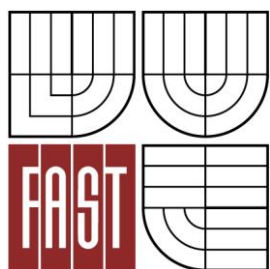




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

NÁVRH ASFALTOVÝCH SMĚSÍ TYPU SAL URČENÝCH PRO OPRAVU CEMENTOBETONOVÝCH KRYTŮ

DESIGN OF SAL ASPHALT MIXTURES FOR REHABILITATION OF CONCRETE PAVEMENTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. RADOMÍR VLK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Dr. Ing. MICHAL VARAUS

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. Radomír Vlk
Název	Návrh asfaltových směsí typu SAL určených pro opravu cementobetonových krytů
Vedoucí diplomové práce	doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Datum zadání diplomové práce	31. 3. 2014
Datum odevzdání diplomové práce	16. 1. 2015
V Brně dne 31. 3. 2014	

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

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

Podklady a literatura

TP 147 Užití asfaltových membrán a geosyntetik v konstrukci vozovky.

Coufalík, P.: Diplomová práce - Návrh a posouzení směsi pro asfaltové vrstvy se zvýšenou odolností proti šíření trhlin.

Konference Asfaltové vozovky: Odborné články odpovídajícího zaměření.

Články ze zahraničních konferencí.

Zásady pro vypracování

Diplomová práce bude zaměřena na návrh směsi typu SAL s vysoce modifikovaným asfaltovým pojivem, která je určena pro překrytí opravovaných cementobetonových krytů segmentací s následným položením asfaltových vrstev. Parametry výsledné směsi budou porovnávány se směsmi SAL navrženými s asfaltovým pojivem modifikovaným pryží.

Předepsané přílohy

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací

.....
doc. Dr. Ing. Michal Varaus
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 diplomová práce se zabývá popisem a použitím asfaltové vrstvy se zvýšenou odolností proti šíření trhlin SAL a porovnání vrstev SAL s různými druhy pojiv. V první teoretické části se diplomová práce zaměřuje na obecnou problematiku vrstvy SAL, v druhé části se věnuje jejím zkouškám.

Klíčová slova

SAL, sítový rozbor, pojivo, asfalt, zkouška bodu měknutí kroužek kulička, zkouška stanovení penetrace jehlou, modifikovaný asfalt, asfaltová směs, Marshallova zkouška, nízkoteplotní charakteristiky, modul tuhosti, relaxace, zkouška v tahu za ohybu.

Abstract

This master's thesis describes how to use the asphalt layer called Stress Absorbing Layer (SAL) and compares it with other types of SAL with different types of asphalt binders. In the first theoretical part is SAL generally described. In the second part is SAL practically tested and described.

Keywords

SAL, sieving method, binder, asphalt (bitumen), determination of the softening point ring and ball method, determination of needle penetration, modified asphalt, asphalt mixture, Marshall test, low - temperature characteristics, stiffness modulus, relaxation, bending tensile test.

Bibliografická citace VŠKP

Bc. Radomír Vlk *Návrh asfaltových směsí typu SAL určených pro opravu cementobetonových krytů*. Brno, 2014. 74 s., 11 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce doc. Dr. Ing. Michal Varaus

Prohlášení:

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

V Brně dne 25.12.2014

.....

podpis autora

Bc. Radomír Vlk

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

Prohlášení:

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 25.12.2014

.....
podpis autora

Bc. Radomír Vlk

Poděkování

Chtěl bych poděkovat všem, kteří mi při studiu a při zpracování této diplomové práce jakýmkoliv způsobem pomáhali. Nejvíce bych chtěl poděkovat mé rodině, bez které bych nemohl studovat a nemohl bych psát tuto diplomovou práci. Dále pak chci poděkovat panu doc. Dr. Ing. Michalu Varausovi za jeho vědomosti a rady, které mi při studiu a zpracování této práce velice pomáhaly, dále chci poděkovat panu Pavlu Strakovi a Ing. Tomáši Koudelkovi za pomoc v laboratoři.

OBSAH

1. Úvod.....	15
1.1 Podněty pro psaní diplomové práce	15
1.2 Cíl diplomové práce.....	16
1.3 Normy použité v při zkouškách a psaní diplomové práce.....	16
2. Popis vrstvy SAL.....	17
2.1 Požadavky na vrstvy SAL dle TP 147.....	17
2.2 Použití vrstvy SAL ve vozovce.....	18
3. Materiály pro výrobu SAL.....	19
4. Zkoušky provedené na materiálech.....	21
4.1 Stanovení zrnitosti.....	21
4.1.1 Postup zkoušky.....	21
4.1.2 Vyhodnocení zkoušky.....	22
4.2 Stanovení penetrace jehlou.....	22
4.2.1 Postup zkoušky.....	22
4.2.2 Vyhodnocení zkoušky.....	24
4.3 Bod měknutí metodou kroužek a kulička.....	24
4.3.1 Postup zkoušky.....	24
4.3.2 Vyhodnocení zkoušky.....	26
5. Návrhy asfaltové směsi a výroba zkušebních těles.....	26
5.1 Návrhy asfaltové směsi.....	26
5.2 Postup výroby asfaltové směsi.....	28
5.3 Stanovení maximální objemové hmotnosti nezhuťné asfaltové směsi.....	29
5.4 Postup výroby Marshallových těles.....	29
5.5 Postup výroby desek.....	31

6. Zkoušky provedené na tělesech.....	33
6.1 Stanovení objemové hmotnosti zhutněné asfaltové směsi.....	33
6.1.1 Průběh zkoušky.....	33
6.1.2 Vyhodnocení zkoušky.....	34
6.2 Stanovení mezerovitosti zhutněné asfaltové směsi.....	34
6.2.1 Průběh zkoušky.....	35
6.2.2 Vyhodnocení zkoušky.....	35
6.3 Zkouška trvalých deformací.....	35
6.3.1 Průběh zkoušky.....	36
6.3.2 Vyhodnocení zkoušky.....	36
6.4 Zkouška zhutněné asfaltové směsi v tahu za ohybu.....	37
6.4.1 Průběh zkoušky.....	40
6.4.2 Vyhodnocení zkoušky.....	40
6.5 Zkouška relaxace zhutněné asfaltové směsi.....	41
6.5.1 Průběh zkoušky.....	42
6.5.2 Vyhodnocení zkoušky.....	44
7. Výsledky zkoušek.....	44
7.1 Porovnání pojiv a směsí s výsledky v jiných diplomových pracích.....	45
7.2 Výsledky zkoušky penetrace jehlou.....	47
7.2.1 Výsledky zjištěné v této diplomové práci.....	47
7.2.2 Porovnání s ostatními výsledky.....	47
7.3 Výsledky zkoušky kroužek kulička.....	47
7.3.1 Výsledky zjištěné v této diplomové práci.....	47
7.3.2 Porovnání s ostatními výsledky.....	48
7.4 Výsledky zkoušky stanovení maximální objemové hmotnosti nezhutněné směsi.....	48

7.4.1	Výsledky zjištěné v této diplomové práci.....	48
7.4.2	Porovnání s ostatními výsledky.....	49
7.5	Výsledky zkoušky stanovení objemové hmotnosti zhutněné směsi a mezerovitosti.....	49
7.5.1	Výsledky zjištěné v této diplomové práci.....	49
7.5.1.1	Objemová hmotnost Marshallových těles.....	49
7.5.1.2	Objemová hmotnost desek pro zkoušku trvalých deformací.....	50
7.5.1.3	Objemová hmotnost desek pro zkoušku relaxace a tahu za ohybu.....	51
7.5.1.4	Objemová hmotnost trámečků pro zkoušku tahu za ohybu a relaxace.....	52
7.5.2	Porovnání s ostatními výsledky.....	54
7.5.2.1	Porovnání objemových hmotností Marshallových těles.....	54
7.5.2.2	Porovnání objemových hmotností desek na zkoušku trvalých deformací.....	54
7.5.2.3	Porovnání objemových hmotností desek na zkoušku tahu za ohybu a relaxace.....	55
7.6	Výsledky zkoušky trvalých deformací.....	56
7.6.1	Výsledky zjištěné v této diplomové práci.....	56
7.6.2	Porovnání s ostatními výsledky.....	57
7.7	Výsledky zkoušky tahu za ohybu.....	58
7.7.1	Výsledky zjištěné v této diplomové práci.....	58
7.7.2	Porovnání s ostatními výsledky.....	59
7.8	Výsledky zkoušky relaxace.....	60
7.8.1	Výsledky zjištěné v této diplomové práci.....	61

7.8.2 Porovnání s ostatními výsledky.....	64
8. Závěr.....	65
9. Seznam použité literatury.....	67
9.1 Seznam použitých norem.....	67
9.2 Další použité zdroje.....	68
10. Seznam tabulek.....	69
11. Seznam grafů.....	71
12. Seznam obrázků.....	72
13. Seznam příloh.....	74
13.1 Síťové rozbory.....	75
13.2 Protokoly ze zkoušky trvalých deformací.....	84

1. ÚVOD

Už od pradávna lidé chodili po prvních vyšlapaných stezkách, které spojovaly různá místa. Tyto první vyšlapané cesty se v průběhu času používaly více a více, začalo se po nich jezdit s koňmi a vozy, takže bylo nutné začít řešit jejich zpevňování. Jak šel čas, začaly se místo cest z hlíny budovat kamenné stezky. Byly sice pevnější, ale zdaleka se po nich nedalo komfortně jezdit. V pozdějších dobách byly kamenné cesty nahrazeny cestami z dlažby, které ale taky nebyly dokonale rovné a komfortně se po nich dá jezdit zhruba do rychlosti 50 km/h. Asi historicky nejdokonalejším typem cest jsou asfaltové a cementobetonové vozovky, které jsou ze všech předešlých nejvíce rovné. Bohužel ani tyto nejsou úplně dokonalé a projevují se na nich různé poruchy. Některé poruchy jsou způsobeny velkým zatížením, jiné zase příliš velkým mrazem, jiné zase špatným složením vrstev o špatné tloušťce. Abychom tyto vozovky přiblížili co nejvíce k dokonalosti, vymýšlejí se různé postupy, mechanismy nebo vrstvy či mezivrstvy, které zlepšují vlastnosti vozovek. O jedné takovéto vrstvě bych chtěl v této diplomové práci psát. Jedná se o mezivrstvu SAL, která se pokládá na podkladní či ložní vrstvu a zabraňuje prokopírování reflexních trhlin z podkladních vrstev do obrusné vrstvy.

Na dálnicích se vrstva SAL klade pod cementobetonovou obrusnou vrstvu. Taky v této tuhé vozovce má za úkol chránit proti prokopírování reflexních trhlin z podkladních vrstev do obrusné vrstvy. Vrstva SAL sice zvyšuje počáteční náklady na výstavbu komunikace, ale její úkol je výrazně prodloužit životnost celé komunikace a investorovi ušetřit peníze za rekonstrukce.

1.1 Podněty pro psaní diplomové práce

Hlavním podnětem pro psaní této diplomové práce je vyzkoušet funkční asfaltovou vrstvu, která absorbuje tahová napětí a která by co nejvíce zabraňovala šíření trhlin.

1.2 Cíl diplomové práce

Cílem diplomové práce je udělat zkoušky vrstvy SAL s pojivem OPA a porovnat tyto zkoušky s ostatními směsmi s různými pojivy, které se do této vrstvy mohou použít. Ostatními pojivy je myšleno zejména polymerem modifikovaný asfalt PMB a asfalt modifikovaný pryží CRmB, RMB a RM+. Hodnoty pro porovnání byly vzaty z prací Ing. Pavla Coufalíka a Ing. Martina Kalfeřta, kteří se podobnou problematikou již zabývali. Jejich vrstva SAL obsahovala pojiva modifikovaná pryžovým granulátem CRmB a RMB.

1.3 Normy použité v při zkouškách a psaní diplomové práce

Všechny zkoušky v této diplomové práci se dělaly dle aktuálních českých předpisů. Mezi hlavní dokumenty s kterými se pracovalo, patřily: TP147 Užití asfaltových membrán a geosyntetik v konstrukci vozovky. V těchto technických podmínkách byly sepsány všechny požadavky vrstvy SAL. Dále se pracovalo s normami řady ČSN EN 12697, které se zabývají zkoušením asfaltových směsí vyrobených za horka.

TP 147	Užití asfaltových membrán a geosyntetik v konstrukci vozovky
TP151	Asfaltové směsi s vysokým modulem tuhosti (VMT)
ČSN EN 933-1	Zkoušení geometrických vlastností kameniva - Část 1: Stanovení zrnitosti - Sítový rozbor
ČSN EN 1426	Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení penetrace jehlou
ČSN EN 1427	Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení bodu měknutí - Metoda kroužek kulička
ČSN EN 12697	Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka
ČSN EN 12697-5+A1	Stanovení maximální objemové hmotnosti

ČSN EN 12697-6+A1	Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa
ČSN EN 12697-8	Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí
ČSN EN 12697-22+A1	Zkouška pojíždění kolem
ČSN EN 12697-30+A1	Přípravu zkušebních těles rázovým zhutňovačem
ČSN EN 12697-33+A1	Příprava zkušebních těles zhutňovačem desek
ČSN EN 12697-35+A1	Laboratorní výroba směsí

2. POPIS VRSTVY SAL^[1]

Vrstva SAL je asfaltová netuhá mezivrstva, která se vkládá pod ložní nebo podkladní vrstvu za účelem omezení přenášení tahových napětí a zamezení vzniku reflexních trhlin. Zkratka SAL znamená anglicky Stress Absorbing Layer, což v překladu znamená vrstva, která absorbuje napětí. Oproti jiným asfaltovým vrstvám se liší ve větším obsahu modifikovaného pojiva, kamenivem jemnějších frakcí a několikanásobně větší průtažnosti při nízkých teplotách.

2.1 Požadavky na vrstvy SAL dle TP147

TP147 popisuje požadavky na vrstvu SAL. Je v ní uvedeno, že se jedná o asfaltovou membránu, která se klade na spojovací postřík kationaktivní modifikovanou asfaltovou emulzí. Ve směsi SAL se předpokládá použití modifikovaných asfaltů a obvykle se přidávají stabilizační přísady nebo drcená pryž z ojetých pneumatik (viz. TP148).

Vlastnost	Jednotka	Požadavek	Zkoušeno podle
Zrnitost směsi kameniva Propad na síť 11 mm 8 mm 2 mm 0,063 mm	% hm.	100 98-100 55-75 min. 10	ČSN EN 933-1
Koeficient sytosti		min. 4,6 ¹⁾	ČSN 73 6160
Obsah modifikovaného pojiva	kg/100 kg kameniva	min. 8,2	ČSN EN 12697-1
Mezerovitost	% obj.	1-3	ČSN EN 12697-8
Mezerovitost směsi kameniva	% obj.	min. 17,5	
Odolnost proti tvorbě trvalých deformací při 40°C ²⁾ PRD _{AIR} WTS _{AIR}	% mm	max. 8,0 max. 0,08	ČSN EN 12697-22+A1

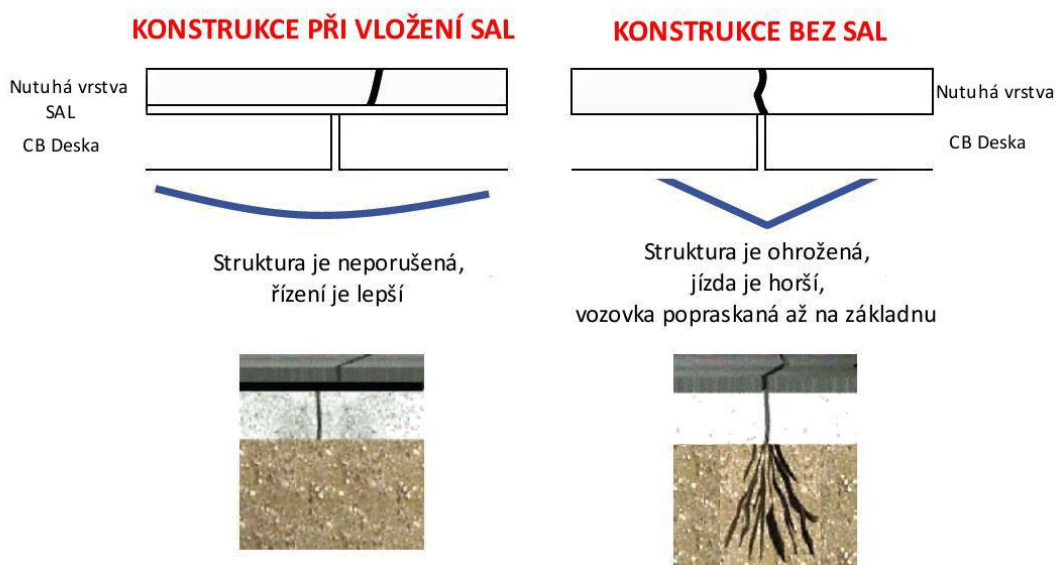
Pozn.: ¹⁾ Za předpokladu měrné hmotnosti kameniva 2 650 kg/m³.

²⁾ Tloušťka zkušebního tělesa odpovídá předpokládané tloušťce navrhované vrstvy.

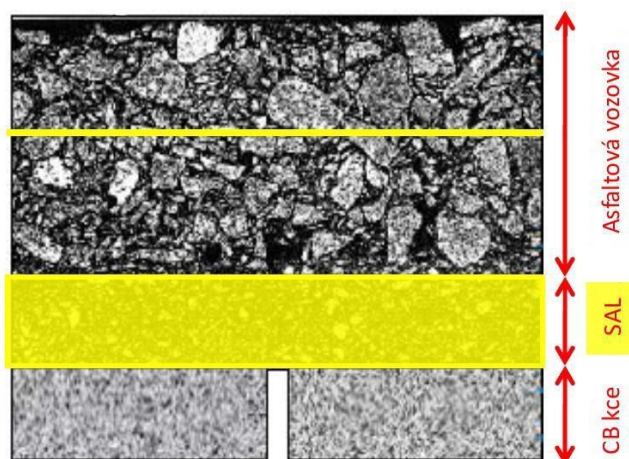
Tabulka 1: Požadavky na asfaltovou vrstvu SAL dle TP 147, Zdroj: TP 147

2.2 Použití vrstvy SAL ve vozovce

Ve vozovce se vrstva SAL používá v tloušťce od 15 mm do 30 mm. Má být překryta minimálně 90 mm asfaltovým souvrstvím. Podkladní vrstva musí být dostatečně zhutněná a pevná. Při pokládce zhutňuje finišer vrstvu na 85 % její míry zhutnění. Zbytek je potřeba pak dohutnit válci s hladkými běhouny na správnou hodnotu zhutnění 99 - 101 %. Velký problém nastává po překrytí cementobetonové vrstvy horní asfaltovou vrstvou bez mezivrstvy SAL. Dochází k prokopírování spár, jak dilatačních, tak i jiných do krytu. Vrstva SAL ve velké míře zabraňuje tomuto prokopírování a posouvá bod lomu od dilatační spáry. Na následujících obrázcích je tento problém znázorněn.



Obrázek 1: Konstrukce vozovky s nebo bez vložení vrstvy SAL, Zdroj: Dip. Práce Pavel Coufalík [14]



Obrázek 2: Vložení vrstvy SAL mezi cementobetonovou a asfaltovou vrstvou, Zdroj: Dip. Práce Pavel Coufalík [14]

3. MATERIÁLY PRO VÝROBU SAL

V požadavcích v TP 147 je napsáno, že vrstva SAL se skládá z kameniva a modifikovaného pojiva. Požadavky na kamenivo jsou takové, že procentuální propad sítem 11 mm kameniva je 100 %, procentuální propad sítem 8 mm je 98 - 100 % propad

sítem 2 mm je 55 - 100 % a propad sítem 0,063 mm musí být ve složení zastoupena min. 10 %.

Kamenivo pocházelo z lomu Luleč, vápencová moučka z lokality Mokrá. Kamenivo bylo přivezeno ve velkých pytlích a byla udělána homogenizace kameniva tak, že se vysypaly z pytle na zem, poté byly přesypány a dány zpět do pytlů.



Obrázek 3: Kamenivo frakce 0/4, Zdvoj: Prikopa [17] Obrázek 4: Kamenivo frakce 4/8, Zdvoj: Prikopa [17]

Asfaltové pojivo bylo vyrobeno firmou Shell. Jednalo se o jejich produkt s názvem OPA. OPA je značení pro vysoce polymerem modifikovaný asfalt. Jeho specifikace je PMB 40/100 - 65. Některé zkoušky se dělaly pro porovnání i s jiným pojivem a to PMB 45/80 - 65 OMV Starfalt. Zkratka PMB znamená Polymer Modified Bitumen. Modifikace byla provedena reaktivním elastomerním terpolymerem, oboje pojiva mají bod měknutí ≥ 65 °C. Teplota zpracování těchto asfaltů je 150 - 180 °C. Teplota míchání těchto asfaltů je 165 °C, teplota hutnění je 155 °C.



Obrázek 5: Srovnání běžného pojiva s pojivem modifikovaným pryžovým granulátem, Zdvoj: Dip. Práce Pavel Coufalík [14]

4. ZKOUŠKY PROVEDENÉ NA MATERIÁLECH

4.1 Stanovení zrnitosti^[3]

4.1.1 Postup zkoušky

Stanovení zrnitosti neboli síťový rozbor je zkouška, ve které se prosévá kamenivo přes různá síta s různou velikostí otvorů a vyhodnocují se jednotlivé propady na sítích - váží se zbytky, které na každém sítu zůstaly a zapisují se do tabulky, která se poté vyhodnotí. Zkouška je popsána v normě ČSN EN 993-1.

První fáze síťového rozboru je praní kameniva. Kamenivo obsahuje spoustu nečistot, hlíny nebo různé listí a je za potřeby tyto zbytky odstranit. Praní kameniva probíhá tak, že se kamenivo nasype do nádoby a ta se poté zalije vodou. Kamenivo se ve vodě promíchává tyčinkou. Zakalená voda se poté vylije na síto 0,063 mm, které je chráněno ochranným sítem (např. 1 mm), proti protrhnutí jemného síta. Tento postup se opakuje tak dlouho, dokud je voda, vytékající ze síta 0,063 mm, čistá. Mokrý frakce kameniva i zůstatek na sítu 0,063 mm se vysuší v troubě a nechá se vychladnout. Po vychladnutí se kamenivo zváží a označí se hmotnost zůstatku na sítu 0,063 mm jako M_2 . Hmotnost vysušené navážky označíme jako M_1 .



Obrázek 6: Prosévač kameniva, Zdroj: Stroje pro zkušebnictví [18]

V druhé fázi se kamenivo prosévá přes síta. Nejprve se musí sestavit správné pořadí sít podle velikosti oka síta, od nejmenšího (vespodu) do největšího (nahore). Poté se kamenivo vysype shora do jednotlivých sít. Smontuje se zbytek stroje a pustí se prosévací stroj na pár minut. Po ukončení třepání se ještě ručně metličkou promísí kamenivo na každém síti. Zůstatky na jednotlivých sítích se zváží a hmotnosti se zaznamenávají do tabulky od R_1 , R_2 ,..... R_n . Hmotnost na dně se zaznamená jako P .

4.1.2 Vyhodnocení zkoušky

V protokolu se zváženími zbytky na jednotlivých sítích se dopočítají propady. Dále se vypočtou hmotnosti zbytků na jednotlivých sítích jako procento hmotnosti z původní vysušené navážky M_1 . Vypočtou se součtová procenta hmotnostní na sítích shora dolů. Jako poslední se vypočte obsah jemných částic f podle vzorce:

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

f [kg]	obsah jemných částic
M_1 [kg]	hmotnost navážky
M_2 [kg]	hmotnost vysušeného kameniva na sítu 0,063 mm
P [kg]	hmotnost na dně

4.2 Stanovení penetrace jehlou^[4]

4.2.1 Postup zkoušky

Stanovení penetrace jehlou je zkouška popisující tvrdost pojiva při dané teplotě. Zkouška je detailně popsána v normě ČSN EN 1426. Princip zkoušky spočívá v zatlačování jehly o hmotnosti 100 g do vytemperovaného vzorku asfaltu na $25 \pm 0,15$ °C po dobu 5-ti sekund.

Pro zkoušku je nejprve zapotřebí nahřát asfalt a přelít ho do malých penetračních nádobek, ve kterých bude probíhat zkouška penetrace. Nádobka musí být ve tvaru válce.

Hloubka nádoby musí být o min. 10 mm hlubší než předpokládaná penetrace, ale maximálně 35 mm. Průměr nádoby se pohybuje v intervalu 55 - 70 mm. Asfalt se nechá v nádobce vychladnout a ztuhnout. Poté se vloží do vodní lázně o teplotě $25 \pm 0,15$ °C a nechá se temperovat po dobu 2 hodiny. Po vytemperování vzorku se nasadí do stroje penetrační jehla, očištěná od jakýchkoliv zaschlých zbytků asfaltu z minulých zkoušek.



Obrázek 7: Zkušební jehla, Zdroj: Dip. Prác. Pavel Coufalík [14]



Obrázek 8: Zkouška penetrace

Když je vše připraveno, hrot jehly přiblížíme k povrchu asfaltu tak, aby se ho trochu dotýkal. Nyní se spustí přístroj a měří se na stupnici hloubka vpichu jehly.

4.2.2 Vyhodnocení zkoušky

Provedou se na různých místech vzorku celkem 4 měření. Nejnižší výsledek do průměru nezahrnujeme. Měření se ale od sebe můžou lišit maximálně o hodnoty, které jsou vedeny v této tabulce z normy. Pokud se budou lišit více, je zapotřebí celou zkoušku opakovat.

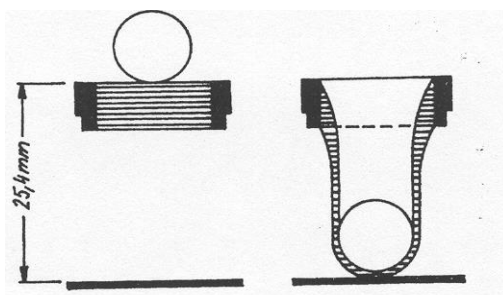
Penetrace [0,1 mm]	do 49	50 až 149	150 až 249	250 a výše
Maximální rozdíl mezi nejvyšším a nejnižším stanovením [°C]	2	4	6	8

Tabulka 2: Zkouška penetrace - maximální rozdíl mezi nejvyšším a nejnižším stanovením, Zdroj: ČSN EN 1426 [4]

4.3 Bod měknutí metodou kroužek a kulička

4.3.1 Postup zkoušky

Zkouška kroužek a kulička slouží k určení bodu měknutí asfaltového pojiva. Detailně je tato zkouška popsána v normě ČSN EN 1427. Princip této zkoušky spočívá ve zjištění bodu měknutí asfaltového pojiva 6,4 mm tlustým zatíženým závažím (kuličkou) o průměru 25 mm. Při této teplotě přechází asfalt do tekutého stavu. Znamená to, že se asfalt nachází na své horní hranici oboru plasticity.



Obrázek 9: Propad kuličky, Zdroj: ČVUT - Zkoušení asfaltových pojiv [15]

Na počátku této zkoušky se asfaltové pojivo nahřeje a nalije se do kovových prstenců. Poté se prstence s pojivem nechají vychladnout. Po vychladnutí se horkým ostrým předmětem srovnají hrany prstence a pojiva do jedné roviny. Mezitím se nalije destilovaná voda nebo glycerin do kádinky, která se dá do chladicího zařízení, a to ji vychladí na teplotu 5 °C. Po vychlazení se do kádinky přidá nástavec s kroužky

naplněné asfaltem tak, ať je kapalina 50 ± 3 mm nad horní okraj kroužku s asfaltem. Na kroužky se do kádinky umístí vystřed'ovací prstence. Do těch se umístí ocelové kuličky tak, aby jim nic nebránilo v propadu. Při bodu měknutí vyšším jak $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ je zapotřebí použít glycerin, ve kterém není takové množství bublin, které by mohly předčasně ukončit zkoušku.

Kádinka s vytemperovanou destilovanou vodou (glycerinem) a připravenými kroužky se umístí do přístroje, který bude kapalinu zespodu míchat a zahřívát, měřit aktuální teplotu vody a kontrolovat laserem protažení asfaltu.



Obrázek 10: Přístroj na zkoušku bodu měknutí metodou kroužek kulička, Zdroj: Dip. Práce Pavel Coufalík [14]



Obrázek 11: Postupný propad kuličky, Zdroj: ČVUT - Zkoušení asfaltových pojiv [15]

Kádinka s destilovanou vodou se zahřívá rychlostí $5\text{ }^{\circ}\text{C/min}$. Pokud asfalt s kuličkou protne laser ve 25 mm vzdálenosti, stroj zkoušku ukončí a hodnoty se automaticky zapíší. Pokud je u normálních asfaltů rozdíl mezi oběma kuličkami větší než $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, zkouška se musí opakovat. U modifikovaných asfaltů může být rozdíl maximálně do $2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

4.3.2 Vyhodnocení zkoušky

Výsledek této zkoušky je průměr z obou hodnot. Při teplotě do 80 °C se výsledek zaokrouhlí na 0,2 °C, při teplotě nad 80 °C se zaokrouhlí na 0,5 °C.

5. NÁVRHY ASFALTOVÉ SMĚSI A VÝROBA ZKUŠEBNÍCH TĚLES

5.1 Návrhy směsi

Bylo uděláno celkem 5 návrhu směsí. Bohužel do našich laboratorních experimentů se vnesly 2 zásadní metodické chyby, které výsledky značně negativně ovlivňovaly. Doposud nevíme, jestli první čtyři směsi byly navrženy správně nebo špatně, protože se tyto metodické chyby napravily až u pátého návrhu směsi. Složení směsi bylo záměrně velmi podobné na směs č. 3 z diplomové práce Ing. Pavla Coufalíka, kvůli objektivnímu porovnání zkoušek mezi různými pojivy.

Tato první metodická chyba byla skryta ve špatném přepočtu obsahu pojiva ve směsi. V TP 147 je uveden požadavek, že na 100 kg kameniva je zapotřebí 8,2 kg. Omylem se kilogramy spletly s procenty, což ve výsledku dává 8,9 kg pojiva na 100 kg kameniva a všechny zkoušky vychází jinak.

Druhá metodická chyba spočívala v kontinuálním přehutňování desek, kdy se spletla navážka na desku jako hmotnost kameniva a ne jako součet hmotností kameniva a pojiva. Tyto desky nesplňovaly podmínky pro splnění zkoušky trvalých deformací a vyjížděly se příliš koleje.

Proto je zde uveden pouze pátý návrh směsi, který všem zkouškám vyhověl.

Síto [%]	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
Propad [%]	99	83	64	46	35	25	16	11,1
Fuller [%]	100	71	50	35	25	18	13	8,9
Požadavek propadů dle TP 147 [%]	98-100	-	55-75	-	-	-	-	min.10

Tabulka 3 : Požadavky na SAL dle TP 147, Zdroj: TP 147 [1]

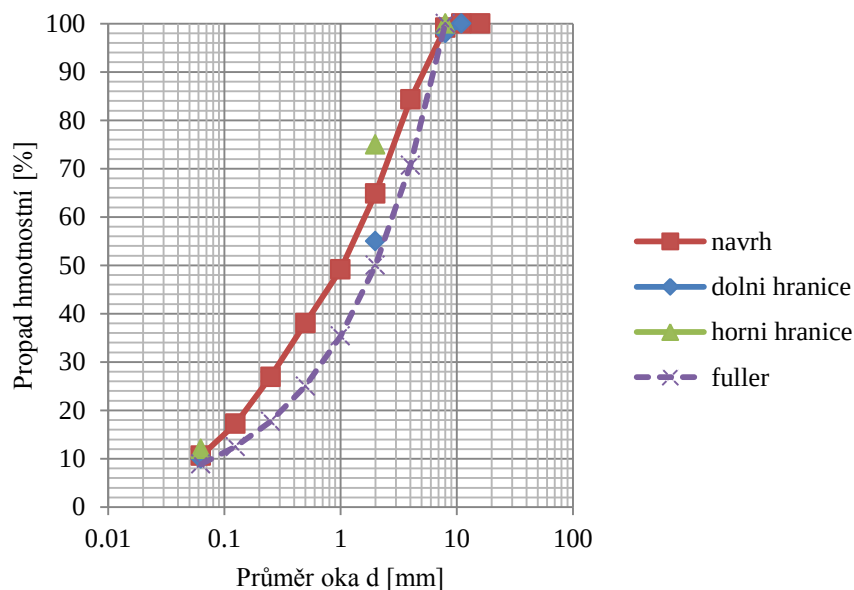
Směs vyhovuje požadavkům TP 147. Čára zrnitosti je vedena v oboru zrnitosti. V následujícím obrázku je uvedena čára zrnitosti směsi a Fullerova parabola, která ukazuje nejtěsnější uspořádání kamenné kostry. Tuto parabolu charakterizuje rovnice

$$Y = (d/D)^{0,5} \times 100. Y$$

Y [%] procentuální propad na síť
d [mm] velikost oka síta
D [mm] velikost největšího zrna ve směsi

Dávkování [%]	Frakce	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
15	4/8 Luleč	94	9	2	1	1	1	1	1
73	0/4 Lulec	100	96	71	47	31	18	7	3
12	Moučka Mokrá	100	100	100	100	100	100	93	73
100		99	83	64	46	35	25	16	11

Tabulka 4 : Procentuální propady



Graf 1: Křivka zrnitosti směsi

Asfaltová směs se míchá při 165 °C. Teplota hutnění je 155 °C. Frakce kameniva jsou zastoupeny v tomto poměru: 12 % moučky, 73 % frakce 0/4, 15 % frakce 4/8. Pojivo je ve směsi zastoupeno 7,6 %.

5.2 Postup výroby asfaltové směsi^[12]

Výrobou směsi v laboratoři se zabývá norma ČSN EN 12697-35+A1. Před vážením kameniva pro míchání směsi bylo kamenivo důkladně vysušeno v peci při teplotě 110 °C. Na hmotnosti kameniva braných přímo z pytlů má velký vliv vlhkost, která se nemá kam odpařit, proto je potřeba kamenivo nejprve řádně vysušit.

Po vysušení kameniva se z chladného kameniva udělala navážka na směs podle hmotnostních zastoupení frakcí a dala se do pece ohřát na teplotu míchání 165 °C. Současně s kamenivem se dalo do pece ohřát i pojivo a mísa, ve které se směs míchala včetně háku na míchání. Zároveň bylo puštěno i nahřívání míchačky. Při míchání se míchačka občas vypínala kvůli seškrábávání špatně promíchané směsi ze stěn mísy do jejího středu. Po zamíchání byla směs dána zpátky do pece a ohřívala se na teplotu hutnění 155 °C.



Obrázek 12: Míchačka směsí, Zdroj: Dip. Práce Pavel Coufalík [14]

5.3 Stanovení maximální objemové hmotnosti nezhuťné asfaltové směsi^[6]

Stanovené maximální objemové hmotnosti nezhuťné asfaltové směsi popisuje norma ČSN EN 12697-5+A1. Ke zkoušce se používají dva malé pykometry s vodou nebo trichlórem jako rozpouštědlo.

Nejprve byla vyrobená asfaltová směs. Poté se nechá ochladit na pokojovou teplotu. Mezitím prázdné pykometry zvážíme a hmotnosti zapíšeme jako m_1 . Směs se nasype do pykometrů zhruba do 3/4 celkového objemu, nasadí se nástavce a změří se opět hmotnosti m_2 . Pykometry se naplní rozpouštědlem pod okraj nádoby a řádně se protřepou. Pykometry temperujeme po dobu 2 hodin při teplotě 25 °C. Po této době se naplní kapalinou po značku, osuší se a zváží. Tyto hmotnosti zaznamenáme jako m_3 . Vzorec na výpočet objemové hmotnosti:

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

ρ_{mv} [kg/m ³]	maximální objemová hmotnost
m_1 [g]	hmotnost prázdného pykometru
m_2 [g]	hmotnost pykometru se zkušebním vzorkem a nástavcem
m_3 [g]	hmotnost pykometru, zkušebního vzorku i rozpouštědla
V_p [m ³]	objem pykometru
ρ_w [g]	hustota rozpouštědla při zkušební teplotě

5.4 Postup výroby Marshallových těles^[10]

Výrobu Marshallových těles popisuje norma ČSN EN 12697-30+A1. Marshallova tělesa se vyráběla zhuťováním směsi v rázovém zhuťovači. Nejprve se směs o hmotnosti 1200 g nasypala do předehřátých válcových forem, ve kterých se směs zhuťovala. Forma má průměr válce 101,6±0,1 mm a výšku válce 63,5±2,5 mm.

Na každou stranu se dá kruhový papír vystřížený z časopisu, aby se směs nepřichytila. Směs se poté sype po třetinách, každá třetina se urovná a promísí špachtlí. Po nasypání směsi do formy musí s co nejmenší časovou prodlevou následovat hutnění, aby se směs co nejméně ochladila. Každé Marshallovo těleso bylo zhutněno z obou stran 50-ti rázy z výšky $460 \pm 0,1$ mm. Po zhutnění se odstraní separační papírky a válcová forma se zhutněným tělesem se dá kvůli rychlejšímu vychlazení do přístroje s ventilátorem. Když byla forma s Marshallovým tělesem vychlazená na pokojovou teplotu, použil se malý hydraulický lis na vytlačení Marshallova tělesa z formy ven. Na jednu navážku se udělala celkem 3 Marshallova, zbytek se použil na zkoušku stanovení maximální objemové hmotnosti pyknometry.

	Složky směsi			
	Moučka	Kamenivo frakce 0/4	Kamenivo frakce 4/8	Asfaltové pojivo
Obsah [%]	12	73	15	7,6
Hmotnost [g]	600	3650	750	411

Tabulka 5: Navážka kameniva a pojiva pro výrobu Marshallových těles



Obrázek 13: Větrací přístroj



Obrázek 14: Rázový zhutňovač



Obrázek 15: Hydraulické zařízení pro vytáhnutí Marshallových těles



Obrázek 16: Marshallova tělesa

5.5 Postup výroby desek^[11]

Příprava zkušebních těles zhutňovačem desek je popsána v normě ČSN EN 12697-33+A1. V první řadě se udělá navážka na jednu desku 5,548 kg. Použije se pro to tento vzorec:

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

$$M = 0,995 * [(0,03 - 0,0008) \cdot 0,26 \cdot 0,322 \cdot (2286 - 5)] = 5,548 \text{ kg}$$

M [kg]	hmotnost navážky na desku
t_d [mm]	tloušťka desky
t_{pl} [mm]	tloušťka plechu
š [mm]	šířka plechu
l [mm]	délka formy
ρ_{bssd} [mm]	objemová hmotnost Marshallových těles
ρ_{oprav} [mm]	opravná hodnota objemové hmotnosti

Nejprve se namíchá směs asfaltového pojiva s kamenivem o požadované hmotnosti na jednu desku. Po míchání se směs nahřeje v peci na teplotu hutnění 155 °C. Desky se vyrobí pomocí zhutňovačů. První zhutňovač je lamelový, starší, některé desky se tímto zhutňovačem nepodařilo zhutnit na správnou míru zhutnění nebo byly nerovnoměrně zhutněny a musely se dělat znova. Druhý segmentový zhutňovač zhutňoval na správnou míru zhutnění, jeho desky byly krásně stejnoměrně zhutněny.

	Složky směsi			
	Moučka	Kamenivo frakce 0/4	Kamenivo frakce 4/8	Asfaltové pojivo
Obsah [%]	12	73	15	7,6
Hmotnost [g]	666	4050	832	456

Tabulka 6: Navážka kameniva a pojiva pro výrobu 1 desky

teplota hutnění [°C]	155
objemová hmotnost [kg/m ³]	2286
tloušťka desky [m]	0,03
tloušťka plechu [m]	0,0008
šířka desky [m]	0,26
délka desky [m]	0,322
odečíst [kg]	5
upravená obj. hmotnost [kg/m ³]	2281
hmotnost [kg]	5,576
odečet [kg]	0,995
navážka na desku [kg]	5,548

Tabulka 7: Výpočet navážky na 1 desku



Obrázek 17: Segmentový zhutňovač desek

Po zhutnění se deska přemístí do větracího zařízení a důkladně se popíše.



Obrázek 18: Vyrobená deska

Napiše se na ni název směsi, jméno, teplota při které má být udělána zkouška trvalých deformací, míra zhutnění, datum výroby a pořadí výroby desky.

6. ZKOUŠKY PROVEDENÉ NA TĚLESECH

6.1 Stanovení objemové hmotnosti zhutněné asfaltové směsi

6.1.1 Průběh zkoušky

Stanovení objemové hmotnosti zhutněné směsi je detailně popsáno v normě ČSN EN 12697-6+A1. Dle této normy můžeme stanovit objemovou hmotnost čtyřmi způsoby. Vybral se postup s nasyceným suchým povrchem. U tohoto postupu se určí objemová hmotnost tělesa z jeho hmotnosti na suchu a ve vodě s konstantní teplotou.

Ke zkoušce je zapotřebí mít váhu, s přesností 0,1 g, která je schopná změřit hmotnost tělesa jak na vzduchu, tak i ve vodě. Nejprve se změří hmotnost suchého

tělesa m_1 . Poté se těleso dá do vody po dobu nejméně 30-ti minut a změří se teplota vody. Po uplynutí této doby se těleso zváží a hodnota se запиše jako hmotnost m_2 . Po zvážení se těleso vytáhne z vody ven, osuší se jeho povrch a opět se zváží. Tato poslední hmotnost se zaznamená jako m_3 .

6.1.2 Vyhodnocení zkoušky

Pro výpočet objemové hmotnosti se použije tento vzorec:

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

ρ_{bssd} [kg/m³] objemová hmotnost nasyceného suchého povrchu

m_1 [kg] hmotnost suchého tělesa

m_2 [kg] hmotnost ponořeného tělesa

m_3 [kg] hmotnost povrchově osušeného tělesa

ρ_w [kg/m³] hustota vody při naměřené teplotě

6.2 Stanovení mezerovitosti zhutněné asfaltové směsi^[7]

Stanovením mezerovitosti se zabývá norma ČSN EN 12697-8. Mezerovitost je základním volumetrickým parametrem, na který provádíme návrh složení asfaltové směsi, kontrolujeme kvalitu směsi ve výrobě a také kontrolujeme provedení pokládky asfaltových vrstev. Mezerovitost vrstev ovlivňuje jejich vodopropustnost. Asfaltové vrstvy s mezerovitostí menší než 3 % považujeme za nepropustné. Směsi s mezerovitostí mezi 3 - 5 % jsou prakticky nepropustné. U směsi s mezerovitostí větší než 5 % již dochází k propojení jednotlivých mezer a směsi začínají být propustné. Nejužší požadavky na mezerovitost jsou předepsány pro nejkvalitnější směsi, které značíme písmenem „S“. Požadavek na vrstvu SAL je 1 - 3 % mezerovitost. Mezerovitost zkušebních těles a jejich zhutnění by měly odpovídat mezerovitosti

a zhutnění položených konstrukčních asfaltových vrstev. Tyto dva parametry jsou hlavními aspekty kontroly pokládky.

6.2.1 Průběh zkoušky

Pro zkoušku mezerovitosti musíme znát objemové hmotnosti zhutněné směsi ρ_m a maximální objemovou hmotnost ρ_b .

6.2.2 Vyhodnocení zkoušky

Pokud známe objemové hmotnosti, dosadíme je do tohoto vzorce:

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

V_m [%]	mezerovitost směsi
ρ_m [kg/m ³]	maximální objemová hmotnost nezhuštěné směsi
ρ_b [kg/m ³]	objemová hmotnost zkušebního tělesa

6.3 Zkouška trvalých deformací^[9]

Zkouška trvalých deformací (zkouška pojíždění kolem) je popsána v normě ČSN EN 12697-22. Princip této zkoušky spočívá ve stanovení náchylnosti asfaltové zhutněné směsi (desky) k deformaci (vyjetí kolejí) při konstantní teplotě. Zkouškou se simulují pouze svislé účinky silně usměrněné dopravy. Maximální frakce kameniva pro tuto zkoušku může být 32 mm. Čím větší je hloubka koleje po ukončení zkoušky, tím má zhutněná směs větší náchylnost k deformaci.

Existují 3 typy zařízení pro vyjíždění kolejí. První jsou extra velká zkušební zařízení, velká zkušební zařízení a malá zkušební zařízení. Pro tuhle zkoušku bylo použito malé zkušební zařízení.

6.3.1 Průběh zkoušky

Na tuto zkoušku bylo zapotřebí připravit 2 asfaltové desky SAL o tloušťce 30 mm. Tyto desky byly vsazeny do kovových čelistí, ve kterých tato zkouška probíhala. Kovové čelisti s vloženými deskami se nechaly před samotnou zkouškou temperovat po dobu 5-ti hodin při teplotě 40 °C v horkovzdušné peci. Tato zkouška obvykle probíhá při teplotě 50 °C, ale protože není vrstva SAL na povrchu vozovky, byla tato teplota snížena na 40 °C. Před započítáním zkoušky se zapnulo vzduchové nahřívání zařízení pro vyjíždění kolejí.



Obrázek 19: Přístroj pro zkoušku trvalých deformací

Po temperaci se zkušební vzorky namontovaly pomocí šroubů do zařízení. V softwaru se nastavilo 10 000 zatěžovacích cyklů při 40 °C a zařízení bylo puštěno až do jeho ukončení. V průběhu vyjíždění byly jednotlivé výsledky automaticky ukládány do paměti. Po ukončení zkoušky byly výsledky uloženy v souboru MS Excel, poté byly vyhodnoceny.

6.3.2 Vyhodnocení zkoušky

Pro výpočet byl použit tento vzorec:

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

WTS_{AIR} [mm/10 ³]	přírůstek hloubky koleje na 1000 zatěžovacích cyklů
$d_{10\,000}$ [mm]	hloubka koleje po 10 000 cyklech
$d_{5\,000}$ [mm]	hloubka koleje po 5 000 cyklech

Výsledkem zkoušky je průměr parametru WTS_{AIR} z obou desek.

Při této zkoušce se vypočítává ještě průměrná poměrná hloubka PRD_{AIR}

$$PRD_{AIR} = \frac{d_{10\,000}}{t} * 100$$

PRD_{AIR} [%]	průměrná poměrná hloubka vyjeté koleje s přesností 0,1 %
$d_{10\,000}$ [mm]	hloubka koleje po 10 000 cyklech
t [mm]	tloušťka desky

Výsledkem zkoušky je průměr poměrné hloubky vyjeté z obou desek.

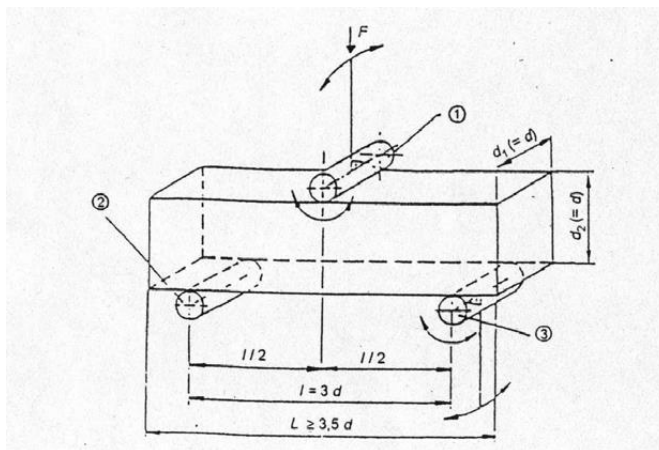


Obrázek 20: Vyjetá kolej v desce

6.4 Zkouška zhutněné asfaltové směsi v tahu za ohybu^[2]

Tato zkouška je podrobně popsána v TP 151. Podstatou zkoušky je stanovení deformačních charakteristik litých a zhutněných asfaltových směsí při nízkých teplotách (obvykle v rozsahu ± 0 °C až -20 °C) zkouškou pevnosti v tahu za ohybu. Při zkoušce je

zkušební těleso tvaru hranolu namáháno obvykle silou působící uprostřed vzdálenosti podpor.



Obrázek 21: Schéma zatěžování zkušebního tělesa, Zdroj: ČSN EN 12390-5 Zkoušení betonových těles [16]

Ke zkoušce je zapotřebí zařízení pro výrobu zkušebních těles tvaru desky, pila na řezání zkušebních asfaltových těles, laboratorní váhy s možností vážení těles na suchu i ve vodě s přesností 0,1 g, kovové plíšky pro omezení vtlačování podpor a zatěžovacího břitu s rozměry 40 x 10 x 3 mm pro zkušební vzorky 40 x 40 x 160 mm, vteřinové lepidlo, posuvné měřítko, mrazicí box pro vytemperování těles při $\pm 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ s tolerancí $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, temperovací izolovaná vodní lázeň, laboratorní lis s konstantním posunem $1,25\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ s měřením síly s přesností na 10 N se zapisovacím zařízením.

Pro tuto zkoušku musíme zhotovit minimálně 4 zkušební tělesa ve tvaru hranolu. Byla vyhotovena tělesa s rozměry 40 x 40 x 160 mm. Tělesa se vyrobí vyříznutím ze zkušebních desek tak, že obě delší stěny musí být zaříznuté a musí být odstraněny nedostatečně zhutněné okraje desek. Protilehlé strany musí být rovnoběžné, šířka a výška se od požadovaných rozměrů nesmí lišit o více než 5%.



Obrázek 22: Zkušební tělesa pro zkoušku tahu za ohybu a relaxace

V místech působení zatěžovacího břitu a obou podpor se lepidlem nalepí kovové plíšky tak, aby vnější síly mohly při zatěžování působit ve středu plíšků. Vzdálenost podpor byla 100 mm. Před nalepením plíšku se změří výšky, šířka a délka zkušebních trámečků a vypočítá se jejich objemová hmotnost, která by se neměla lišit o více než $0,04 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$. Pevnostní a deformační charakteristiky se stanovují zpravidla při teplotách $\pm 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$). Při teplotě $\pm 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ se zkušební tělesa (vždy alespoň 4) temperují ve vodní lázni nejméně 1,5 hod. s použitím drceného ledu za stálého míchání. Teplota vodní lázně musí být v rozsahu $\pm 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+1 \text{ }^{\circ}\text{C}$.



Obrázek 23: Čelisti pro zkoušku tahu za ohybu, Zdroj: Dip. Práce Pavel Coufalík [14]

6.4.1 Průběh zkoušky

Před provedením zkoušky se zkontroluje záznamové zařízení posunu síly a lisu. Vytemperovaná tělesa se vkládají do lisu stejnou stranou, jak byla zhutňována lisu při výrobě. Vzorek musí ležet na podporách na zatěžovacích plíščích. Poté zkušební těleso se zatíží rychlostí $1,25 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ a zapne se grafický záznam. Zatěžuje se až do doby porušení a zaznamená se maximální dosažená síla u každého vzorku. Zkouška musí být provedena co možná nejrychleji, od vytáhnutí tělesa z temperovací lázně do jeho porušení musí uplynout doba maximálně 120 s.



Obrázek 24: Lis pro zkoušku tah za ohybu

6.4.2 Vyhodnocení zkoušky

Z naměřených hodnot se vypočítá pevnost v tahu za ohybu R_t :

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

P [N]	největší síla
l [mm]	vzdálenost podpor zkušebního tělesa
b [mm]	šířka zkušebního tělesa

h [mm] výška zkušební tělesa

Modul tuhosti v tahu za ohybu E_s [Mpa]:

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

Y_s [mm] korigovaný průhyb zjištěný uprostřed rozpětí při okamžiku porušení vzorku

Maximální relativní přetvoření ε_s

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

Přesnost v tahu za ohybu R_i je 0,01 MPa, přesnost modulu tuhosti E_s je zaokrouhlení na 10 MPa, přesnost relativního přetvoření je 0,01 %. Výsledkem zkoušek je průměr minimálně ze tří těles, odchylky se nesmí lišit od průměru více než o 25 %.

6.5 Zkouška relaxace zhutněné asfaltové směsi^[2]

Podstatou zkoušky je stanovení relaxačních charakteristik litých směsí a hutněných asfaltových směsí zkouškou v tahu za ohybu. Zkouška se provádí při teplotě ± 0 °C ve vodní lázni. Pro orientační stanovení relaxačních charakteristik lze zkoušku provést na vytemperovaném a povrchově izolovaném vzorku, avšak v časově omezeném rozsahu. Při zkoušce je zkušební těleso tvaru hranolu namáháno ohybem - silou působící uprostřed vzdálenosti podpor. Po vnesení zkušebního napětí je při neměnném přetváření v závislosti na čase sledován jeho pokles.

Ke zkoušce je zapotřebí zařízení pro výrobu zkušebních těles tvaru desky, pila na řezání zkušebních asfaltových těles, laboratorní váhy s možností vážení těles na suchu i ve vodě s přesností 0,1 g, kovové plíšky pro omezení vtlačování podpor a zatěžovacího břitu s rozměry 40 x 10 x 3 mm pro zkušební vzorky 40 x 40 x 160 mm,

vteřinové lepidlo, posuvné měřítko s přesností alespoň 0,1 mm, mrazicí box pro vytemperování těles při ± 0 °C s tolerancí ± 2 °C, temperovací izolovanou vodní lázeň s míchacím či vířícím zařízením, laboratorní lis umožňující po dosažení požadované síly udržet konstantní přetvoření s měřením velikosti působící síly s přesností alespoň na 100 N v závislosti na čase pomocí zapisovacího zařízení.

Tato zkouška vyžaduje zhotovení minimálně 4 zkušebních těles ve tvaru hranolu. Pro naši zkoušku byly vyhotoveny tělesa s rozměry 40 x 40 x 160 mm. Tělesa se vyrobí vyříznutím ze zkušebních desek vyrobených dle normy ČSN EN 12697-33 tak, že obě delší stěny musí být zaříznuté a musí být odstraněny nedostatečně zhutněné okraje desek. Protilehlé strany musí být rovnoběžné, šířka a výška se od požadovaných rozměrů nesmí lišit o více než 5 %.

V místech působení zatěžovacího břitu a obou podpor se lepidlem nalepí kovové plíšky tak, aby vnější síly mohly při zatěžování působit ve středu plíšků. Před nalepením plíšku se změří výšky, šířka a délka zkušebních trámečků a vypočítá se jejich objemová hmotnost, která by se neměla lišit o více než $0,04 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$. Pevnostní a deformační charakteristiky se stanovují zpravidla při teplotách ± 0 °C. Při teplotě ± 0 °C se zkušební tělesa (vždy alespoň 4) temperují ve vodní lázni nejméně 1,5 hod. s použitím drceného ledu za stálého míchání. Teplota vodní lázně musí být v rozsahu ± 0 °C až $+1$ °C.

6.5.1 Průběh zkoušky

Při provádění zkoušky se nejprve zkontroluje činnost záznamového zařízení posunu síly lisu včetně správnosti hodnot. Zkouška se skládá ze dvou fází.

V první fázi se určila největší průměrná dosažená síla na trámečcích ze zkoušky v tahu za ohybu, čili z šesti těles.

V druhé fázi se vytemperovaná zkušební tělesa vkládala do zkušební lisu tak, aby ležela na podporách zatěžovacími plíškami.



Obrázek 25: Zkušební vzorek při zkoušce relaxace

Spustí se lis a záznamové zařízení a zajistí se možnost udržování konstantního přetvoření vzorku. Lis se nastaví na největší rychlost a jeho síla se nastaví na $\frac{2}{3}$ síly dosažené ve zkoušce tahu za ohybu. Po dosažení této hodnoty se posun zastaví a začne se udržovat konstantní přetvoření zkušebního tělesa. Pomocí grafického záznamu se pozoruje pokles síly v závislosti na čase - jejich zmenšení po 18 sekundách na 50 % původní hodnoty, po 120 sekundách pokles na 30% původní hodnoty.



Obrázek 26: Zařízení pro zkoušku relaxace

6.5.2 Průběh zkoušky

Napětí v tahu za ohybu $\sigma(t)$ [MPa] s přesností 0,01 MPa

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

$Pr(t)$ [N]	síla zaznamenaná v čase t
l [mm]	vzdálenost podpor zkušební tělesa
b [mm]	šířka zkušební tělesa
h [mm]	výška zkušební tělesa

Výpočet relativního relaxačního napětí $\sigma_r(t)$ s přesností na 0,001. Čas $t = 0$ s odpovídá dosažení největší síly - je začátkem relaxace.

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

$Pr(t_0)$ [N]	největší dosažená síla v (N) na začátku relaxace
$Pr(t)$ [N]	síla zaznamenaná v čase t

Výsledkem zkoušky je závislost relativního relaxačního napětí $\sigma_r(t)$ na čase vypočítaná jako aritmetický průměr hodnot zjištěných nejméně na 3 zkušebních tělesech. Odchyłky jednotlivých hodnot se nesmí od průměru lišit více jak o 25 %. Pokud některé zkušební těleso nevyhoví výše uvedeným podmínkám, vyhodnocení se vyloučí.

7. VÝSLEDKY ZKOUŠEK

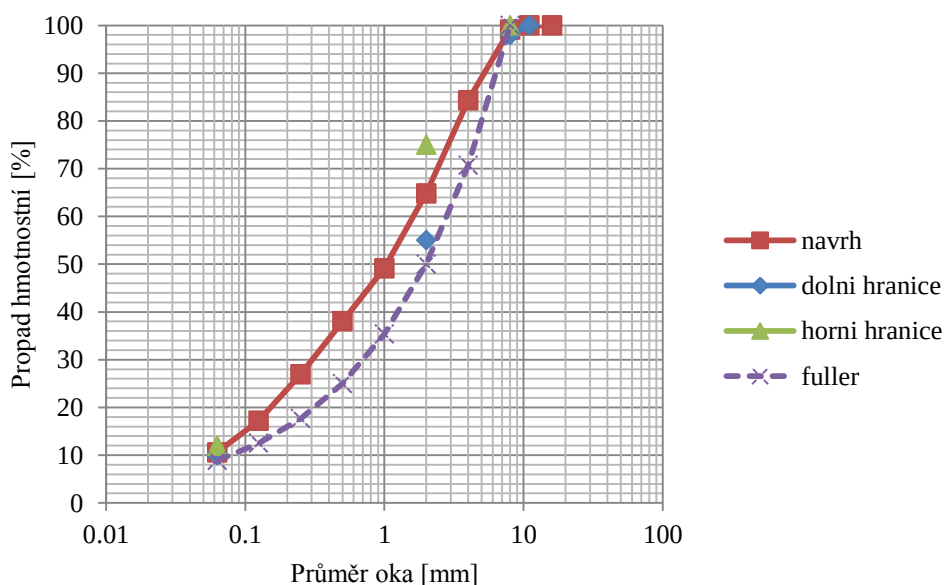
Výsledky mých zkoušek se budou porovnávat s výsledky prací Ing. Martina Kalfeřta a Ing. Pavla Coufalíka, kteří se zabývali ve svých diplomových pracích stejnou problematikou a stejnými zkouškami. Budou se zde uvádět souhrnné tabulky.

7.1 Porovnání pojiv a směsí s výsledky v jiných diplomových pracích

Ing. Martin Kalfeřt ve své diplomové práci pracuje s pojivy modifikované pryžovým granulátem Mexphalte RM+ firmy Shell a RMB vyrobené v laboratoři metodou Continuous Blend. Toto pojivo obsahuje 16 % pryžového granulátu, který se do něj přidává při teplotě 170 - 185 °C. Pojivo RM+ dával do směsi s maximálním zrnem 4 mm, proto se tato směs nebude s ostatními porovnávat. U jeho otevřených směsí dával pojivo RMB a maximální zrno 8 mm. Tuto směs pojmenoval jako směs číslo 2 RMB otevřená. Tato směs se vzhledem ke stejné maximální frakci bude porovnávat s ostatními směsmi. Obsah pojiva u této směsi byl 9 %. Tato směs nebyla navržena v mezích zrnitosti dle TP 147, mezerovitost byla uvažována mezi 4 - 5 %. Teplota míchání byla 170 °C , teplota hutnění 160 °C.

Dávkování [N]	Frakce	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
59	4/8 Luleč	97	16	5	4	4	4	3	2,8
36	0/4 Lulec	100	95	71	48	33	19	8	3,7
5	Moučka Mokrý	100	100	100	100	100	100	90	72,8
100		98	49	34	25	19	14	9	6,6

Tabulka 8: Směs číslo 2 RMB otevřená



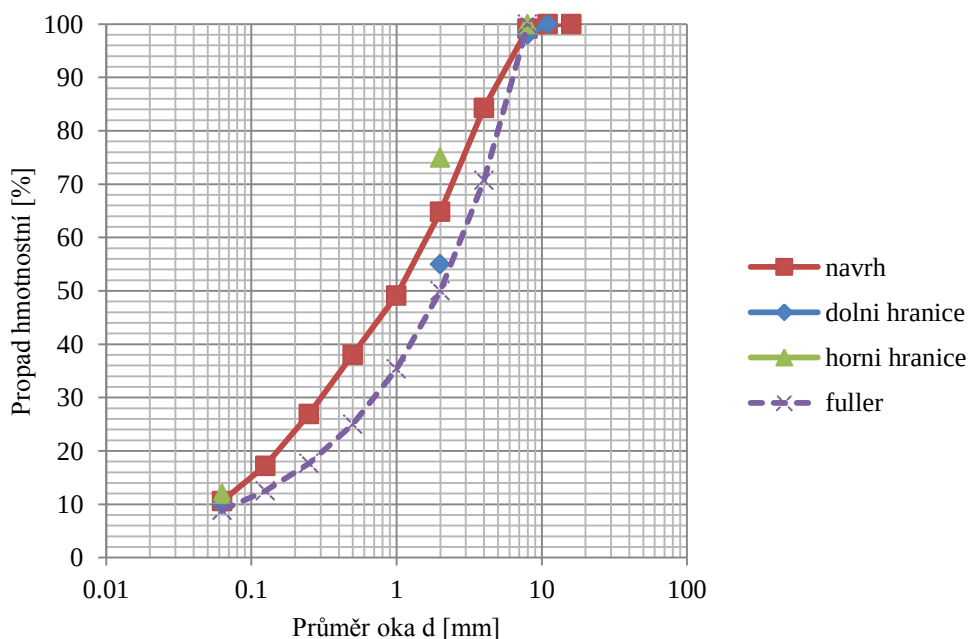
Graf 2: Křivka zrnitosti směsi číslo 2 RMB otevřená

Ing. Pavel Coufalík má jako jedinou vrstvu s maximálním zrnem 8 mm pod názvem směs číslo 3. Jako jediná z jeho vrstev je navržena dle TP 147. Obsah pojiva CRmB byl 10 %. Jednalo se o pojivo OMV Bitumen 50/70. Tento silniční asfalt byl vyráběný v rafinerii ve Schwechatu a byl modifikován pryžovým granulátem vyráběným firmou Kovosteel, který byl v pojivu zastoupen 19,5 %. Teplota míchání byla u tohoto pojiva 170 °C, teplota hutnění 155 °C.

Pojivo CRmB i RMB jsou pravděpodobně stejná pojiva, která vznikla přidáním drcené pryže do asfaltového pojiva. Liší se svým procentuálním zastoupením ve směsi. Přestože se jedná o stejná pojiva, budou se v této diplomové práci od sebe odlišovat názvem, aby bylo více zřejmé, o kterou směs se jedná.

Dávkování [N]	Frakce	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
14	4/8 Luleč	94	9	2	1	1	1	1	1,0
74	0/4 Lulec	100	96	71	50	35	20	8	2,3
12	Moučka Mokrá	100	100	100	100	100	100	93	73,0
100		99	84	65	49	38	27	17	10,6

Tabulka 9: Směs číslo 3



Graf 3: Křivka zrnitosti směsi číslo 3

7.2 Výsledky zkoušky penetrace jehlou

7.2.1 Výsledky zjištěné v této diplomové práci

Pojivo	Penetrace [0,1 mm]				
	1.	2.	3.	4.	Průměr
OPA	85	84	86	85	85
PMB	56	58	58	58	58

Tabulka 10: Výsledky zkoušky penetrace jehlou

Hodnoty splňují maximální rozptyl jednotlivých měření určených normou. Pro penetraci mezi 50 - 149 platí maximální rozptyl 4 penetračních jednotek.

7.2.2 Porovnání s ostatními výsledky

Pro přehledné porovnání je zde uvedena souhrnná tabulka všech pojiv.

Pojivo	Penetrace [0,1 mm]				
	1.	2.	3.	4.	Průměr
OPA	85	84	86	85	85
PMB	56	58	58	58	58
RM+	42	40	41	-	41
OMV 50/70	67	65	64	-	65
RMB	23	28	24	-	25
CRmB	27	29	28	28	28

Tabulka 11: Porovnání výsledků zkoušky penetrace jehlou

U všech zkoušek vyšel maximální rozdíl jednotlivých měření. Z tabulky můžeme na první pohled vyčíst, že největších výsledků dosáhlo pojivo OPA. Je proto jednoznačně nejměkčí. Na druhou stranu za nejtvrdší pojivo v našem srovnání můžeme považovat RMB, které dosáhlo nejmenších hodnot ze všech.

7.3 Výsledky zkoušky kroužek kulička

7.3.1 Výsledky zjištěné v této diplomové práci

Pojivo	Teplota kul. č. 1 [°C]	Teplota kul. č. 2 [°C]	Průměrná teplota [°C]
OPA	71,9	71,2	71,6
PMB	72,5	71,9	72,2

Tabulka 12: Výsledky zkoušky kroužek kulička

Maximální odchylka u modifikovaných asfaltů jako OPA a PMB může být do 2 °C. Kulička neporušila v průběhu zkoušky vrstvu, kterou je obalena před tím, než se dotkla základní desky. Tyto výsledky lze proto považovat za validní.

7.3.2 Porovnání s ostatními výsledky

Pojivo	Teplota kul. č. 1 [°C]	Teplota kul. č. 2 [°C]	Průměrná teplota [°C]
OPA	71,9	71,2	71,6
PMB	72,5	71,9	72,2
RM+	-	-	75,6
OMV 50/70	-	-	47,9
RMB	-	-	71,1
CRmB	71,5	70,9	71,2

Tabulka 13: Porovnání výsledků zkoušky kroužek kulička

Ing. Martin Kalfeřt ve své práci uváděl pouze průměrné hodnoty. Jednotlivé výsledky zkoušky kroužek kulička v jeho diplomové práci nebyly uvedeny. Můžeme předpokládat, že všechny výsledky uvedené v tabulce jsou správné a v souladu s požadavky normy. V práci Ing. Martina Kalfeřta toto bohužel nemůžeme ověřit.

Z výsledků je zřejmé, že všechny modifikované asfalty mají vyšší teplotu bodu měknutí pojiva než běžné asfalty. Toto tvrzení jasně potvrzuje asfalt OMV 50/70, který má nejnižší teplotu bodu měknutí 47,9 °C.

7.4 Výsledky zkoušky stanovení maximální objemové hmotnosti nezhuťné směsi

7.4.1 Výsledky zjištěné v této diplomové práci

Označení malých pyknometrů	Pyknometr II.	Pyknometr IV.
Hmotnost prázdných pyknometrů m_1 [g]	384,2	379,0
Hmotnost pyknometrů se směsí m_2 [g]	782,0	779,6
Hmotnost pyknometrů se směsí a trichlorem m_3 [g]	1495,8	1494,6
Objem pyknometrů V_p [ml]	658,0	658,1
Hustota rozpouštědla [kg/m^3]	1452,1	1452,1
Teplota při temperování [°C]	25,0	25,0
Maximální objemová hmotnost [kg/m^3]	2380,8	2391,1
Průměr	2385,9	

Tabulka 14: Výsledky stanovení maximální objemové hmotnosti nezhuťné směsi

Průměr obou maximálních objemových hmotností byl $2385,9 \text{ kg/m}^3$.

7.4.2 Porovnání s ostatními výsledky

Směs	Maximální objemová hmotnost (průměr) [kg/m ³]
Vlk SAL (OPA)	2385,9
Kalfeřt SAL (RMB) - směs č. 2	2353,0
Coufalík SAL (CRmB) - směs č. 3	2327,7

Tabulka 15: Porovnání výsledků maximální objemové hmotnosti

Z tabulky lze vyčíst, že směs s největší maximální objemovou hmotností byla směs SAL s asfaltovým pojivem OPA.

7.5 Výsledky zkoušky stanovení objemové hmotnosti zhutněné směsi

Výsledky popisují jak objemovou hmotnost a mezerovitost Marshallových těles, tak i desek, které byly použity na zkoušku trvalých deformací, dále pak trámečků, které byly použity na zkoušky tahu za ohybu a zkoušky relaxace.

7.5.1 Výsledky zjištěné v této diplomové práci

7.5.1.1 Objemová hmotnost Marshallových těles

Tato první tabulka shrnuje objemové hmotnosti zhutněné asfaltové směsi - Marshallových těles. Postup stanovení objemových hmotností je popsán v normě ČSN EN 12697-6 jako postup B „metoda nasyceného suchého povrchu“.

Vzorek/Hmotnost	na suchu [g]	ve vodě [g]	po vysušení [g]	Obj. hm. [kg/m ³]
1.	1213,3	686,8	1215,2	2291,8
2.	1219,0	687,0	1220,9	2278,9
3.	1209,8	683,6	1211,3	2288,2
Průměr				2286,3

Tabulka 16: Výsledky objemové hmotnosti Marshallových těles

Průměrný výsledek této zkoušky je 2286,3 kg/m³. Když tento výsledek podělíme maximální objemovou hmotností 2385,9 kg/m³, odečteme od jedničky a vynásobíme 100, dostaneme mezerovitost. Podrobnější popis se nachází v normě ČSN EN 12697 -

8. Měření objemové hmotnosti probíhalo při teplotě vody 21,1 °C, což odpovídá hustotě vody 998,1 kg/m³.

$$V_m = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_m} * 100$$

V_m [%]	mezerovitost s přesností 0,1 %
ρ_m [kg/m ³]	maximální objemová hmotnost směsi
ρ_b [kg/m ³]	objemová hmotnost zkušebního tělesa

Výsledek mezerovitosti byl 4 %. Toto číslo sice nepatrně vybočuje z požadavků TP 147, kde se uvádí mezerovitost v intervalu 1 - 3 %, jenže tato mezerovitost byla myšlená při zkoušce maximální objemové hmotnosti pyknometry naplněné vodou. Při této zkoušce s trichlórem bude vycházet mezerovitost vždy trochu větší.

7.5.1.2 Objemová hmotnost desek pro zkoušku trvalých deformací

Vzorek/Hmotnost	na suchu [g]	ve vodě [g]	po vysušení [g]	Obj. hm. [kg/m ³]
1. PMB	5558,1	3158,2	5579,2	2291,2
2. PMB	5546,3	3165,4	5558,6	2312,9
1. OPA	5552,2	3165,4	5558,8	2315,5
2. OPA	5559,6	3165,2	5564,7	2312,6

Tabulka 17: Objemové hmotnosti desek pro zkoušku trvalých deformací

Všechny desky mají hodně podobnou objemovou hmotnost. Měření probíhalo při teplotě 21,0 °C, což odpovídá hustotě vody o 997,9 kg/m³. Pro výpočet míry zhutnění byl použit tento vzorec:

$$M = \frac{\rho_{b1}}{\rho_{b2}} * 100$$

ρ_{b1} [kg/m ³]	objemová hmotnost desky
ρ_{b2} [kg/m ³]	objemová hmotnost Marshallových těles

Míra zhutnění porovnává objemové hmotnosti Marshallových těles a námi vyrobených desek. Po dosazení hodnot do vzorce získáváme tuto tabulku:

Vzorek	Míra zhutnění [%]
1. PMB	100,2
2. PMB	101,0
1. OPA	101,2
2. OPA	101,1

Tabulka 18: Míra zhutnění desek pro zkoušku trvalých deformací

Míra zhutnění asfaltových desek by se měla pohybovat v intervalu 99 - 101 %. Tyto desky tuto horní hodnotu občas lehce překonaly, ale nejedná se žádná katastrofální čísla, takže se s těmito deskami v experimentech dále počítalo.

Vzorek	Mezerovitost [%]
1. PMB	4,0
2. PMB	3,1
1. OPA	3,0
2. OPA	3,1

Tabulka 19: Mezerovitost desek pro zkoušku tahu za ohybu

7.5.1.3 Objemová hmotnost desek pro zkoušku relaxace a tahu za ohybu

Toto měření probíhalo při teplotě 20,0 °C. Při této teplotě má voda 998,2 kg/m³. Vyráběné desky měly větší tloušťku 40 mm. Naměřené hmotnosti jsou proto větší.

Vzorek/Hmotnost	na suchu [g]	ve vodě [g]	po vysušení [g]	obj. hm. [kg/m ³]
1. PMB	7406,5	4212,3	7437,5	2291,8
2. PMB	7399,8	4188,6	7427,6	2279,8
1. OPA	7398,2	4206,4	7415,5	2300,8
2. OPA	7407,4	4211,2	7421,2	2302,9

Tabulka 20: Objemová hmotnost desek pro zkoušku relaxace a tahu za ohybu

Míra zhutnění těchto desek vyšla takto:

Vzorek	Míra zhutnění [%]	Mezerovitost [%]
1. PMB	100,2	3,9
2. PMB	101,0	4,5
1. OPA	101,2	3,6
2. OPA	101,1	3,5

Tabulka 21: Míra zhutnění desek pro zkoušku relaxace a tahu za ohybu

Z tabulky jde vidět, že míra zhutnění vyšla do intervalu 99 - 101 %.

7.5.1.4 Objemová hmotnost trámečků pro zkoušku tahu za ohybu a relaxace

Vzorek/Hmotnost	na suchu [g]	ve vodě [g]	po vysušení [g]
PMB 1.1	614,8	351,3	615,9
PMB 1.2	614,1	351,0	614,9
PMB 1.3	609,1	348,0	610,1
PMB 1.4	605,4	345,3	606,4
PMB 1.5	605,4	345,0	606,7
PMB 1.6	603,7	344,3	604,9
PMB 2.1	595,8	337,9	597,0
PMB 2.2	594,6	336,5	595,7
PMB 2.3	598,5	339,1	599,9
PMB 2.4	599,2	339,7	600,2
PMB 2.5	604,3	342,8	605,4
PMB 2.6	609,2	345,8	610,8
OPA 1.1	584,4	331,1	586,0
OPA 1.2	587,8	334,7	588,6
OPA 1.3	589,9	336,2	590,6
OPA 1.4	592,5	337,0	593,1
OPA 1.5	598,4	341,3	599,1
OPA 1.6	605,3	346,2	605,9
OPA 2.1	593,7	338,9	594,7
OPA 2.2	592,7	338,0	593,4
OPA 2.3	591,9	337,5	592,6
OPA 2.4	594,9	338,9	595,4
OPA 2.5	602,3	344,0	603,0
OPA 2.6	610,0	348,5	610,6

Tabulka 22: Hmotnost trámečků pro zkoušku tahu za ohybu a relaxace

V těchto tabulkách jsou shrnuty kompletní údaje o vyřezaných trámečcích. Jednotlivé objemové hmotnosti splňují podmínku maximální odchylky od průměrné hodnoty objemové hmotnosti o 0,04 g/cm³ tzn. o 40 kg/m³. Jednotlivé rozměry byly měřeny, zda splňují podmínku maximální odchylky o 5 % od hodnoty 40 x 40 x 160 mm. Všechny trámečky tuto podmínku splňují.

Trochu se liší míra zhutnění jednotlivých trámečků. Ta je od sebe navzájem různá oproti deskám z které byly trámečky vyřezány. Z každé desky byly odřezány kraje a bylo vyřezáno 6 trámečků, očíslovaných po sobě. První a poslední byly krajní, třetí byl vždy prostřední.

Vzorek	Obj. hm [kg/m ³]	Míra zhutnění [%]	Rozměr [mm]
PMB 1.1	2318,9	101,4	41,1x40,7x160x1
PMB 1.2	2321,9	101,6	40,9x40,8x161,2
PMB 1.3	2318,9	101,4	41,2x40,3x160,0
PMB 1.4	2314,0	101,2	40,1x40,0x161,3
PMB 1.5	2308,7	101,0	39,8x39,9x160,2
PMB 1.6	2311,9	101,1	41,2x41,0x162,3
PMB 2.1	2294,9	100,4	41,3x41,8x159,3
PMB 2.2	2289,4	100,1	41,3x41,2x161,2
PMB 2.3	2290,3	100,2	41,2x40,9x161,9
PMB 2.4	2295,6	100,4	41,3x40,8x161,2
PMB 2.5	2296,6	100,5	42,0x41,8x160,8
PMB 2.6	2294,3	100,3	41,3x40,2x160,9
OPA 1.1	2292,6	100,3	41,2x41,2x161,3
OPA 1.2	2310,5	101,1	42,0x41,2x160,5
OPA 1.3	2314,2	101,2	41,3x41,2x161,0
OPA 1.4	2308,9	101,0	41,3x42,0x161,8
OPA 1.5	2316,5	101,3	41,3x42,0x162,3
OPA 1.6	2326,1	101,7	41,5x41,3x162,3
OPA 2.1	2316,3	101,3	41,6x41,5x162,4
OPA 2.2	2316,0	101,3	40,3x41,2x161,3
OPA 2.3	2315,6	101,3	41,2x41,5x162,5
OPA 2.4	2316,6	101,3	41,1x41,2x163,1
OPA 2.5	2320,8	101,5	42,0x41,5x162,8
OPA 2.6	2322,7	101,6	41,5x41,3x161,5

Tabulka 23: Objemová hmotnost trámečků pro zkoušku tahu za ohybu a relaxace

7.5.2 Porovnání s ostatními výsledky

7.5.2.1 Porovnání objemových hmotností Marshallových těles

Směs	Marsal. těl.	Obj. hm. [kg/m ³]	Obj. hm. prům. [kg/m ³]	Mezerovitost [%]
Vlk SAL (OPA)	1.	2291,8	2286,3	4,0
	2.	2278,9		
	3.	2288,2		
Kalfeřt SAL (RMB) - směs č. 2	1.	2252,3	2242,4	4,7
	2.	2231,5		
	3.	2243,4		
Coufalík SAL (CRmB) - směs č.3	1.	2264,2	2262,2	2,8
	2.	2262,2		
	3.	2260,2		

Tabulka 24: Porovnání objemových hmotností a mezerovitosti Marshallových těles

Všechny 3 směsi mají podobné objemové hmotnosti, které se pohybují kolem 2260 kg/m³. Směs Ing. Pavla Coufalíka má znatelně nižší mezerovitost. V jeho diplomové práci stanovoval mezerovitost dvěma způsoby. U prvního způsobu (postup D - „stanovení objemové hmotnosti z rozměrů“) vycházela mezerovitost znatelně vyšší (kolem 3,8 %) a u druhého postupu (postup B - „stanovení objemové hmotnosti metodou nasyceného suchého povrchu“) vycházela průměrná hodnota kolem 2,8 %.

7.5.2.2 Porovnání objemových hmotností desek na zkoušku trvalých deformací

Porovnání objemových hmotností a míry zhutnění zobrazuje tato tabulka:

Směs	Deska	Obj. hm. [kg/m ³]	Míra zhutnění [%]
Vlk SAL (OPA)	1. PMB	2291,2	100,2
	2. PMB	2312,9	101,0
	1. OPA	2315,5	101,2
	2. OPA	2312,6	101,1
Kalfeřt SAL (RMB) - směs č. 2	1. RMB	2241,9	100,0
	2. RMB	2240,3	99,9
Coufalík SAL (CRmB) - směs č.3	1. CRmB	2239,5	99,0
	2. CRmB	-	-

Tabulka 25: Porovnání objemových hmotností desek pro zkoušku trvalých deformací

Některé údaje se z diplomové práce nedalo vyčíst. Autor ve své práci neuvedl popis druhé desky, na které prováděl zkoušku trvalých deformací. Srovnání mezerovitosti zobrazuje tato tabulka:

Směs	Deska	Mezerovitost [%]
Vlk SAL (OPA)	1. PMB	4,0
	2. PMB	3,1
	1. OPA	3,0
	2. OPA	3,1
Kalfeřt SAL (RMB) - směs č. 2	1. RMB	4,7
	2. RMB	4,7
Coufalík SAL (CRmB) - směs č.3	1. CRmB	3,8
	2. CRmB	-

Tabulka 26: Porovnání mezerovitosti desek pro zkoušku trvalých deformací

7.5.2.3 Porovnání objemových hmotností desek na zkoušku tahu za ohybu a relaxace

Směs	Deska	Obj. hm. [kg/m ³]	Míra zhutnění [%]
Vlk SAL (OPA)	1. PMB	2291,8	100,2
	2. PMB	2279,8	99,7
	1. OPA	2300,8	100,6
	2. OPA	2302,9	100,7
Kalfeřt SAL (RMB) - směs č.2	1. RMB	-	-
	2. RMB	-	-
Coufalík SAL (CRmB) - směs č.3	1. CRmB	2246,9	99,3
	2. CRmB	-	-

Tabulka 27: Porovnání objemových hmotností desek pro zkoušku tahu za ohybu a relaxace

Opět se údaje ohledně některých desek nepodařilo zjistit, protože je autoři ve svých diplomových pracích neuváděli.

Směs	Deska	Mezerovitost [%]
Vlk SAL (OPA)	1. PMB	3,9
	2. PMB	4,5
	1. OPA	3,6
	2. OPA	3,5
Kalfeřt SAL (RMB) - směs č.2	1. RMB	-
	2. RMB	-
Coufalík SAL (CRmB) - směs č.3	1. CRmB	3,5
	2. CRmB	-

Tabulka 28: Porovnání mezerovitosti desek pro zkoušku tahu za ohybu a relaxace

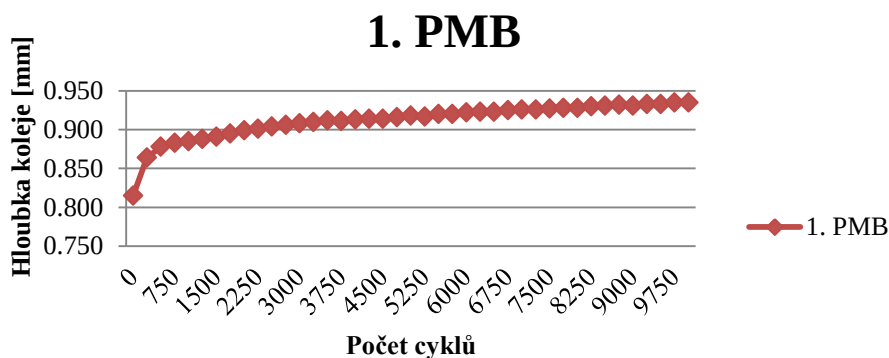
7.6 Výsledky zkoušky trvalých deformací

7.6.1 Výsledky zjištěné v této diplomové práci

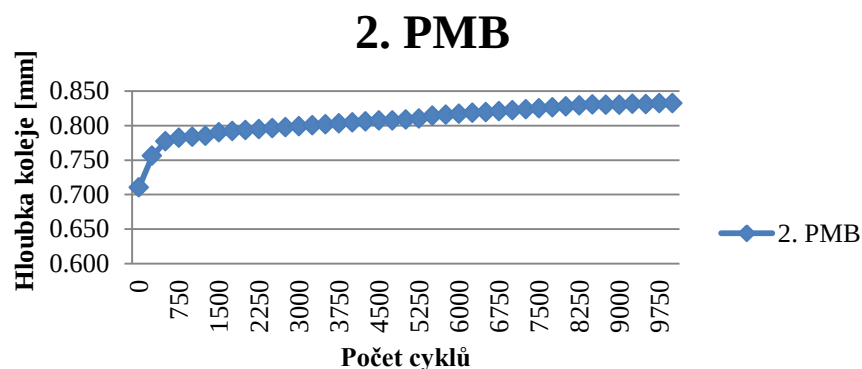
Deska	Hloubka kolejí [mm]	WTS _{AIR} [mm/10 ³ cyklů]	PRD _{AIR} [%]
1. PMB	0,935	0,036	3,1
2. PMB	0,832	0,022	2,8
1. OPA	0,562	0,032	1,9
2. OPA	0,600	0,058	2,0

Tabulka 29: Výsledky zkoušky trvalých deformací

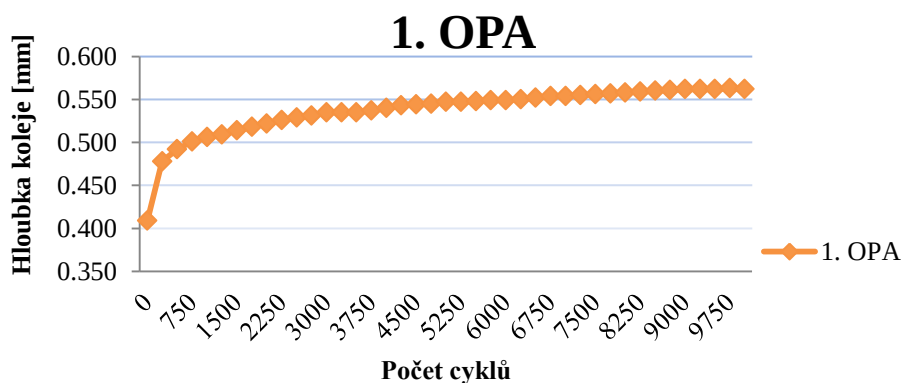
Výsledky splnily požadavky na vrstvu SAL dle TP 147. WTS_{AIR} má být maximálně 0,08 mm/10³ cyklů a PRD_{AIR} má být maximálně 8 %. Hloubky jsou brány po 10 000 cyklech. Jednotlivé průběhy vyjíždění hloubek kolejí jsou znázorněny na těchto grafech:



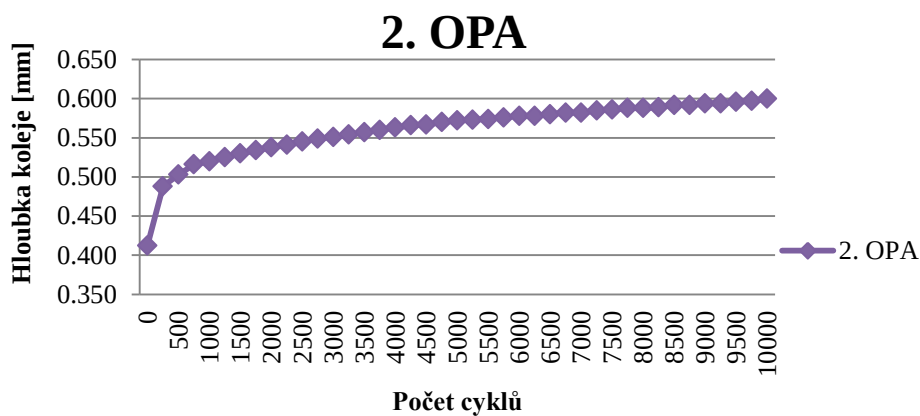
Graf 4: Závislost hloubky kolejí na počtu cyklů desky s pojivem PMB



Graf 5: Závislost hloubky kolejí na počtu cyklů desky s pojivem PMB



Graf 6: Závislost hloubky kolejí na počtu cyklů desky s pojivem OPA



Graf 7: Závislost hloubky kolejí na počtu cyklů desky s pojivem OPA

7.6.2 Porovnání s ostatními výsledky

Deska	Hloubka kolejí [mm]	WTS _{AIR} [mm/10 ³ cyklů]	PRD _{AIR} [%]
1. PMB	0,935	0,036	3,1
2. PMB	0,832	0,022	2,8
1. OPA	0,562	0,032	1,9
2. OPA	0,600	0,058	2,0
1. RMB	1,060	0,036	3,5
2. RMB	1,010	0,038	3,4
1. CRmB	1,580	0,048	4,5

Tabulka 30: Porovnání výsledků zkoušky trvalých deformací

Všechny výsledky vyhovují požadavkům TP 147. Z diplomové práce Ing. Pavla Coufalíka nebyly možné zjistit výsledky druhé desky. Zkoušku jsem prováděl na 6-ti

trámečcích z každého pojiva. Vyšší hloubka kolejí směsí s CRmB a RMB je pravděpodobně způsobena vyšší teplotou při zkoušení, a to 50 °C místo 40 °C (OPA, PMB).

7.7 Výsledky zkoušky tahu za ohybu

7.7.1 Výsledky zjištěné v této diplomové práci

Zkouška tahu za ohybu se dělala na první sérii trámečků označených jako 1.X.

Vzorek	Vzdálenost podpor [mm]	Síla [N]	Pevnost v tahu za ohybu Ri [MPa]	Průhyb při porušení [mm]
PMB 1.1	100	2987	7,0	1,51
PMB 1.2	100	3652	8,6	1,46
PMB 1.3	100	3665	8,6	1,20
PMB 1.4	100	3355	7,9	1,81
PMB 1.5	100	2655	6,2	1,28
PMB 1.6	100	2707	6,3	1,27
OPA 1.1	100	2108	4,9	1,95
OPA 1.2	100	2451	5,7	1,68
OPA 1.3	100	2489	5,8	1,68
OPA 1.4	100	2629	6,2	1,69
OPA 1.5	100	2719	6,4	1,64
OPA 1.6	100	2733	6,4	1,85

Tabulka 31: Výsledky zkoušky tahu za ohybu

Vzorek	Modul tuhosti Es [MPa]	Maximální relativní přetvoření ϵ_S [%]
PMB 1.1	193,2	3,62
PMB 1.2	244,3	3,50
PMB 1.3	298,3	2,88
PMB 1.4	181,0	4,34
PMB 1.5	202,6	3,07
PMB 1.6	208,2	3,05
OPA 1.1	105,6	4,68
OPA 1.2	142,5	4,03
OPA 1.3	144,7	4,03
OPA 1.4	151,9	4,06
OPA 1.5	161,9	3,94
OPA 1.6	144,3	4,44

Tabulka 32: Výsledky zkoušky tahu za ohybu

Vzorky PMB 1.2, 1.3 a 1.4 měly nalepené plíšky na oříznuté hrany a byly zkoušeny v jiném směru, než se zhutňovaly. Na porušení těchto vzorků musela být vynaložena větší síla.

7.7.2 Porovnání s ostatními výsledky

Vzorek	Vzdálenost podpor [mm]	Síla [N]/Průměr [N]	Pevnost v tahu za ohybu R_i [MPa]/ Průměr [Mpa]	
PMB 1.1	100	2987	7,0	7,4
PMB 1.2	100	3652	8,6	
PMB 1.3	100	3665	8,6	
PMB 1.4	100	3355	7,9	
PMB 1.5	100	2655	6,2	
PMB 1.6	100	2707	6,3	
OPA 1.1	100	2108	4,9	5,9
OPA 1.2	100	2451	5,7	
OPA 1.3	100	2489	5,8	
OPA 1.4	100	2629	6,2	
OPA 1.5	100	2719	6,4	
OPA 1.6	100	2733	6,4	
RMB 1	100	4207	9,8	10,3
RMB 2	100	4856	10,9	
CRmB 1	100	4422	10,2	9,7
CRmB 2	100	3474	8,4	
CRmB 3	100	4608	10,5	

Tabulka 33: Porovnání výsledků zkoušky tahu za ohybu

Do průměrné síly porušení byly započaty pouze vzorky PMB 1.1, PMB 1.5 a PMB 1.6. Zbytek byl zkoušen z jiné strany, proto nebyl do průměrné síly započítán. Dle TP 151 se mají desky zkoušet ze stejné strany, jak byly hutněny při výrobě. Z tabulky lze vyčíst, že trámečky RMB a CRmB potřebují větší sílu k jejich porušení.



Obrázek 27: Porušený zkušební vzorek, Zdroj: Dip. Práce Pavel Coufalík

Vzorek	Modul tuhosti E_s [MPa]/ Průměr [MPa]	Průhyb při porušení [mm]/Průměr [mm]		
PMB 1.1	193,2	221	1,51	1,42
PMB 1.2	244,3		1,46	
PMB 1.3	298,3		1,20	
PMB 1.4	181,0		1,81	
PMB 1.5	202,6		1,28	
PMB 1.6	208,2		1,27	
OPA 1.1	105,6	142	1,95	1,75
OPA 1.2	142,5		1,68	
OPA 1.3	144,7		1,68	
OPA 1.4	151,9		1,69	
OPA 1.5	161,9		1,64	
OPA 1.6	144,3		1,85	
RMB 1	135,6	158	3,03	2,83
RMB 2	180,9		2,62	
CRmB 1	159,0	160	2,65	2,57
CRmB 2	180,0		1,99	
CRmB 3	141,0		3,06	

Tabulka 34: Porovnání výsledků zkoušky tahu za ohybu

Z této tabulky lze vyčíst, že trámečky z PMB mají nejmenší průhyb při porušení a zároveň nejvyšší modul tuhosti E_s .

Vzorek	Maximální relativní přetvoření ϵ_s [%]/Průměr [%]	
PMB 1.1	3,62	3,41
PMB 1.2	3,50	
PMB 1.3	2,88	
PMB 1.4	4,34	
PMB 1.5	3,07	
PMB 1.6	3,05	
OPA 1.1	4,68	4,20
OPA 1.2	4,03	
OPA 1.3	4,03	
OPA 1.4	4,06	
OPA 1.5	3,94	
OPA 1.6	4,44	
RMB 1	7,27	6,78
RMB 2	6,29	
CRmB 1	6,44	6,20
CRmB 2	4,69	
CRmB 3	7,47	

Tabulka 35: Porovnání výsledků zkoušky tahu za ohybu

PMB i OPA trámečky mají nejmenší maximální relativní přetvoření ϵ_s .

7.8 Výsledky zkoušky relaxace

7.8.1 Výsledky zjištěné v této diplomové práci

Relaxace se prováděla na druhé sérii trámečků s označením 2.X. Pro tuto zkoušku byly použity o 2/3 zmenšené průměrné síly ze zkoušky tahu v ohybu pro přidržení trámečku.

Vzorek	Čas zkoušky [min]	Teoretická síla [N]	Teoretické napětí [MPa]	Skut. max. síla [N]	Skut. max. napětí [MPa]
PMB 2.1	10	1855,3	0,435	1881,8	0,441
PMB 2.2	5	1855,3	0,435	1869,8	0,438
PMB 2.3	5	1855,3	0,435	1869,2	0,438
PMB 2.4	5	1855,3	0,435	1891,4	0,443
PMB 2.5	5	1855,3	0,435	1880,9	0,441
PMB 2.6	5	1855,3	0,435	1863,3	0,437
OPA 2.1	10	1855,3	0,435	1882,2	0,441
OPA 2.2	10	1681,0	0,394	1719,2	0,403
OPA 2.3	5	1681,0	0,394	1695,7	0,397
OPA 2.4	5	1681,0	0,394	1692,2	0,397
OPA 2.5	5	1681,0	0,394	1703,9	0,399
OPA 2.6	5	1681,0	0,394	1695,8	0,397

Tabulka 36: Výsledky zkoušky relaxace

Vzorek	Síla v $t=18s$ [N]	Max 50% ze skutečné síly [%]		Síla v $t=120s$ [N]	Max 30% ze skutečné síly [%]	
PMB 2.1	1033,7	54,90	nevyhovuje	525,5	27,93	vyhovuje
PMB 2.2	1003,9	53,69	nevyhovuje	521,0	27,86	vyhovuje
PMB 2.3	982,2	52,55	nevyhovuje	514,5	27,53	vyhovuje
PMB 2.4	1079,3	57,06	nevyhovuje	580,4	30,69	nevyhovuje
PMB 2.5	1049,6	55,80	nevyhovuje	572,1	30,42	nevyhovuje
PMB 2.6	953,0	51,15	nevyhovuje	509,1	27,32	vyhovuje
OPA 2.1	1042,1	55,37	nevyhovuje	475,3	25,25	vyhovuje
OPA 2.2	939,5	54,64	nevyhovuje	433,5	25,22	vyhovuje
OPA 2.3	755,7	44,57	vyhovuje	348,0	20,52	vyhovuje
OPA 2.4	842,5	49,79	vyhovuje	381,1	22,52	vyhovuje
OPA 2.5	848,6	49,80	vyhovuje	378,8	22,23	vyhovuje
OPA 2.6	850,7	50,16	nevyhovuje	381,4	22,49	vyhovuje

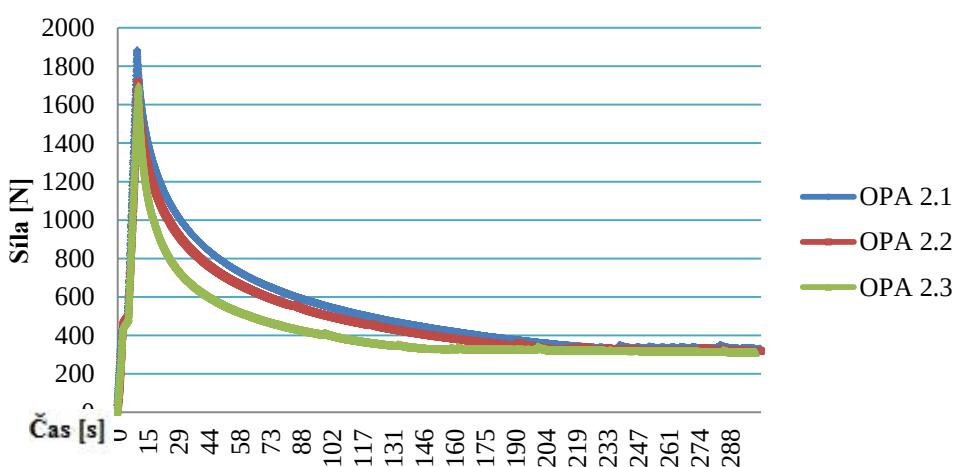
Tabulka 37: Výsledky zkoušky relaxace

Firma Eurovia stanovila další požadavky na vrstvu SAL, které nejsou uvedeny v TP 147. V požadavcích je pokles síly o 50 % za 18 s od počáteční maximální síly, na kterou byl trámeček ohnut a pokles síly na 30 % za 120 s od počáteční maximální síly.

Ve směsi s pojivem PMB nevyhověl ani jeden trámeček na požadavek poklesu síly o 50 % a 2 trámečky nevyhověly na pokles síly na 30 % po uplynutí 120 s.

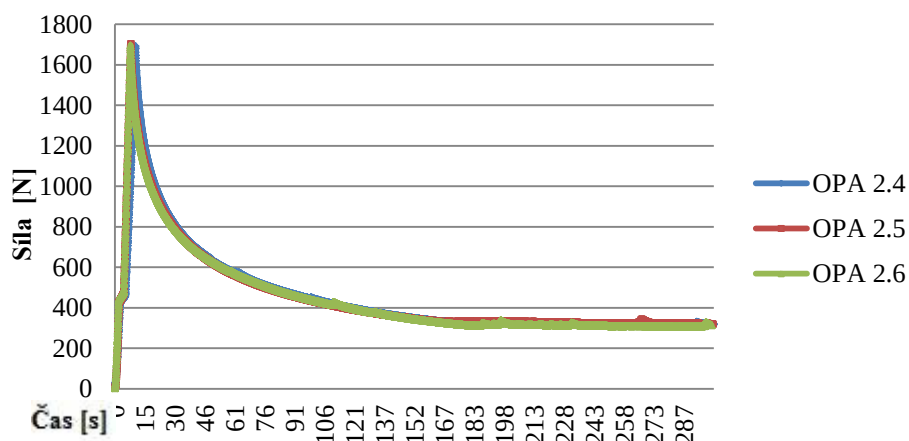
Směs s pojivem OPA na tom byla o mnoho lépe. Na 50 % pokles síly od počátku vyhověly hned 3 trámečky a na pokles síly na 30 % vyhověly všechny trámečky.

Grafické znázornění relaxace



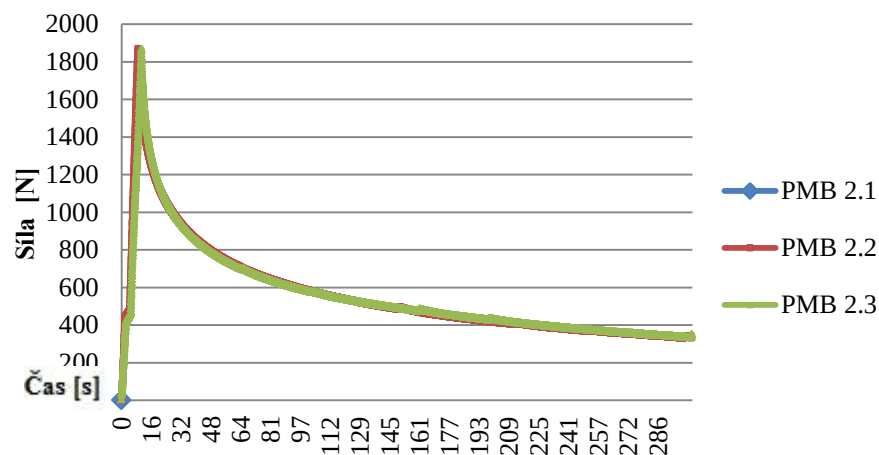
Graf 8: Grafické znázornění relaxace

Grafické znázornění relaxace



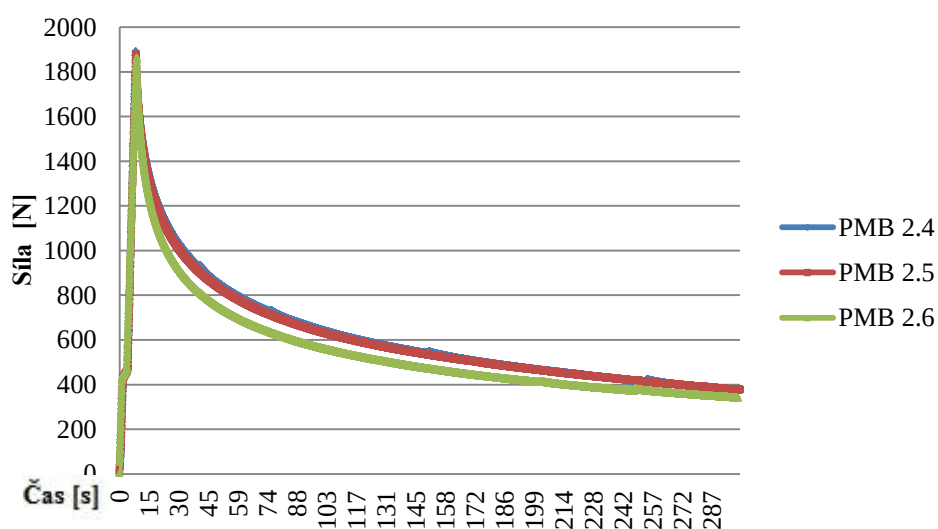
Graf 9: Grafické znázornění relaxace

Grafické znázornění relaxace



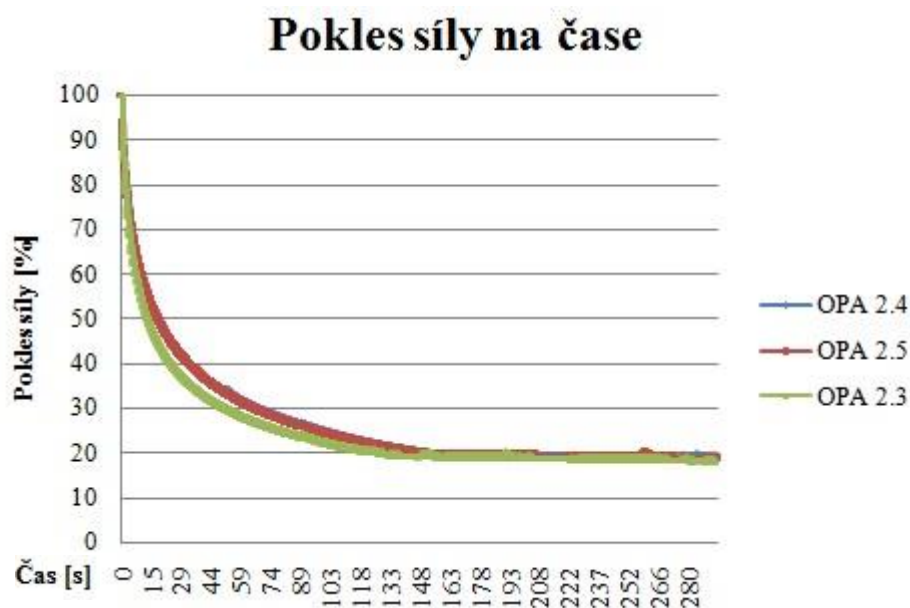
Graf 10: Grafické znázornění relaxace

Grafické znázornění relaxace



Graf 11: Grafické znázornění relaxace

Tyto 4 grafy zobrazují průběh zkoušky relaxace. Čas $t = 0$ s znázorňuje počátek zatěžování.



Graf 12: Grafické znázornění poklesu síly na čase

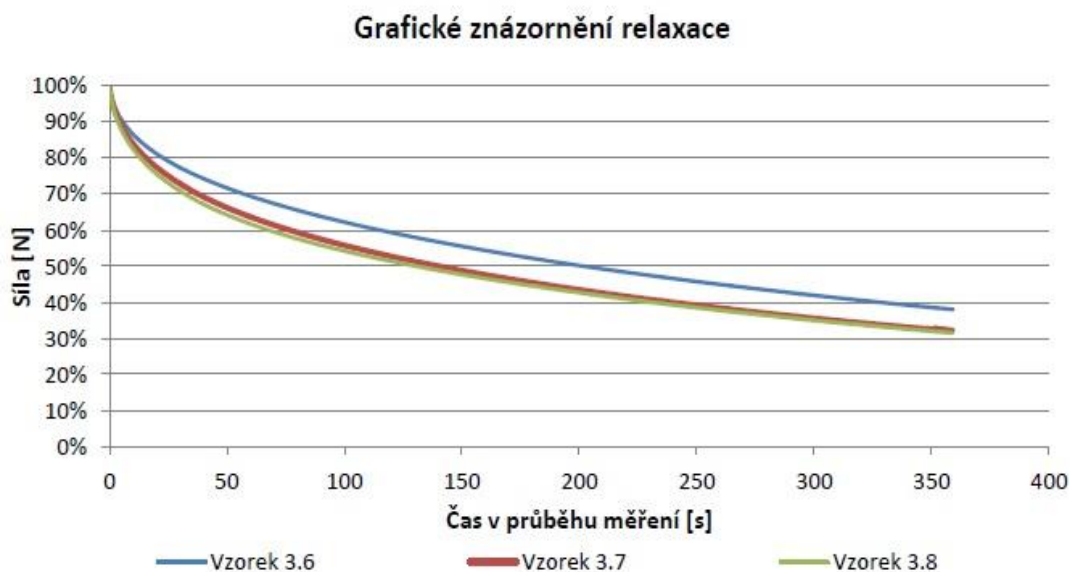
Tento graf znázorňuje procentuální pokles síly. 100% značí dosažení maximální síly pro přidržení zkušebního tělesa.

7.8.2 Porovnání s ostatními výsledky

Vzorek	Skut. max síla [N]	Síla v t=18s [N]	Max 50% ze skutečné síly [%]		Síla v t=120s [N]	Max 30% ze skutečné síly [%]	
PMB 2.1	1881,8	1033,7	54,90	nevyhovuje	525,5	27,93	vyhovuje
PMB 2.2	1869,8	1003,9	53,69	nevyhovuje	521,0	27,86	vyhovuje
PMB 2.3	1869,2	982,2	52,55	nevyhovuje	514,5	27,53	vyhovuje
PMB 2.4	1891,4	1079,3	57,06	nevyhovuje	580,4	30,69	nevyhovuje
PMB 2.5	1880,9	1049,6	55,80	nevyhovuje	572,1	30,42	nevyhovuje
PMB 2.6	1863,3	953,0	51,15	nevyhovuje	509,1	27,32	vyhovuje
OPA 2.1	1882,2	1042,1	55,37	nevyhovuje	475,3	25,25	vyhovuje
OPA 2.2	1719,2	939,5	54,64	nevyhovuje	433,5	25,22	vyhovuje
OPA 2.3	1695,7	755,7	44,57	vyhovuje	348,0	20,52	vyhovuje
OPA 2.4	1692,2	842,5	49,79	vyhovuje	381,1	22,52	vyhovuje
OPA 2.5	1703,9	848,6	49,80	vyhovuje	378,8	22,23	vyhovuje
OPA 2.6	1695,8	850,7	50,16	nevyhovuje	381,4	22,49	vyhovuje
RMB 1	3021,0	1994,6	66,02	nevyhovuje	1057,5	35,00	nevyhovuje
RMB 2	3021,0	2057,0	68,09	nevyhovuje	1090,4	36,09	nevyhovuje
RMB 3	3021,0	2006,0	66,40	nevyhovuje	1030,9	34,12	nevyhovuje
RMB 4	3021,0	1888,0	62,50	nevyhovuje	914,2	30,26	nevyhovuje

Tabulka 38: Porovnání výsledků relaxace

Žádný vzorek RMB Ing. Martina Kalfeřta nevyhověl podmínkám Eurovie na pokles síly o 50 % v čase $t = 18$ s, ani na pokles o 30 % v čase $t = 120$ s. Jednoznačně jsou lepší vzorky s PMB a OPA. V diplomové práci Ing. Pavla Coufalíka nebylo možné najít žádné přesné hodnoty poklesu síly v čase jeho vzorků s pojivem CRmB. Je tam uveden pouze graf shrnující pokles síly.



Obrázek 28: Relaxace zkušebních těles Ing. Pavla Coufalíka, Zdroj: Dip. Práce Pavel Coufalík [14]

Z tohoto grafu lze vyčíst, že ani jeho směs nesplňuje požadavky Eurovie na pokles síly. Směsi s asfaltovým pojivem modifikovaným pryžovým granulátem neumožňují vzorku tak poddajně relaxovat jako vzorky zhotovené z PMB či OPA. Možná je to způsobeno právě pryží, která má tendenci vracet zkušební těleso do původního stavu a zabraňuje rychlému vyprchání síly.

8. ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout směs SAL dle TP 147 s podobnou čarou zrnitosti jako je směs číslo 3 z diplomové práce Ing. Pavla Coufalíka a udělat srovnání mezi těmito směsí a směsí číslo 2 z diplomové práce Ing. Martina Kalfeřta.

Hlavním cílem srovnávání těchto různých směsí bylo stanovení vlivů asfaltových pojiv jako RMB, CRmB, PMB a OPA.

První zkouškou pro srovnání byla zkouška penetrace jehlou dle ČSN EN 1426. Touto zkouškou se srovnávala asfaltová pojiva a ne celé směsi. Při této zkoušce se zjistilo, že směsi modifikované pryžovým granulátem (RMB a CRmB) mají o dost menší penetraci, než ostatní pojiva. Jedná se tedy o pojiva, odolná proti vniknutí cizích předmětů do jejich struktury. To může být způsobeno i částicemi pryže, na které jehla při svém průniku může narazit.

Druhá zkouška v této diplomové práci se jmenovala kroužek kulička dle ČSN EN 1427. Další zkouška, kde se porovnávají pojiva místo asfaltových směsí. Z výsledků této zkoušky bylo zjištěno, že nejnižší bod měknutí má čistý neupravený asfalt OMV 50/70. Všechny modifikované asfalty mají průměrnou teplotu bodu měknutí o dost vyšší.

Třetí důležitá zkouška odolnosti vůči trvalým deformacím, popsána v ČSN EN 12697-22+A1. Tato zkouška simuluje účinek zatížení od dopravy na zkušebním tělese. Při této zkoušce se mělo projevit vliv pojiva na hloubce kolejí. Výsledky této zkoušky v této diplomové práci nejsou moc objektivní, protože byly porovnávány směsmi při jiné teplotě vyjíždění. Vyšší teplotě odpovídala také vyšší hloubka kolejí, takže se nemůže jednoznačně určit, která směs je lepší a která horší.

Další čtvrtá zkouška se jmenuje tah za ohybu, popsána v TP 151. Výsledkem této zkoušky byla maximální síla, pevnost v tahu za ohybu, modul tuhosti a průhyb při porušení. Největší průměrnou maximální sílu pro porušení vzorku měla směs číslo 2 s pojivem RMB, zato nejmenší sílu měla směs s pojivem OPA. Směs s CRmB měla podobně vysoké hodnoty jako RMB. Pravděpodobně to vypovídá o pryži, která má elastické vlastnosti a schopnost vrátit zkušební vzorek do původního rovného stavu. O těchto pružných vlastnostech hovoří i větší průhyby při porušení oproti vzorkům s pojivem s modifikovaným polymerem.

Poslední pátá zkouška relaxace navazovala na zkoušku v tahu za ohybu, ze které byly vypočítány síly pro přidržení tělesa v deformovaném stavu. Zkouška je popsána v TP 151. Při této zkoušce se sledovala tendence oslabení síly ze zkušebního vzorku po

jeho ohnutí na předem spočítanou sílu. Jako čas začátku relaxace se bralo dosažení maximální síly při ohybu, dále se sledoval čas v $t = 18$ s a čas v $t = 120$ s, při kterém musela síla oslabit na určitou hodnotu. Nejlepší výsledky dosahovala směs s pojivem OPA, při které 3 zkušební tělesa z 6-ti tyto podmínky splnila. Ostatní tělesa splnila buď jen jednu podmínku, nebo žádnou z podmínek. Nejhorší výsledky měly opět pojiva modifikované pryžovým granulátem. Opět se projevila elastická schopnost pryže vrátit těleso do původního stavu a bránila v rychlejší relaxaci.

9. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

9.1 Seznam použitých norem

- [1] TP 147: Užití asfaltových membrán a geosyntetik v konstrukci vozovky
- [2] TP 151: Asfaltové směsi s vysokým modulem tuhosti (VMT)
- [3] ČSN EN 933-1+A1. Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – síťový rozbor. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [4] ČSN EN 1426. Stanovení penetrace jehlou. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [5] ČSN EN 1427. Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení bodu měknutí - Metoda kroužek a kulička. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [6] 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.

- [7] 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.
- [8] ČSN EN 12697-8. Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 8: Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [9] ČSN EN 12697-22+A1. Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 22: Zkouška pojíždění kolem. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] ČSN EN 12697-35+A1. Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka– Část 35: Laboratorní výroba směsí. Praha: Český normalizační institut, 2007.

9.2 Další použité zdroje

- [13] Návrh speciálních asfaltových směsí SAL určených pro opravu cementobetonových krytů - Diplomová práce Bc. Martin Kalfeřt 2013/2014

- [14] Návrh a posouzení směsi pro asfaltové vrstvy se zvýšenou odolností proti šíření trhlin (SAL) - Diplomová práce Bc. Pavel Coufalík 2012/2013
- [15] Zkoušení asfaltových pojiv [online]. Praha, 2011 [cit. 2015-01-14]. Dostupné z: d2051.fsv.cvut.cz/predmety/eak/asfaltova_pojiva.pptx. Prezentace. ČVUT.
- [16] ČSN EN 12390-5. Zkoušení ztvrdlého betonu: Část 5: Pevnost v tahu ohybem zkušebních těles. 2009.
- [17] Příkopa. PŘÍKOPA, Miroslav. [online]. [cit. 2015-01-14]. Dostupné z: <http://prikopa.cz/>
- [18] Stroje pro zkušebnictví. [online]. [cit. 2015-01-14]. Dostupné z: <http://strojeprozkusebnictvi.cz>

10. SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Požadavky na asfaltovou vrstvu SAL dle TP 147 [1].....	18
Tabulka 2: Zkouška penetrace - maximální rozdíl mezi nejvyšším a nejnižším stanovením, Zdroj: ČSN EN 1426 [4].....	24
Tabulka 3: Požadavky na SAL dle TP 147, Zdroj: TP 147 [1].....	26
Tabulka 4: Procentuální propady.....	27
Tabulka 5: Navážka kameniva a pojiva pro výrobu Marshallových těles.....	30
Tabulka 6: Navážka kameniva a pojiva pro výrobu desek.....	32
Tabulka 7: Výpočet navážky na 1 desku.....	32
Tabulka 8: Směs číslo 2 RMB otevřená.....	45

Tabulka 9: Směs číslo 3.....	46
Tabulka 10: Výsledky zkoušky penetrace jehlou.....	47
Tabulka 11: Porovnání výsledků zkoušky penetrace jehlou.....	47
Tabulka 12: Výsledky zkoušky kroužek kulička.....	47
Tabulka 13: Porovnání výsledků zkoušky kroužek kulička.....	48
Tabulka 14: Výsledky stanovení maximální objemové hmotnosti nezhuťné směsi.....	48
Tabulka 15: Porovnání výsledků maximální objemové hmotnosti.....	49
Tabulka 16: Výsledky objemové hmotnosti Marshallových těles.....	49
Tabulka 17: Objemová hmotnost desek pro zkoušku trvalých deformací.....	50
Tabulka 18: Míra zhutnění desek pro zkoušku trvalých deformací.....	51
Tabulka 19: Mezerovitost desek pro zkoušku tahu za ohybu.....	51
Tabulka 20: Objemová hmotnost desek pro zkoušku tahu za ohybu.....	51
Tabulka 21: Míra zhutnění desek pro zkoušku relaxace a tahu za ohybu.....	51
Tabulka 22: Hmotnost trámečků pro zkoušku tahu za ohybu a relaxace.....	52
Tabulka 23: Objemová hmotnost trámečků pro zkoušku tahu za ohybu a relaxace.....	53
Tabulka 24: Porovnání objemových hmotností a mezerovitostí Marshallových těles.....	54
Tabulka 25: Porovnání objemových hmotností desek pro zkoušku trvalých deformací.....	54
Tabulka 26: Porovnání mezerovitosti desek pro zkoušku trvalých deformací.....	55
Tabulka 27: Porovnání objemových hmotností desek pro zkoušku tahu za ohybu	

a relaxace.....	55
Tabulka 28: Porovnání mezerovitosti desek pro zkoušku tahu za ohybu	
a relaxace.....	55
Tabulka 29: Výsledky zkoušky trvalých deformací.....	56
Tabulka 30: Porovnání výsledků zkoušky trvalých deformací.....	57
Tabulka 31: Výsledky zkoušky tahu za ohybu.....	58
Tabulka 32: Výsledky zkoušky tahu za ohybu.....	58
Tabulka 33: Porovnání výsledků zkoušky tahu za ohybu.....	59
Tabulka 34: Porovnání výsledků zkoušky tahu za ohybu.....	60
Tabulka 35: Porovnání výsledků zkoušky tahu za ohybu.....	60
Tabulka 36: Výsledky zkoušky relaxace.....	61
Tabulka 37: Výsledky zkoušky relaxace.....	61
Tabulka 38: Porovnání výsledků relaxace.....	64

11. SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Křivka zrnitosti směsi.....	27
Graf 2: Křivka zrnitosti směsi číslo 2 RMB otevřená.....	45
Graf 3: Křivka zrnitosti směsi číslo 3.....	46
Graf 4: Závislost hloubky kolejí na počtu cyklů desky s pojivem PMB.....	56
Graf 5: Závislost hloubky kolejí na počtu cyklů desky s pojivem PMB.....	56

Graf 6: Závislost hloubky kolejí na počtu cyklů desky s pojivem PMB.....	57
Graf 7: Závislost hloubky kolejí na počtu cyklů desky s pojivem PMB.....	57
Graf 8: Grafické znázornění relaxace.....	62
Graf 9: Grafické znázornění relaxace.....	62
Graf 10: Grafické znázornění relaxace.....	63
Graf 11: Grafické znázornění relaxace.....	63
Graf 12: Grafické znázornění poklesu síly na čase.....	64

12. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Konstrukce vozovky s nebo bez vložení vrstvy SAL, Zdroj: Dip.

Práce Pavel Coufalík [14].....	19
--------------------------------	----

Obrázek 2: Vložení vrstvy SAL mezi cementobetonovou a asfaltovou vrstvu,

Zdroj: Dip. Práce Pavel Coufalík [14].....	19
--	----

Obrázek 3: Kamenivo frakce 0/4, Zdroj: Prikopa [17].....

20

Obrázek 4: Kamenivo frakce 4/8, Zdroj: Prikopa. [17].....

20

Obrázek 5: Srovnání běžného pojiva s pojivem modifikovaným pryžovým

granulátem, Dip. Práce Pavel Cofalík [14].....	20
--	----

Obrázek 6: Prosévač kameniva, Zdroj: Stroje pro zkušebnictví [18].....

21

Obrázek 7: Zkušební jehla, Zdroj: Dip. Práce Pavel Coufalík [14].....

23

Obrázek 8: Zkouška penetrace.....

23

Obrázek 9: Propad kuličky, Zdroj: ČVUT - Zkoušení asfaltových pojiv [15].....	24
Obrázek 10: Přístroj na zkoušku bodu měknutí metodou kroužek kulička, Zdroj: Dip. Práce Pavel Coufalík [14].....	25
Obrázek 11: Postupný propad kuličky, Zdroj: ČVUT - Zkoušení asfaltových pojiv [15].....	25
Obrázek 12: Míchačka směsí, Zdroj: Dip. Práce Pavel Coufalík [14].....	28
Obrázek 13: Větrací přístroj.....	30
Obrázek 14: Rázový zhutňovač.....	30
Obrázek 15: Hydraulické zařízení pro vytáhnutí Marshallových těles.....	31
Obrázek 16: Marshallova tělesa.....	31
Obrázek 17: Segmentový zhutňovač desek.....	32
Obrázek 18: Vyrobená deska.....	33
Obrázek 19: Přístroj pro zkoušku trvalých deformací.....	36
Obrázek 20: Vyjetá kolej v desce.....	37
Obrázek 21: Schéma zatěžovacího zkušební tělesa, Zdroj: ČSN EN 12390-5. [16].....	38
Obrázek 22: Zkušební tělesa pro zkoušku tahu za ohybu a relaxace.....	39
Obrázek 23: Čelisti pro zkoušku tahu za ohybu, Zdroj: Dip. Práce Pavel Coufalík [14].....	39
Obrázek 24: Lis pro zkoušku tahu za ohybu.....	40
Obrázek 25: Zkušební vzorek při zkoušce relaxace.....	43
Obrázek 26: Zařízení pro zkoušku relaxace.....	43

Obrázek 27: Porušený zkušební vzorek, Zdroj: Dip. Práce Pavel Coufalík [14].....59

Obrázek 28: Relaxace zkušebních těles Ing. Pavla Coufalíka, Zdroj: Dip. Práce
Pavel Coufalík [14]..... 65

13. SEZNAM PŘÍLOH

13.1 Sítové rozbor

Sítový rozbor

1. Stanovení obsahu jemných částic

moučka č. 1

Hmotnost vysušené navážky před promýváním (M_1):	100,0 g
Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm (M_2):	15,8 g
Hmotnost propadu jemných částic na dně (P):	3,1 g
Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100$	87,3 %

2. Stanovení zrnitosti:

Velikost ok sít	Zbytky	Zbytky	Celkové zbytky	Propad
[mm]	[g]	[%]hm.	[%]hm.	[%]hm.
125	0,0	0	0	100
90	0,0	0	0	100
63	0,0	0	0	100
45	0,0	0	0	100
31,5	0,0	0	0	100
22,4	0,0	0	0	100
16	0,0	0	0	100
11,2	0,0	0	0	100
8	0,0	0	0	100
5,6	0,0	0	0	100
4	0,0	0	0	100
2	0,0	0	0	100
1	0,0	0	0	100
0,5	0,0	0	0	100
0,25	0,0	0	0	100
0,125	0,2	0	0	100
0,063	12,4	12,4	12,6	87,4
Dno sítový rozbor P	3,1	87,4	100,0	0,0
Dno jemné částice ($M_1 - M_2$)	84,2			
Celkem	99,9			

Sítový rozbor

1. Stanovení obsahu jemných částic

moučka č. 2

Hmotnost vysušené navážky před promýváním (M_1):	107,9 g
Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm (M_2):	18,8 g
Hmotnost propadu jemných částic na dně (P):	1,9 g
Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100$	84,3 %

2. Stanovení zrnitosti:

Velikost ok sít	Zbytky	Zbytky	Celkové zbytky	Propad
[mm]	[g]	[%]hm.	[%]hm.	[%]hm.
125	0,0	0	0	100
90	0,0	0	0	100
63	0,0	0	0	100
45	0,0	0	0	100
31,5	0,0	0	0	100
22,4	0,0	0	0	100
16	0,0	0	0	100
11,2	0,0	0	0	100
8	0,0	0	0	100
5,6	0,0	0	0	100
4	0,0	0	0	100
2	0,0	0	0	100
1	0,0	0	0	100
0,5	0,0	0	0	100
0,25	0,0	0	0	100
0,125	0,3	0	0	100
0,063	16,5	15,4	15,7	84,3
Dno sítový rozbor P	1,4	84,3	100,0	0,0
Dno jemné částice ($M_1 - M_2$)	89,1			
Celkem	107,3			

Sítový rozbor

1. Stanovení obsahu jemných částic

moučka průměr

Hmotnost vysušené navážky před promýváním (M_1):	104,0 g
Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm (M_2):	17,3 g
Hmotnost propadu jemných částic na dně (P):	2,5 g
Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100$	85,8 %

2. Stanovení zrnitosti:

Velikost ok sít	Zbytky	Zbytky	Celkové zbytky	Propad
[mm]	[g]	[%]hm.	[%]hm.	[%]hm.
125	0,0	0	0	100
90	0,0	0	0	100
63	0,0	0	0	100
45	0,0	0	0	100
31,5	0,0	0	0	100
22,4	0,0	0	0	100
16	0,0	0	0	100
11,2	0,0	0	0	100
8	0,0	0	0	100
5,6	0,0	0	0	100
4	0,0	0	0	100
2	0,0	0	0	100
1	0,0	0	0	100
0,5	0,0	0	0	100
0,25	0,0	0	0	100
0,125	0,3	0	0	100
0,063	14,5	14	14	86
Dno sítový rozbor P	2,3	85,8	100,0	0,0
Dno jemné částice (M1 - M2)	86,7			
Celkem	103,6			

Sítový rozbor

1. Stanovení obsahu jemných částic

frakce 0/4 č. 1

Hmotnost vysušené navážky před promýváním (M_1):	270,0 g
Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm (M_2):	260,8 g
Hmotnost propadu jemných částic na dně (P):	1,7 g
Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100$	4,0 %

2. Stanovení zrnitosti:

Velikost ok sít	Zbytky	Zbytky	Celkové zbytky	Propad
[mm]	[g]	[%]hm.	[%]hm.	[%]hm.
125	0,0	0	0	100
90	0,0	0	0	100
63	0,0	0	0	100
45	0,0	0	0	100
31,5	0,0	0	0	100
22,4	0,0	0	0	100
16	0,0	0	0	100
11,2	0,0	0	0	100
8	0,0	0	0	100
5,6	0,0	0	0	100
4	17,0	6	6	94
2	71,2	26	33	67
1	56,6	21	54	46
0,5	36,7	14	67	33
0,25	34,0	13	80	20
0,125	31,6	12	92	8
0,063	11,5	4,3	96	4,0
Dno sítový rozbor P	1,7	85,8	100,0	0,0
Dno jemné částice ($M_1 - M_2$)	9,2			
Celkem	269,5			

Sítový rozbor

1. Stanovení obsahu jemných částic

frakce 0/4 č. 2

Hmotnost vysušené navážky před promýváním (M_1):	354,8 g
Hmotnost vysušeného zůstatku na síť 0,063mm (M_2):	341,6 g
Hmotnost propadu jemných částic na dně (P):	3,0 g
Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100$	4,6 %

2. Stanovení zrnitosti:

Velikost ok sít	Zbytky	Zbytky	Celkové zbytky	Propad
[mm]	[g]	[%]hm.	[%]hm.	[%]hm.
125	0,0	0	0	100
90	0,0	0	0	100
63	0,0	0	0	100
45	0,0	0	0	100
31,5	0,0	0	0	100
22,4	0,0	0	0	100
16	0,0	0	0	100
11,2	0,0	0	0	100
8	0,0	0	0	100
5,6	0,0	0	0	100
4	20,8	6	6	94
2	88,2	25	31	69
1	73,0	21	51	49
0,5	50,5	14	66	34
0,25	43,6	12	78	22
0,125	40,3	11	89	11
0,063	21,1	6,0	95,4	4,6
Dno sítový rozbor P	3,0	4,6	100,0	0,0
Dno jemné částice ($M_1 - M_2$)	13,2			
Celkem	353,7			

Sítový rozbor

1. Stanovení obsahu jemných částic

frakce 0/4 průměr

Hmotnost vysušené navážky před promýváním (M_1):	312,4 g
Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm (M_2):	301,2 g
Hmotnost propadu jemných částic na dně (P):	2,3 g
Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100$	4,3 %

2. Stanovení zrnitosti:

Velikost ok sít	Zbytky	Zbytky	Celkové zbytky	Propad
[mm]	[g]	[%]hm.	[%]hm.	[%]hm.
125	0,0	0	0	100
90	0,0	0	0	100
63	0,0	0	0	100
45	0,0	0	0	100
31,5	0,0	0	0	100
22,4	0,0	0	0	100
16	0,0	0	0	100
11,2	0,0	0	0	100
8	0,0	0	0	100
5,6	0,0	0	0	100
4	18,9	6	6	94
2	79,7	26	32	68
1	64,8	21	52	48
0,5	43,6	14	66	34
0,25	38,8	12	79	21
0,125	36,0	12	90	10
0,063	16,3	5	96	4,0
Dno sítový rozbor P	2,4	4,3	100,0	0,0
Dno jemné částice ($M_1 - M_2$)	11,2			
Celkem	311,6			

Sítový rozbor

1. Stanovení obsahu jemných částic

frakce 4/8 č.1

Hmotnost vysušené navážky před promýváním (M_1):	672,0 g
Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm (M_2):	660,9 g
Hmotnost propadu jemných částic na dně (P):	1,1 g
Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100$	1,8 %

2. Stanovení zrnitosti:

Velikost ok sít	Zbytky	Zbytky	Celkové zbytky	Propad
[mm]	[g]	[%]hm.	[%]hm.	[%]hm.
125	0,0	0	0	100
90	0,0	0	0	100
63	0,0	0	0	100
45	0,0	0	0	100
31,5	0,0	0	0	100
22,4	0,0	0	0	100
16	0,0	0	0	100
11,2	0,0	0	0	100
8	42,0	6	6	94
5,6	0,0	0	0	100
4	492,3	73	80	20
2	96,9	14	94	6
1	15,2	2	96	4
0,5	5,0	1	97	3
0,25	2,7	0	97	3
0,125	2,0	0	98	2
0,063	3,1	0,5	98,2	1,8
Dno sítový rozbor P	1,1	1,8	100,0	0,0
Dno jemné částice ($M_1 - M_2$)	11,1			
Celkem	671,4			

Sítový rozbor

1. Stanovení obsahu jemných částic

frakce 4/8 č.2

Hmotnost vysušené navážky před promýváním (M_1):	700,3 g
Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm (M_2):	689,1 g
Hmotnost propadu jemných částic na dně (P):	0,8 g
Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100$	1,7 %

2. Stanovení zrnitosti:

Velikost ok sít	Zbytky	Zbytky	Celkové zbytky	Propad
[mm]	[g]	[%]hm.	[%]hm.	[%]hm.
125	0,0	0	0	100
90	0,0	0	0	100
63	0,0	0	0	100
45	0,0	0	0	100
31,5	0,0	0	0	100
22,4	0,0	0	0	100
16	0,0	0	0	100
11,2	0,0	0	0	100
8	51,9	7	7	93
5,6	0,0	0	0	100
4	561,4	80	88	12
2	96,9	14	94	6
1	2,5	0	98	2
0,5	0,2	0	98	2
0,25	0,1	0	98	2
0,125	1,1	0	98	2
0,063	2,1	0,3	98,3	1,7
Dno sítový rozbor P	0,8	1,7	100,0	0,0
Dno jemné částice ($M_1 - M_2$)	11,2			
Celkem	698,9			

Sítový rozbor

1. Stanovení obsahu jemných částic

frakce 4/8 průměr

Hmotnost vysušené navážky před promýváním (M_1):	686,2 g
Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063mm (M_2):	675,0 g
Hmotnost propadu jemných částic na dně (P):	0,9 g
Obsah jemných částic: $f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100$	1,8 %

2. Stanovení zrnitosti:

Velikost ok sít	Zbytky	Zbytky	Celkové zbytky	Propad
[mm]	[g]	[%]hm.	[%]hm.	[%]hm.
125	0,0	0	0	100
90	0,0	0	0	100
63	0,0	0	0	100
45	0,0	0	0	100
31,5	0,0	0	0	100
22,4	0,0	0	0	100
16	0,0	0	0	100
11,2	0,0	0	0	100
8	47,0	7	7	93
5,6	0,0	0	7	93
4	526,9	77	84	16
2	82,3	12	96	4
1	8,9	1	97	3
0,5	2,6	0	97	3
0,25	1,4	0	98	2
0,125	1,6	0	98	2
0,063	2,6	0	98	2
Dno sítový rozbor P	1,0	1,8	100,0	0,0
Dno jemné částice ($M_1 - M_2$)	11,2			
Celkem	685,2			

13.2 Protokoly ze zkoušky trvalých deformací

Desky vyjížděné 8.10.2014, pojivo PMB, tloušťka desek 30 mm, teplota hutnění 155°C.

Pojezdy	Cykly	Teplota [°C]	Kolej L1 [mm]	KolejL2 [mm]
0	0	40,0	0,815	0,710
500	250	40,0	0,864	0,756
1000	500	40,0	0,878	0,777
1500	750	40,0	0,883	0,782
2000	1000	40,1	0,885	0,783
2500	1250	40,1	0,888	0,785
3000	1500	40,1	0,891	0,790
3500	1750	40,0	0,895	0,792
4000	2000	40,1	0,899	0,793
4500	2250	40,1	0,901	0,795
5000	2500	40,2	0,904	0,796
5500	2750	40,1	0,906	0,797
6000	3000	40,1	0,908	0,799
6500	3250	40,2	0,910	0,800
7000	3500	40,2	0,912	0,802
7500	3750	40,2	0,911	0,803
8000	4000	40,2	0,913	0,804
8500	4250	40,2	0,914	0,806
9000	4500	40,1	0,914	0,807
9500	4750	40,2	0,916	0,807
10000	5000	40,2	0,918	0,808
10500	5250	40,2	0,917	0,810
11000	5500	40,2	0,920	0,814
11500	5750	40,2	0,920	0,815
12000	6000	40,2	0,922	0,817
12500	6250	40,2	0,923	0,818
13000	6500	40,2	0,923	0,819
13500	6750	40,1	0,925	0,821
14000	7000	40,2	0,926	0,822
14500	7250	40,2	0,926	0,823
15000	7500	40,2	0,927	0,825
15500	7750	40,2	0,928	0,826
16000	8000	40,1	0,928	0,828
16500	8250	40,2	0,930	0,829
17000	8500	40,2	0,931	0,830
17500	8750	40,2	0,932	0,830
18000	9000	40,2	0,931	0,830
18500	9250	40,2	0,933	0,831
19000	9500	40,1	0,933	0,831
19500	9750	40,2	0,935	0,832
20000	10000	39,8	0,935	0,832

Návrh asfaltových směsí typu SAL určených pro opravu cementobetonových krytů

Desky vyjížděné 15.10.2014, pojivo OPA, tloušťka desek 30 mm, teplota hutnění 155°C.

Pojezdy	Cykly	Teplota [°C]	Kolej L1 [mm]	Kolej L2 [mm]
0	0	400	0,409	0,412
500	250	399	0,478	0,488
1000	500	400	0,492	0,503
1500	750	400	0,501	0,516
2000	1000	401	0,506	0,520
2500	1250	401	0,509	0,525
3000	1500	401	0,514	0,530
3500	1750	401	0,518	0,534
4000	2000	401	0,522	0,538
4500	2250	401	0,526	0,541
5000	2500	401	0,529	0,545
5500	2750	401	0,531	0,549
6000	3000	401	0,535	0,551
6500	3250	402	0,535	0,554
7000	3500	401	0,535	0,557
7500	3750	402	0,537	0,560
8000	4000	401	0,540	0,563
8500	4250	402	0,543	0,566
9000	4500	402	0,544	0,567
9500	4750	402	0,545	0,570
10000	5000	402	0,547	0,572
10500	5250	402	0,547	0,573
11000	5500	402	0,548	0,574
11500	5750	401	0,549	0,576
12000	6000	402	0,549	0,578
12500	6250	402	0,550	0,578
13000	6500	402	0,552	0,580
13500	6750	402	0,554	0,582
14000	7000	402	0,554	0,582
14500	7250	402	0,555	0,585
15000	7500	402	0,556	0,586
15500	7750	402	0,557	0,588
16000	8000	402	0,558	0,588
16500	8250	402	0,559	0,589
17000	8500	402	0,560	0,592
17500	8750	402	0,561	0,592
18000	9000	402	0,562	0,594
18500	9250	402	0,562	0,594
19000	9500	402	0,562	0,596
19500	9750	402	0,563	0,597
20000	10000	403	0,562	0,600