEMOVÉ HMTNOSTI ASFALTOVÉHO ZKUŠEBNÍHO TĚLESA

#### STANOVENÍ MEZEROVITOSTI ASFALTOVÝCH SMĚSÍ

Druh asfaltové směsi: SAL 5, směs 2

Zkoušeno: 15. 6. 2012

Označení vzorku		16
Množství pojiva	%	13,0
Označení pyknometru		V.
Pyknometr prázdný $m_1$	g	693,0
Pyknometr+vzorek $m_2$	g	1520,5
Pyknometr+vzorek+voda (rozp.) $m_3$	g	2909,7
Objem pyknometru $V_p$	$m^3$	1323,037
Hustota rozpouštědla $\rho_w$	$kg/m^3$	1452
Teplota teploty	$^{\circ}C$	25
Navážka asf.směsi [ř.3 - ř.2]	g	827,5
<b>Maximální objemová hmotnost <math>\rho_{mv}</math></b>	<b><math>kg/m^3</math></b>	<b>2 259</b>



Ilustrativní vzorek zkoušené směsi, SAL5, 13.0%  
vzorek č. 16

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

Zkušební těleso označení		16	17	18	Průměr
Hmotnost, suchá	g	1160,6	1171,7	1163,8	1165,4
Hmotnost, pod vodou	g	625,7	633,2	631,8	630,2
Hmotnost, vlhká	g	1161,5	1172,6	1164,6	1166,2
<b>Objemová hmotnost <math>\rho_{(bssd)}</math></b>	<b><math>kg/m^3</math></b>	<b>2159,8</b>	<b>2165,9</b>	<b>2178,0</b>	<b>2167,9</b>
<b>Mezerovitost</b>	<b>%</b>	<b>4,4</b>	<b>4,1</b>	<b>3,6</b>	<b>4,0</b>

Zkušební těleso označení		16	17	18	Průměr
Hmotnost, suché	g	1160,6	1171,7	1163,8	1165,4
Výška	mm	66,35	66,95	66,25	
		66,30	66,95	66,40	
		66,35	67,40	66,50	
<b>Průměrná výška</b>	<b>mm</b>	<b>66,33</b>	<b>67,10</b>	<b>66,38</b>	<b>66,61</b>
Průměr	mm	102,06	101,68	101,68	
		101,92	101,78	101,48	
		102,06	101,88	101,78	
<b>Průměrný průměr tělesa</b>	<b>mm</b>	<b>102,01</b>	<b>101,78</b>	<b>101,65</b>	<b>101,81</b>
<b>Objemová hmotnost <math>\rho_{(rozměry)}</math></b>	<b><math>kg/m^3</math></b>	<b>2140,7</b>	<b>2146,2</b>	<b>2160,4</b>	<b>2149,1</b>
<b>Mezerovitost</b>	<b>%</b>	<b>5,2</b>	<b>5,0</b>	<b>4,4</b>	<b>4,9</b>

## STANOVENÍ MAXIMÁLNÍ OBJEMOVÉ HMOTNOSTI

### STANOVENÍ OBJEMOVÉ HMOTNOSTI ASFALTOVÉHO ZKUŠEBNÍHO TĚLESA

#### STANOVENÍ MEZEROVITOSTI ASFALTOVÝCH SMĚSÍ

Druh asfaltové směsi: SAL 5, směs 3

Zkoušeno: 25. 6. 2012

Označení vzorku		3.1
Množství pojiva	%	9,5
Označení pyknometru		I.
Pyknometr prázdný $m_1$	g	667,5
Pyknometr+vzorek $m_2$	g	1695,9
Pyknometr+vzorek+voda (rozp.) $m_3$	g	2953,5
Objem pyknometru $V_p$	$m^3$	1305,586
Hustota rozpouštědla $\rho_w$	$kg/m^3$	1452
Teplota temperace	$^{\circ}C$	25
Navážka asf.směsi [ř.3 - ř.2]	g	1028,4
<b>Maximální objemová hmotnost <math>\rho_{mv}</math></b>	<b><math>kg/m^3</math></b>	<b>2 340</b>



Ilustrativní vzorek zkoušené směsi, SAL5, 9.5% vzorek č. 3.1

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

Zkušební těleso označení		3.1	3.2	3.3	Průměr
Hmotnost, suchá	g	1123,5	1126,6	1116,3	1122,1
Hmotnost, pod vodou	g	628,4	632,8	626,2	629,1
Hmotnost, vlhká	g	1124,0	1127,2	1116,9	1122,7
<b>Objemová hmotnost <math>\rho_{(bssd)}</math></b>	<b><math>kg/m^3</math></b>	<b>2260,4</b>	<b>2272,1</b>	<b>2268,3</b>	<b>2266,9</b>
<b>Mezerovitost</b>	<b>%</b>	<b>3,4</b>	<b>2,9</b>	<b>3,1</b>	<b>3,1</b>

Zkušební těleso označení		3.1	3.2	3.3	Průměr
Hmotnost, suché	g	1123,5	1126,6	1116,3	1122,1
Výška	mm	61,25	61,85	61,05	
		61,20	61,65	61,05	
		61,50	61,60	61,10	
<b>Průměrná výška</b>	<b>mm</b>	<b>61,32</b>	<b>61,70</b>	<b>61,07</b>	<b>61,36</b>
Průměr	mm	102,08	101,70	101,84	
		102,06	101,58	101,88	
		102,06	101,70	101,74	
<b>Průměrný průměr tělesa</b>	<b>mm</b>	<b>102,07</b>	<b>101,66</b>	<b>101,82</b>	<b>101,85</b>
<b>Objemová hmotnost <math>\rho_{(rozměry)}</math></b>	<b><math>kg/m^3</math></b>	<b>2239,4</b>	<b>2249,5</b>	<b>2245,0</b>	<b>2244,7</b>
<b>Mezerovitost</b>	<b>%</b>	<b>4,3</b>	<b>3,9</b>	<b>4,1</b>	<b>4,1</b>

## STANOVENÍ MAXIMÁLNÍ OBJEMOVÉ HMOTNOSTI

### STANOVENÍ OBJEMOVÉ HMOTNOSTI ASFALTOVÉHO ZKUŠEBNÍHO TĚLESA

#### STANOVENÍ MEZEROVITOSTI ASFALTOVÝCH SMĚSÍ

Druh asfaltové směsi: SAL 5, směs 3

Zkoušeno: 25. 6. 2012

Označení vzorku		3.4
Množství pojiva	%	10,0
Označení pyknometru		III.
Pyknometr prázdný $m_1$	g	685,1
Pyknometr+vzorek $m_2$	g	1654,6
Pyknometr+vzorek+voda (rozp.) $m_3$	g	2939,5
Objem pyknometru $V_p$	$m^3$	1301,374
Hustota rozpouštědla $\rho_w$	$kg/m^3$	1452
Teplota teploty	$^{\circ}C$	25
Navážka asf.směsi [ř.3 - ř.2]	g	969,5
<b>Maximální objemová hmotnost <math>\rho_{mv}</math></b>	<b><math>kg/m^3</math></b>	<b>2 328</b>



Ilustrativní vzorek zkoušené směsi, SAL5, 10.0%  
vzorek č. 3.4

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

Zkušební těleso označení		3.4	3.5	3.6	Průměr
Hmotnost, suchá	g	1129,5	1126,9	1129,1	1128,5
Hmotnost, pod vodou	g	632,4	630,6	631,4	631,5
Hmotnost, vlhká	g	1129,8	1127,3	1129,5	1128,9
<b>Objemová hmotnost <math>\rho_{(bssd)}</math></b>	<b><math>kg/m^3</math></b>	<b>2264,2</b>	<b>2262,2</b>	<b>2260,2</b>	<b>2262,2</b>
<b>Mezerovitost</b>	<b>%</b>	<b>2,7</b>	<b>2,8</b>	<b>2,9</b>	<b>2,8</b>

Zkušební těleso označení		3.4	3.5	3.6	Průměr
Hmotnost, suché	g	1129,5	1126,9	1129,1	1128,5
Výška	mm	62,00	61,70	61,70	
		62,30	61,95	61,70	
		62,15	61,80	61,70	
<b>Průměrná výška</b>	<b>mm</b>	<b>62,15</b>	<b>61,82</b>	<b>61,70</b>	<b>61,89</b>
Průměr	mm	101,50	101,82	102,00	
		101,58	101,70	102,10	
		101,58	101,78	101,96	
<b>Průměrný průměr tělesa</b>	<b>mm</b>	<b>101,55</b>	<b>101,77</b>	<b>102,02</b>	<b>101,78</b>
<b>Objemová hmotnost <math>\rho_{(rozměry)}</math></b>	<b><math>kg/m^3</math></b>	<b>2243,7</b>	<b>2241,2</b>	<b>2238,7</b>	<b>2241,2</b>
<b>Mezerovitost</b>	<b>%</b>	<b>3,6</b>	<b>3,7</b>	<b>3,8</b>	<b>3,7</b>

## STANOVENÍ MAXIMÁLNÍ OBJEMOVÉ HMTNOSTI

### STANOVENÍ OBJEMOVÉ HMTNOSTI ASFALTOVÉHO ZKUŠEBNÍHO TĚLESA

### STANOVENÍ MEZEROVITOSTI ASFALTOVÝCH SMĚSÍ

Druh asfaltové směsi: SAL 5, směs 3

Zkoušeno: 25. 6. 2012

Označení vzorku		3.7
Množství pojiva	%	10,5
Označení pyknometru		IV.
Pyknometr prázdný $m_1$	g	690,7
Pyknometr+vzorek $m_2$	g	1711,2
Pyknometr+vzorek+voda (rozp.) $m_3$	g	2991,8
Objem pyknometru $V_p$	$m^3$	1322,736
Hustota rozpouštědla $\rho_w$	$kg/m^3$	1452
Teplota temperace	$^{\circ}C$	25
Navážka asf.směsi [ř.3 - ř.2]	g	1020,5
<b>Maximální objemová hmotnost <math>\rho_{mv}</math></b>	<b><math>kg/m^3</math></b>	<b>2 315</b>



Ilustrativní vzorek zkoušené směsi, SAL5, 10.5%  
vzorek č. 3.7

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

Zkušební těleso označení		3.7	3.8	3.9	Průměr
Hmotnost, suchá	g	1135,5	1137,7	1142,0	1138,4
Hmotnost, pod vodou	g	632,6	634,3	637,3	634,7
Hmotnost, vlhká	g	1135,9	1138,0	1142,3	1138,7
<b>Objemová hmotnost <math>\rho_{(bssd)}</math></b>	<b><math>kg/m^3</math></b>	<b>2249,6</b>	<b>2252,1</b>	<b>2254,8</b>	<b>2252,2</b>
<b>Mezerovitost</b>	<b>%</b>	<b>2,8</b>	<b>2,7</b>	<b>2,6</b>	<b>2,7</b>

Zkušební těleso označení		3.7	3.8	3.9	Průměr
Hmotnost, suché	g	1135,5	1137,7	1142,0	1138,4
Výška	mm	62,40	62,20	62,95	
		62,40	62,35	63,00	
		62,60	62,30	63,10	
<b>Průměrná výška</b>	<b>mm</b>	<b>62,47</b>	<b>62,28</b>	<b>63,02</b>	<b>62,59</b>
Průměr	mm	101,84	101,94	101,70	
		101,80	102,06	101,58	
		101,78	102,10	101,68	
<b>Průměrný průměr tělesa</b>	<b>mm</b>	<b>101,81</b>	<b>102,03</b>	<b>101,65</b>	<b>101,83</b>
<b>Objemová hmotnost <math>\rho_{(rozměry)}</math></b>	<b><math>kg/m^3</math></b>	<b>2233,0</b>	<b>2234,0</b>	<b>2232,9</b>	<b>2233,3</b>
<b>Mezerovitost</b>	<b>%</b>	<b>3,5</b>	<b>3,5</b>	<b>3,6</b>	<b>3,5</b>

## STANOVENÍ MAXIMÁLNÍ OBJEMOVÉ HMTNOSTI

### STANOVENÍ OBJEMOVÉ HMTNOSTI ASFALTOVÉHO ZKUŠEBNÍHO TĚLESA

### STANOVENÍ MEZEROVITOSTI ASFALTOVÝCH SMĚSÍ

Druh asfaltové směsi: SAL 5, směs 4

Zkoušeno: 11. 7. 2012

Označení vzorku		4.3
Množství pojiva	%	9,5
Označení pyknometru		III.
Pyknometr prázdný $m_1$	g	685,1
Pyknometr+vzorek $m_2$	g	1733,1
Pyknometr+vzorek+voda (rozp.) $m_3$	g	2969,3
Objem pyknometru $V_p$	$m^3$	1301,374
Hustota rozpouštědla $\rho_w$	$kg/m^3$	1452
Teplota temperace	$^{\circ}C$	25
Navážka asf.směsi [ř.3 - ř.2]	g	1048,0
<b>Maximální objemová hmotnost <math>\rho_{mv}</math></b>	<b><math>kg/m^3</math></b>	<b>2 329</b>



Ilustrativní vzorek zkoušené směsi, SAL5, 9.5%  
vzorek č. 4.3

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

Zkušební těleso označení		4.1	4.2	4.3	Průměr
Hmotnost, suchá	g	1115,7	1123,1	1124,3	1121,0
Hmotnost, pod vodou	g	599,5	613,8	612,2	608,5
Hmotnost, vlhká	g	1118,4	1124,0	1125,3	1122,6
<b>Objemová hmotnost <math>\rho_{(bssd)}</math></b>	<b><math>kg/m^3</math></b>	<b>2143,9</b>	<b>2194,9</b>	<b>2184,8</b>	<b>2174,5</b>
<b>Mezerovitost</b>	<b>%</b>	<b>7,9</b>	<b>5,8</b>	<b>6,2</b>	<b>6,6</b>

Zkušební těleso označení		4.1	4.2	4.3	Průměr
Hmotnost, suché	g	1115,7	1123,1	1124,3	1121,0
Výška	mm	64,80	63,30	64,20	
		64,70	63,05	64,40	
		64,80	63,35	64,45	
<b>Průměrná výška</b>	<b>mm</b>	<b>64,77</b>	<b>63,23</b>	<b>64,35</b>	<b>64,12</b>
Průměr	mm	101,94	102,06	101,62	
		101,88	102,08	101,70	
		101,84	102,08	101,62	
<b>Průměrný průměr tělesa</b>	<b>mm</b>	<b>101,89</b>	<b>102,07</b>	<b>101,65</b>	<b>101,87</b>
<b>Objemová hmotnost <math>\rho_{(rozměry)}</math></b>	<b><math>kg/m^3</math></b>	<b>2112,9</b>	<b>2170,5</b>	<b>2153,1</b>	<b>2145,5</b>
<b>Mezerovitost</b>	<b>%</b>	<b>9,3</b>	<b>6,8</b>	<b>7,6</b>	<b>7,9</b>



## STANOVENÍ MAXIMÁLNÍ OBJEMOVÉ HMTNOSTI

### STANOVENÍ OBJEMOVÉ HMTNOSTI ASFALTOVÉHO ZKUŠEBNÍHO TĚLESA

### STANOVENÍ MEZEROVITOSTI ASFALTOVÝCH SMĚSÍ

Druh asfaltové směsi: SAL 5, směs 4

Zkoušeno: 11. 7. 2012

Označení vzorku		4.6
Množství pojiva	%	10,0
Označení pyknometru		IV.
Pyknometr prázdný $m_1$	g	690,7
Pyknometr+vzorek $m_2$	g	1717,0
Pyknometr+vzorek+voda (rozp.) $m_3$	g	2996,0
Objem pyknometru $V_p$	$m^3$	1322,736
Hustota rozpouštědla $\rho_w$	$kg/m^3$	1452
Teplota temperace	$^{\circ}C$	25
Navážka asf.směsi [ř.3 - ř.2]	g	1026,3
<b>Maximální objemová hmotnost <math>\rho_{mv}</math></b>	<b><math>kg/m^3</math></b>	<b>2 323</b>



Ilustrativní vzorek zkoušené směsi, SAL5, 10.0%  
vzorek č. 4.6

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

Zkušební těleso označení		4.4	4.5	4.6	Průměr
Hmotnost, suchá	g	1135,0	1132,3	1130,5	1132,6
Hmotnost, pod vodou	g	621,2	619,7	613,0	618,0
Hmotnost, vlhká	g	1136,6	1134,2	1132,3	1134,4
<b>Objemová hmotnost <math>\rho_{(bssd)}</math></b>	<b><math>kg/m^3</math></b>	<b>2195,8</b>	<b>2194,4</b>	<b>2170,7</b>	<b>2186,9</b>
<b>Mezerovitost</b>	<b>%</b>	<b>5,5</b>	<b>5,5</b>	<b>6,5</b>	<b>5,8</b>

Zkušební těleso označení		4.4	4.5	4.6	Průměr
Hmotnost, suché	g	1135,0	1132,3	1130,5	1132,6
Výška	mm	64,00	64,15	64,55	
		64,00	64,45	64,70	
		64,05	64,25	64,70	
<b>Průměrná výška</b>	<b>mm</b>	<b>64,02</b>	<b>64,28</b>	<b>64,65</b>	<b>64,32</b>
Průměr	mm	101,94	101,62	101,78	
		101,92	101,64	101,88	
		101,96	101,62	101,90	
<b>Průměrný průměr tělesa</b>	<b>mm</b>	<b>101,94</b>	<b>101,63</b>	<b>101,85</b>	<b>101,81</b>
<b>Objemová hmotnost <math>\rho_{(rozměry)}</math></b>	<b><math>kg/m^3</math></b>	<b>2172,3</b>	<b>2171,5</b>	<b>2146,2</b>	<b>2163,3</b>
<b>Mezerovitost</b>	<b>%</b>	<b>6,5</b>	<b>6,5</b>	<b>7,6</b>	<b>6,9</b>

## STANOVENÍ MAXIMÁLNÍ OBJEMOVÉ HMOTNOSTI

### STANOVENÍ OBJEMOVÉ HMOTNOSTI ASFALTOVÉHO ZKUŠEBNÍHO TĚLESA

#### STANOVENÍ MEZEROVITOSTI ASFALTOVÝCH SMĚSÍ

Druh asfaltové směsi: SAL 5, směs 4

Zkoušeno: 11. 7. 2012

Označení vzorku		4.8
Množství pojiva	%	10,5
Označení pyknometru		V.
Pyknometr prázdný $m_1$	g	693,0
Pyknometr+vzorek $m_2$	g	1674,8
Pyknometr+vzorek+voda (rozp.) $m_3$	g	2979,3
Objem pyknometru $V_p$	$m^3$	1323,037
Hustota rozpouštědla $\rho_w$	$kg/m^3$	1452
Teplota temperace	$^{\circ}C$	25
Navážka asf.směsi [ř.3 - ř.2]	g	981,8
<b>Maximální objemová hmotnost <math>\rho_{mv}</math></b>	<b><math>kg/m^3</math></b>	<b>2 312</b>



Ilustrativní vzorek zkoušené směsi, SAL5, 10,5%  
vzorek č. 4.8

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

Zkušební těleso označení		4.7	4.8	4.9	Průměr
Hmotnost, suchá	g	1132,1	1134,0	1108,6	1124,9
Hmotnost, pod vodou	g	619,8	617,9	609,0	615,6
Hmotnost, vlhká	g	1132,9	1134,8	1109,7	1125,8
<b>Objemová hmotnost <math>\rho_{(bssd)}</math></b>	<b><math>kg/m^3</math></b>	<b>2200,0</b>	<b>2187,5</b>	<b>2207,7</b>	<b>2198,4</b>
<b>Mezerovitost</b>	<b>%</b>	<b>4,9</b>	<b>5,4</b>	<b>4,5</b>	<b>4,9</b>

Zkušební těleso označení		4.7	4.8	4.9	Průměr
Hmotnost, suché	g	1132,1	1134,0	1108,6	1124,9
Výška	mm	64,05	64,25	62,35	
		64,05	64,05	62,05	
		63,95	63,90	61,80	
<b>Průměrná výška</b>	<b>mm</b>	<b>64,02</b>	<b>64,07</b>	<b>62,07</b>	<b>63,38</b>
Průměr	mm	101,70	102,60	102,06	
		101,78	102,08	102,06	
		101,70	102,38	102,04	
<b>Průměrný průměr tělesa</b>	<b>mm</b>	<b>101,73</b>	<b>102,35</b>	<b>102,05</b>	<b>102,04</b>
<b>Objemová hmotnost <math>\rho_{(rozměry)}</math></b>	<b><math>kg/m^3</math></b>	<b>2175,9</b>	<b>2151,2</b>	<b>2183,6</b>	<b>2170,2</b>
<b>Mezerovitost</b>	<b>%</b>	<b>5,9</b>	<b>7,0</b>	<b>5,6</b>	<b>6,1</b>



## **PŘÍLOHA 3**

### **Protokoly ze zkoušky trvalých deformací**

## PROTOKOL TRVALÝCH DEFORMACÍ

Deska L: SAL 5, směs č. 1, 10.0% pojiva

tloušťka desek: 30 mm

Deska P: -

Teplota hutnění: 155 °C

Datum poježdění: 1. 3. 2012

Počet cyklů	Počet pojezdů	Teplota [°C]	L deska Ys [mm]	P deska Ys [mm]	L deska Ys [mm]	P deska Ys [mm]
0	0		1,81		0,00	
250	500		1,98		0,17	
<b>500</b>	<b>1000</b>		<b>2,01</b>		<b>0,20</b>	
750	1500		2,03		0,22	
1000	2000		2,05		0,24	
<b>1250</b>	<b>2500</b>		<b>2,08</b>		<b>0,27</b>	
1500	3000		2,10		0,29	
1750	3500		2,13		0,32	
2000	4000		2,15		0,34	
2250	4500		2,17		0,36	
<b>2500</b>	<b>5000</b>		<b>2,18</b>		<b>0,37</b>	
2750	5500		2,19		0,38	
3000	6000		2,20		0,39	
3250	6500		2,21		0,40	
3500	7000		2,22		0,41	
3750	7500		2,23		0,42	
4000	8000		2,25		0,44	
4250	8500		2,25		0,44	
4500	9000		2,26		0,45	
4750	9500		2,27		0,46	
<b>5000</b>	<b>10000</b>		<b>2,27</b>		<b>0,46</b>	
5250	10500		2,27		0,46	
5500	11000		2,28		0,47	
5750	11500		2,28		0,47	
6000	12000		2,29		0,48	
6250	12500		2,29		0,48	
6500	13000		2,30		0,49	
6750	13500		2,31		0,50	
7000	14000		2,31		0,50	
7250	14500		2,31		0,50	
<b>7500</b>	<b>15000</b>		<b>2,32</b>		<b>0,51</b>	
7750	15500		2,33		0,52	
8000	16000		2,32		0,51	
8250	16500		2,32		0,51	
8500	17000		2,33		0,52	
8750	17500		2,34		0,53	
9000	18000		2,34		0,53	
9250	18500		2,34		0,53	
9500	19000		2,34		0,53	
9750	19500		2,34		0,53	
<b>10000</b>	<b>20000</b>		<b>2,35</b>		<b>0,54</b>	

## PROTOKOL TRVALÝCH DEFORMACÍ

Deska L: SAL 5, směs č. 2, 10.0% pojiva

TLoušťka desek: 30 mm

Deska P: SAL 5, směs č. 2, 12.0% pojiva

Teplota hutnění: 155 °C

Datum poježdění: 9. 7. 2012

Počet cyklů	Počet pojezdů	Teplota [C°]	L deska Ys [mm]	P deska Ys [mm]	L deska Ys [mm]	P deska Ys [mm]
0	0	49,8	2,25	-1,78	0,00	0,00
250	500	49,9	2,45	-1,42	0,20	0,36
<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>50,0</b>	<b>2,51</b>	<b>-1,18</b>	<b>0,26</b>	<b>0,60</b>
750	1500	49,9	2,54	-1,13	0,29	0,65
1000	2000	50,0	2,56	-1,10	0,31	0,68
<b>1250</b>	<b>2500</b>	<b>50,0</b>	<b>2,59</b>	<b>-1,02</b>	<b>0,34</b>	<b>0,76</b>
1500	3000	50,0	2,60	-0,94	0,35	0,84
1750	3500	50,0	2,62	-0,90	0,37	0,88
2000	4000	50,0	2,63	-0,87	0,38	0,91
2250	4500	50,2	2,64	-0,82	0,39	0,96
<b>2500</b>	<b>5000</b>	<b>50,2</b>	<b>2,67</b>	<b>-0,78</b>	<b>0,42</b>	<b>1,00</b>
2750	5500	50,1	2,69	-0,77	0,44	1,01
3000	6000	50,1	2,70	-0,76	0,45	1,02
3250	6500	50,1	2,72	-0,73	0,47	1,05
3500	7000	50,1	2,72	-0,69	0,47	1,09
3750	7500	50,1	2,72	-0,66	0,47	1,12
4000	8000	50,1	2,73	-0,63	0,48	1,15
4250	8500	50,2	2,74	-0,62	0,49	1,16
4500	9000	50,1	2,75	-0,59	0,50	1,19
4750	9500	50,1	2,76	-0,56	0,51	1,22
<b>5000</b>	<b>10000</b>	<b>50,2</b>	<b>2,77</b>	<b>-0,56</b>	<b>0,52</b>	<b>1,22</b>
5250	10500	50,1	2,77	-0,54	0,52	1,24
5500	11000	50,2	2,76	-0,54	0,51	1,24
5750	11500	50,2	2,77	-0,55	0,52	1,23
6000	12000	50,1	2,78	-0,57	0,53	1,21
6250	12500	50,1	2,79	-0,55	0,54	1,23
6500	13000	50,1	2,78	-0,55	0,53	1,23
6750	13500	50,1	2,78	-0,52	0,53	1,26
7000	14000	50,1	2,79	-0,50	0,54	1,28
7250	14500	50,1	2,80	-0,49	0,55	1,29
<b>7500</b>	<b>15000</b>	<b>50,1</b>	<b>2,81</b>	<b>-0,49</b>	<b>0,56</b>	<b>1,29</b>
7750	15500	50,2	2,80	-0,48	0,55	1,30
8000	16000	50,1	2,80	-0,48	0,55	1,30
8250	16500	50,1	2,81	-0,48	0,56	1,30
8500	17000	50,1	2,81	-0,47	0,56	1,31
8750	17500	50,2	2,82	-0,45	0,57	1,33
9000	18000	50,2	2,83	-0,44	0,58	1,34
9250	18500	50,2	2,82	-0,42	0,57	1,36
9500	19000	50,2	2,82	-0,42	0,57	1,36
9750	19500	50,1	2,83	-0,41	0,58	1,37
<b>10000</b>	<b>20000</b>	<b>50,2</b>	<b>2,83</b>	<b>-0,40</b>	<b>0,58</b>	<b>1,38</b>

## PROTOKOL TRVALÝCH DEFORMACÍ

Deska L: SAL 5, směs č. 3, 10.0% pojiva

TLoušťka desek: 30 mm

Deska P: -

Teplota hutnění: 155 °C

Datum poježdění: 28. 6. 2012

Počet cyklů	Počet pojezdů	Teplota [°C]	L deska Ys [mm]	P deska Ys [mm]	L deska Ys [mm]	P deska Ys [mm]
0	0	50,0	2,51		0,00	
250	500	49,9	3,01		0,50	
<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>50,0</b>	<b>3,15</b>		<b>0,64</b>	
750	1500	50,0	3,23		0,72	
1000	2000	50,1	3,30		0,79	
<b>1250</b>	<b>2500</b>	<b>50,1</b>	<b>3,34</b>		<b>0,83</b>	
1500	3000	50,0	3,40		0,89	
1750	3500	50,0	3,46		0,95	
2000	4000	50,0	3,50		0,99	
2250	4500	50,0	3,53		1,02	
<b>2500</b>	<b>5000</b>	<b>50,1</b>	<b>3,57</b>		<b>1,06</b>	
2750	5500	50,2	3,60		1,09	
3000	6000	50,2	3,65		1,14	
3250	6500	50,1	3,68		1,17	
3500	7000	50,1	3,71		1,20	
3750	7500	50,1	3,74		1,23	
4000	8000	50,1	3,75		1,24	
4250	8500	50,2	3,78		1,27	
4500	9000	50,1	3,81		1,30	
4750	9500	50,1	3,83		1,32	
<b>5000</b>	<b>10000</b>	<b>50,1</b>	<b>3,85</b>		<b>1,34</b>	
5250	10500	50,1	3,87		1,36	
5500	11000	50,2	3,90		1,39	
5750	11500	50,2	3,90		1,39	
6000	12000	50,2	3,92		1,41	
6250	12500	50,2	3,94		1,43	
6500	13000	50,1	3,95		1,44	
6750	13500	50,1	3,95		1,44	
7000	14000	50,2	3,97		1,46	
7250	14500	50,2	3,99		1,48	
<b>7500</b>	<b>15000</b>	<b>50,1</b>	<b>4,00</b>		<b>1,49</b>	
7750	15500	50,2	4,01		1,50	
8000	16000	50,1	4,03		1,52	
8250	16500	50,1	4,04		1,53	
8500	17000	50,2	4,04		1,53	
8750	17500	50,2	4,05		1,54	
9000	18000	50,1	4,05		1,54	
9250	18500	50,1	4,07		1,56	
9500	19000	50,1	4,07		1,56	
9750	19500	50,2	4,08		1,57	
<b>10000</b>	<b>20000</b>	<b>50,1</b>	<b>4,09</b>		<b>1,58</b>	

## PROTOKOL TRVALÝCH DEFORMACÍ

Deska L: SAL 5, směs č. 4, 10.0% pojiva

TLoušťka desek: 30 mm

Deska P: -

Teplota hutnění: 155 °C

Datum poježdění: 18. 6. 2012

Počet cyklů	Počet pojezdů	Teplota [°C]	L deska Ys [mm]	P deska Ys [mm]	L deska Ys [mm]	P deska Ys [mm]
0	0	49,9	2,24		0,00	
250	500	49,9	2,49		0,25	
<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>50,0</b>	<b>2,52</b>		<b>0,28</b>	
750	1500	49,9	2,55		0,31	
1000	2000	50,0	2,58		0,34	
<b>1250</b>	<b>2500</b>	<b>50,0</b>	<b>2,60</b>		<b>0,36</b>	
1500	3000	50,1	2,61		0,37	
1750	3500	50,1	2,62		0,38	
2000	4000	50,0	2,64		0,40	
2250	4500	50,0	2,67		0,43	
<b>2500</b>	<b>5000</b>	<b>50,0</b>	<b>2,67</b>		<b>0,43</b>	
2750	5500	50,2	2,68		0,44	
3000	6000	50,0	2,68		0,44	
3250	6500	50,1	2,71		0,47	
3500	7000	50,2	2,72		0,48	
3750	7500	50,1	2,73		0,49	
4000	8000	50,2	2,74		0,50	
4250	8500	50,1	2,74		0,50	
4500	9000	50,1	2,74		0,50	
4750	9500	50,1	2,75		0,51	
<b>5000</b>	<b>10000</b>	<b>50,1</b>	<b>2,77</b>		<b>0,53</b>	
5250	10500	50,2	2,76		0,52	
5500	11000	50,1	2,76		0,52	
5750	11500	50,1	2,77		0,53	
6000	12000	50,2	2,77		0,53	
6250	12500	50,1	2,78		0,54	
6500	13000	50,2	2,80		0,56	
6750	13500	50,2	2,80		0,56	
7000	14000	50,2	2,80		0,56	
7250	14500	50,1	2,80		0,56	
<b>7500</b>	<b>15000</b>	<b>50,1</b>	<b>2,80</b>		<b>0,56</b>	
7750	15500	50,1	2,81		0,57	
8000	16000	50,2	2,80		0,56	
8250	16500	50,1	2,81		0,57	
8500	17000	50,1	2,81		0,57	
8750	17500	50,1	2,81		0,57	
9000	18000	50,1	2,83		0,59	
9250	18500	50,2	2,82		0,58	
9500	19000	50,1	2,83		0,59	
9750	19500	50,2	2,85		0,61	
<b>10000</b>	<b>20000</b>	<b>50,2</b>	<b>2,84</b>		<b>0,60</b>	

## PROTOKOL TRVALÝCH DEFORMACÍ

Deska L: Souvrství BBTM A 5 + SAL 5, Koliště (1)

Tloušťka desek: 60 mm

Deska P: -

Teplota hutnění: 155 °C

Datum poježdění: 19. 7. 2012

Počet cyklů	Počet pojezdů	Teplota [C°]	L deska Ys [mm]	P deska Ys [mm]	L deska Ys [mm]	P deska Ys [mm]
0	0	50,2	2,74		0,00	
250	500	50,0	3,14		0,40	
<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>49,9</b>	<b>3,24</b>		<b>0,50</b>	
750	1500	49,9	3,29		0,55	
1000	2000	50,0	3,35		0,61	
<b>1250</b>	<b>2500</b>	<b>50,0</b>	<b>3,40</b>		<b>0,66</b>	
1500	3000	50,0	3,47		0,73	
1750	3500	50,1	3,52		0,78	
2000	4000	50,0	3,60		0,86	
2250	4500	50,0	3,67		0,93	
<b>2500</b>	<b>5000</b>	<b>50,0</b>	<b>3,73</b>		<b>0,99</b>	
2750	5500	50,1	3,78		1,04	
3000	6000	50,1	3,86		1,12	
3250	6500	50,0	3,90		1,16	
3500	7000	50,1	3,97		1,23	
3750	7500	50,2	4,04		1,30	
4000	8000	50,1	4,08		1,34	
4250	8500	50,0	4,15		1,41	
4500	9000	50,1	4,21		1,47	
4750	9500	50,1	4,27		1,53	
<b>5000</b>	<b>10000</b>	<b>50,2</b>	<b>4,32</b>		<b>1,58</b>	
5250	10500	50,1	4,39		1,65	
5500	11000	50,1	4,45		1,71	
5750	11500	50,1	4,52		1,78	
6000	12000	50,1	4,57		1,83	
6250	12500	50,1	4,62		1,88	
6500	13000	50,2	4,67		1,93	
6750	13500	50,1	4,72		1,98	
7000	14000	50,1	4,77		2,03	
7250	14500	50,1	4,83		2,09	
<b>7500</b>	<b>15000</b>	<b>50,2</b>	<b>4,87</b>		<b>2,13</b>	
7750	15500	50,1	4,91		2,17	
8000	16000	50,1	4,96		2,22	
8250	16500	50,0	5,00		2,26	
8500	17000	50,2	5,05		2,31	
8750	17500	50,1	5,08		2,34	
9000	18000	50,1	5,12		2,38	
9250	18500	50,1	5,16		2,42	
9500	19000	50,2	5,21		2,47	
9750	19500	50,2	5,25		2,51	
<b>10000</b>	<b>20000</b>	<b>50,1</b>	<b>5,30</b>		<b>2,56</b>	



## PROTOKOL TRVALÝCH DEFORMACÍ

Deska L: Souvrství BBTM A 5 + SAL 5, Koliště (2)

Tloušťka desek: 60 mm

Deska P: -

Teplota hutnění: 155 °C

Datum poježdění: 26. 7. 2012

Počet cyklů	Počet pojezdů	Teplota [°C]	L deska Ys [mm]	P deska Ys [mm]	L deska Ys [mm]	P deska Ys [mm]
0	0	49,6	2,85		0,00	
250	500	49,9	3,23		0,38	
<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>49,9</b>	<b>3,28</b>		<b>0,43</b>	
750	1500	50,0	3,32		0,47	
1000	2000	50,0	3,36		0,51	
<b>1250</b>	<b>2500</b>	<b>50,1</b>	<b>3,38</b>		<b>0,53</b>	
1500	3000	50,0	3,41		0,56	
1750	3500	50,0	3,45		0,60	
2000	4000	50,1	3,48		0,63	
2250	4500	50,0	3,52		0,67	
<b>2500</b>	<b>5000</b>	<b>50,1</b>	<b>3,57</b>		<b>0,72</b>	
2750	5500	50,1	3,57		0,72	
3000	6000	50,1	3,58		0,73	
3250	6500	50,0	3,61		0,76	
3500	7000	50,1	3,63		0,78	
3750	7500	50,1	3,65		0,80	
4000	8000	50,0	3,68		0,83	
4250	8500	50,1	3,69		0,84	
4500	9000	50,1	3,71		0,86	
4750	9500	50,2	3,73		0,88	
<b>5000</b>	<b>10000</b>	<b>50,2</b>	<b>3,75</b>		<b>0,90</b>	
5250	10500	50,1	3,75		0,90	
5500	11000	50,1	3,76		0,91	
5750	11500	50,2	3,78		0,93	
6000	12000	50,3	3,80		0,95	
6250	12500	50,1	3,81		0,96	
6500	13000	50,1	3,82		0,97	
6750	13500	50,1	3,84		0,99	
7000	14000	50,2	3,85		1,00	
7250	14500	50,2	3,85		1,00	
<b>7500</b>	<b>15000</b>	<b>50,2</b>	<b>3,85</b>		<b>1,00</b>	
7750	15500	50,2	3,87		1,02	
8000	16000	50,1	3,87		1,02	
8250	16500	50,1	3,88		1,03	
8500	17000	50,1	3,89		1,04	
8750	17500	50,3	3,90		1,05	
9000	18000	50,1	3,91		1,06	
9250	18500	50,2	3,92		1,07	
9500	19000	50,1	3,93		1,08	
9750	19500	50,2	3,94		1,09	
<b>10000</b>	<b>20000</b>	<b>50,1</b>	<b>3,93</b>		<b>1,08</b>	



## **PŘÍLOHA 4**

### **Míra zhutnění jednotlivých zkušebních desek**

## MÍRA ZHUTNĚNÍ ZKUŠEBNÍCH DESEK

**Označení desky:** SAL 5 SMĚS2 s 50/70 + 19.5% (16,3%) Kovosteel

**Množství pojiva:** 10 %

**Teplota míchání směsi:** 170 °C

**Použití desky:** Zkouška trvalých deformací

**Teplota hutnění desky:** 155 °C

**Rozměry formy:**

šířka	délka	tloušťka	tl. plechu	objem
m	m	m	m	m <sup>3</sup>
0,261	0,322	0,03	0,0008	0,002454

**Navážka na desku:**

žádaná obj.hm. desky	korekce: přidat + ubrat -	teor.hm. směsi na desku	obsah asfaltu	hmotnost asfaltu	hmotnost kameniva
kg/m <sup>3</sup>	%	g	%	g	g
2157,6	0	5295	10,0	529	4765



SAL5, směs 2, 10% pojiva  
tloušťka 30 mm

frakce	původ	podíly	podíly	hmotnost
		%	-	g
filer	Mokrá	4,5	0,045	214
0-4	Luleč	45,8	0,458	2183
2-4	Luleč	49,7	0,497	2368
suma		100	1	4765

**Stanovení objemové hmotnosti pro nasycený suchý povrch (tělesa s uzavřeným povrchem):**

suchý vzorek	vzorek ve vodě	osušený vzorek	objemová hmotnost	žádaná obj.hmot.	míra zhutnění	max. obj.hmot.	mezerovitost
g	g	g	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	%
5271	2850	5303	2148,8	2174,7	98,8	2330,0	7,8

**Stanovení objemové hmotnosti z rozměrů:**

šířka desky	délka desky	tloušťka desky	suchý vzorek	objemová hmotnost	žádaná obj.hmot.	míra zhutnění	max. obj.hmot.	mezerovitost
mm	mm	mm	g	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	%
261,08	321,92	30,05	5271	2087,7	2157,6	96,8	2330,0	10,4
261,16	322,06	29,82						
261,04	322,30	29,76						
260,88		29,60						
		29,88						
		30,25						
		30,51						
		30,12						
		29,84						
		29,99						
		30,16						
		30,36						
261,04	322,09	30,03						

## MÍRA ZHUTNĚNÍ ZKUŠEBNÍCH DESEK

**Označení desky:** SAL 5 SMĚS2 s 50/70 + 19.5% (16,3%) Kovosteel

**Množství pojiva:** 10 %

**Teplota míchání směsi:** 170 °C

**Použití desky:** trámečky na pevnost za ohybu a relaxaci

**Teplota hutnění desky:** 155 °C

**Rozměry formy:**

šířka	délka	tloušťka	tl. plechu	objem
m	m	m	m	m <sup>3</sup>
0,261	0,322	0,04	0,0008	0,003294

**Navážka na desku:**

žádaná obj.hm. desky	korekce: přidat + ubrat -	teor.hm. směsi na desku	obsah asfaltu	hmotnost asfaltu	hmotnost kameniva
kg/m <sup>3</sup>	%	g	%	g	g
2157,6	0	7108	10,0	711	6397

frakce	původ	podíly	podíly	hmotnost
		%	-	g
filer	Mokrá	4,5	0,045	288
0-4	Luleč	45,8	0,458	2930
2-4	Luleč	49,7	0,497	3179
suma		100	100	1

**Stanovení objemové hmotnosti pro nasycený suchý povrch (tělesa s uzavřeným povrchem):**

suchý vzorek	vzorek ve vodě	osušený vzorek	objemová hmotnost	žádaná obj.hmot.	míra zhutnění	max. obj.hmot.	mezerovitost
g	g	g	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	%
7080	3863	7112	2179,1	2174,7	100,2	2330,0	6,5

**Stanovení objemové hmotnosti z rozměrů:**

šířka desky	délka desky	tloušťka desky	suchý vzorek	objemová hmotnost	žádaná obj.hmot.	míra zhutnění	max. obj.hmot.	mezerovitost
mm	mm	mm	g	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	%
260,90	321,70	39,37	7080	2120,9	2157,6	98,3	2330,0	9,0
261,00	322,08	39,34						
260,98	322,06	39,75						
261,18		39,68						
		39,98						
		39,91						
		39,70						
		39,85						
		39,96						
		40,11						
		39,50						
		39,54						
261,02	321,95	39,72						

## MÍRA ZHUTNĚNÍ ZKUŠEBNÍCH DESEK

**Označení desky:** SAL 5 SMĚS2 s 50/70 + 19.5% (16,3%) Kovosteel

**Množství pojiva:** 10 %

**Teplota míchání směsi:** 170 °C

**Použití desky:** trámečky na moduly a únavu (1)

**Teplota hutnění desky:** 155 °C

**Rozměry formy:**

šířka	délka	tloušťka	tl. plechu	objem
m	m	m	m	m <sup>3</sup>
0,261	0,322	0,04	0,0008	0,003294

**Navážka na desku:**

žádaná obj.hm. desky	korekce: přidat + ubrat -	teor.hm. směsi na desku	obsah asfaltu	hmotnost asfaltu	hmotnost kameniva
kg/m <sup>3</sup>	%	g	%	g	g
2157,6	0	7108	10,0	711	6397



SAL5, směs 2, 10% pojiva  
tloušťka 40 mm

frakce	původ	podíl	podíl	hmotnost
		%	-	g
filer	Mokrá	4,5	0,045	288
0-4	Luleč	45,8	0,458	2930
2-4	Luleč	49,7	0,497	3179
suma		100	100	1

**Stanovení objemové hmotnosti pro nasycený suchý povrch (tělesa s uzavřeným povrchem):**

suchý vzorek	vzorek ve vodě	osušený vzorek	objemová hmotnost	žádaná obj.hmot.	míra zhutnění	max. obj.hmot.	mezerovitost
g	g	g	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	%
7143	3919	7166	2199,9	2174,7	101,2	2330,0	5,6

**Stanovení objemové hmotnosti z rozměrů:**

šířka desky	délka desky	tloušťka desky	suchý vzorek	objemová hmotnost	žádaná obj.hmot.	míra zhutnění	max. obj.hmot.	mezerovitost
mm	mm	mm	g	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	%
261,00	321,54	39,75	7143	2136,7	2157,6	99,0	2330,0	8,3
261,14	322,10	39,45						
261,12	321,94	39,45						
261,16		40,05						
		39,95						
		39,85						
		39,85						
		39,95						
		39,65						
		39,65						
		39,95						
		39,80						
261,11	321,86	39,78						

## MÍRA ZHUTNĚNÍ ZKUŠEBNÍCH DESEK

**Označení desky:** SAL 5 SMĚS2 s 50/70 + 19.5% (16,3%) Kovosteel

**Množství pojiva:** 10 %

**Teplota míchání směsi:** 170 °C

**Použití desky:** trámečky na moduly a únavu (2)

**Teplota hutnění desky:** 155 °C

**Rozměry formy:**

šířka	délka	tloušťka	tl. plechu	objem
m	m	m	m	m <sup>3</sup>
0,261	0,322	0,04	0,0008	0,003294

**Navážka na desku:**

žádaná obj.hm. desky	korekce: přidat + ubrat -	teor.hm. směsi na desku	obsah asfaltu	hmotnost asfaltu	hmotnost kameniva
kg/m <sup>3</sup>	%	g	%	g	g
2157,6	0	7108	10,0	711	6397

frakce	původ	podíly	podíly	hmotnost
		%	-	g
filer	Mokrá	4,5	0,045	288
0-4	Luleč	45,8	0,458	2930
2-4	Luleč	49,7	0,497	3179
suma		100	100	1

**Stanovení objemové hmotnosti pro nasycený suchý povrch (tělesa s uzavřeným povrchem):**

suchý vzorek	vzorek ve vodě	osušený vzorek	objemová hmotnost	žádaná obj.hmot.	míra zhutnění	max. obj.hmot.	mezerovitost
g	g	g	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	%
7101	3857	7131	2168,9	2174,7	99,7	2330,0	6,9

**Stanovení objemové hmotnosti z rozměrů:**

šířka desky	délka desky	tloušťka desky	suchý vzorek	objemová hmotnost	žádaná obj.hmot.	míra zhutnění	max. obj.hmot.	mezerovitost
mm	mm	mm	g	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	%
260,88	322,02	39,70	7101	2117,6	2157,6	98,1	2330,0	9,1
260,70	322,10	39,80						
260,80	321,50	39,90						
260,72		39,80						
		40,25						
		40,10						
		39,85						
		40,40						
		40,05						
		39,90						
		39,65						
		40,00						
260,78	321,87	39,95						

## MÍRA ZHUTNĚNÍ ZKUŠEBNÍCH DESEK

**Označení desky:** SAL 5 SMĚŠ 2 s 50/70 + 19.5% (16,3%) Kovosteel

**Množství pojiva:** 10 %

**Teplota míchání směsi:** 170 °C

**Použití desky:** trámečky na moduly a únavu (3)

**Teplota hutnění desky:** 155 °C

**Rozměry formy:**

šířka	délka	tloušťka	tl. plechu	objem
m	m	m	m	m <sup>3</sup>
0,261	0,322	0,04	0,0008	0,003294

**Navážka na desku:**

žádaná obj.hm. desky	korekce: přidat + ubrat -	teor.hm. směsi na desku	obsah asfaltu	hmotnost asfaltu	hmotnost kameniva
kg/m <sup>3</sup>	%	g	%	g	g
2157,6	0	7108	10,0	711	6397

frakce	původ	podíly	podíly	hmotnost
		%	-	g
filer	Mokrý	4,5	0,045	288
0-4	Luleč	45,8	0,458	2930
2-4	Luleč	49,7	0,497	3179
suma		100	100	1



SAL5, směš 2, 10% pojiva  
tloušťka 40 mm

**Stanovení objemové hmotnosti pro nasycený suchý povrch (tělesa s uzavřeným povrchem):**

suchý vzorek	vzorek ve vodě	osušený vzorek	objemová hmotnost	žádaná obj.hmot.	míra zhutnění	max. obj.hmot.	mezerovitost
g	g	g	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	%
7085	3863	7119	2176,0	2174,7	100,1	2330,0	6,6

**Stanovení objemové hmotnosti z rozměrů:**

šířka desky	délka desky	tloušťka desky	suchý vzorek	objemová hmotnost	žádaná obj.hmot.	míra zhutnění	max. obj.hmot.	mezerovitost
mm	mm	mm	g	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	%
260,78	321,42	39,80	7085	2121,7	2157,6	98,3	2330,0	8,9
260,84	322,00	39,60						
260,64	322,20	39,75						
260,74		39,70						
		39,95						
		39,80						
		39,95						
		40,20						
		39,40						
		39,60						
		39,65						
		40,05						
260,75	321,87	39,79						

## MÍRA ZHUTNĚNÍ ZKUŠEBNÍCH DESEK

**Označení desky:** SAL 5 SMĚS2 s 50/70 + 19.5% (16,3%) Kovosteel

**Množství pojiva:** 10 %

**Teplota míchání směsi:** 170 °C

**Použití desky:** trámečky na nízkoteplotní charakteristiky

**Teplota hutnění desky:** 155 °C

**Rozměry formy:**

šířka	délka	tloušťka	tl. plechu	objem
m	m	m	m	m <sup>3</sup>
0,261	0,322	0,05	0,0008	0,004135

**Navážka na desku:**

žádaná obj.hm. desky	korekce: přidat + ubrat -	teor.hm. směsi na desku	obsah asfaltu	hmotnost asfaltu	hmotnost kameniva
kg/m <sup>3</sup>	%	g	%	g	g
2157,6	0	8921	10,0	892	8029

frakce	původ	podíly	podíly	hmotnost
		%	-	g
filer	Mokrá	4,5	0,045	361
0-4	Luleč	45,8	0,458	3677
2-4	Luleč	49,7	0,497	3991
suma		100	100	1

**Stanovení objemové hmotnosti pro nasycený suchý povrch (tělesa s uzavřeným povrchem):**

suchý vzorek	vzorek ve vodě	osušený vzorek	objemová hmotnost	žádaná obj.hmot.	míra zhutnění	max. obj.hmot.	mezerovitost
g	g	g	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	%
8890	4860	8935	2181,6	2157,6	101,1	2330,0	6,4

**Stanovení objemové hmotnosti z rozměrů:**

šířka desky	délka desky	tloušťka desky	suchý vzorek	objemová hmotnost	žádaná obj.hmot.	míra zhutnění	max. obj.hmot.	mezerovitost
mm	mm	mm	g	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	%
260,78	321,52	49,83	8890	2130,9	2157,6	98,8	2330,0	8,5
260,98	322,10	49,44						
261,00	321,90	49,41						
261,14		49,25						
		50,21						
		50,14						
		49,92						
		49,71						
		49,57						
		49,48						
		49,41						
260,98	321,84	49,67						



## MÍRA ZHUTNĚNÍ ZKUŠEBNÍCH DESEK

**Označení desky:** SAL 5 SMĚŠ2 s 50/70 + 19.5% (16,3%) Kovosteel

**Množství pojiva:** 12 %

**Teplota míchání směsi:** 170 °C

**Použití desky:** trvalé deformace

**Teplota hutnění desky:** 155 °C

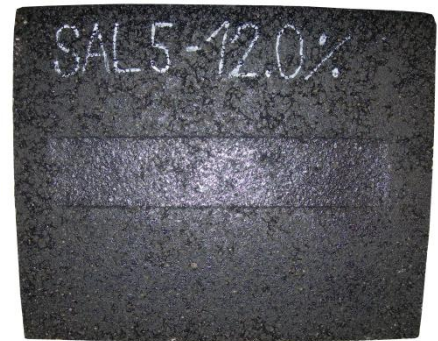
**Rozměry formy:**

šířka	délka	tloušťka	tl. plechu	objem
m	m	m	m	m <sup>3</sup>
0,261	0,322	0,03	0,0008	0,002454

**Navážka na desku:**

žádaná obj.hm. desky	korekce: přidat + ubrat -	teor.hm. směsi na desku	obsah asfaltu	hmotnost asfaltu	hmotnost kameniva
kg/m <sup>3</sup>	%	g	%	g	g
2163,1	0	5308	12,0	637	4671

frakce	původ	podíly	podíly	hmotnost
		%	-	g
filer	Mokrá	4,5	0,045	210
0-4	Luleč	45,8	0,458	2139
2-4	Luleč	49,7	0,497	2322
suma		100	100	1



SAL5, směs 2, 12% pojiva  
tloušťka 30 mm

**Stanovení objemové hmotnosti pro nasycený suchý povrch (tělesa s uzavřeným povrchem):**

suchý vzorek	vzorek ve vodě	osušený vzorek	objemová hmotnost	žádaná obj.hmot.	míra zhutnění	max. obj.hmot.	mezerovitost
g	g	g	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	%
5489	3021	5496	2217,8	2181,8	101,6	2274,0	2,5

**Stanovení objemové hmotnosti z rozměrů:**

šířka desky	délka desky	tloušťka desky	suchý vzorek	objemová hmotnost	žádaná obj.hmot.	míra zhutnění	max. obj.hmot.	mezerovitost
mm	mm	mm	g	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	%
260,94	322,06	29,45	5489	2187,2	2163,1	101,1	2274,0	3,8
260,90	321,30	29,45						
261,00	321,78	29,55						
261,18		29,70						
		29,60						
		30,20						
		29,95						
		30,40						
		30,25						
		30,15						
		29,95						
261,01	321,71	29,89						

## MÍRA ZHUTNĚNÍ ZKUŠEBNÍCH DESEK

**Označení desky:** SAL 5 SMĚS2 s 50/70 + 19.5% (16,3%) Kovosteel

**Množství pojiva:** 12 %

**Teplota míchání směsi:** 170 °C

**Použití desky:** trámečky na pevnost za ohybu a relaxaci

**Teplota hutnění desky:** 155 °C

**Rozměry formy:**

šířka	délka	tloušťka	tl. plechu	objem
m	m	m	m	m <sup>3</sup>
0,261	0,322	0,04	0,0008	0,003294

**Navážka na desku:**

žádaná obj.hm. desky	korekce: přidat + ubrat -	teor.hm. směsi na desku	obsah asfaltu	hmotnost asfaltu	hmotnost kameniva
kg/m <sup>3</sup>	%	g	%	g	g
2163,1	0	7126	12,0	855	6271

frakce	původ	podíly	podíly	hmotnost
		%	-	g
filer	Mokrý	4,5	0,045	282
0-4	Luleč	45,8	0,458	2872
2-4	Luleč	49,7	0,497	3117
suma		100	100	1

**Stanovení objemové hmotnosti pro nasycený suchý povrch (tělesa s uzavřeným povrchem):**

suchý vzorek	vzorek ve vodě	osušený vzorek	objemová hmotnost	žádaná obj.hmot.	míra zhutnění	max. obj.hmot.	mezerovitost
g	g	g	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	%
7097	3873	7115	2189,1	2181,8	100,3	2274,0	3,7

**Stanovení objemové hmotnosti z rozměrů:**

šířka desky	délka desky	tloušťka desky	suchý vzorek	objemová hmotnost	žádaná obj.hmot.	míra zhutnění	max. obj.hmot.	mezerovitost
mm	mm	mm	g	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	%
260,78	321,88	39,65	7097	2133,5	2163,1	98,6	2274,0	6,2
260,78	321,64	39,30						
260,78	321,30	39,35						
261,64		39,20						
		39,35						
		40,00						
		39,75						
		39,85						
		39,55						
		39,65						
		39,90						
		40,00						
261,00	321,61	39,63						

## MÍRA ZHUTNĚNÍ ZKUŠEBNÍCH DESEK

**Označení desky:** SAL 5 SMĚS2 s 50/70 + 19.5% (16,3%) Kovosteel

**Množství pojiva:** 12 %

**Teplota míchání směsi:** 170 °C

**Použití desky:** trámečky na nízkoteplotní charakteristiky

**Teplota hutnění desky:** 155 °C

**Rozměry formy:**

šířka	délka	tloušťka	tl. plechu	objem
m	m	m	m	m <sup>3</sup>
0,261	0,322	0,05	0,0008	0,004135

**Navážka na desku:**

žádaná obj.hm. desky	korekce: přidat + ubrat -	teor.hm. směsi na desku	obsah asfaltu	hmotnost asfaltu	hmotnost kameniva
kg/m <sup>3</sup>	%	g	%	g	g
2163,1	0	8944	12,0	1073	7871



SAL5, směs 2, 12% pojiva  
tloušťka 50 mm

frakce	původ	podíly	podíly	hmotnost
		%	-	g
filer	Mokrá	4,5	0,045	354
0-4	Luleč	45,8	0,458	3605
2-4	Luleč	49,7	0,497	3912
suma		100	100	1

**Stanovení objemové hmotnosti pro nasycený suchý povrch (tělesa s uzavřeným povrchem):**

suchý vzorek	vzorek ve vodě	osušený vzorek	objemová hmotnost	žádaná obj.hmot.	míra zhutnění	max. obj.hmot.	mezerovitost
g	g	g	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	%
8932	4879	8955	2191,4	2181,8	100,4	2274,0	3,6

**Stanovení objemové hmotnosti z rozměrů:**

šířka desky	délka desky	tloušťka desky	suchý vzorek	objemová hmotnost	žádaná obj.hmot.	míra zhutnění	max. obj.hmot.	mezerovitost
mm	mm	mm	g	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	%
260,66	321,58	49,15	8932	2149,2	2163,1	99,4	2274,0	5,5
260,68	321,88	49,45						
260,70	321,28	49,35						
260,78		49,70						
		49,85						
		49,85						
		49,50						
		49,80						
		49,55						
		49,65						
		49,60						
		49,40						
260,71	321,58	49,57						

## MÍRA ZHUTNĚNÍ ZKUŠEBNÍCH DESEK

**Označení desky:** SAL 5 SMĚS3 s 50/70 + 19.5% (16,3%) Kovosteel

**Množství pojiva:** 10 %

**Teplota míchání směsi:** 170 °C

**Použití desky:** trvalé deformace

**Teplota hutnění desky:** 155 °C

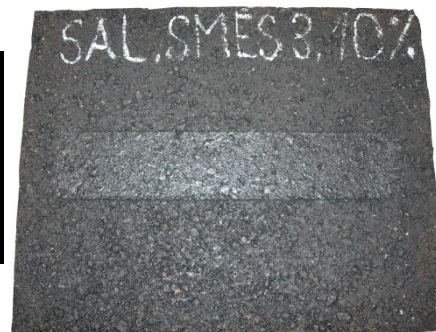
**Rozměry formy:**

šířka	délka	tloušťka	tl. plechu	objem
m	m	m	m	m <sup>3</sup>
0,261	0,322	0,03	0,0008	0,002454

**Navázka na desku:**

žádaná obj.hm. desky	korekce: přidat + ubrat -	teor.hm. směsi na desku	obsah asfaltu	hmotnost asfaltu	hmotnost kameniva
kg/m <sup>3</sup>	%	g	%	g	g
2241,1	0	5500	10,0	550	4950

frakce	původ	podíly	podíly	hmotnost
		%	-	g
filer	Mokrá	12,0	0,12	594
0-4	Luleč	74,0	0,74	3663
4-8	Luleč	14,0	0,14	693
suma		100	100	1



SAL5, směs 3, 10% pojiva  
tloušťka 30 mm

**Stanovení objemové hmotnosti pro nasycený suchý povrch (tělesa s uzavřeným povrchem):**

suchý vzorek	vzorek ve vodě	osušený vzorek	objemová hmotnost	žádaná obj.hmot.	míra zhutnění	max. obj.hmot.	mezerovitost
g	g	g	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	%
5516	3064	5527	2239,5	2262,2	99,0	2328,0	3,8

**Stanovení objemové hmotnosti z rozměrů:**

šířka desky	délka desky	tloušťka desky	suchý vzorek	objemová hmotnost	žádaná obj.hmot.	míra zhutnění	max. obj.hmot.	mezerovitost
mm	mm	mm	g	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	%
260,84	321,98	30,00	5516	2195,1	2241,1	97,9	2328,0	5,7
261,08	321,86	29,70						
260,92	321,44	29,75						
260,78		30,00						
		30,15						
		30,00						
		30,40						
		30,05						
		29,40						
		29,70						
		29,90						
		30,15						
260,91	321,76	29,93						

## MÍRA ZHUTNĚNÍ ZKUŠEBNÍCH DESEK

**Označení desky:** SAL 5 SMĚS3 s 50/70 + 19.5% (16,3%) Kovosteel

**Množství pojiva:** 10 %

**Teplota míchání směsi:** 170 °C

**Použití desky:** trámečky na pevnost za ohybu a relaxaci

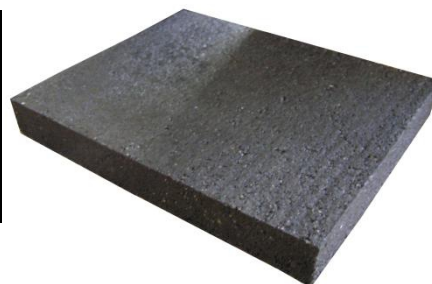
**Teplota hutnění desky:** 155 °C

**Rozměry formy:**

šířka	délka	tloušťka	tl. plechu	objem
m	m	m	m	m <sup>3</sup>
0,261	0,322	0,04	0,0008	0,003294

**Navážka na desku:**

žádaná obj.hm. desky	korekce: přidat + ubrat -	teor.hm. směsi na desku	obsah asfaltu	hmotnost asfaltu	hmotnost kameniva
kg/m <sup>3</sup>	%	g	%	g	g
2241,1	0	7383	10,0	738	6645



SAL5, směs 3, 10% pojiva  
tloušťka 40 mm

frakce	původ	podíly	podíly	hmotnost
		%	-	g
filer	Mokrá	12,0	0,12	797
0-4	Luleč	74,0	0,74	4917
4-8	Luleč	14,0	0,14	930
suma		100	100	1

**Stanovení objemové hmotnosti pro nasycený suchý povrch (tělesa s uzavřeným povrchem):**

suchý vzorek	vzorek ve vodě	osušený vzorek	objemová hmotnost	žádaná obj.hmot.	míra zhutnění	max. obj.hmot.	mezerovitost
g	g	g	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	%
7390	4122	7411	2246,9	2262,2	99,3	2328,0	3,5

**Stanovení objemové hmotnosti z rozměrů:**

šířka desky	délka desky	tloušťka desky	suchý vzorek	objemová hmotnost	žádaná obj.hmot.	míra zhutnění	max. obj.hmot.	mezerovitost
mm	mm	mm	g	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	%
260,82	321,28	39,75	7390	2207,1	2241,1	98,5	2328,0	5,2
260,80	321,66	39,70						
260,78	321,88	39,50						
260,78		39,80						
		40,00						
		40,05						
		39,80						
		40,20						
		39,95						
		40,15						
		39,85						
		40,30						
260,80	321,61	39,92						

## MÍRA ZHUTNĚNÍ ZKUŠEBNÍCH DESEK

**Označení desky:** SAL 5 SMĚS3 s 50/70 + 19.5% (16,3%) Kovosteel

**Množství pojiva:** 10 %

**Teplota míchání směsi:** 170 °C

**Použití desky:** trámečky na nízkoteplotní charakteristiky

**Teplota hutnění desky:** 155 °C

**Rozměry formy:**

šířka	délka	tloušťka	tl. plechu	objem
m	m	m	m	m <sup>3</sup>
0,261	0,322	0,05	0,0008	0,004135

**Navážka na desku:**

žádaná obj.hm. desky	korekce: přidat + ubrat -	teor.hm. směsi na desku	obsah asfaltu	hmotnost asfaltu	hmotnost kameniva
kg/m <sup>3</sup>	%	g	%	g	g
2241,1	0	9267	10,0	927	8340



SAL5, směs 3, 10% pojiva  
tloušťka 50 mm

frakce	původ	podíly	podíly	hmotnost
		%	-	g
filer	Mokrá	12,0	0,12	1001
0-4	Luleč	74,0	0,74	6172
4-8	Luleč	14,0	0,14	1168
suma		100	100	1

**Stanovení objemové hmotnosti pro nasycený suchý povrch (tělesa s uzavřeným povrchem):**

suchý vzorek	vzorek ve vodě	osušený vzorek	objemová hmotnost	žádaná obj.hmot.	míra zhutnění	max. obj.hmot.	mezerovitost
g	g	g	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	%
9282	5195	9312	2254,6	2262,2	99,7	2328,0	3,2

**Stanovení objemové hmotnosti z rozměrů:**

šířka desky	délka desky	tloušťka desky	suchý vzorek	objemová hmotnost	žádaná obj.hmot.	míra zhutnění	max. obj.hmot.	mezerovitost
mm	mm	mm	g	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	%
261,28	321,48	50,20	9282	2212,6	2241,1	98,7	2328,0	5,0
260,56	321,66	50,05						
260,66	321,96	49,85						
260,62		50,00						
		50,05						
		49,50						
		50,65						
		50,65						
		50,15						
		50,15						
		49,40						
		49,40						
260,78	321,70	50,00						

## MÍRA ZHUTNĚNÍ ZKUŠEBNÍCH DESEK

**Označení desky:** SAL 5 SMĚŠ4 s 50/70 + 19.5% (16,3%) Kovosteel

**Množství pojiva:** 10 %

**Teplota míchání směsi:** 170 °C

**Použití desky:** trvalé deformace

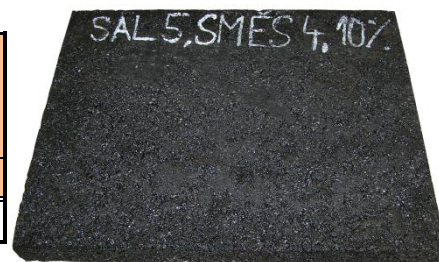
**Teplota hutnění desky:** 155 °C

**Rozměry formy:**

šířka	délka	tloušťka	tl. plechu	objem
m	m	m	m	m <sup>3</sup>
0,261	0,322	0,03	0,0008	0,002454

**Navázka na desku:**

žádaná obj.hm. desky	korekce: přidat + ubrat -	teor.hm. směsi na desku	obsah asfaltu	hmotnost asfaltu	hmotnost kameniva
kg/m <sup>3</sup>	%	g	%	g	g
2163,3	0	5309	10,0	531	4778



SAL5, směš 4, 10% pojiva  
tloušťka 30 mm

frakce	původ	podíly	podíly	hmotnost
		%	-	g
filer	Mokrá	6	0,06	287
0-4	Luleč	12	0,12	573
2-4	Luleč	52	0,52	2485
suma		100	30	0,3

**Stanovení objemové hmotnosti pro nasycený suchý povrch (tělesa s uzavřeným povrchem):**

suchý vzorek	vzorek ve vodě	osušený vzorek	objemová hmotnost	žádaná obj.hmot.	míra zhutnění	max. obj.hmot.	mezerovitost
g	g	g	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	%
5518	3056	5532	2228,6	2186,9	101,9	2323,0	4,1

**Stanovení objemové hmotnosti z rozměrů:**

šířka desky	délka desky	tloušťka desky	suchý vzorek	objemová hmotnost	žádaná obj.hmot.	míra zhutnění	max. obj.hmot.	mezerovitost
mm	mm	mm	g	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	%
261,14	322,10	30,60	5518	2175,8	2163,3	100,6	2323,0	6,3
261,18	322,16	30,15						
261,02	321,48	30,00						
261,00		29,75						
		30,30						
		30,45						
		30,25						
		30,50						
		29,75						
		30,05						
		30,30						
		30,00						
261,14	322,10	30,60						

## MÍRA ZHUTNĚNÍ ZKUŠEBNÍCH DESEK

**Označení desky:** SAL 5 – odběr z Koliště (17. 7. 2012)

**Množství pojiva:** -

**Teplota míchání směsi:** 170 °C

**Použití desky:** trámečky na nízkoteplotní charakteristiky

**Teplota hutnění desky:** 155 °C

**Rozměry formy:**

šířka	délka	tloušťka	tl. plechu	objem
m	m	m	m	m <sup>3</sup>
0,261	0,322	0,05	0,0008	0,004135

**Navážka na desku:**

žádaná obj.hm. desky	korekce: přidat + ubrat -	teor.hm. směsi na desku	obsah asfaltu	hmotnost asfaltu	hmotnost kameniva
kg/m <sup>3</sup>	%	g	%	g	g
2263,0	0	9357	10,0	936	8421



SAL5 - odběr z Koliště  
tloušťka 50 mm

frakce	původ	podíly	podíly	hmotnost
		%	-	g

**Stanovení objemové hmotnosti pro nasycený suchý povrch (tělesa s uzavřeným povrchem):**

suchý vzorek	vzorek ve vodě	osušený vzorek	objemová hmotnost	žádaná obj.hmot.	míra zhutnění	max. obj.hmot.	mezerovitost
g	g	g	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	%
9345	5275	9357	2289,3	2263,0	101,2	2323,0	1,4

**Stanovení objemové hmotnosti z rozměrů:**

šířka desky	délka desky	tloušťka desky	suchý vzorek	objemová hmotnost	žádaná obj.hmot.	míra zhutnění	max. obj.hmot.	mezerovitost
mm	mm	mm	g	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	%
260,86	321,76	49,60	9345	2233,0	2263,0	98,7	2323,0	3,9
260,56	321,78	49,70						
260,54	321,20	49,85						
260,62		50,00						
		50,25						
		49,90						
		49,95						
		50,40						
		50,05						
		49,90						
		49,50						
		50,05						
260,65	321,58	49,93						



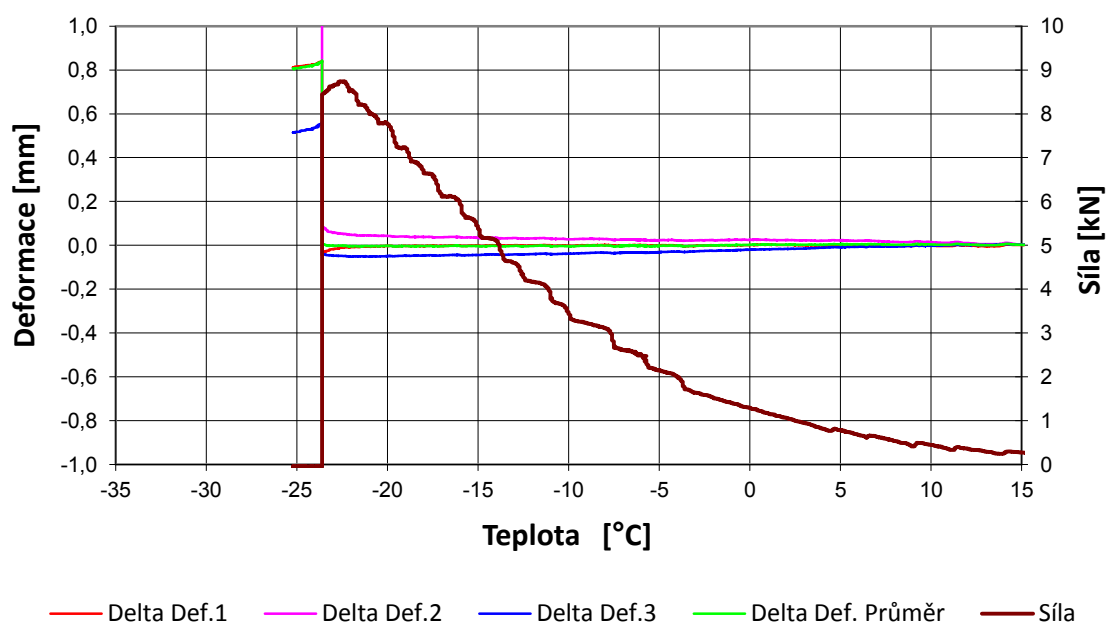


## **PŘÍLOHA 5**

**Zkouška odolnosti asfaltové směsi proti vzniku mrazových trhlin**

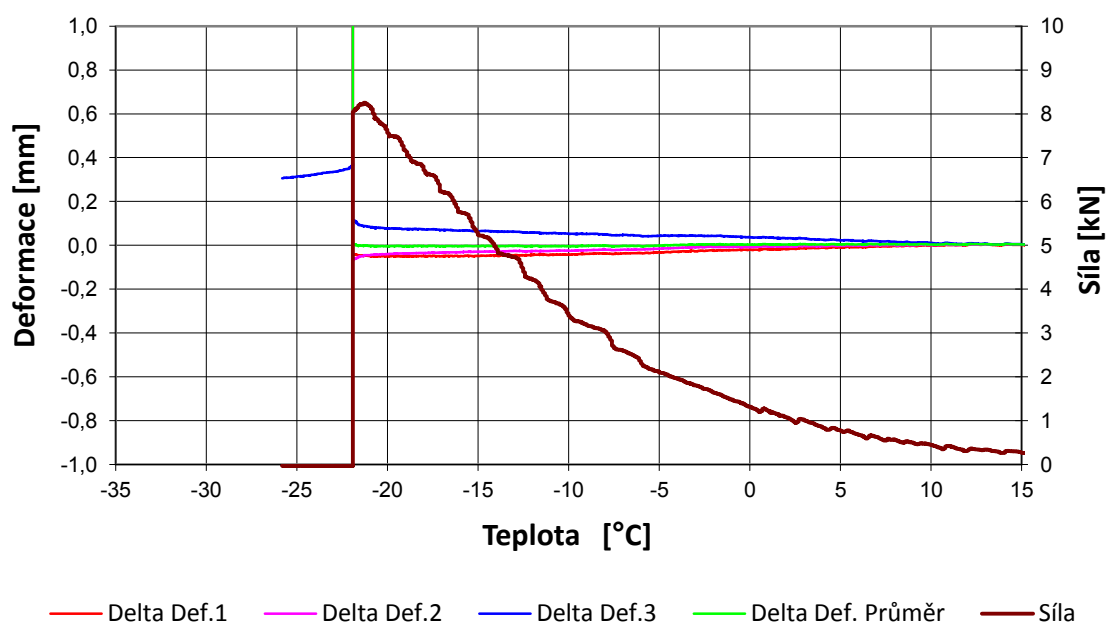
## ZKOUŠKA ODOLNOSTI ASFALTOVÉ SMĚSI PROTI VZNIKU MRAZOVÝCH TRHLIN

Akce		Diplomová práce
Asfaltová směs		SAL 5, 10.0%, vzorek 1.2
Rozměry zkušebního tělesa	mm	49.3 x 49.3 x 200.0
Datum zkoušky		8. 3. 2012
Zkoušku provedl		Pavel Coufalík
Teplota temperování	°C	10
Doba temperování	min.	15
Rychlost ochlazování	°C/hod	10
Max. síla při porušení	kN	8,74
Max. napětí při porušení	MPa	3,60
Teplota v komoře při porušení	°C	-26,7
Teplota vzorku při porušení	°C	-22,6



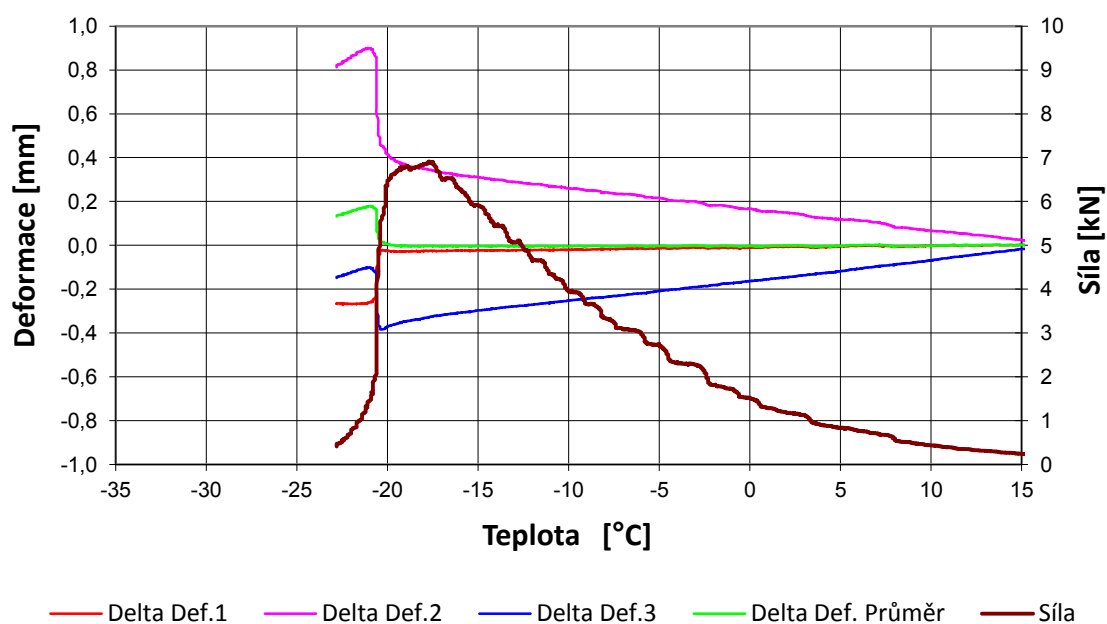
## ZKOUŠKA ODOLNOSTI ASFALTOVÉ SMĚSI PROTI VZNIKU MRAZOVÝCH TRHLIN

Akce		Diplomová práce
Asfaltová směs		SAL 5, 10.0%, vzorek 1.3
Rozměry zkušebního tělesa	mm	49.6 x 49.6 x 200.0
Datum zkoušky		9. 3. 2012
Zkoušku provedl		Pavel Coufalík
Teplota temperování	°C	10
Doba temperování	min.	15
Rychlost ochlazování	°C/hod	10
Max. síla při porušení	kN	8,26
Max. napětí při porušení	MPa	3,36
Teplota v komoře při porušení	°C	-25,5
Teplota vzorku při porušení	°C	-21,3



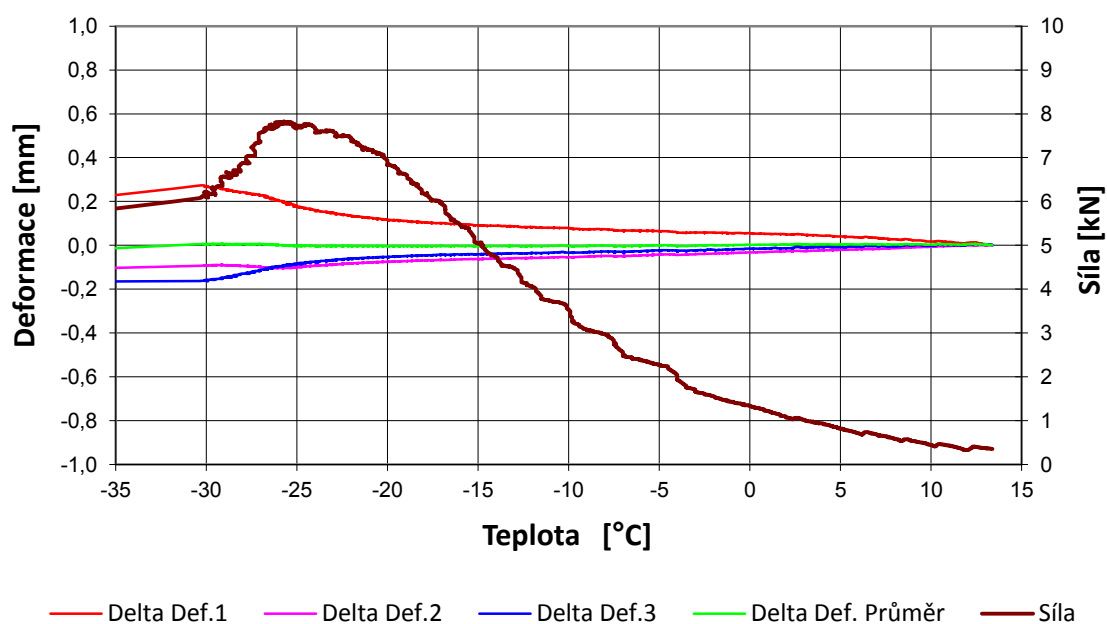
## ZKOUŠKA ODOLNOSTI ASFALTOVÉ SMĚSI PROTI VZNIKU MRAZOVÝCH TRHLIN

Akce		Diplomová práce
Asfaltová směs		SAL 5, 10.0%, vzorek 1.4
Rozměry zkušebního tělesa	mm	50.0 x 50.0 x 200.0
Datum zkoušky		1. 6. 2012
Zkoušku provedl		Pavel Coufalík
Teplota temperování	°C	10
Doba temperování	min.	15
Rychlost ochlazování	°C/hod	10
Max. síla při porušení	kN	6,92
Max. napětí při porušení	MPa	2,77
Teplota v komoře při porušení	°C	-20,5
Teplota vzorku při porušení	°C	-17,7



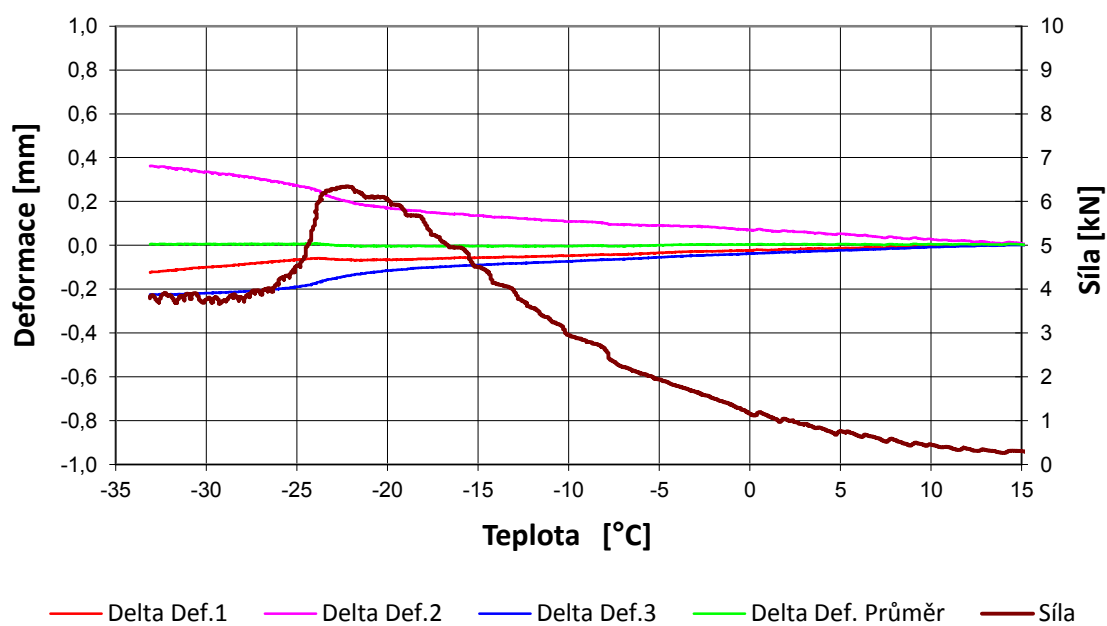
## ZKOUŠKA ODOLNOSTI ASFALTOVÉ SMĚSI PROTI VZNIKU MRAZOVÝCH TRHLIN

Akce		Diplomová práce
Asfaltová směs		SAL 5, 10.0%, vzorek 2.2
Rozměry zkušebního tělesa	mm	49.7 x 49.7 x 200.0
Datum zkoušky		15. 6. 2012
Zkoušku provedl		Pavel Coufalík
Teplota temperování	°C	10
Doba temperování	min.	15
Rychlost ochlazování	°C/hod	10
Max. síla při porušení	kN	7,83
Max. napětí při porušení	MPa	3,17
Teplota v komoře při porušení	°C	-27,3
Teplota vzorku při porušení	°C	-25,7



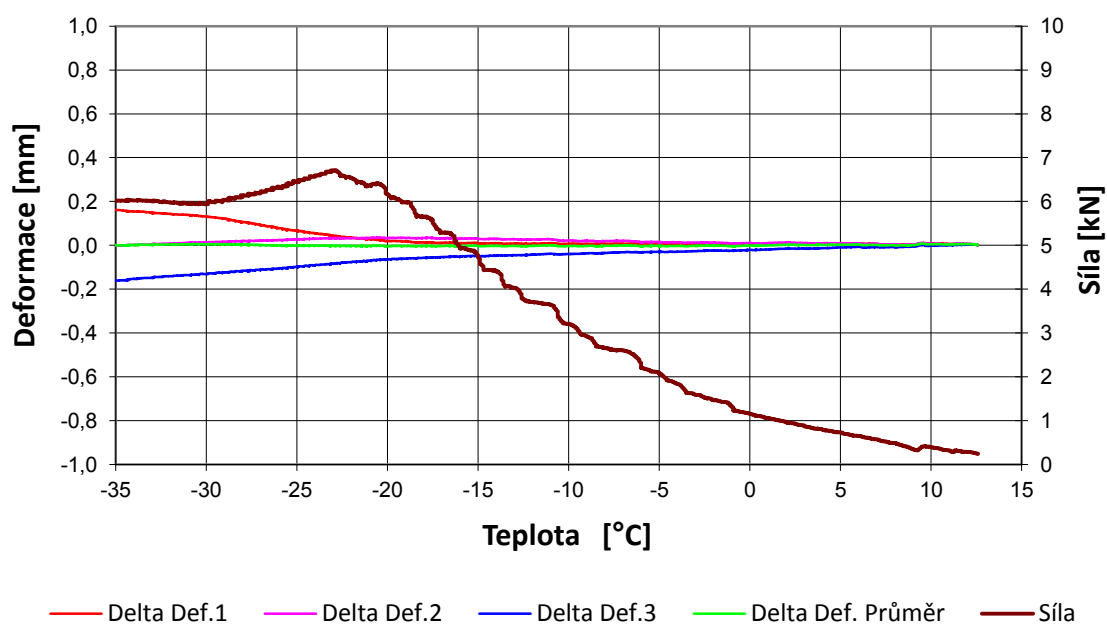
## ZKOUŠKA ODOLNOSTI ASFALTOVÉ SMĚSI PROTI VZNIKU MRAZOVÝCH TRHLIN

Akce		Diplomová práce
Asfaltová směs		SAL 5, 10.0%, vzorek 2.3
Rozměry zkušebního tělesa	mm	49.5 x 50.3 x 199.3
Datum zkoušky		26. 6. 2012
Zkoušku provedl		Pavel Coufalík
Teplota temperování	°C	10
Doba temperování	min.	15
Rychlost ochlazování	°C/hod	10
Max. síla při porušení	kN	6,35
Max. napětí při porušení	MPa	2,55
Teplota v komoře při porušení	°C	-26,0
Teplota vzorku při porušení	°C	-22,2



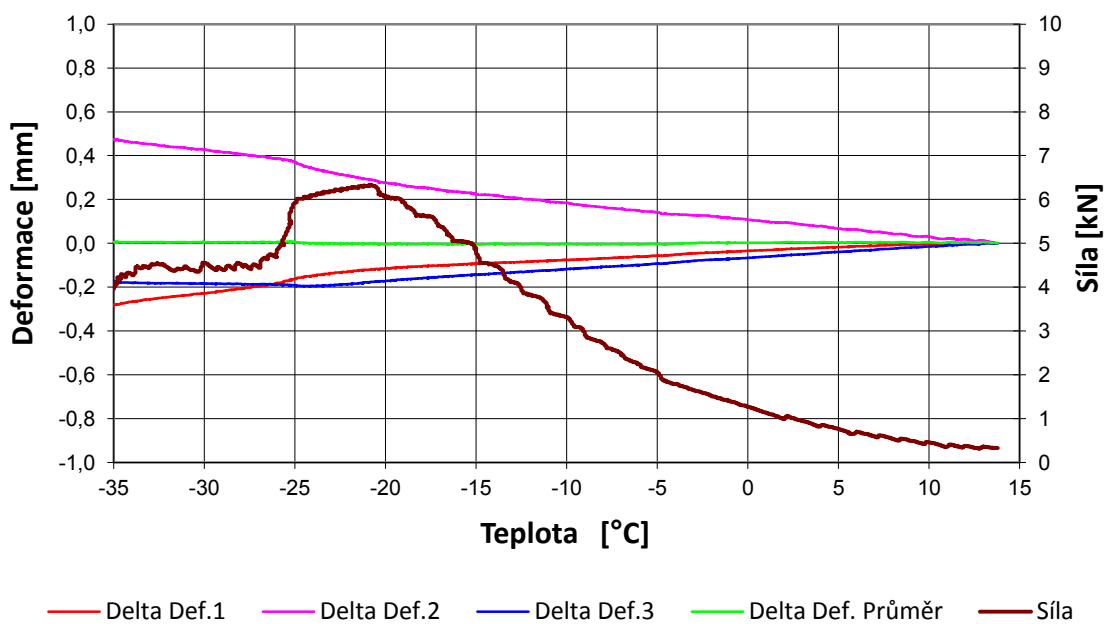
## ZKOUŠKA ODOLNOSTI ASFALTOVÉ SMĚSI PROTI VZNIKU MRAZOVÝCH TRHLIN

Akce		Diplomová práce
Asfaltová směs		SAL 5, 10.0%, vzorek 2.4
Rozměry zkušebního tělesa	mm	49.5 x 50.3 x 199.4
Datum zkoušky		27. 6. 2012
Zkoušku provedl		Pavel Coufalík
Teplota temperování	°C	10
Doba temperování	min.	15
Rychlost ochlazování	°C/hod	10
Max. síla při porušení	kN	6,71
Max. napětí při porušení	MPa	2,69
Teplota v komoře při porušení	°C	-26,8
Teplota vzorku při porušení	°C	-23,1



## ZKOUŠKA ODOLNOSTI ASFALTOVÉ SMĚSI PROTI VZNIKU MRAZOVÝCH TRHLIN

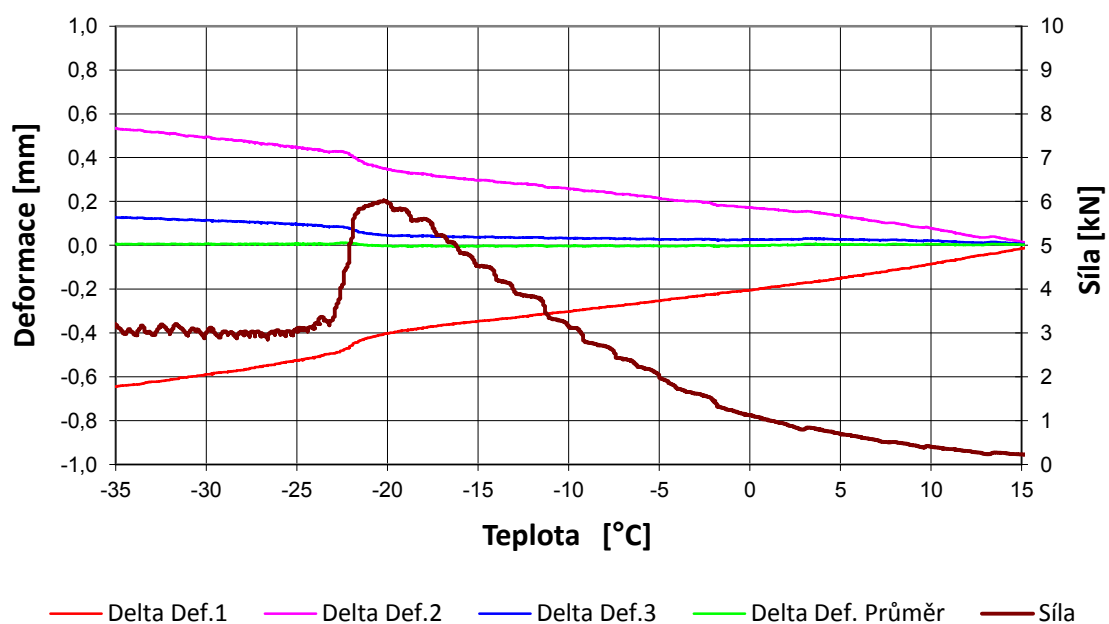
Akce		Diplomová práce
Asfaltová směs		SAL 5, 12.0%, vzorek 2.12
Rozměry zkušebního tělesa	mm	50.8 x 49.6 x 199.6
Datum zkoušky		10. 7. 2012
Zkoušku provedl		Pavel Coufalík
Teplota temperování	°C	10
Doba temperování	min.	15
Rychlost ochlazování	°C/hod	10
Max. síla při porušení	kN	6,34
Max. napětí při porušení	MPa	2,52
Teplota v komoře při porušení	°C	-24,6
Teplota vzorku při porušení	°C	-20,8





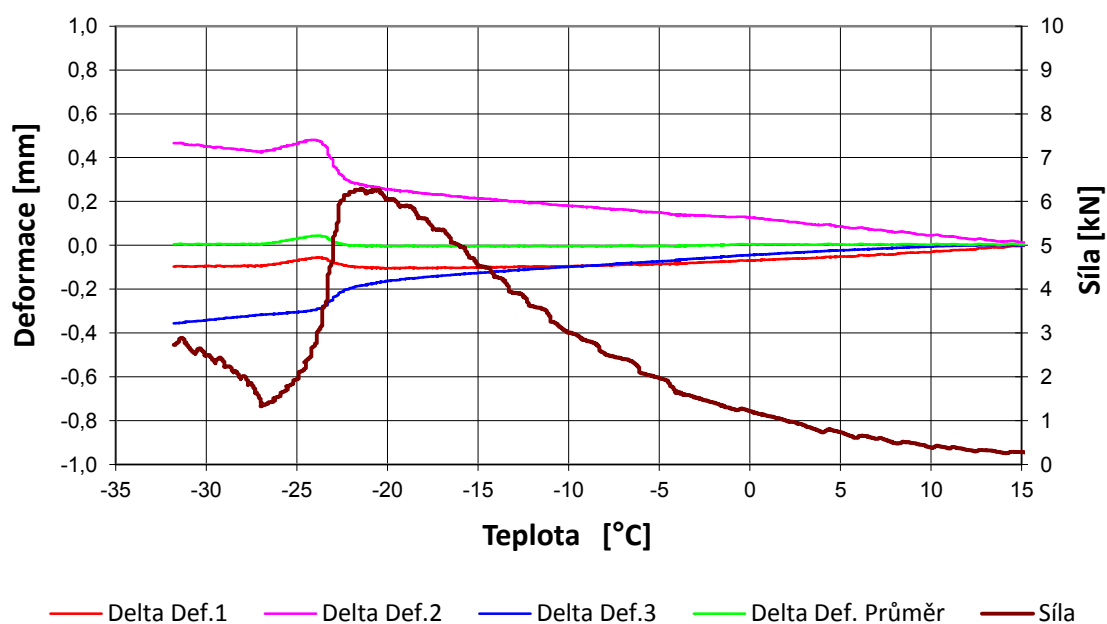
## ZKOUŠKA ODOLNOSTI ASFALTOVÉ SMĚSI PROTI VZNIKU MRAZOVÝCH TRHLIN

Akce		Diplomová práce
Asfaltová směs		SAL 5, 12.0%, vzorek 2.13
Rozměry zkušebního tělesa	mm	50.5 x 49.5 x 200.0
Datum zkoušky		28. 6. 2012
Zkoušku provedl		Pavel Coufalík
Teplota temperování	°C	10
Doba temperování	min.	15
Rychlost ochlazování	°C/hod	10
Max. síla při porušení	kN	6,03
Max. napětí při porušení	MPa	2,41
Teplota v komoře při porušení	°C	-22,0
Teplota vzorku při porušení	°C	-20,2



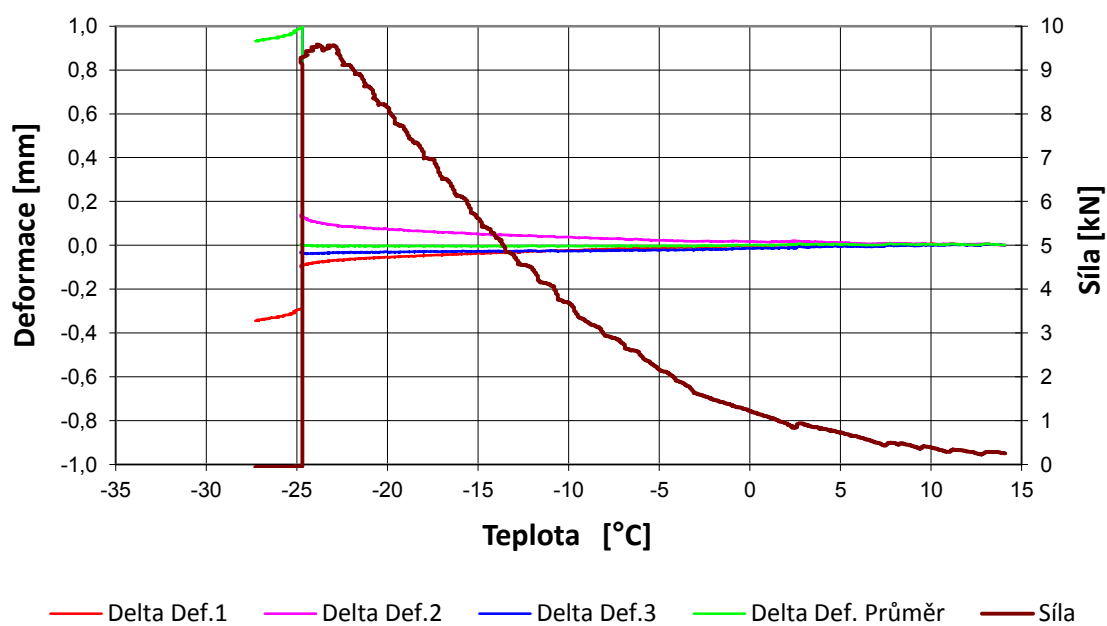
## ZKOUŠKA ODOLNOSTI ASFALTOVÉ SMĚSI PROTI VZNIKU MRAZOVÝCH TRHLIN

Akce		Diplomová práce
Asfaltová směs		SAL 5, 12.0%, vzorek 2.15
Rozměry zkušebního tělesa	mm	49.2 x 49.5 x 198.7
Datum zkoušky		9. 7. 2012
Zkoušku provedl		Pavel Coufalík
Teplota temperování	°C	10
Doba temperování	min.	15
Rychlost ochlazování	°C/hod	10
Max. síla při porušení	kN	6,29
Max. napětí při porušení	MPa	2,58
Teplota v komoře při porušení	°C	-25,7
Teplota vzorku při porušení	°C	-21,4



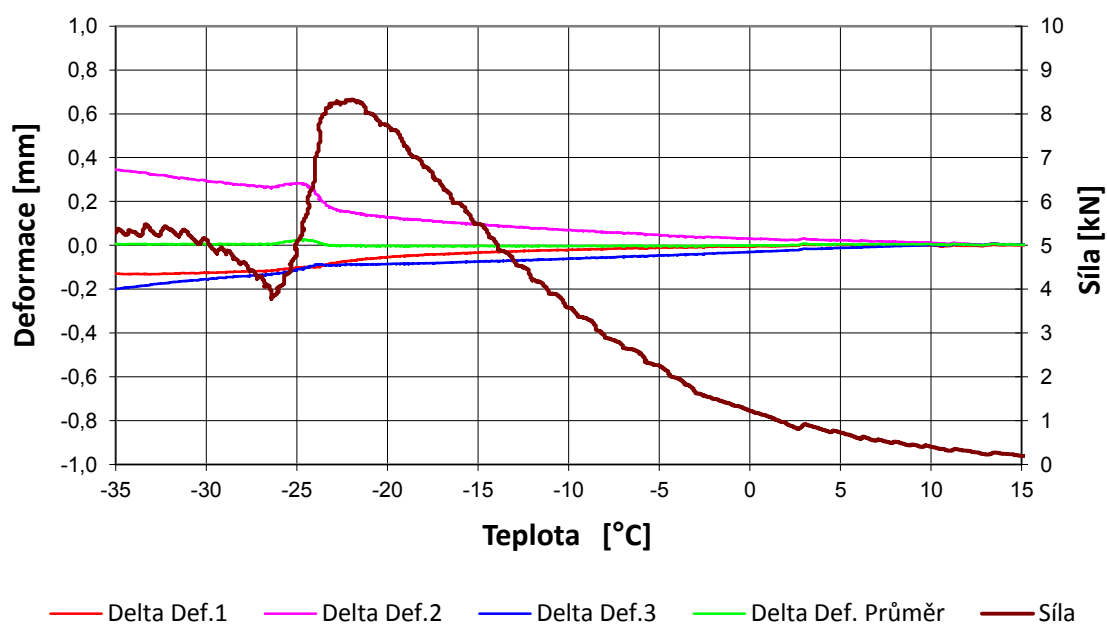
## ZKOUŠKA ODOLNOSTI ASFALTOVÉ SMĚSI PROTI VZNIKU MRAZOVÝCH TRHLIN

Akce		Diplomová práce
Asfaltová směs		SAL 5, 10.0%, vzorek 3.2
Rozměry zkušebního tělesa	mm	50.4 x 51.0 x 200.5
Datum zkoušky		13. 7. 2012
Zkoušku provedl		Pavel Coufalík
Teplota temperování	°C	10
Doba temperování	min.	15
Rychlost ochlazování	°C/hod	10
Max. síla při porušení	kN	9,58
Max. napětí při porušení	MPa	3,73
Teplota v komoře při porušení	°C	-27,3
Teplota vzorku při porušení	°C	-23,9



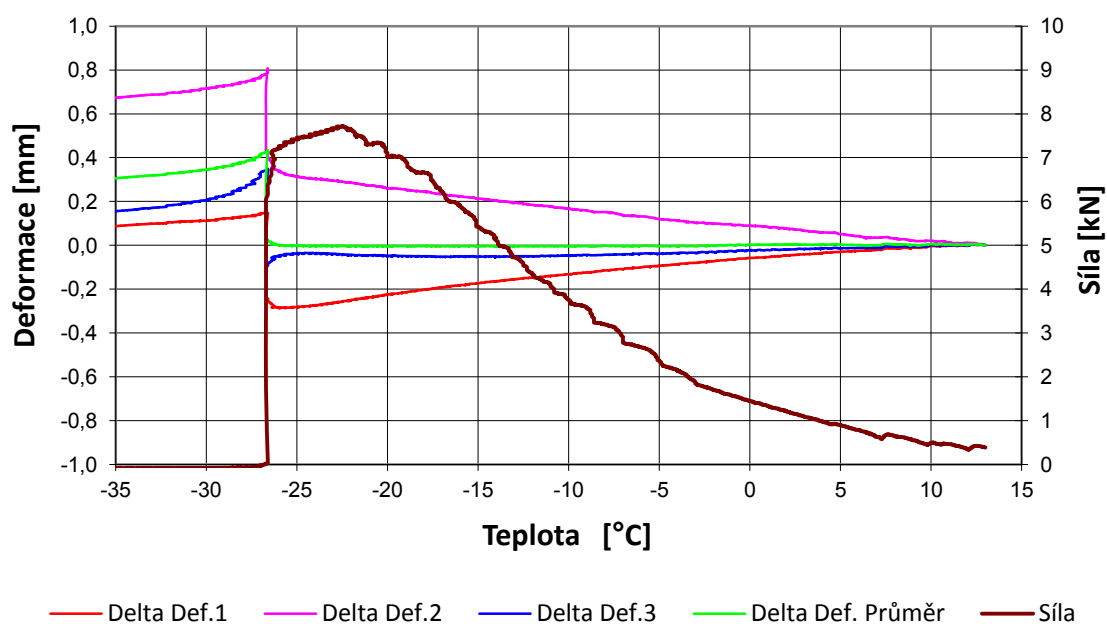
## ZKOUŠKA ODOLNOSTI ASFALTOVÉ SMĚSI PROTI VZNIKU MRAZOVÝCH TRHLIN

Akce		Diplomová práce
Asfaltová směs		SAL 5, 10.0%, vzorek 3.4
Rozměry zkušebního tělesa	mm	49.6 x 50.6 x 200.7
Datum zkoušky		11. 7. 2012
Zkoušku provedl		Pavel Coufalík
Teplota temperování	°C	10
Doba temperování	min.	15
Rychlost ochlazování	°C/hod	10
Max. síla při porušení	kN	8,33
Max. napětí při porušení	MPa	3,32
Teplota v komoře při porušení	°C	-25,8
Teplota vzorku při porušení	°C	-22,0



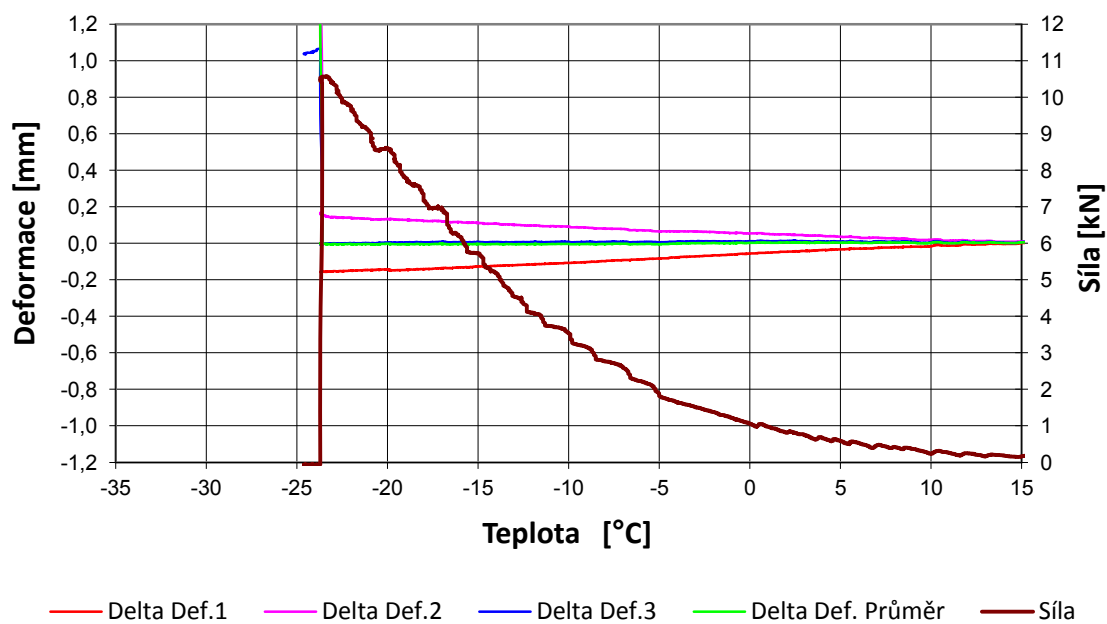
## ZKOUŠKA ODOLNOSTI ASFALTOVÉ SMĚSI PROTI VZNIKU MRAZOVÝCH TRHLIN

Akce		Diplomová práce
Asfaltová směs		SAL 5, 10.0%, vzorek 3.5
Rozměry zkušebního tělesa	mm	49.7 x 50.6 x 201.0
Datum zkoušky		16. 7. 2012
Zkoušku provedl		Pavel Coufalík
Teplota temperování	°C	10
Doba temperování	min.	15
Rychlost ochlazování	°C/hod	10
Max. síla při porušení	kN	7,73
Max. napětí při porušení	MPa	3,07
Teplota v komoře při porušení	°C	-25,8
Teplota vzorku při porušení	°C	-22,5



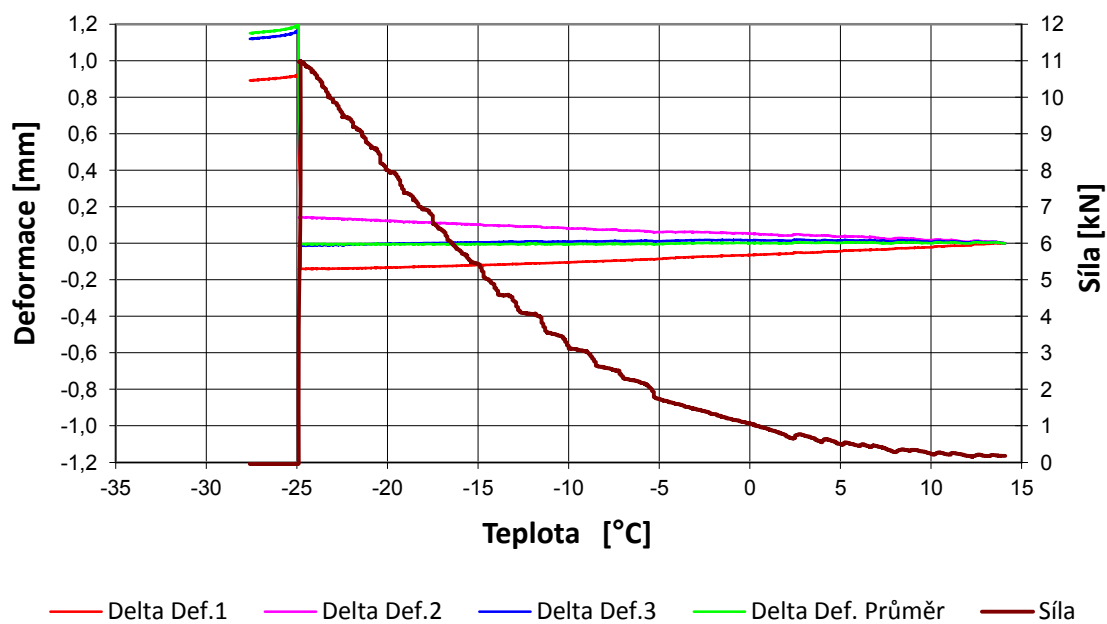
## ZKOUŠKA ODOLNOSTI ASFALTOVÉ SMĚSI PROTI VZNIKU MRAZOVÝCH TRHLIN

Akce		Diplomová práce
Asfaltová směs		SAL 5, Koliště, vzorek 5.2
Rozměry zkušebního tělesa	mm	49.6 x 49.9 x 199.4
Datum zkoušky		9. 8. 2012
Zkoušku provedl		Pavel Coufalík
Teplota temperování	°C	10
Doba temperování	min.	15
Rychlost ochlazování	°C/hod	10
Max. síla při porušení	kN	10,57
Max. napětí při porušení	MPa	4,27
Teplota v komoře při porušení	°C	-26,7
Teplota vzorku při porušení	°C	-23,4



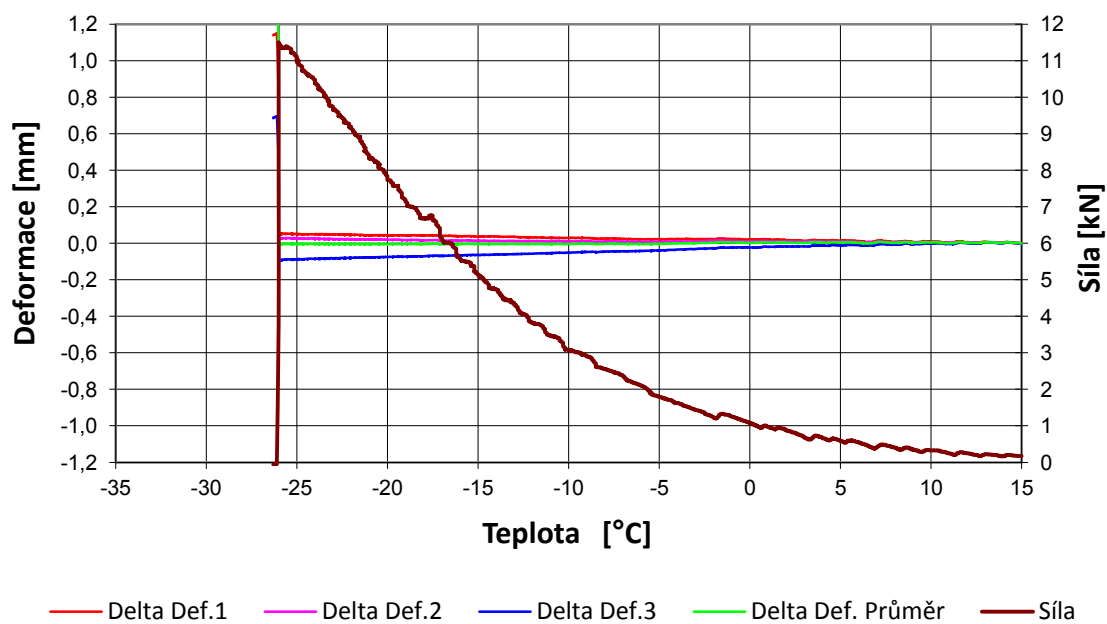
## ZKOUŠKA ODOLNOSTI ASFALTOVÉ SMĚSI PROTI VZNIKU MRAZOVÝCH TRHLIN

Akce		Diplomová práce
Asfaltová směs		SAL 5, Koliště, vzorek 5.3
Rozměry zkušebního tělesa	mm	50.1 x 49.7 x 199.8
Datum zkoušky		8. 8. 2012
Zkoušku provedl		Pavel Coufalík
Teplota temperování	°C	10
Doba temperování	min.	15
Rychlost ochlazování	°C/hod	10
Max. síla při porušení	kN	10,99
Max. napětí při porušení	MPa	4,42
Teplota v komoře při porušení	°C	-26,9
Teplota vzorku při porušení	°C	-24,8



## ZKOUŠKA ODOLNOSTI ASFALTOVÉ SMĚSI PROTI VZNIKU MRAZOVÝCH TRHLIN

Akce		Diplomová práce
Asfaltová směs		SAL 5, Koliště, vzorek 5.4
Rozměry zkušebního tělesa	mm	50.4 x 49.9 x 200.0
Datum zkoušky		10. 8. 2012
Zkoušku provedl		Pavel Coufalík
Teplota temperování	°C	10
Doba temperování	min.	15
Rychlost ochlazování	°C/hod	10
Max. síla při porušení	kN	11,50
Max. napětí při porušení	MPa	4,57
Teplota v komoře při porušení	°C	-29,1
Teplota vzorku při porušení	°C	-26,0



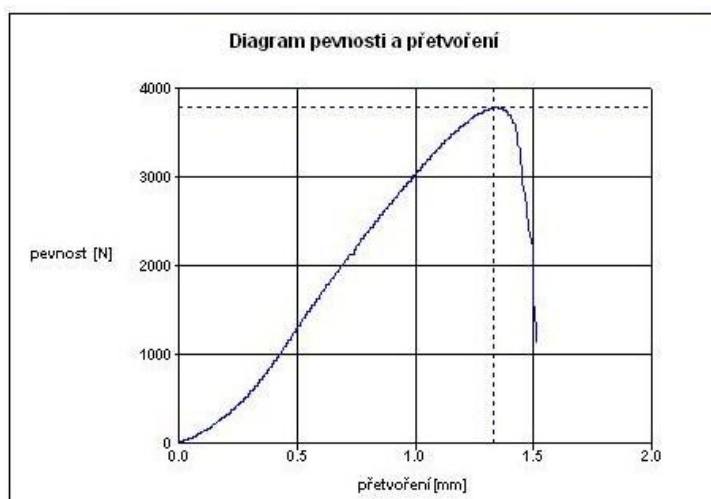




## **PŘÍLOHA 6**

### **Protokoly z výsledku zkoušky v tahu za ohybu**

## SMĚS 1, 10 % pojiva



datum: 5.4.2012

čas: 25:41:53

číslo vzorku:

SAL CRmB 1

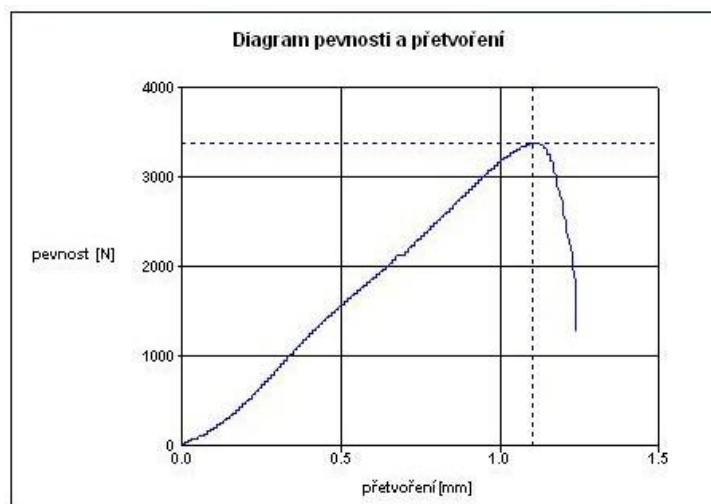
citlivost pevnosti

3787 N

Bruch-Weg(e):

1,33 mm

Diagram pevnosti a přetvoření, vzorek 1



datum: 5.4.2012

čas: 25:46:22

číslo vzorku:

SAL CRmB 2

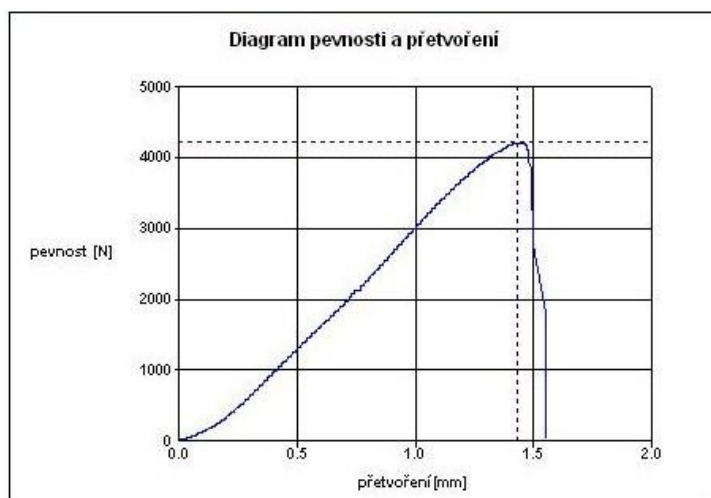
citlivost pevnosti

3383 N

Bruch-Weg(e):

1,1 mm

Diagram pevnosti a přetvoření, vzorek 2



datum: 5.4.2012

čas: 25:51:28

číslo vzorku:

SAL CRmB 3

citlivost pevnosti

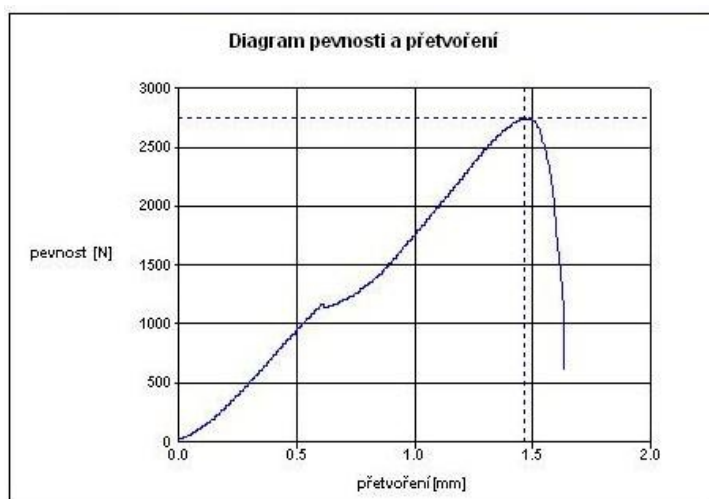
4218 N

Bruch-Weg(e):

1,43 mm

Diagram pevnosti a přetvoření, vzorek 3

## SMĚS 2, 10 % pojiva



datum: 10.7.2012

čas: 27:13:49

číslo vzorku:

smes2.1

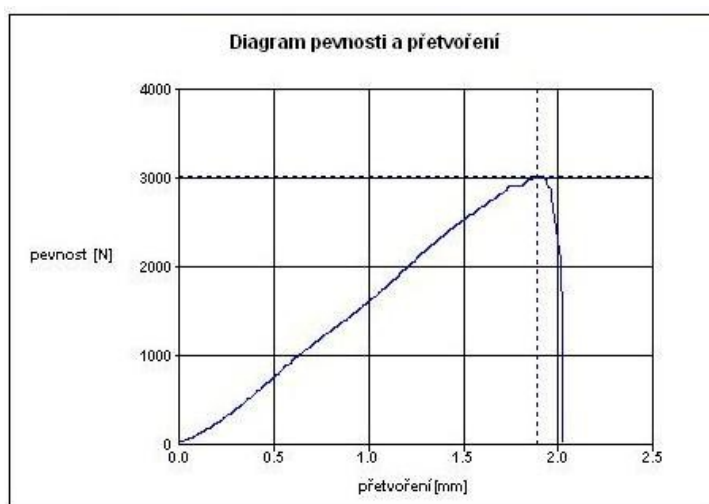
citlivost pevnosti

2742 N

Bruch-Weg(e):

1,46 mm

Diagram pevnosti a přetvoření, vzorek 2.1



datum: 11.7.2012

čas: 21:00:41

číslo vzorku:

smes 2.3

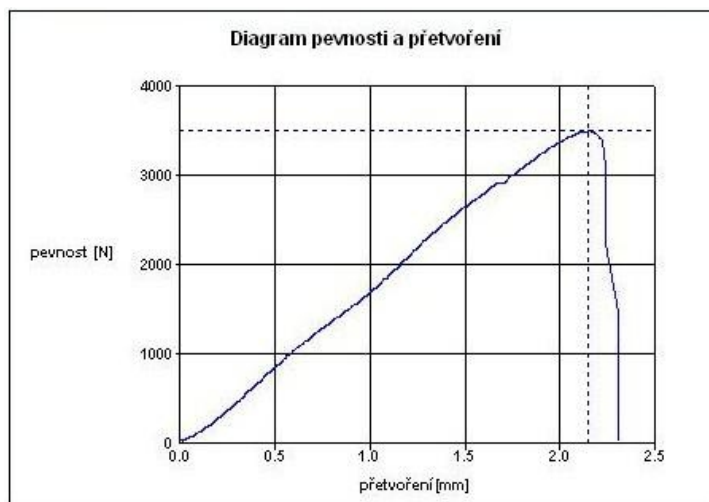
citlivost pevnosti

3022 N

Bruch-Weg(e):

1,89 mm

Diagram pevnosti a přetvoření, vzorek 2.3



datum: 11.7.2012

čas: 20:56:29

číslo vzorku:

smes 2.5

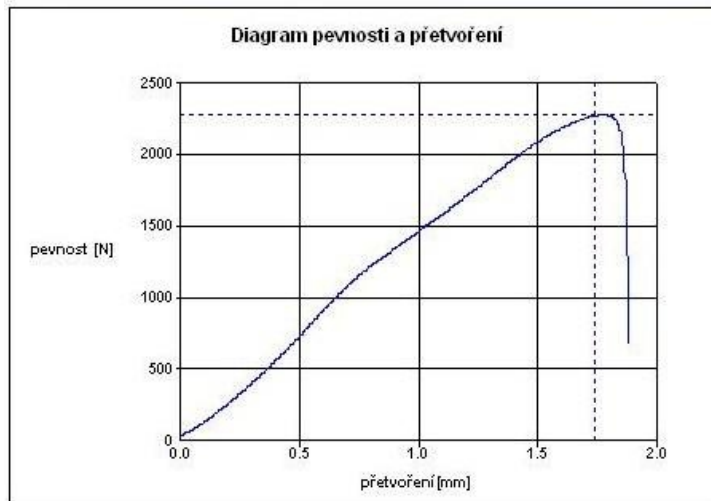
citlivost pevnosti

3500 N

Bruch-Weg(e):

2,15 mm

Diagram pevnosti a přetvoření, vzorek 2.5



datum: 11.7.2012

čas: 20:45:17

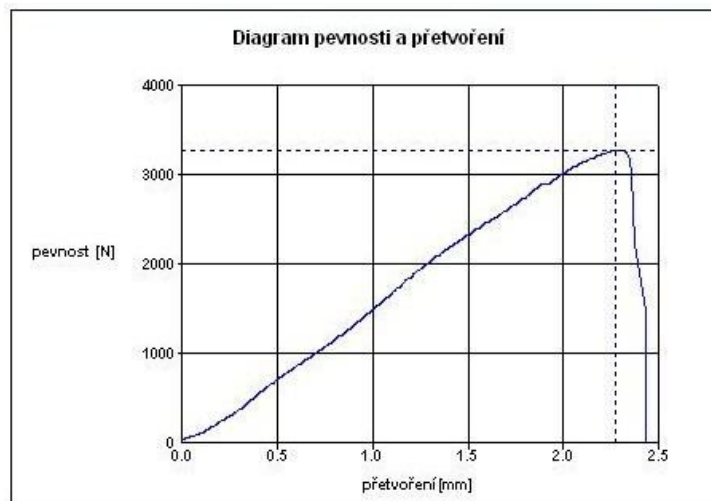
číslo vzorku:  
smes 2.7

citlivost pevnosti  
2278 N

Bruch-Weg(e):  
1,74 mm

Diagram pevnosti a přetvoření, vzorek 2.7

### SMĚS 2, 12 % pojiva



datum: 10.7.2012

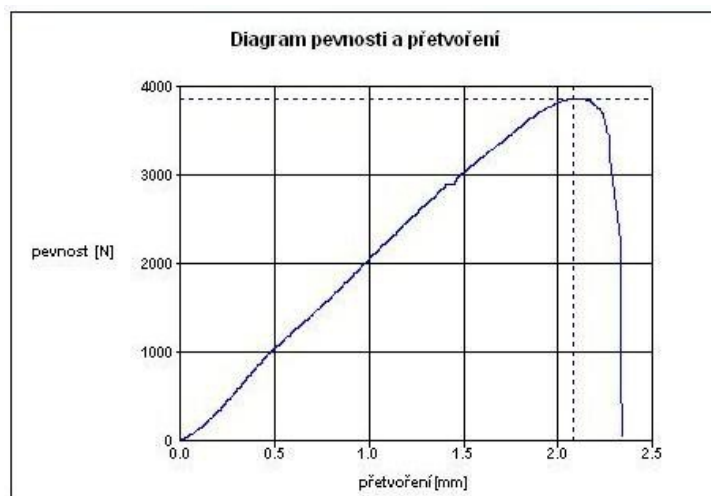
čas: 26:54:16

číslo vzorku:  
smes2.11

citlivost pevnosti  
3271 N

Bruch-Weg(e):  
2,27 mm

Diagram pevnosti a přetvoření, vzorek 2.11



datum: 10.7.2012

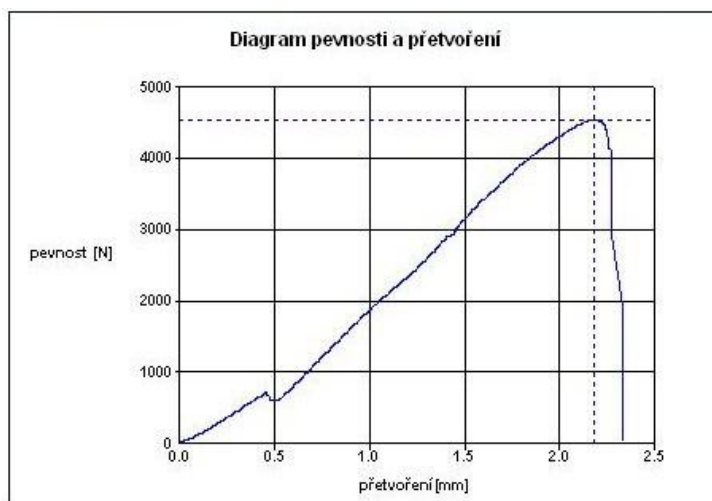
čas: 27:06:30

číslo vzorku:  
smes2.13

citlivost pevnosti  
3868 N

Bruch-Weg(e):  
2,08 mm

Diagram pevnosti a přetvoření, vzorek 2.13



datum: 10.7.2012

čas: 27:00:15

číslo vzorku:

smes2.15

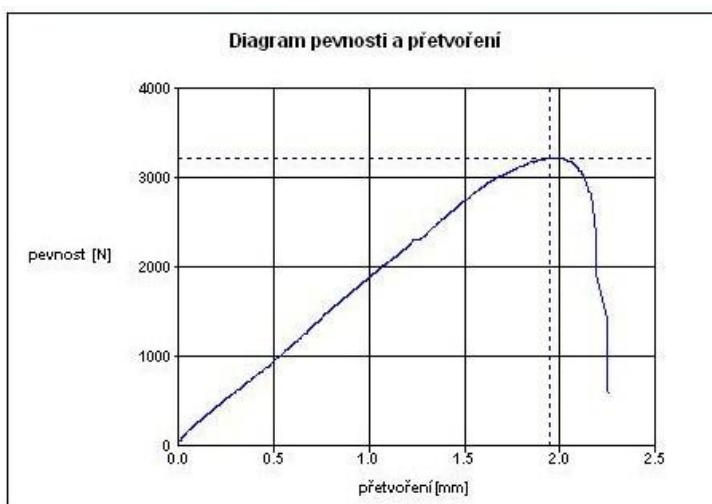
citlivost pevnosti

4543 N

Bruch-Weg(e):

2,18 mm

Diagram pevnosti a přetvoření, vzorek 2.15



datum: 11.7.2012

čas: 21:04:33

číslo vzorku:

smes 2.17

citlivost pevnosti

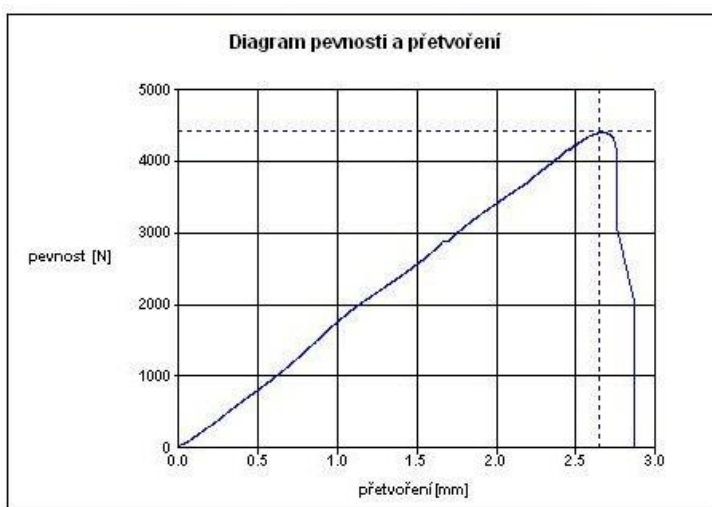
3226 N

Bruch-Weg(e):

1,95 mm

Diagram pevnosti a přetvoření, vzorek 2.17

### SMĚS 3, 10 % pojiva



datum: 10.7.2012

čas: 26:48:44

číslo vzorku:

smes3

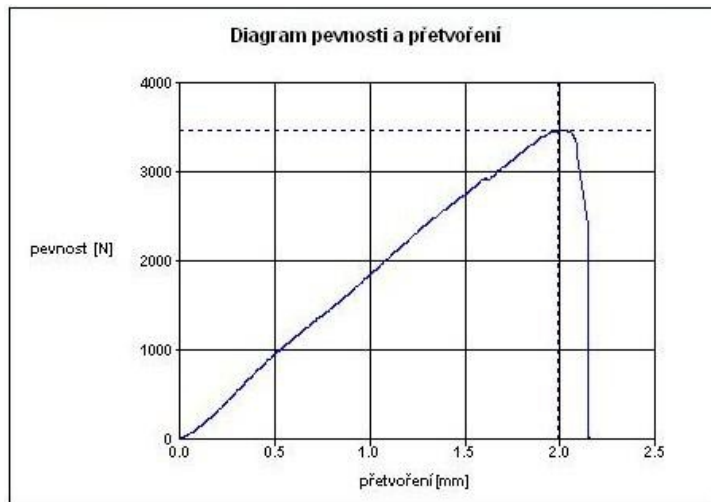
citlivost pevnosti

4422 N

Bruch-Weg(e):

2,65 mm

Diagram pevnosti a přetvoření, vzorek 3.2



datum: 11.7.2012

čas: 20:50:13

číslo vzorku:

smes 3.3

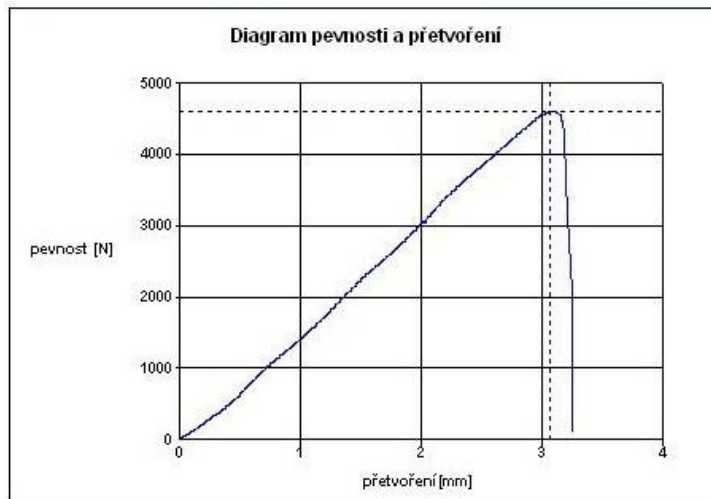
citlivost pevnosti

3474 N

Bruch-Weg(e):

1,99 mm

Diagram pevnosti a přetvoření, vzorek 3.3



datum: 11.7.2012

čas: 20:41:55

číslo vzorku:

smes 3.5

citlivost pevnosti

4608 N

Bruch-Weg(e):

3,06 mm

Diagram pevnosti a přetvoření, vzorek 3.5