



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

**VYUŽITÍ TENKÝCH OBRUSNÝCH VRSTEV S VYSOCE
POLYMEREM MODIFIKOVANÝM ASFALTEM**

USAGE OF THIN WEARING COURSES WITH HIGHLY POLYMER MODIFIED BITUMEN

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. Jaroslav Renza

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ONDŘEJ DAŠEK, Ph.D.

BRNO 2019



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

Student	Ing. Jaroslav Renza
Název	Využití tenkých obrusných vrstev s vysoce polymerem modifikovaným asfaltem
Vedoucí práce	Ing. Ondřej Dašek, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2018
Datum odevzdání	11. 1. 2019

V Brně dne 31. 3. 2018

doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Předané vzorky materiálů

ČSN EN 13108-2

Návrh nových národních požadavků na směsi typu BBTM

Zkušební normy na asfaltová pojiva

Normy řady 12697

Literatura z internetu

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

V rámci diplomové práce bude proveden návrh asfaltové směsi typu asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy (BBTM), která bude stmelená vysoce polymerem modifikovaným asfaltem (často označovaný jako HiMA). Vlastnosti této asfaltové směsi budou zhodnoceny vybranými vhodnými laboratorními zkouškami a srovnány s vlastnostmi stejné směsi stmelené klasickým polymerem modifikovaným asfaltem.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

Ing. Ondřej Dašek, Ph.D.

Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práce se v úvodu zabývá technologií provádění a použití asfaltového betonu pro velmi tenké vrstvy (BBTM) s využitím asfaltového pojiva vysoce polymerem modifikovaného (tzv. HiMA). Dále jsou zde popsány vybrané a provedené funkční zkoušky.

Práce pokračuje návrhem směsi pro obrusnou vrstvu typu asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy s různými pojivy. Po vhodném návrhu směsi proběhly laboratorní zkoušky (modul tuhosti, odolnost proti trvalým deformacím, nízkoteplotní charakteristiky, odolnost vůči vodě a ztráta částic).

Výstupem této práce je soubor naměřených hodnot a zpracovaných výsledků a jejich interpretace.

KLÍČOVÁ SLOVA

Asfaltové pojivo, HiMA, kamenivo, asfaltová směs, BBTM, modul tuhosti, odolnost proti trvalým deformacím, nízkoteplotní charakteristiky, odolnost vůči vodě, ztráta částic.

ABSTRACT

The diploma thesis deals with technology for the implementation and use of asphalt concrete for very thin layers (BBTM) with use of asphalt binder of high-polymer modification (HiMA). Further, there are described selected and performed functional tests.

Thesis also contains design of a mixture for bituminous concrete type targeted for very thin layers with different types of binders. After a suitable design of the mixture, laboratory tests were carried out (stiffness modulus, resistance to permanent deformation, low temperature characteristics, water resistance and particle loss).

The output of this work is a set of measured values and processed results with their interpretation.

KEYWORDS

Asphalt binder, HiMA, aggregate, asphalt mix, BBTM, stiffness modulus, resistance to permanent deformation, low temperature characteristics, water resistance, particle loss.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Ing. Jaroslav Renza *Využití tenkých obrusných vrstev s vysoce polymerem modifikovaným asfaltem*. Brno, 2018. 76 s. textu, 16 s. příloh. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce Ing. Ondřej Dašek, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Využití tenkých obrusných vrstev s vysoce polymerem modifikovaným asfaltem* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 30. 12. 2018

Ing. Jaroslav Renza

autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Využití tenkých obrusných vrstev s vysoce polymerem modifikovaným asfaltem* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 30. 12. 2018

Ing. Jaroslav Renza

autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval především vedoucímu své diplomové práce Ing. Ondřeji Daškovi, Ph.D. a také RNDr. Svatopluku Stokláskovi za jejich odbornou pomoc a ochotu. Dále bych rád poděkoval všem pracovníkům laboratoře ústavu pozemních komunikací VUT v Brně a samozřejmě své rodině.

OBSAH

1. Úvod	10
2. Rešerše literatury	11
2.1. Základní rozdělení asfaltových směsí	11
2.1.1 <i>Asfaltový beton</i>	11
2.1.2 <i>Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy</i>	12
2.1.3 <i>Asfaltový koberec mastixový</i>	12
2.1.4 <i>Asfaltová směs pro ultratenké vrstvy z asfaltového betonu</i>	12
2.1.5 <i>Asfaltový koberec drenážní</i>	12
2.1.6 <i>Litý asfalt</i>	12
2.2. Asfaltový beton pro tenké obrusné vrstvy.....	13
2.2.1 <i>Technologie Kompakten Asphaltbefestigungen „horké na horké“</i>	15
2.2.2 <i>Technologie DSH - V</i>	17
2.2.3 <i>Asfaltová směs BBTM</i>	19
2.3. Asfaltové pojivo	21
2.3.1 <i>Přírodní asfalty</i>	22
2.3.2 <i>Ropné asfalty</i>	23
2.3.3 <i>Vysoce polymerem modifikované asfalty (HiMA)</i>	24
3. Cíle diplomové práce	26
4. Použité zkušební metody	27
4.1 Zkoušky asfaltového pojiva a kameniva	27
4.1.1 <i>Stanovení stékavosti pojiva</i>	27
4.1.2 <i>Stanovení zrnitosti, Sítový rozbor</i>	28
4.2 Laboratorní výroba směsí	29
4.3 Příprava zkušebních těles	30
4.3.1 <i>Příprava zkušebních těles rázovým zhuňovačem</i>	31
4.3.2 <i>Příprava zkušebních těles zhuňovačem desek</i>	32
4.4 Zkoušky asfaltových směsí	33
4.4.1 <i>Stanovení objemové hmotnosti</i>	34
4.4.2 <i>Stanovení maximální objemové hmotnosti</i>	35
4.4.3 <i>Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí</i>	36
4.4.4 <i>Stanovení stupně vyplnění mezer pojivem a mezerovitost směsí kameniva</i>	37
4.4.5 <i>Modul tuhosti asfaltové směsí</i>	37

4.4.6	<i>Zkouška pojíždění kolem</i>	39
4.4.7	<i>Stanovení odolnosti zkušebních těles vůči vodě</i>	41
4.4.8	<i>Nízkoteplotní vlastnosti a tvorba trhlin</i>	43
4.4.9	<i>Ztráta částic zkušebního tělesa</i>	44
5.	Použité materiály	46
5.1	Kamenivo	46
5.2	Asfaltové pojivo	47
5.2.1	<i>Výsledky stékavosti použitých pojiv</i>	48
6.	Složení a návrh asfaltových směsí	49
6.1	Zrnitost	49
6.2	Obsah pojiva.....	50
7.	Výsledky zkoušek	52
7.1	Výsledky objemové hmotnosti, maximální objemové hmotnosti a mezerovitosti zhutněných desek	52
7.2	Výsledky měření modulu tuhosti asfaltové směsi	54
7.3	Výsledky zkoušky trvalých deformací	56
7.4	Výsledky nízkoteplotních charakteristik směsí	59
7.4.1	<i>Výsledky směsi s pojivem PmB 45/80-65</i>	59
7.4.2	<i>Výsledky směsi s pojivem HiMA</i>	60
7.4.3	<i>Porovnání a vyhodnocení výsledků zkoušky nízkoteplotních charakteristik</i>	61
7.5	Výsledky odolnosti tělesa vůči vodě	61
7.5.1	<i>Výsledky směsi s pojivem PmB 45/80-65</i>	62
7.5.2	<i>Výsledky směsi s pojivem HiMA</i>	63
7.5.3	<i>Porovnání a vyhodnocení zkoušky odolnosti proti účinkům vody</i>	64
7.6	Výsledky ztráty částic zkušebního tělesa	65
8.	Závěr	67
9.	Seznam použitých zdrojů	70
10.	Seznam použitých zkratk a symbolů	73
11.	Seznam příloh	76

1. Úvod

Téma tenkovrstvých úprav je obzvlášť podstatné zpracovat pro potřeby budoucích technologů, kteří mají zdokonalit a vylepšit návrh asfaltových směsí v návaznosti na změnu norem.

V dnešní době se stále zvyšuje dopravní zatížení pozemních komunikací od osobních ale i nákladních automobilů, a proto jsou kladeny vyšší nároky na kvalitu a spolehlivost jednotlivých vrstev vozovky. V České republice jsou povrchy vozovek v převážné míře tvořeny netuhými asfaltovými kryty, tudíž se musí brát ohled na nejvíce vytiženou složku konstrukce vozovky, tedy obrusnou vrstvu.

Obrusná vrstva je bezpochyby značně namáhaná a z finančního hlediska jednou z nejdražších složek výstavby. Z tohoto důvodu je vyvíjen tlak na snižování tloušťky vrstvy, tudíž na snížení spotřeby asfaltového pojiva i kameniva.

Použitím tenkých obrusných vrstev (tzv. BBTM) dochází ke snížení nákladů na výrobu, dopravu a realizaci pokládky asfaltové vrstvy. To má jistě kladný dopad na životní prostředí. Při provádění tenkých vrstev musí být brán zřetel na dlouhodobé hledisko, tudíž na kvalitu použitých materiálů, protože nejobvyklejšími vadami pozemních komunikací jsou poruchy krytu vozovky. Na poruchy, tedy na změnu vlastností pojiva, má do značné míry vliv teplota, která ovlivňuje vznik případných poruch. Při vysokých teplotách může docházet v asfaltových vrstvách ke vzniku trvalých deformací (např. vyjíždění kolejí). Naopak při nízkých teplotách, kdy je asfaltové pojivo tužší a pružnější, dochází ke vzniku trhlin v povrchu vozovky. Dále má veliký vliv na výslednou kvalitu směsi i použité kamenivo, kdy se stále setkáváme se zhoršující se kvalitou tohoto materiálu.

V úvodu se tato diplomová práce bude zabývat problematikou tenkých obrusných vrstev. Dále je pak snaha čtenáře teoreticky seznámit s oblastí použití asfaltu vysoce polymerem modifikovaného tzv. HiMA.

V druhé části práce následuje popis jednotlivých použitých laboratorních zkoušek. Další kapitolou bude samotné experimentální měření parametrů zkušebních vzorků. Výstupem této práce je soubor naměřených hodnot a zpracovaných výsledků a jejich interpretace.

2. Rešerše literatury

Jak už bylo v úvodu této práce řečeno, asfaltová směs je nejdražší složkou při výstavbě nebo rekonstrukci, a proto je veliký zájem o snížení nákladů na výstavbu. Na tuto vrstvu jsou kladeny nejvyšší nároky ať z důvodu ekologických, ekonomických, estetických ale především bezpečnostních, jedná-li se o provoz na pozemních komunikacích. V posledních několika desetiletích byla zkoumání problematiky snižování tloušťky vrstvy a zvyšování kvality kladena velká pozornost.

2.1. Základní rozdělení asfaltových směsí

Aby bylo čtenáři umožněno samotnou problematiku přiblížit, je potřeba ho seznámit se základními informacemi o běžně používaných směsích. Jedná se vždy o směs kameniva a asfaltového pojiva. V České republice řeší provádění asfaltových směsí norma ČSN EN 13108-(x) Asfaltové směsi-Specifikace dle materiálu. Podle zrnitosti použitého kameniva a podle dalších kritérií se asfaltové směsi dělí:

- Část 1: Asfaltový beton (ACx)
- Část 2: Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy (BBTM)
- Část 3: Velmi měkká asfaltová směs
- Část 4: Asfaltová směs hutněná za horka (HRA)
- Část 5: Asfaltový koberec mastixový (SMA)
- Část 6: Lítý asfalt (MA), často také LA
- Část 7: Asfaltový koberec drenážní (PA)
- Část 8: R-materiál
- Část 9: Asfaltová směs pro ultratenké vrstvy z asfaltového betonu (AUTL) [1]

V následující kapitole si přiblížíme nejpoužívanější směsi v České Republice. Srovnání čar zrnitosti jednotlivých směsí je uveden na *Obrázku 1*.

2.1.1 Asfaltový beton

Asfaltový beton neboli z anglického výrazu Asphalt Concrete (AC) je dnes nejrozšířenější a nejpoužívanější směsí do konstrukcí vozovek. Využívá se v obrusné (ACO), ložné (ACL), podkladní (ACP) ale i vyrovnávací vrstvě. Směs má plynulou čáru zrnitosti kameniva (je zastoupena všemi druhy frakce, až po ten nejmenší, filer). Mezerovitost se pohybuje od 2,5 až do 7 %. Požadavky na tuto směs určuje norma ČSN EN 13108-1 ed.2. [2]

2.1.2 *Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy*

Jedná se o asfaltovou směs, kde jsou frakce kameniva odstupňovány tak, aby vytvářely otevřenou povrchovou strukturu. Požadavky pro tuto směs řeší norma ČSN EN 13108-2 ed.2. [2]

Podrobněji bude tento typ obrusné vrstvy popsán v další kapitole.

2.1.3 *Asfaltový koberec mastixový*

Směs nemá plynulou čáru zrnitosti, tudíž vznikají mezery mezi jednotlivými frakcemi kameniv, které vyplňuje tzv. mastix, což je směs asfaltu a drobného kameniva do 2 mm a vláken používaných k zabránění stékavosti pojiva. Mezerovitost se pohybuje v rozmezí 2,5 až 4,5 %. Využívá se téměř výhradně do obrusných vrstev. Zde platí norma ČSN EN 13108-5 ed.2. [2]

2.1.4 *Asfaltová směs pro ultratenké vrstvy z asfaltového betonu*

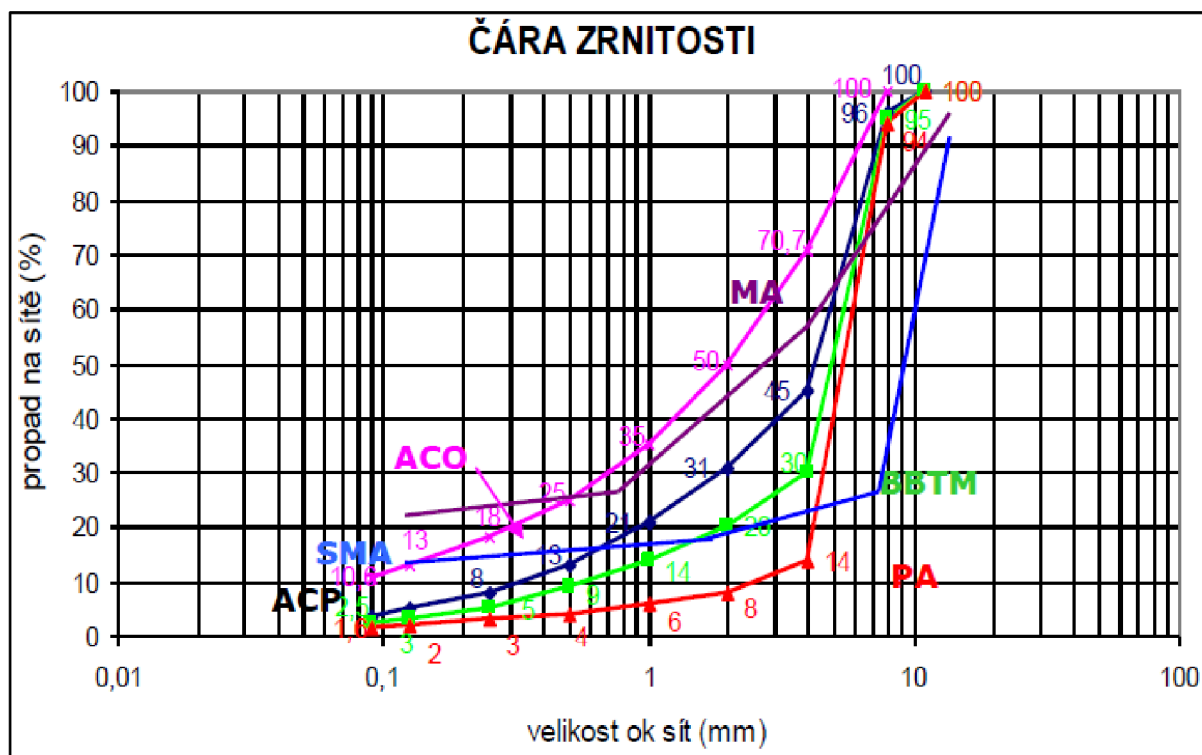
Jedná se o obrusnou vrstvu za horka pokládanou na spojovací vrstvu ve jmenovité tloušťce od 10 do 20 mm. Jde především o způsob napojení na předchozí vrstvu. Metoda spojení je podstatnou částí postupu a konečným produktem je kombinace systému spojení a asfaltové směsi. Asfaltovou směs pro ultratenké vrstvy z asfaltového betonu řeší norma ČSN EN 13108-9. [2]

2.1.5 *Asfaltový koberec drenážní*

Koberec má spojené mezery ve zhutněné směsi, kde je umožněno průchodu vzduchu a vody za účelem snížení hluku (až o 6 dB), v některých zemích i za účelem snížení teploty (Japonsko). Využívá se dávkování především nejhrubší frakce (až 90 %) s menším obsahem frakce 0/4 a filerů. Mezerovitost je mezi 14 až 30 %. Pro požadavky na asfaltové koberce drenážní platí norma ČSN EN 13108-7 ed.2. [2]

2.1.6 *Litý asfalt*

Tento typ nepatří do hutněných směsí, ale pro úplnost je zde uveden. U litého asfaltu převládá množství asfaltového tmelu a kamenivo se díky tomu navzájem nedotýká a doslova „plave“. Při chladnutí směsi dojde k přímému kontaktu mezi zrny kameniva z důvodu značné roztažnosti asfaltu. Směs nemá prakticky žádnou mezerovitost. [2]



Obrázek 1: Schématické znázornění čar zrnitosti vyjmenovaných asfaltových směsí [3]

2.2. Asfaltový beton pro tenké obrusné vrstvy

V zahraniční literatuře se můžeme dočíst, že nejčastěji používaná zkratka pro tenké obrusné vrstvy je Thin Asphalt Layers (TAL). Využití této technologie proběhlo především ve Francii, ve Švédsku, Švýcarsku a Norsku, kde se TAL v určité míře využívá na dálničních sítích. Pozadu nezůstává ani Velká Británie, Nizozemsko, Dánsko nebo třeba Rakousko, kde použití zatím zůstává omezeno na místní a krajské komunikace.

Ve světě se tenké vrstvy vymezují mocností od 15 mm do 35 mm a mezerovitostí od 1 až 24 %. Publikace ERA – NET road [4] se snaží sjednotit různé metodiky návrhu a použití této vrstvy. Dle publikace se tedy TAL vyznačuje vrstvou v rozsahu 10 mm až 30 mm s mezerovitostí ponechanou od 1 do 24 % s mocností jednotlivých vrstev v rozsahu 2,5 někdy až 4násobku maximální velikosti zrna kameniva. Při nedodržení těchto zásad, může docházet k trvalým deformacím nebo k nedostatečné míře zhutnění. Nejčastěji se pro TAL používá velikost zrna do 11 mm.

V následující *Tabulce 1* je přehled komerčně využívaných druhů tenkých asfaltových vrstev ve Francii, Nizozemsku a Velké Británii. Na *Obrázku 2* je vidět příklad návrhu vozovky na 10 let. [4]

Tabulka 1 : Komerční druhy asfaltových vrstev ve Francii, Nizozemsku a Velké Británii [4]

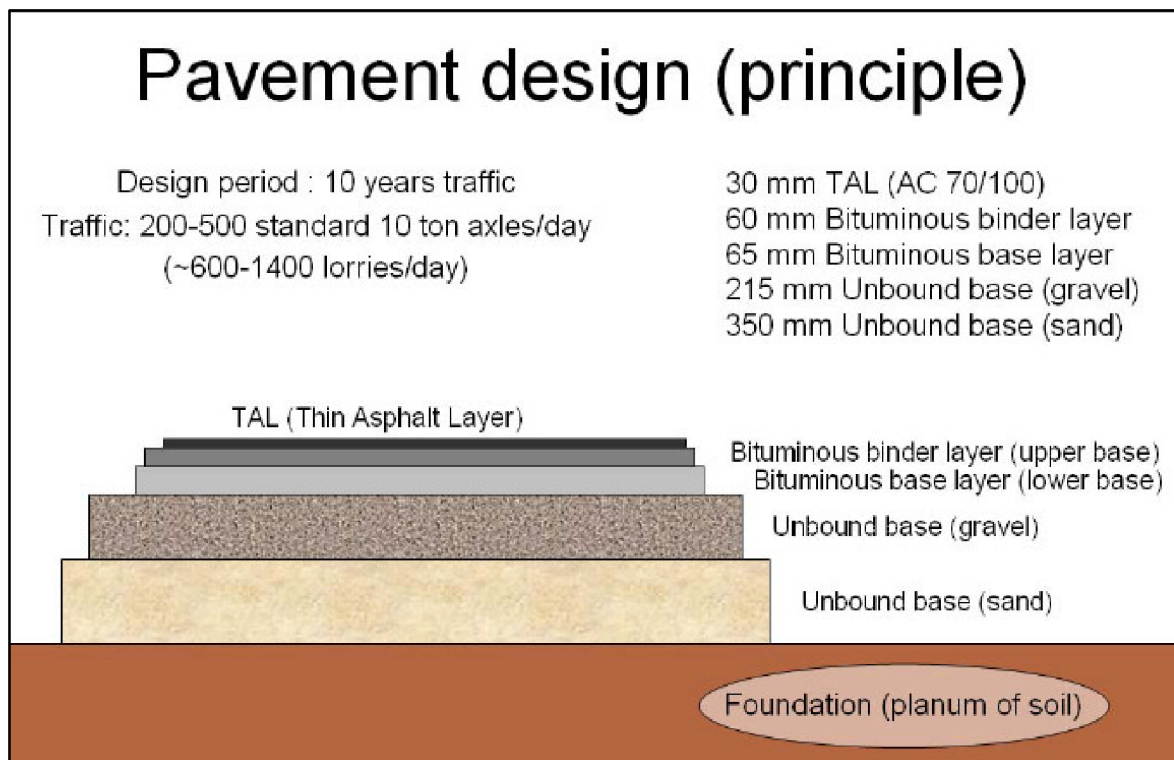
Dubofalt	Novachip	DuraSilent
Nobelpave	Tapisville	Nobelpave HS
ZSM	Fluisterfalt	Deciville
Micropave	Microville	SilentWay
SilenTONE	Decipave	Topfalt
Viagrip	Twinlay-m	Microflex LS
MASTERpave	Stil Mastiek	Microflex HS
Micro-Top 0/6	Bruitville	Microville HS
Micro-Top 0/8	Duolay	Colsoft
Ultraphone	Minifalt	Thinpave
Redufalt	Konwé Stil	UL-M
Accoduit	Rugosoft	Nanosoft

Hlavní výhody použití asfaltového betonu pro velmi tenké vrstvy:

- Snížení nákladů
- Kratší doba pokládky, tudíž i kratší doba uzavírky
- Redukce hluku
- Zlepšení protismykových vlastností (při určitých rychlostech)
Tohoto můžeme docílit vhodným návrhem křivky zrnitosti v asfaltové směsi.
- Pozitivní vliv na rozstříkávání vody na vozovce – u některých typů
- Snížení produkce skleníkového plynu CO₂
Zmenšením valivého odporu pneumatik a vozovky dojde k úspoře paliva, tedy i ke snížení skleníkového plynu. Dále životní prostředí šetříme tím, že TAL vyžaduje pouze tenkou vrstvu materiálu, tím mohou být použity špičkové materiály v menších množstvích, což snižuje emise CO₂ spojené s těžbou, výrobou a přepravou.

Samozřejmě použití TAL má i své nevýhody:

- Vhodnost klimatických podmínek při pokládce vrstvy
- Kratší životnost
Nejvíce kritickými místy jsou oblasti křižovatek, odstavné plochy a stoupající nebo klesající pruhy, kde je značné zatížení vrstvy horizontálními silami.
- Frézováním vrstvy se znehodnocuje materiál (při použití současné techniky)
- Zhoršení protismykových parametrů pro některé varianty TAL [4]



Obrázek 2: Příklad průřezu asfaltové vozovky navržené na 10 let [4]

2.2.1 Technologie Kompakten Asphaltbefestigungen „horké na horké“

Jedná se o technologii pokládky více vrstev asfaltové směsi v jednom pracovním kroku. Při pokládce tenké obrusné vrstvy se tak prodlužuje doba, po kterou je možno účinně hutnit asfaltovou směs. Výhodou této technologie oproti běžné pokládce asfaltových vrstev je lepší spojení ložné a obrusné vrstvy. Vrstvy nejsou jen „slepeny“ (při použití spojovacího postříku), ale jsou také zaklíněny při hutnění horkých směsí, což má pozitivní vliv na přenos smykových napětí a na životnost vozovky. Dále je ohromná výhoda práce i za nepříznivých tepelně-klimatických podmínek a také zkrácení doby výstavby.

Metoda byla vyvíjena a zdokonalována v Německu. Použitím této technologie je nutné brát v úvahu transport dvou směsí současně, provedení podélné spáry, poježdění spodní vrstvy a zhodnocení prostorových podmínek trasy (malé poloměry směrových oblouků, strmé stoupání atd.). V podstatě existují 3 varianty možnosti pokládky, jak je vidět na *Obrázku 3*. [5, 6]

Variante	1	2	3
Einbauverfahren	heiß auf heiß		heiß auf warm
Typische Bezeichnung	Kompaktmodulfertiger	InLine Pave	
Erforderliche Maschinenteknik	1 modifizierter Fertiger 1 Beschicker 1 Walzengruppe	1 „normaler“ Fertiger 1 modifizierter Fertiger 1 Beschicker 1 Walzengruppe	2 „normale“ Fertiger 2 Walzengruppen
Befahren der unteren Schicht	Nein	mit dem Fertiger für die obere Schicht	mit Lieferfahrzeugen und Fertiger für die obere Schicht
Abstand der Fertiger	-	konstant	variabel und beeinflussbar
Nutzung des Wärmepotenzials der unteren Schicht	vollständig	nahezu vollständig	teilweise (Oberflächentemperatur der unteren Schicht mind. 80 °C)
Schichtenverbund	verklebt und verzahnt		verklebt, teilweise verzahnt
Anforderung an den Verdichtungsgrad			
- untere Schicht mindestens	99 %	99 %	97 % / 98 % *)
- obere Schicht mindestens	99 %	99 %	98 %

^{*)} je nach Größtkorn der Gesteinskörnung Spannweite 580 – 800 kg/m³ Beton. (Beispiel) [10].

Obrázek 3: Možnosti pokládky [5]

Varianta první „horké na horké“:

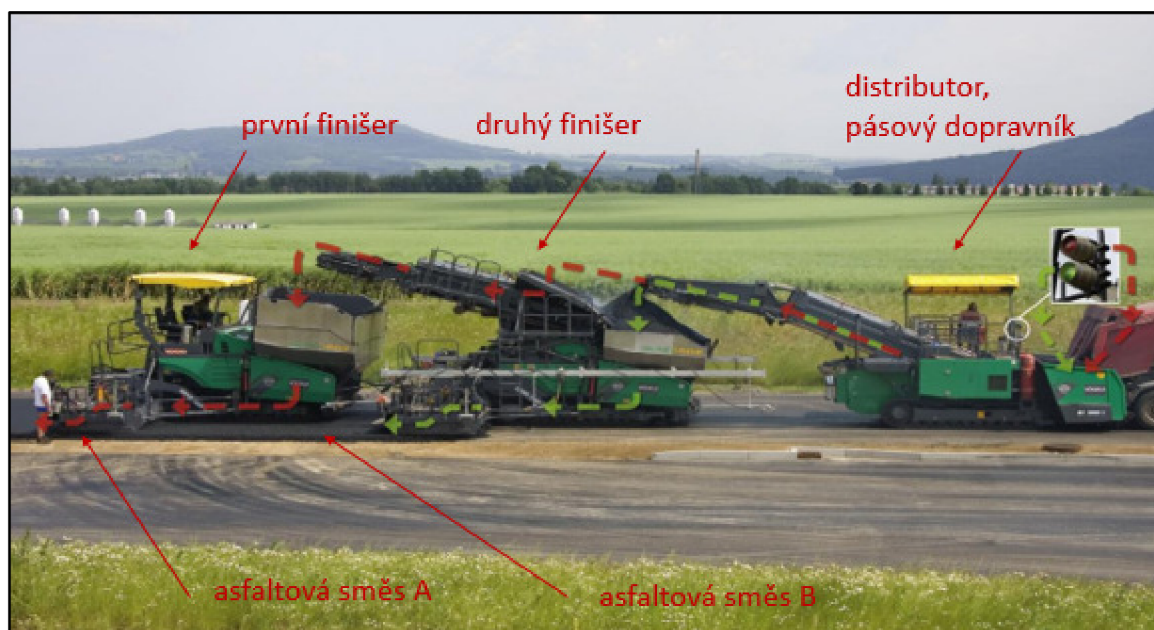
Upravený finišer jedním pojezdem pokládá současně na sebe dvě vrstvy, tudíž je zamezeno pojíždění po horké spodní vrstvě dalším finišerem, *Obrázek 4.* [5, 6]



Obrázek 4: Ukázka pokládky, varianta první [6]

Varianta druhá „horké na horké, tzv. In Line Pave“:

Metoda „InLine Pave“ spočívá v pokládce ložní a obrusné vrstvy v jednom pracovním kroku pomocí dvou finišerů jedoucích za sebou a pomocí vyhřívaného pásového dopravníku je do obou strojů dopravována asfaltová směs, *Obrázek 5.* [5, 6]



Obrázek 5: Ukázka pokládky, varianta druhá [6]

Varianta třetí „horké na teplé“

Tento způsob je obdobný jako standardní pokládka asfaltové směsi, liší se pouze tím, že obě vrstvy se pokládají v následném sledu. Tudíž každá vrstva má svoje strojní vybavení (fnišer, skupinu válců, nákladní automobily). [5, 6]

2.2.2 Technologie DSH - V

Asi od poloviny 80. let byla technologie DSH - V vyvíjena ve Francii a Dánsku. Slouží převážně k opravě vozovek poničených trhlinami. Od roku 2003 se tato technologie zanesla do německých stavebních norem. Dle dosavadních zkušeností je životnost této úpravy v závislosti na kvalitě podkladu, počasí a dopravním zatížení několik let.

Metoda spočívá v nanesení těsnící (spojovací) asfaltové emulze a následném položení tenké asfaltové obrusné vrstvy v jednom pracovním cyklu.

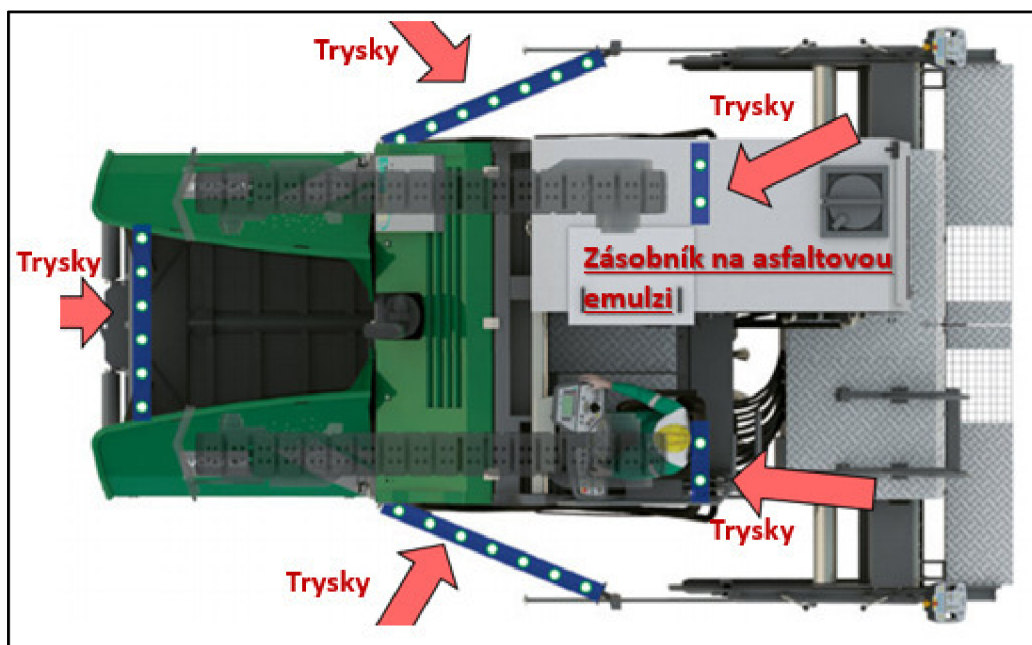
Jako u všech technologií s využitím tenké obrusné vrstvy je nutné docílit perfektního spojení vrstev. Předpokladem pro dlouhou životnost je dostatečná únosnost, čistota a rovinatost podkladní vrstvy. Běžně se stává, že postřík není proveden dostatečně nebo je odstraněn jak pásy finišeru, tak i koly nákladních automobilů přivázejících asfaltovou směs viz Obrázek 6.

Finišer je doplněn o nádrž na asfaltovou emulzi a postřikovací lišty, které je schopen rozšířit dle šířky pokládané vrstvy. Rozstříkovací lišta je schopná dávkovat asfaltovou emulzi vysokým tlakem v přesně daném množství těsně před finišer, který následně pokládá asfaltovou

směs běžným způsobem. Finišer lze použít i bez postřikovací lišty k běžné pokládce asfaltových vrstev. [7, 8]



Obrázek 6: a) Ukázka běžné situace (odstraněné emulze koly) při pokládce b) Výtluk [8]



Obrázek 7: Umístění postřikovacích lišt na spojovací emulzi [8]

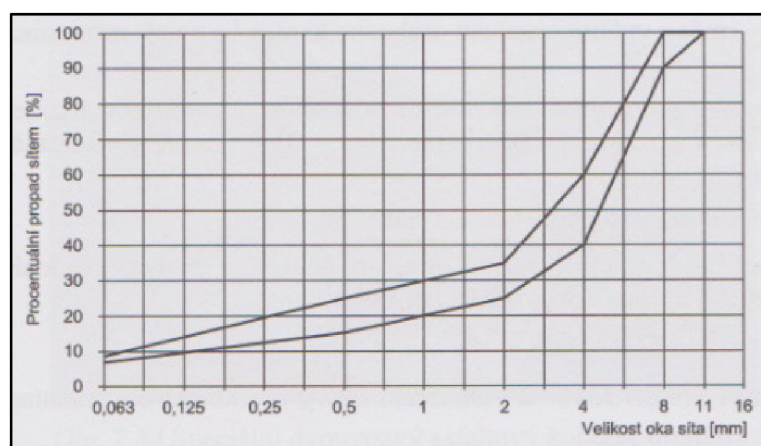
2.2.3 Asfaltová směs BBTM

Jak už bylo výše poznamenáno, jedná se o asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy BBTM (Beton Bitumineux Très Mince). Technologie byla vyvinuta ve Francii na počátku 90. let a je především určena pro stavbu obrusných vrstev silničních, dálničních a letištních ploch. BBTM mají v převážné míře skeletovou kostru, což znamená, že mají přerušenu čáru zrnitosti kameniva. Kamenivo, respektive jeho části jsou odstupňovány tak, aby dokázaly vytvořit otevřenou strukturu na povrchu, přičemž se používá maximálně velikost zrna 4, 5, 8, 11 mm. Jako asfaltová pojiva se používají silniční asfalty, polymerem modifikované nebo speciálně modifikované asfalty (s pryžovým granulátem). Norma 13108-2 ed.2 uvádí tloušťku vrstvy v rozmezí 20 mm až 30 mm.

Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy lze rozdělit dle obsahu drobného kameniva (čáry zrnitosti) na:

- směsi s označením A, - směs s vyšším obsahem drobného kameniva a jemných částic, mezerovitost se pohybuje mezi 3,0 – 10,0 %
- směsi s označením B, - směs s nižším obsahem drobného kameniva a jemných částic, mezerovitost je v rozmezí 11,0 – 15,00 %
- směsi s označením C, - směs s vyšším obsahem drobného kameniva a nejvyšším obsahem jemných částic, mezerovitost na hranici 2,5 – 4,0 %

Základními charakteristikami BBTM je redukce zatížení hlukem, zlepšení protismykových vlastností vrstvy nebo provedení tenkých oprav jako údržbová technologie. S mezerovitostí kolem 15,0 % je směs velice podobná drenážnímu koberci, kde je ale za cíl snížit hluk od dopravy. Problém je se zanášením pórů, tudíž ztráta protihlukových vlastností. [2, 9]



Obrázek 8: Ukázka oboru zrnitosti asfaltové směsi BBTM 8 A [2]



Obrázek 9: Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy (BBTM) [10]

Zde uvedeme nejznámější komerční produkty typu BBTM:

RUGOSOFT

Rugosoft je patentovaný francouzskou společností COLAS. Společnost byla v roce 2004 oceněna Mezinárodní federací (International Road Federation) za tento produkt. U Rugosoftu bylo zjištěno snížení hluku o 7 dB, lepší odolnost proti smyku (dlouhodobá), odolnost proti vyjetým kolejm a menší vytváření vodních mlh. Křivka zrnitosti je nepřerušovaná s použitím frakce 0/2, 2/4 a 4/6. Produkt lze aplikovat jak do extravilánu tak i do intravilánu pro všechny druhy zatížení v tloušťce 20 až 30 mm pro velmi tenké vrstvy, 30 až 40 mm pro tenké vrstvy.

[11]



Obrázek 10: Aplikace Rugosoftu ve Francii [11]

VIAPHONE

Jedná se o další komerční směs od firmy Eurovia CS, která splňuje standardy asfaltového betonu pro velmi tenké vrstvy a současně má vylepšené akustické charakteristiky (snížení o 3 dB) a dále výborné protismykové a drenážní vlastnosti. Viaphone má přerušenu křivku zrnitosti v oblasti 2 až 4 mm a vysoký obsah hrubého kameniva frakce 4/6 nebo 4/8. Směs se zpravidla provádí v 30 až 40 mm tloušťkách. Jako pojivo se používá silniční asfalt s přídavkem organických vláken, lze bez problémů také použít polymerem modifikované asfalty.

Dále tato společnost například nabízí výrobky s názvem VIASAF nebo RUGOVIA s obdobnými zlepšujícími vlastnostmi však pro odlišná použití. [12]



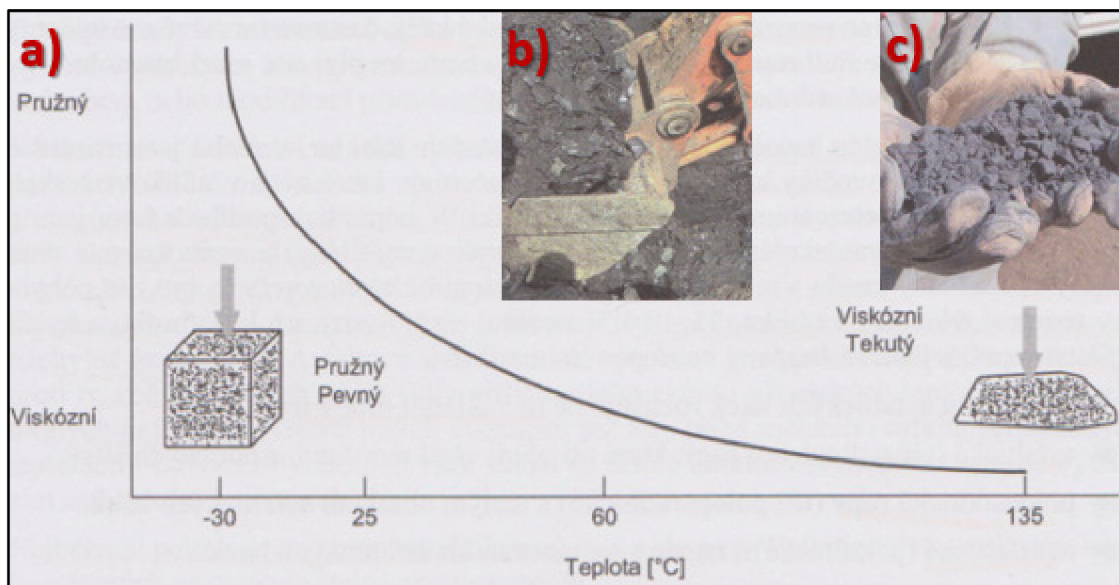
Obrázek 11: Aplikace směsi VIAPHONE [12]

2.3. Asfaltové pojivo

Asi nejstarší písemná zmínka o těžbě asfaltu, který se využíval jako pojivo, se objevuje už v knize Genesis. Ale historie tohoto materiálu s masovějším využitím hovoří až zprávy o hlubinných vrtech ve starověké Číně v provincii Sečuán asi 200 let př. n. l.

Asfalt je z fyzikálního hlediska visko-elastický materiál, jehož chování se mění s teplotou. Při vysokých teplotách je kapalinou, a naopak při nízkých je pružná až pevná viz *Obrázek 12 a)*. Z chemického pohledu jde o koloidní směs molekulárních uhlovodíků s vysokým zastoupením organických sloučenin.

Asfalty můžeme v základní terminologii rozdělit podle původu na přírodní a ropné. [2, 13]



Obrázek 12: a) Tepelné chování asfaltu b) a c) Asfaltická hornina [2]

2.3.1 Přírodní asfalty

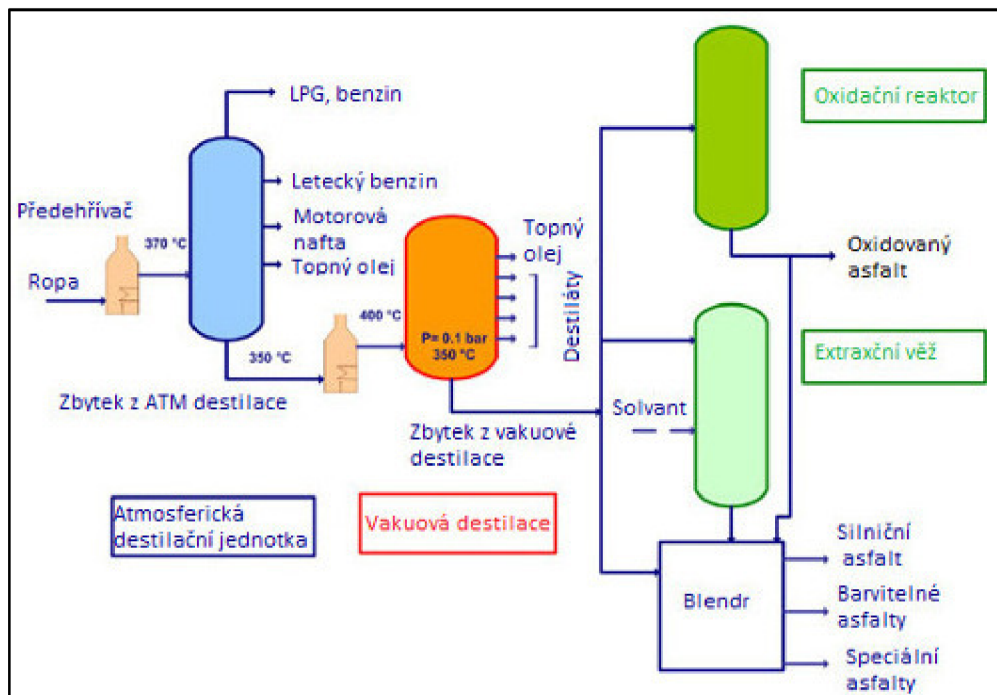
Jedná se o asfalty, které se nacházejí volně v přírodě a vyskytují se poměrně vzácně. Novodobé nalezení přírodního asfaltu je především spojeno se jménem objevitele Walter Raleigh a datuje se od roku 1595. Jedná se o přírodní jezerní asfalt z ostrova Trinidad viz Obrázek 13. V Evropě je nejznámější skalní přírodní asfalt v albánské lokalitě Selenica. Tyto asfalty se používají především jako přísada do silničních ropných asfaltů. [2]



Obrázek 13: Pitch Lake [14]

2.3.2 Ropné asfalty

Ropný asfalt vzniká při zpracování (destilaci) vybraných druhů ropy v rafineriích, a to smíšením nejtěžších frakcí. Tyto frakce jsou výsledkem procesu atmosférické a vakuové destilace viz *Obrázek 14*. Z více než 1300 celosvětově známých druhů ropy je pouze 10 % vhodných k výrobě asfaltu podle evropských norem. Jeho adhezni, kohezni a elastické i reologické charakteristiky z něho dělají dobře zpracovatelný, trvanlivý a cenově dostupný materiál pro silniční stavitelství. [2, 15]



Obrázek 14: Schéma frakční destilace ropy [15]

Asfalty se dále pro zlepšení svých vlastností upravují například dofoukáváním, přidáním vhodných polymerních přísad nebo modifikací pryžovým granulátem. Polymery je dále možno rozdělit do skupiny termosetických (tvrdnou při zahřátí) a termoplastických (zahřátím se stávají reversibilně plastickými). Termoplastické polymery se dále dělí na elastomery a plastomery.

Obecně lze říci, že polymerem modifikovaná asfaltová pojiva jsou lepší v oblasti vysokých i nízkých teplot a dále mají lepší přilnavost ke kamenivu a nejsou tak náchylné na stárnutí.

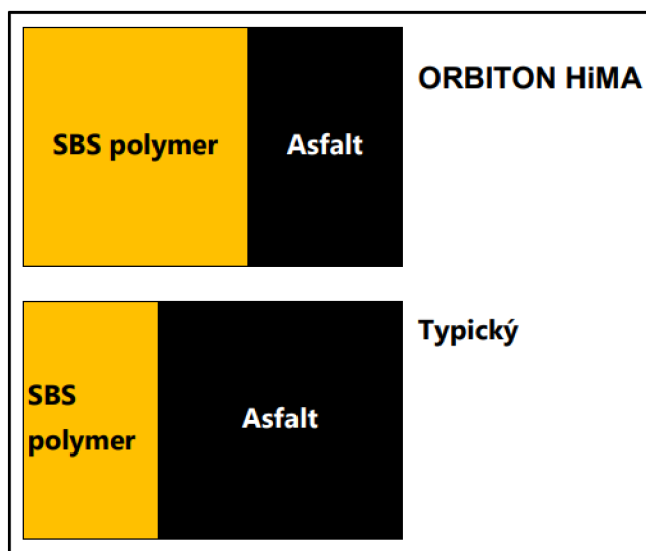
Další dnes už významnou skupinou jsou kategorie asfaltů multigrádových (zvýšený bod měknutí) nebo speciální (aditivovaná, recyklační, barevná pojiva), které upravují možnosti použití. [2, 15]

2.3.3 Vysoce polymerem modifikované asfalty (HiMA)

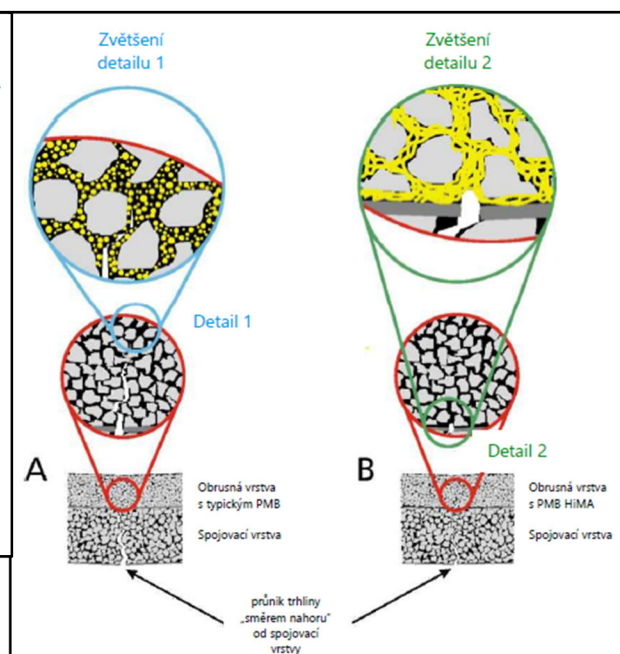
Výzkumnou činností bylo zjištěno, že zvýšeným obsahem polymerů v asfaltu se umožňuje získat kvalitativní výhody, které značně zlepšují trvanlivost asfaltového povrchu – odolnost proti vzniku trhlin, plastickým deformacím v podobě vyjíždění kolejí a únavě. Velmi zajímavé je překročení meze obsahu SBS polymeru (cca 7-7,5 % m/m), po které se polymerová fáze mění na spojitou fázi v polymerem modifikovaném asfaltu. Mění se poměr SBS polymeru a asfaltu viz *Obrázek 15*.

Použitím tak velkého procenta SBS polymeru vedlo k problémům se skladováním (dochází k oddělení polymerů) a také k potřebě zvýšení teplot na obalovně (lepivé účinky asfaltu) a rychlému chladnutí směsi při zpracování. Tyto problémy se podařilo vyřešit.

Ze strukturálního hlediska jsou vrstvy HiMA tužší než vrstvy s klasickými modifikovanými asfalty a zároveň mají vyšší toleranci ke zvýšení tahových (tzv. únavových) deformací, potenciálně umožňují zmenšení tloušťky asfaltových vrstev na vozovce. [16]



Obrázek 15: Objemová proporce asfaltu [16]

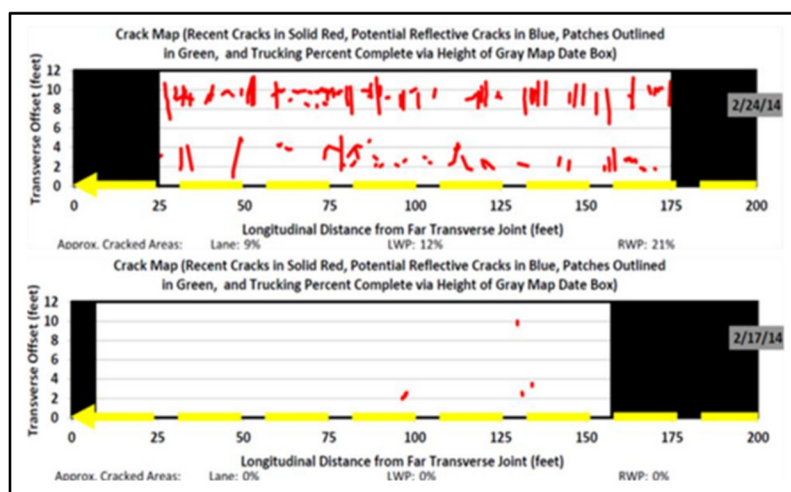


Obrázek 16: Šíření trhlin asfaltovými vrstvami a) modifikovaný asfalt b) vysoce modifikovaný asfalt [16]

V USA ve státě Alabama (NCAT Pavement Test Track) proběhl na zkušební dráze v roce 2009 výzkum, který prokázal, že zmenšením tloušťky vrstvy o 18 % při současném použití vysoce modifikovaného speciálního pojiva HiMA je velice úspěšný.

Byl vytvořen kontrolní úsek S9 a úsek N7 s použitím pojiva HiMA, výsledky jsou patrné na *Obrázku 17 a 18*.

Vpravo na obrázku je mapa trhlin na NCAT na úseku S9 a N7 po 17,5 milionech cyklech. Hloubka trvalých deformací na úseku N7 (HiMA) je o třetinu menší než S9 (kontrolní). [16, 17]



Obrázek 17: Diagram trhlin [17]



Obrázek 18: Zkušební dráha NCAT [17]

Na *Obrázku 18 a) a b)* můžeme vidět poruchy na méně únosném podloží.

Vlevo na obrázku jsou poruchy po standardní rekonstrukci frézováním s novým krytem po 3,5 milionu návrhových náprav.

Na pravé straně obrázku byla rekonstrukce provedena za použití asfaltového pojiva označovaného jako HiMA po 5,3 milionech návrhových náprav. [17]

V České republice se pro asfalty a asfaltová pojiva vychází z norem ČSN EN 12591 Specifikace pro silniční asfalty, ČSN EN 14023 Systém specifikace pro polymerem modifikované asfalty, ČSN 65 7204 Asfalty a asfaltová pojiva-Silniční asfalty a normou ČSN 65 7222-1 Asfalty a asfaltová pojiva-Silniční modifikované asfalty-Část 1: Polymerem modifikované asfalty. [1, 16]

3. Cíle diplomové práce

Snahou každého investora je ušetřit své finanční prostředky, a proto realizace tenkých obrusných vrstev se stává stále více oblíbenou formou snížení nákladů na výstavbu. Ale tento fakt musí jít ruku v ruce s používáním kvalitnějších materiálů, v našem případě asfaltového pojiva.

Tato diplomová práce se zaměřuje na hodnocení a srovnání variací asfaltových směsí typu asfaltový beton pro velmi tenké obrusné vrstvy BBTM 8 B za použití dvou modifikovaných asfaltů, z toho jeden bude vysoce modifikovaný a označovaný jako HiMA a druhý běžný polymerem modifikovaný asfalt třídy 45/80-65.

Cílem diplomové práce je tedy provést návrh asfaltové směsi a srovnání laboratorních zkoušek vlastností asfaltů a posléze asfaltových směsí.

Tato dvě asfaltová pojiva PmB 45/80-65 a HiMA byla podrobena zkoušce stékavosti dle normy ČSN EN 12697-18.

Dalším cílem práce bude srovnání asfaltových směsí zkouškami:

- Tuhosti dle normy ČSN EN 12697-26
- Zkouška pojíždění kolem dle ČSN EN 12697-22+A1
- Stanovení odolnosti zkušebního tělesa vůči vodě (ITSR) dle ČSN EN 12697-12
- Ztráta částic zkušebního tělesa dle ČSN EN 12697-17+A1
- Nízkoteplotní vlastnosti a tvorba trhlin dle ČSN EN 12697-46

4. Použité zkušební metody

V následující části textu bude vysvětlen průběh laboratorních zkoušek asfaltových pojiv a asfaltových směsí, který je popsán v příslušných normách a předpisech.

4.1 Zkoušky asfaltového pojiva a kameniva

- Pojiva PmB 45/80-65 a HiMA byla podrobena zkoušce stékavosti
- Na kamenivu byl stanoven obor zrnitosti-sítový rozbor

4.1.1 Stanovení stékavosti pojiva

Postup a vyhodnocení této zkoušky je popsán v normě ČSN EN 12697-18 Asfaltové směsi-Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka-Část 18: Stékavost pojiva [18]. Norma popisuje dvě možné metody zjištění stékavosti pojiva, metoda děrovaného koše a Schellenbergovu metoda.

V rámci této diplomové práce byla zkouška provedena pomocí Schellenbergovy metody, proto je dále popsána pouze tato metoda.

Postup zkoušky

Zkouška se pro modifikované asfalty provádí při referenční teplotě míchání plus 15 °C, v případě měření na modifikovaném asfaltovém pojivu, které bylo použito v rámci diplomové práce (kde se jeho mezní teploty pohybují v rozmezí 155 °C až 180 °C), byla referenční teplota míchání stanovena na 165 °C, to znamenalo $165 + 15 = 180$ °C.

Odváží se tři dávky kameniva s předepsanou čarou zrnitosti a kamenivo se dá sušit do sušárny. Z nahřátého kameniva a pojiva se vyrobí daná asfaltová směs. Tři kádinky se umístí na 15 min do sušárny vyhřáté na zkušební teplotu (180 °C) a zjistí se jejich hmotnost s přesností na 0,1 g (W_1). Smíchaná směs kameniva a pojiva se vloží do kádinek a zváží (W_2).

Následně se kádinky se směsí vloží zpět do sušárny, přičemž kádinka nesmí být vně sušárny dobu delší než 60 s. Po (60 ± 1) minutě se vyjme první kádinka a zjistí se teplota v ní, tato dávka se vyloučí. Další kádinky se vyjmou po uplynutí jejich doby v sušárně (60 ± 1) minut a ihned po vyjmutí ze sušárny se kádinky plynule otočí a drží v obrácené poloze po dobu (10 ± 1) s. Po ochladnutí se kádinky se zbytkem směsi zváží s přesností na 0,1 g (W_3).

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

Výpočet

Pro jednotlivou směs se vypočítá stečený materiál D (vztah 1). V případě zbytku na síti s velikostí ok 1 mm R (vztah 2), z těchto dvou rovnic:

$$D = 100 * \frac{(W_3 - W_1 - W_4)}{(W_2 - W_1)} \quad [\%] \quad (1)$$

$$R = 100 * \frac{W_4}{(W_2 - W_1)} \quad [\%] \quad (2)$$

kde	D	stečený materiál, v [%]
	R	zbytek na síti, v [%]
	W ₁	hmotnost prázdné kádinky, v [g]
	W ₂	hmotnost kádinky a dávky, v [g]
	W ₃	hmotnost kádinky a zachyceného materiálu po jejím převrácení, v [g]
	W ₄	hmotnost vysušeného zbytku zachyceného na síti, v [g]

Rozdíl stečeného materiálu u dvou směsí se stejným obsahem pojiva by se neměl lišit o více než 0,5 % a výsledek se spočítá jako průměr ze dvou stanovení. [18]

4.1.2 Stanovení zrnitosti, Sítový rozbor

Metoda je popsána v evropské normě ČSN EN 933-1 Zkoušení geometrických vlastností kameniva-Část 1: Stanovení zrnitosti-Sítový rozbor [19]. Stanovení zrnitosti kameniva provádíme pomocí zkušebních sít, kde podstatou zkoušky je oddělení a zatřídění kameniva použitím normované sady sít.

Jednotlivá typizovaná síta jsou seřazená sestupně dle velikosti otvorů. Ta jsou popsána v normě ČSN EN 933-2 Stanovení zrnitosti-Zkušební síta, jmenovité velikosti otvorů [20]. Pro provedení zkoušek zrnitosti se používají síta s otvory o velikosti 0,063 mm, 0,125 mm, 0,25 mm, 0,5 mm, 1,0 mm, 2,0 mm, 4,0 mm, 8,0 mm, 11,2 mm, 16,0 mm, 22,4 mm, 31,5 mm, 63 mm, 125 mm.

Postup zkoušky

Síta sestavíme sestupně do sloupce a pod sestavu sít umístíme nádobu pro zachycení propadu. Na vrchní síto s největšími otvory nasypeme zvážený, vypraný a vysušený vzorek kameniva. Následně se síta upnou ve vibračním přístroji a spustí se vibrace viz *Obrázek 19*. Vibrace oddělují jednotlivá zrna, která propadají síty a zachycují se na příslušném sítu, kterým

už nepropadnou. Množství kameniva zachyceného na každém sítu se zváží (R_x) a stanoví se procentuální hmotnost zrn určité frakce (vztah 3).

Výpočet

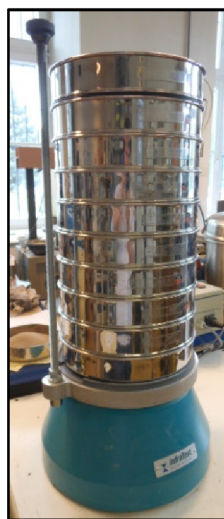
Určíme síťový rozbor jednotlivých frakcí kameniva výpočtem hmotnosti zůstatku na každém síti, jako procento hmotnosti původní vysušené navážky M_1 . (vztah 4). Tyto hodnoty pro lepší orientaci vyneseme do grafu čáry zrnitosti viz *Graf 1*:

$$\text{procenta zůstatku materiálu} = 100 * \frac{R_x}{M_1} \quad [\%] \quad (3)$$

$$\text{součtové procento propadu} = 100 - \left(100 * \frac{R_x}{M_1}\right) \quad [\%] \quad (4)$$

$$f = 100 * \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \quad [\%] \quad (5)$$

- kde
- f jemné částice, které propadly sítem 0,063 mm (vztah 5 v %)
 - M_1 hmotnost vysušené zkušební navážky, v [kg]
 - M_2 hmotnost vysušeného zůstatku na síti 63 μ m, v [kg]
 - R_x hmotnost zůstatků na jednotlivém síti, v [kg]
 - P hmotnost propadu jemných částic na dně, v [kg] [19, 20]



Obrázek 19: Ukázka prosévacího přístroje [vlastní]

4.2 Laboratorní výroba směsi

Výroba asfaltové směsi v laboratoři se řídí normou ČSN EN 12697-35+A1 Asfaltové směsi-Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka-Část 35: Laboratorní výroba směsi [21]. Tato norma obsahuje postup pro ruční i strojní míchání směsi v laboratoři. Dále stanovuje referenční teploty pro míchání v závislosti na segregaci pojiva.

Ruční míchání bylo aplikováno pro výrobu Marshallových těles a strojní míchání pro výrobu desek.

Postup výroby směsi při ručním míchání

Začne se vysušením jednotlivých frakcí v laboratorní sušárně viz *Obrázek 20* na teplotu 110 ± 5 °C. Zdali je kamenivo vysušené se zjistí tak, že při dvou po sobě následujících váženích po nejméně jedné hodině se jejich hmotnosti nezmění o více než 0,1 % hmotnosti zkušební navážky.



Poté se vysušené a vychladlé kamenivo za studena naváží dle návrhu s přesností $\pm 0,1$ % hmotnosti navážky. Následně se začne nahřívat přesná navážka kameniva, filerů a asfaltového pojiva na požadovanou teplotu pro mísení (v našem případě 170 ± 5 °C). Následuje promíchání všech složek (asfaltové pojivo se dávkuje s přesností ± 1 %). Poté se směs míchá na vaňiči, dokud není kamenivo dostatečně obaleno pojivem, což se subjektivně vizuálně posoudí. Maximální doba míchání je 5 minut.

Obrázek 20: Sušárna [vlastní]

Vyrobená směs se následně použije pro výrobu Marshallových zkušebních těles.

Postup výroby směsi při strojním míchání

Postup je obdobný jako u ruční výroby směsi, jen s tím rozdílem, že míchání probíhá ve vyhřívané laboratorní míchačce *Obrázek 21*.

Vyrobenou směs následně použijeme pro výrobu zkušebních desek. [21]

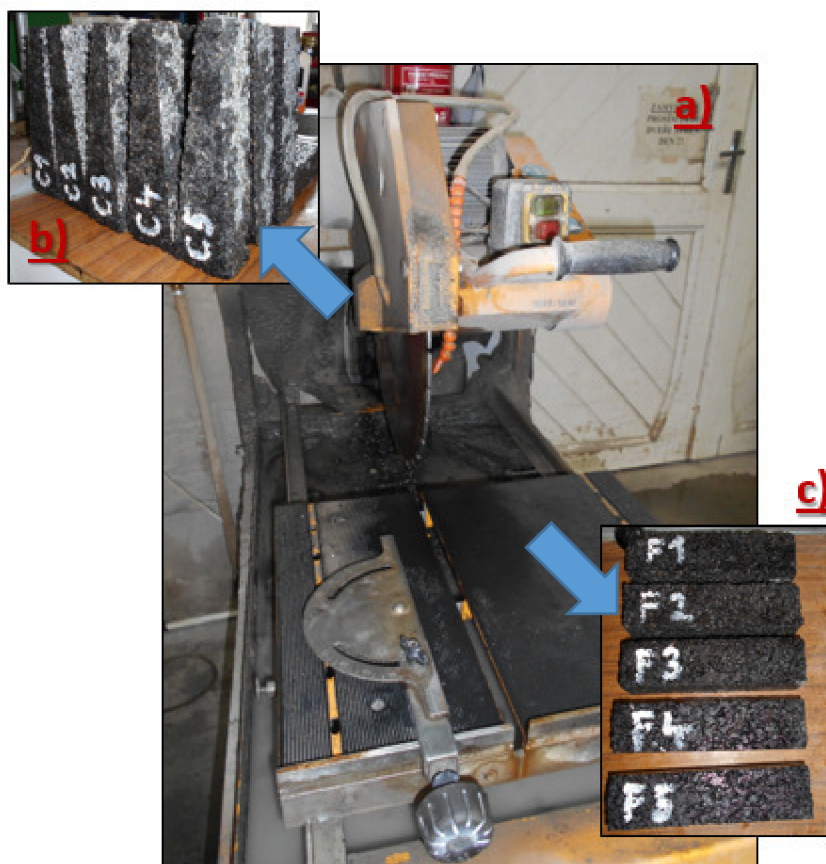


Obrázek 21: Strojní míchací zařízení [vlastní]

4.3 Příprava zkušebních těles

Pro tuto diplomovou práci je potřeba vyrobit Marshallova tělesa a zkušební desky. Z desek je dále nezbytné vyřezat na kotoučové pile *Obrázek 22 a)* další zkušební tělesa-

trámečky (50 mm x 50 mm x 200 mm) a trapezoidy (70 mm x 30 mm x 50 mm x 250 mm), viz Obrázek 22 b) a c).



Obrázek 22: a) Kotoučová pila b) Trapezoidy c) Trámečky [vlastní]

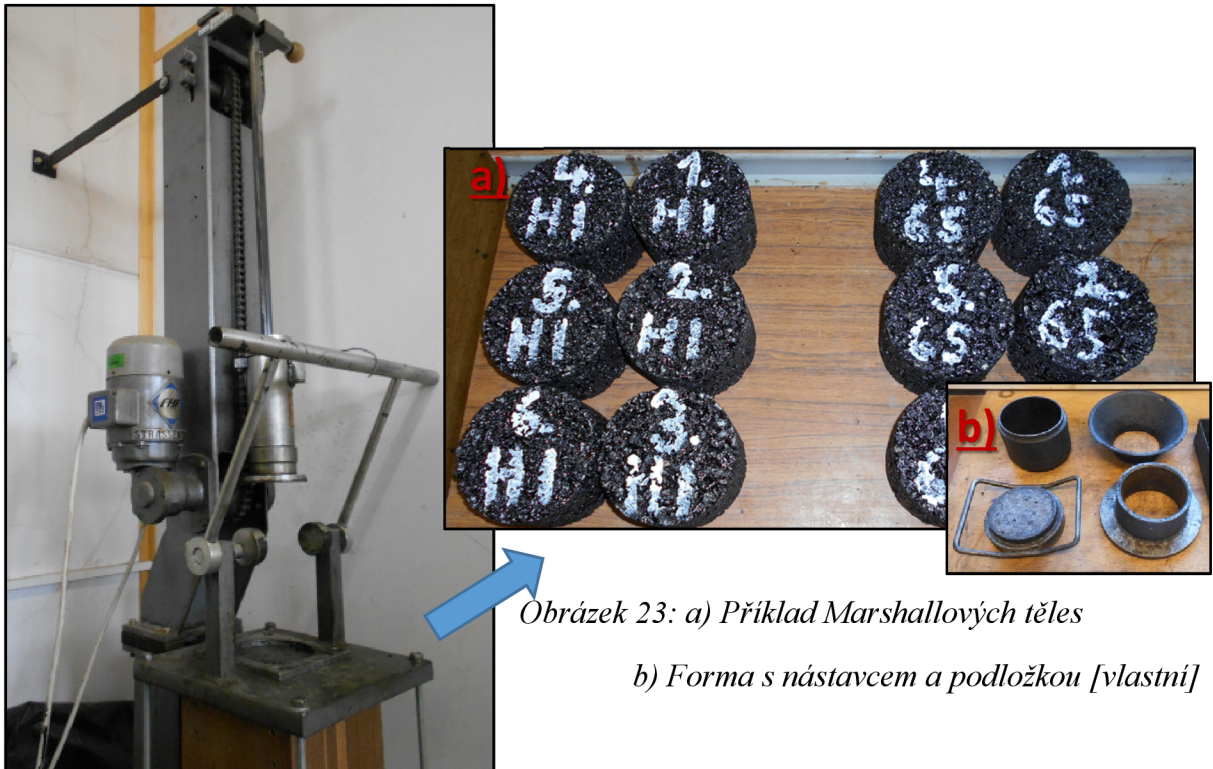
4.3.1 Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem

Postup a příprava se řídí normou ČSN EN 12697-30+A1 Asfaltové směsi-Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka-Část 30: Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem. [22] Zkušební těleso, též nazývané jako Marshallovo (průměru $101,6 \pm 0,1$ mm), získáme hutněním směsi při požadované teplotě a hutnicím cyklu.

Postup zkoušky

Po nahřátí připravené přesné navážky, formy, nástavce a podložky na požadovanou teplotu (v našem případě 155 °C) se forma složí a zaplní navážkou tak, aby nedocházelo k segregaci směsi. Poté se vloží forma bez nástavce do zhutňovače viz Obrázek 24 a zapne se.

Směs se hutní standardně 50ti úderů (při mezerovité směsi je možno 25 úderů a při méně mezerovité 75 úderů) z obou stran tělesa. Následně se těleso vyjme a nechá se s formou chladit na laboratorní teplotu a na konec se pomocí hydraulického lisu vytlačí z formy, Obrázek 23 a), b). [22]



Obrázek 23: a) Příklad Marshallových těles

b) Forma s nástavcem a podložkou [vlastní]

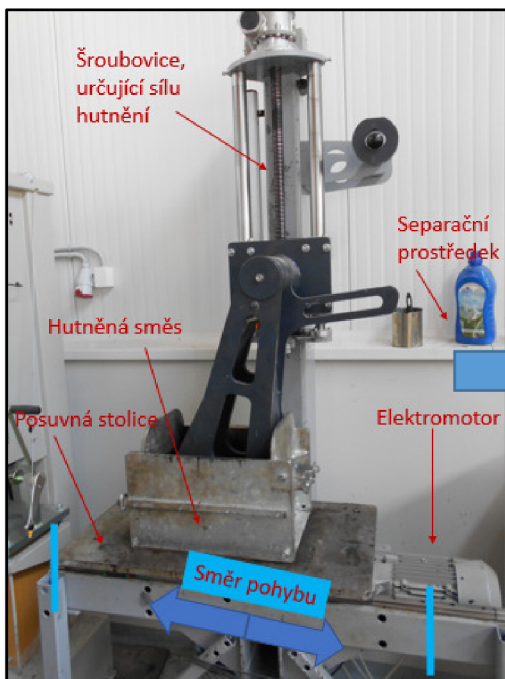
Obrázek 24: Rázový zhutňovač (pěch) [vlastní]

4.3.2 Příprava zkušebních těles zhutňovačem desek

Tato metoda je popsána normou ČSN EN 12697-33+A1 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 33+A1: Příprava zkušebních těles zhutňovačem desek. [23] Její podstatou je zhutňování asfaltové směsi ve formě do tvaru desky. Výsledkem je deska o rozměrech 260 mm x 320 mm x 50 mm, *Obrázek 25*.

Postup zkoušky

Nejdříve je potřeba spočítat hmotnost směsi na jednu desku. Toto provedeme z požadovaných rozměrů desky a objemové hmotnosti (vztah 6). Dále dáme opět směs nahřát na požadovanou teplotu (v našem případě 155 °C). Mezitím si sešroubujeme a vymažeme separačním prostředkem formu zhutňovače a krycí plech. Následně se nahřátá směs rozprostře do formy a zakryje krycím plechem a nechá se sjet a spustit segmentový zhutňovač, *Obrázek 26*. Zhutněná deska se ponechá vychladnout ve formě a po jejím vychladnutí se odepne forma a vyjme se zhutněná deska.



Obrázek 25: Zkušební vzorek (deska) [vlastní]

Obrázek 26: Segmentový zhutňovač [vlastní]

Výpočet

Výpočet navážky na výrobu jednu desku:

$$M = L * l * e * \rho_m * 10^{-6} * \left(\frac{100 - v}{100}\right) \quad [\text{kg}] \quad (6)$$

kde	M	hmotnost potřebné navážky desky asfaltové směsi, v [kg]
	L	vnitřní délka formy, v [mm]
	l	vnitřní šířka formy, v [mm]
	e	tloušťka desky konečná (snížená o tloušťku plechu), v [mm]
	ρ_m	zhutněná maximální objemová hmotnost směsi, v [kg/m ³]
	v	mezerovitost směsi, v [%] [23]

4.4 Zkoušky asfaltových směsí

Zde jsou vypsané zkoušky provedené na zhotovených tělesech dle norem řady ČSN EN 12697 Asfaltové směsi-Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka:

- **Desky** – stanovení objemové hmotnosti, zkouška pojíždění kolem
- **Marshallova tělesa** – objemové hmotnosti, ztráta částic, odolnost proti účinkům vody
- **Trámečky** – modul tuhosti
- **Trapezoidy** – nízkoteplotní charakteristiky

4.4.1 Stanovení objemové hmotnosti

Metoda je popsána v normě ČSN EN 12697-6+A1 Asfaltové směsi-Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka-Část 6: Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušební tělesa [24]. Objemovou hmotnost určíme zvážením zhutněného tělesa za sucha, saturovaného ve vodní lázni a následně nasyceného.

Postup zkoušky

Zvážíme hmotnost suchého zkušební tělesa (m_{1h}), po sléze ponoříme těleso do vodní lázně o určité teplotě viz *Obrázek 27*. Hustotu vody při dané teplotě určíme dle *Tabulky 2*. Zcela ponořené těleso necháme saturovat po dobu přibližně 30 minut. Zkontrolujeme, zda z tělesa již neunikají vzduchové bubliny a zda má těleso ustálenou hmotnost, poté můžeme vážením stanovit hmotnost nasyceného tělesa (m_{2h}). Následně těleso vyjmeme z vody, necháme odtéci vodu a povrch otřeme do sucha. Pokud již z tělesa samovolně neodtéká voda, ihned stanovíme hmotnost nasyceného tělesa (m_{3h}).

Výpočet

Výpočet objemové hmotnosti tělesa nasyceného s osušeným povrchem vypočteme (vztahu 7):

$$\rho_{bssd} = \rho_w * \left(\frac{m_{1h}}{m_{3h} - m_{2h}} \right) \quad [\text{kg/m}^3] \quad (7)$$

kde	ρ_{bssd}	objemová hmotnost SSD, v [kg/m^3]
	m_{1h}	hmotnost suchého tělesa, v [g]
	m_{2h}	hmotnost tělesa ve vodě, v [g]
	m_{3h}	hmotnost tělesa nasyceného vodou a povrchově osušeného, v [g]
	ρ_w	hustota vody při zkušební teplotě stanovená z <i>Tabulky 2</i> , v [kg/m^3]



Obrázek 27: Ukázka měření objemové hmotnosti [vlastní]

Tabulka 2: Hustota vody v závislosti na teplotě [24]

Teplota vody [°C]	Hustota vody [kg/m ³]	Teplota vody [°C]	Hustota vody [kg/m ³]
10	999,8	20	998,3
11	999,7	21	998,1
12	999,6	22	997,8
13	999,4	23	997,6
14	999,3	24	997,4
15	999,2	25	997,1
16	999,0	26	996,8
17	998,8	27	996,6
18	998,7	28	996,3
19	998,5	29	996,0
20	998,3	30	995,7

Výpočet objemové hmotnosti dle rozměrů tělesa (vztah 8):

$$\rho_{b,dim} = 10^6 * \frac{m_{1r}}{h_r * l_r * w_r} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (8)$$

- kde
- $\rho_{b,dim}$ objemová hmotnost zkušební tělesa podle rozměrů, v [kg/m³]
 - m_{1r} hmotnost suchého tělesa, v [g]
 - h_r výška zkušební tělesa, v [mm]
 - l_r délka tělesa, v [mm]
 - w_r šířka tělesa, v [mm] [24]

4.4.2 Stanovení maximální objemové hmotnosti

Zkouška je popsána v normě ČSN EN 12697-5+A1 Asfaltové směsi-Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka-Část 5: Stanovení maximální objemové hmotnosti [25]. Byla prováděna za účelem výpočtu mezerovitosti a jiných objemových charakteristik asfaltových směsí. Maximální objemová hmotnost byla zjištěna volumetrickým postupem.

Jedná se o zkoušku, kde je objem směsi měřen jako objem rozpouštědla vytěsněného v pyknometru.

Postup zkoušky

Určíme hmotnost prázdného pyknometru (m_{1m}) včetně nástavce o objemu (V_{pm}). Posléze se vysušený vzorek umístí do pyknometru a nechá se temperovat na okolní teplotu. Následně se stanoví hmotnost včetně nástavce (m_{2m}). Poté se pyknometr vyplní rozpouštědlem

(perchloroethylen) do max. výšky 30 mm pod okraj. Takto naplněný pyknometr se ještě protřepe, aby se odstranil vzduch zachycený v mezerách vzorku směsi.

Pyknometr se ponoří do vodní lázně s ustálenou zkušební teplotou na dobu minimálně 60 minut. Po této době dojde k vyrovnání teploty vzorku, rozpouštědla v pyknometru a vodní lázni. Případně se doplní rozpouštědlo po značku na nástavci pyknometru.

Pyknometr se vyjme z vodní lázně, osuší se a okamžitě se určí jeho hmotnost (m_{3m}).

Výpočet

Výpočet maximální objemové hmotnosti asfaltové směsi dle volumetrického postupu (vztah 9):

$$\rho_{mv} = \frac{m_{2m} - m_{1m}}{1000 * \left(V_{pm} - \frac{m_{3m} - m_{2m}}{\rho_{wm}} \right)} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (9)$$

kde	ρ_{mv}	maximální objemová hmotnost asfaltové směsi, v [kg/m^3]
	m_{1m}	hmotnost pyknometru, nástavce a pružiny, v [g]
	m_{2m}	hmotnost pyknometru, nástavce, pružiny a vzorku směsi, v [g]
	m_{3m}	hmotnost pyknometru, nástavce, pružiny, vzorku a rozpouštědla, v [g]
	V_{pm}	objem pyknometru při naplnění po rysku, v [m^3]
	ρ_{wm}	hustota rozpouštědla při zkušební teplotě, v [kg/m^3] [25]

4.4.3 Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí

Zkouška je popsána v normě ČSN EN 12697-8 Asfaltové směsi-Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka-Část 8: Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí [26]. Mezerovitost dvou navržených asfaltových směsí byla provedena na základě výpočtu z maximální objemové hmotnosti směsi a objemové hmotnosti zkušebního tělesa (vztah 10).

Výpočet

$$V_m = \left(\frac{\rho_{mv} - \rho_b}{\rho_{mv}} \right) * 100 \quad [\%] \quad (10)$$

kde	V_m	mezerovitost směsi, v [%]
	ρ_{mv}	maximální objemová hmotnost směsi, v [kg/m^3]
	ρ_b	objemová hmotnost zkušebního tělesa, v [kg/m^3] [26]

4.4.4 Stanovení stupně vyplnění mezer pojivem a mezerovitost směsi kameniva

Stupeň vyplnění mezer ve směsi kameniva pojivem (VFB) a mezerovitost směsi kameniva v asfaltovém tělese (VMA) se vypočte dle následujících rovnic (vztah 11 a 12).

Výpočet

$$VFB = \left(\frac{\left(\frac{B \cdot \rho_b}{\rho_B} \right)}{VMA} \right) * 100 \quad [\%] \quad (11)$$

kde VFB stupeň vyplnění mezer ve směsi kameniva pojivem, v [%]
B obsah pojiva ve zkušebním tělese (ve 100 % směsi), v [%]
 ρ_b objemová hmotnost zkušebního tělesa, v [kg/m³]
 ρ_B objemová hmotnost pojiva, v [kg/m³]
VMA mezerovitost směsi kameniva, v [%]

$$VMA = V_M + B * \frac{\rho_b}{\rho_B} \quad [\%] \quad (12)$$

kde VMA mezerovitost směsi kameniva, v [%]
 V_M mezerovitost zkušebního tělesa, v [%]
B obsah pojiva ve zkušebním tělese (ve 100 % směsi), v [%]
 ρ_b objemová hmotnost zkušebního tělesa, v [kg/m³]
 ρ_B objemová hmotnost pojiva, v [kg/m³] [26]

4.4.5 Modul tuhosti asfaltové směsi

Zkouška je popsána v normě ČSN EN 12697-5 Asfaltové směsi-Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka-Část 26: Tuhost [27]. Na základě této zkoušky je stanovena amplituda napětí, poměrného přetvoření a také fázový úhel (mezi napětím a poměrným přetvořením).

Zkouška probíhá na jednostranně vetknutém komolém klínu, jedná se o jednu z několika možných zkoušek pro měření modulu tuhosti asfaltových směsí (průběh modulu tuhosti napodobuje chování asfaltových směsí v konstrukci). Zatěžováním ustáleným harmonickým namáháním viz *Obrázek 22 a*), zjišťujeme komplexní veličinu modulu E^* (modul tuhosti je potom absolutní hodnota komplexního modulu). Komplexní modul tuhosti popisuje velikost deformace při různých teplotách a frekvencích namáhání.

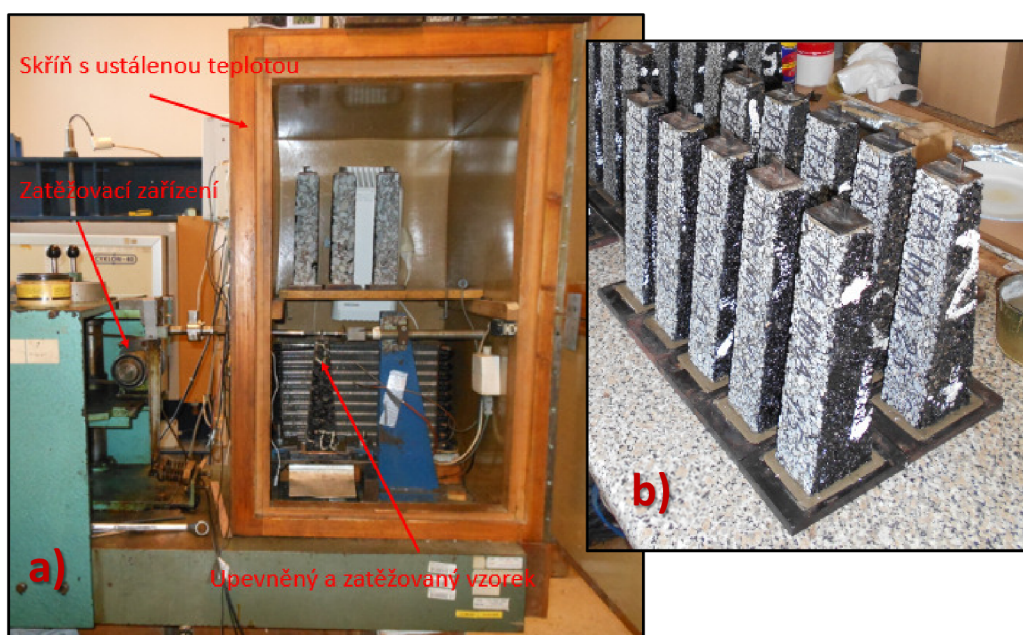
Modul tuhosti v našem případě byl zjišťován při teplotách $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ a frekvencích 5, 10, 15, 20 a 25 Hz.

Postup zkoušky

Na zkoušku jsou použity komolé klíny tzv. trapezoidy viz *Obrázek 28 b*). Trapezoidy byly získány vyřezáním z předem připravených desek.

Takto připravené vzorky se dají temperovat na dobu minimálně 4 hodin do klimatizované komory. Dále se pomocí podložek a šroubů upevní do rámu v přístroji viz *Obrázek 28 a*).

Na zjištění komplexního modulu trapezoidu je potřeba do zařízení zadat rozměry a hmotnost vzorků.



Obrázek 28:a) Zařízení pro měření modulu tuhosti asfaltových směsí

b) Připravené trapezoidy [vlastní]

Výpočet

Výpočet okamžitého napětí (vztah 13)

$$\sigma = \sigma_0 * \sqrt{2} \sin(\omega t + \varphi) \quad [\text{MPa}] \quad (13)$$

- kde
- σ okamžité napětí, v [MPa]
 - σ_0 amplituda maximálního napětí ve zkušebním tělese, v [MPa]
 - ω úhlová rychlost, v [s^{-1}], $\omega = 2\pi f$
 - φ fázový úhel posunu průběhu přetvoření za průběhem síly, v [$^{\circ}$]

Výpočet velikosti přetvoření při působení cyklického namáhání (vztah 14)

$$\varepsilon = \varepsilon_0 * \cos(\omega t + \Psi) \quad [-] \quad (14)$$

kde ε okamžité poměrné přetvoření, [-]
 ε_0 amplituda maximálního přetvoření ve zkušebním tělese, [-]
 ω úhlová rychlost, v [s⁻¹], $\omega = 2\pi f$
 Ψ fázový úhel posunu průhybu a síly, v [°]

Výpočet komplexního modulu složený z reálné a imaginární složky (vztah 15)

$$E^* = E_1 + iE_2 = \left(\frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} * \cos \varphi\right) + \left(\frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} * \sin \varphi\right) \quad [\text{MPa}] \quad (15)$$

kde E^* komplexní modul, v [MPa]
 E_1 reálná složka charakterizující pružné vlastnosti, v [MPa]
 E_2 imaginární složka, v [MPa]
 σ_0 amplituda maximálního napětí ve zkušebním tělese, v [MPa]
 ε_0 amplituda maximálního přetvoření ve zkušebním tělese, [-]

Výpočet modulu tuhosti, jako poměr maximálního napětí a porušení (vztah 16)

$$S = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} = |E^*| = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} \quad [\text{MPa}] \quad (16)$$

kde S modul tuhosti, v [MPa]
 σ_0 amplituda maximálního napětí ve zkušebním tělese, v [MPa]
 ε_0 amplituda maximálního přetvoření ve zkušebním tělese, [-]
 E^* komplexní modul, v [MPa]
 E_1 reálná složka charakterizující pružné vlastnosti, v [MPa]
 E_2 imaginární složka, v [MPa] [27]

4.4.6 Zkouška poježdění kolem

Tato zkouška je popsána normou ČSN EN 12697-22+A1 Asfaltové směsi-Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka-Část 22: Zkouška poježdění kolem [28]. Zkouška určuje náchylnost směsi ke tvorbě trvalých deformací ve vozovce od zatížení.

Postup zkoušky

Vzorek směsi (deska) a vnitřní prostory zařízení se nechají temperovat na teplotu 60 °C po dobu 24 hodin. Úmyslně byla zvolena zvýšená zkušební teplota, než se běžně v ČR používá (50 °C), aby bylo možné lépe rozlišit chování srovnávaných směsí při vysoké teplotě.

Následně se vzorek upne do rozebíratelné formy (potřené nepřilnavou chemikálií) v zařízení viz *Obrázek 29* a přístroj se uvede do provozu. Zatížení na desku činí 10 000 cyklů, což odpovídá 20 000 pojezdů. Jakmile je dosaženo požadovaných cyklů, zkouška se automaticky ukončí. Vyhodnocení probíhá pomocí grafu, který bere v potaz závislost hloubky vyjeté koleje a počtu cyklů.



Obrázek 29: Přístroj na vyjždění kolejí s detailem [vlastní]

Výpočet

Přírůstek hloubky koleje (vztah 17) a poměrná hloubka koleje na vzduchu (vztah 18):

$$WTS_{AIR} = \frac{d_{10\,000} - d_{5\,000}}{5} \quad [\text{mm}/10^3] \quad (17)$$

$$PRD_{AIR} = \frac{d_{10\,000}}{t} * 100 \quad [\%] \quad (18)$$

kde	WTS_{AIR}	přírůstek hloubky vyjeté koleje zatěžovacích cyklů, v [mm/10 ³]
	PRD_{AIR}	poměrná hloubka vyjeté koleje, v [%]
	$d_{10\,000}$	hloubka vyjeté kolej po 10 000 cyklech, v [mm]
	$d_{5\,000}$	hloubka vyjeté kolej po 5 000 cyklech, [mm]
	t	tloušťka desky, v [mm] [28]

4.4.7 Stanovení odolnosti zkušebních těles vůči vodě

Jedná se o zkoušku, která je popsána v evropské normě ČSN EN 12697-12 s názvem Asfaltové směsi-zkušební metody pro asfaltové směsi za horka-Část 12: Stanovení odolnosti zkušebního tělesa vůči vodě [29]. V normě jsou popsány tři zkušební metody, pomocí kterých lze stanovit odolnost zkušebních těles (Marshallova tělesa) proti účinkům vody.

V tomto případě byla použita metoda **A**, která stanovuje pevnost v příčném tahu zkušebních těles z asfaltové směsi.

Postup zkoušky

Oddělíme suchá tělesa a necháme je na vzduchu na rovné podložce při laboratorní teplotě $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$. Mokrá tělesa se umístí do vakuové komory viz *Obrázek 30* s destilovanou vodou o teplotě $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ 20 mm pod hranu hladinky. Následně se ve vakuové komoře zvedne tlak na $(6,7 \pm 0,3)$ kPa po dobu (10 ± 1) min. Tlak se během této doby postupně snižuje, aby nedošlo k poškození těles. Požadovaný tlak se zachovává po dobu (30 ± 5) min. a poté se pomalu vpouští běžný atmosférický tlak. Vzorky se po vyrovnání vnějších a vnitřních tlaků ponechají ve vakuové komoře ve vodní lázni ještě po dobu (30 ± 5) min a následně se tělesa vloží do vodní lázně o teplotě $(40 \pm 1) ^\circ\text{C}$ na dobu 72 hodin.



Obrázek 30: Vakuová komora [vlastní]



Obrázek 31: Termostatická komora [vlastní]

Po uplynutí doby 72 hodin ve vodní lázni se skupina suchých těles uloží do termostatické komory viz *Obrázek 31* o teplotě $(15 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$ na dobu minimálně 2 h. Skupina mokrých těles se opět uloží do vodní lázně a nechá saturovat při stejné teplotě a času jako suchá.

Po uplynutí doby temperování se provede samotná zkouška v přístroji viz *Obrázek 32*. Zkouška se musí provést do 1 minuty od vytažení vzorků z temperovaných míst. Pomocí výsledků z měření byla výpočtem (vztah 19) stanovena pevnost v příčném tahu ITS. Dále ze stanovených pevností v příčném tahu byla vypočítána odolnost proti působení vody ITSR (vztah 20).



Obrázek 32: Zkušební lis [vlastní]

Výpočet

Výpočet pevnosti v příčném tahu (vztah 19):

$$ITS = \frac{2 * P_t}{\pi * D_t * H_t} \quad [\text{MPa}] \quad (19)$$

kde ITS pevnost v příčném tahu, v [MPa]

P_t maximální zatížení, v [N]

D_t průměr zkušebního tělesa, v [mm]

H_t výška zkušebního tělesa, v [mm]

Výpočet poměru pevnosti v příčném tahu (vztah 20):

$$ITSR = 100 * \frac{ITS_w}{ITS_d} \quad [\%] \quad (20)$$

kde ITSR poměr pevnost v příčném tahu, v [%]

ITS_w průměrná pevnost v příčném tahu skupiny mokrých těles, v [kPa]

ITS_d průměrná pevnost v příčném tahu skupiny suchých těles, v [kPa] [29]

4.4.8 Nízkoteplotní vlastnosti a tvorba trhlin

Nízkoteplotní charakteristiky laboratorní směsi se určují dle ČSN EN 12697-46 Asfaltové směsi-Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka-Část 46: Nízkoteplotní vlastnosti a tvorba trhlin pomocí jednoosé zkoušky tahem [30]. Pomocí zkoušky uvedené v této normě se vyhodnocuje například minimální teplota, kterou je asfaltová směs schopna vydržet před svým porušením.

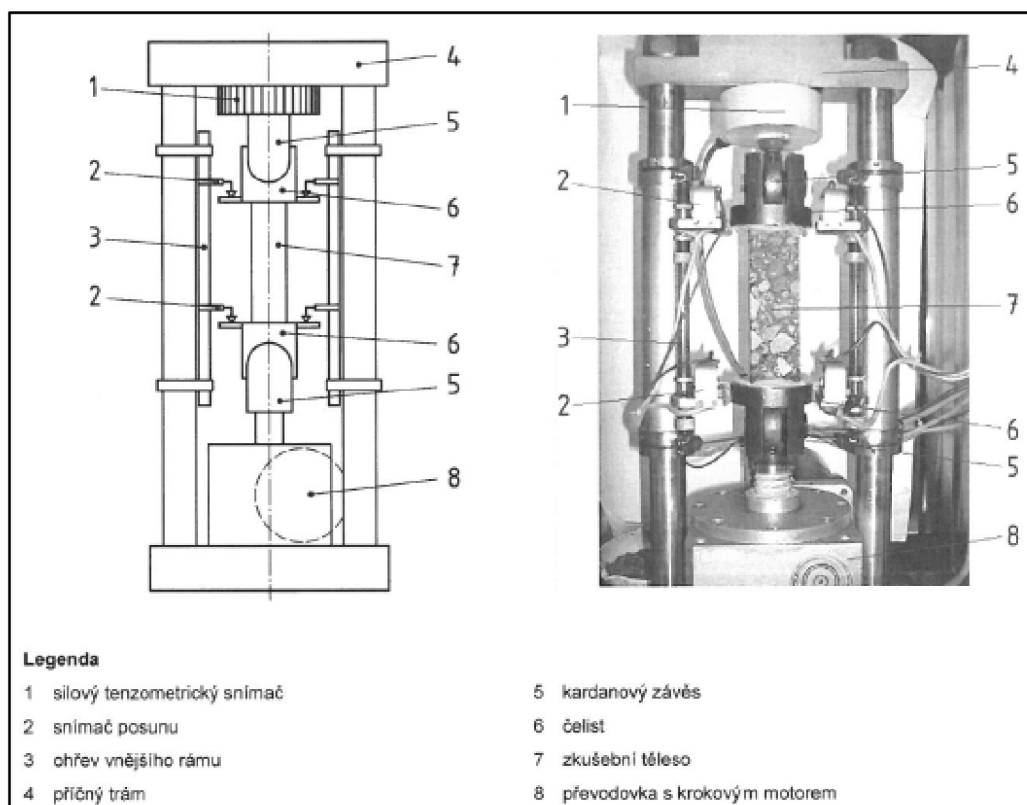
Při zkoušce nízkoteplotních vlastností s rovnoměrným řízeným poklesem teploty dochází ke vzniku trhliny při postupném ochlazování konstantní rychlostí 10 °C/hod. Při snižování teploty je nutno zabránit podélnému zkracování vzorku, za tímto účelem je upnut do tuhého rámu. Vlivem zamezení smršťování se v tělese vytváří napětí.

Postup zkoušky

Na zkoušku byl použit přístroj s označením CYKLON-40, který vyvozuje pohyby s přesností 0,1 μm a měří deformace od $\pm 2,5 \text{ mm}$ do $\pm 0,5 \mu\text{m}$. Na testování byly použity trámečky viz *Obrázek 22 c*) (Po konzultaci s vedoucím diplomové práce nebyly zařezávány všechny strany vzniklé rozřezáním desky viz kapitola 4.3.2 Příprava zkušebních těles zhutňovačem desek). Na oba konce trámečků se nalepily pomocí dvousložkového epoxidového

lepidla speciální úchyty a těleso bylo umístěno do kovového rámu, který se následně pomocí spojovacích tyčí upevnil do přístroje. Takto spojené těleso simuluje reálnou situaci ve vozovce.

V přístrojové komoře je následně snižována teplota (rozsah teplot přístroje -40 až +30 °C) s přesností 0,5 °C za současného ohřevu upínacích prvků. Souborem naměřených hodnot lze stanovit maximální tahovou sílu za kritické teploty (vznikají mrazové trhliny). [30]



Obrázek 33: Ukázka zkušebního zařízení pro zkoušky jednoosým tlakem za nízkých teplot [30]

4.4.9 Ztráta částic zkušebního tělesa

Ztráta částic zkušebního tělesa se řídí normou ČSN EN 12697-17+A1 Asfaltové směsi- Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka-Část 17: Ztráta částic zkušebního tělesa asfaltového koberce [31]. Zkouška umožňuje hodnotit odolnost proti opotřebení asfaltového koberce do velikosti zrn 25 mm, proto byla zvolena i pro naši směs.

Postup zkoušky

Zkušební Marshallova tělesa, kapitola 4.3.1 Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem, rozdělíme na dvě skupiny s rozdílnou teplotou temperování (v našem případě +15 °C a 0 °C) s přesností ± 2 °C po dobu nejméně 4 hodin. Zaznamenáme hmotnost jednotlivých zkušebních těles (W_{1c}).

Následuje vložení jednotlivých těles viz Obrázek 34 do otlukového bubnu Los Angeles, ze kterého se vyjmou ocelové koule. Otlukový buben viz Obrázek 35 se otočí 300krát rychlostí

30 až 33 otáček za minutu. Po ukončení zkoušky se těleso lehce očistí a určí se jeho hmotnost ($W_{2č}$).

Výpočet

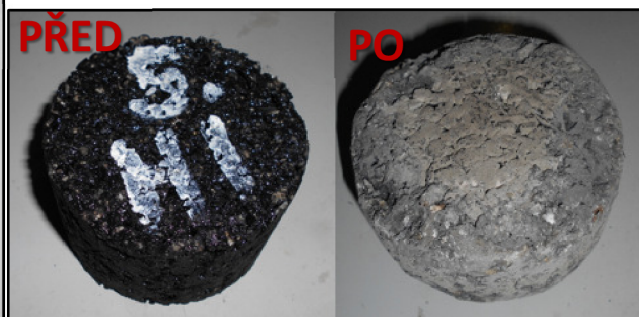
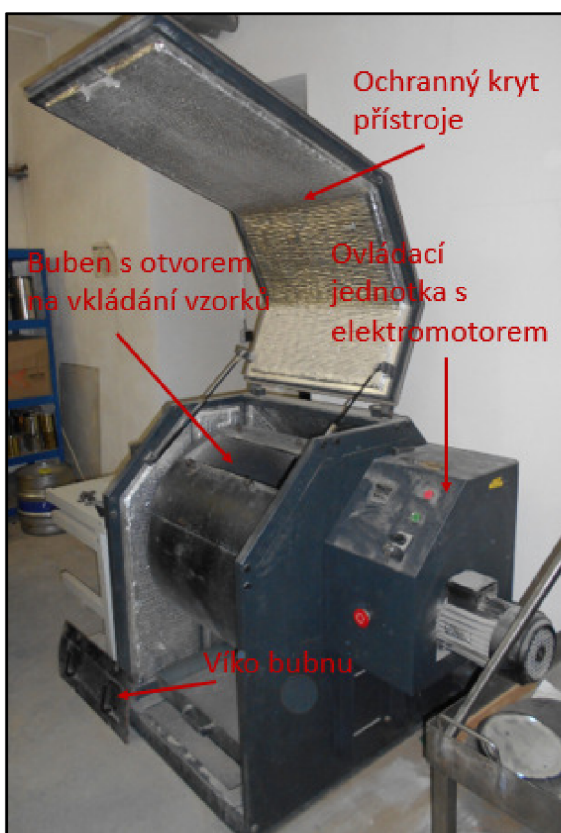
Výpočet ztráty částic (vztah 21):

$$PL = 100 * \frac{W_{1č} - W_{2č}}{W_{1č}} \quad [\%] \quad (21)$$

kde PL hodnota ztráty částic, v [%]

$W_{1č}$ počáteční hmotnost zkušebního tělesa, v [g]

$W_{2č}$ koncová hmotnost zkušebního tělesa, v [g] [31]



Obrázek 34: Vzorek (Marshallovo těleso) PŘED a PO zkoušce [vlastní]

Obrázek 35: Otlukový buben Los Angeles [vlastní]

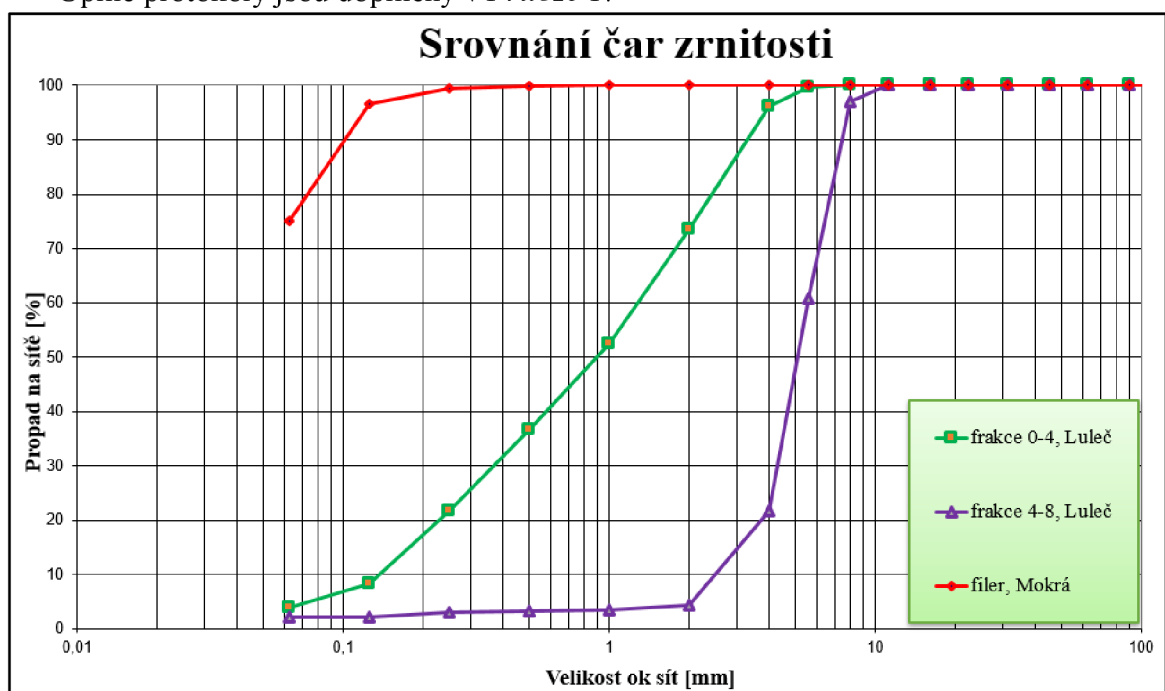
5. Použité materiály

V níže uvedených kapitolách jsou uvedeny materiály s charakteristikami na výrobu asfaltových směsí typu BBTM 8 B 45/80-65, BBTM 8 B HiMA.

5.1 Kamenivo

Pro navrhované směsi typu BBTM 8 B bylo zvoleno a použito kamenivo z lomu Luleč v okrese Vyškov. Jedná se o moravskou drobu, tedy o horninu sedimentární. Kamenivo je drcené, tudíž vzniká z větších kusů hornin a má ostrohranný a nepravidelný povrch. Do směsi byly použity frakce 0-4 mm, 4-8 mm a vápencová moučka neboli filer, ten byl odebrán z kamenolomu Mokrá. Použitá kameniva s filerem odpovídají požadavkům ČSN EN 13043 Kamenivo pro asfaltové směsi a povrchové vrstvy pozemních komunikací, letištních a jiných dopravních ploch [32]. V *Grafu 1* a *Tabulce 3* jsou uvedeny výsledky a srovnání jednotlivých frakcí síťového rozboru. Postup je popsán v kapitole 4.1.2 *Stanovení zrnitosti, Síťový rozbor*.

Úplné protokoly jsou doplněny v *Příloze 1*.



Graf 1: Srovnání zrnitosti jednotlivých frakcí [vlastní]



Obrázek 36: Ukázka kameniva

a) frakce 0-4 Luleč

b) frakce 4-8 Luleč [vlastní]

Tabulka 3: Sítový rozbor použitého kameniva [vlastní]

Frakce kameniva [mm]	Propad na sítích [%]										
	16	11,2	8	5,6	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
filer, Mokrá	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,8	99,5	96,6	75,1
0-4, Luleč	100,0	100,0	100,0	99,7	96,2	73,5	52,5	36,6	21,6	8,3	3,9
4-8, Luleč	100,0	100,0	96,9	60,8	21,6	4,2	3,3	3,2	3,0	2,1	2,1

5.2 Asfaltové pojivo

V diplomové práci bylo použito pojivo PmB 45/80-65 (specifikace modifikovaných asfaltů v *Tabulce 5, 6 a 7*), kde výrobcem je Evropské distribuční centrum a.s. a pojivo HiMA. Pojivo HiMA bylo vyrobeno laboratorně smíšením silničního asfaltu a polymerních přísad.

Vlastnosti použitých pojiv jsou uvedeny v *Tabulce 4*.

Tabulka 4: Základní vlastnosti použitých pojiv [vlastní]

Vlastnost	PmB 45/80-65	HiMA 45/80-80
Penetrace [0,1 mm]	67	59
Bod měknutí [°C]	65,4	91,9
Vratná duktilita [%]	83	96
Bod lámavosti [°C]	-18	-18
Skladovací stabilita (rozdíl bodu měknutí) [°C]	0,5	0,4
Dynamická viskozita, 135 °C [mPa·s]	1213	2650

Tabulka 5: Specifikace druhů polymerů modifikovaných asfaltů (PmB) v České republice dle ČSN EN 14023 [33]

Tab.	Vlastnosti	Metoda zkoušení	Jednotka							
				45/80-50	45/80-55	45/80-60	45/80-65	40/100-65	40/100-75	120/200-40
1A	Penetrace při 25°C	EN 1426	0,1 mm	45-80	45 - 80	45 - 80	45/80	40 - 100	40 - 100	120 - 200
	Bod měknutí	EN 1427	°C	≥ 50	≥ 55	≥ 60	≥ 65	≥ 65	≥ 75	≥ 40
	Koheze - silová duktilita smluvní energie při teplotě:	EN 13589 EN 13703	J/cm ²	≥ 1 (5 °C)	≥ 2 (5 °C)	≥ 3 (5 °C)	≥ 3 (5 °C)	≥ 2 (5 °C)	≥ 3 (5 °C)	≥ 1 (0 °C)
	Odolnost proti stárnutí:									
	- zbylá penetrace	EN 12607-1	%	≥ 60	≥ 60	≥ 60	≥ 60	≥ 60	≥ 60	≥ 60
	- zvýšení bodu měknutí		°C	≤ 8	≤ 8	≤ 10	≤ 10	≤ 8	≤ 10	≤ 8
	- změna hmotnosti		%	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,3	≤ 0,3	≤ 0,5
Bod vzplanutí	ISO 2592	°C	≥ 235	≥ 235	≥ 235	≥ 235	≥ 235	≥ 235	≥ 235	
2B	Bod lámavosti	EN 12593	°C	≤ -12	≤ -15	≤ -15	≤ -15	≤ -15	≤ -18	≤ -18
	Vratná duktilita při 25°C	EN 13398	%	>50	>50	>50	>50	>50	>50	TBR
3C	Rozsah plasticity	N/A	°C	TBR	TBR	TBR	TBR	TBR	TBR	TBR
	Vratná duktilita při 25°C po EN 12607-1	EN 13398	%	>50	>50	>50	>50	>50	>50	TBR
	Skladovací stabilita Rozdíl bodu měknutí	EN 13399 EN 1427	°C	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5

Tabulka 6: Specifikace pro silniční asfalty s penetrací od 20 x 0,1 mm do 220 x 0,1 mm [34]

Tab	Vlastnosti	Zkušební metoda	Jednotka	35/50	50/70	70/100	100/150	160/220
1A	Penetrace při 25°C	EN 1428	0,1 mm	35-50	50-70	70-100	100-150	160-220
	Bod měknutí	EN 1427	°C	50-58	46-54	43-51	39-47	35-43
	Odolnost proti stárnutí při 163°C (RTFOT)	EN 12607-1						
	Změna hmotnosti		%	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,8	≤ 0,8	≤ 1,0
	Zbylá penetrace		%	≥ 53	≥ 50	≥ 46	≥ 43	≥ 37
	Zvýšení bodu měknutí		°C	≤ 11	≤ 11	≤ 11	≤ 12	≤ 12
	Bod vzplanutí	EN ISO 2592	°C	≥ 240	≥ 230	≥ 230	≥ 230	≥ 220
	Rozpuštnost	EN 12592	%	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0
1B	Bod lámavosti podle Fraasse	EN 12593	°C	≤ -5	≤ -8	≤ -10	≤ -12	≤ -15

Tabulka 7: Systém specifikací polymerem modifikovaných asfaltů-vlastnosti požadované u polymerem modifikovaných asfaltů [33]

Vlastnosti	Metoda zkoušení	Jednotka	Třídy pro všechny polymerem modifikované asfalty										
			2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Penetrace při 25° C	EN 1426	0,1 mm	10-40	25-55	45-80	40-100	65-105	75-130	90-150	120-200	200-300		
Bod měknutí	EN 1427	°C	≥ 80	≥ 75	≥ 70	≥ 65	≥ 60	≥ 55	≥ 50	≥ 45	≥ 40		
Koheze ^a	Silová duktilita ^a (Protahování 50 mm/min) nebo	EN 13589 následně EN 13703	J/cm ²	≥ 3	≥ 2	≥ 1	≥ 2	≥ 2	≥ 3	≥ 0,5	≥ 2	≥ 0,5	≥ 0,5
	Zkouška v tahu ^a (Protahování 100 mm/min) nebo	EN 13587 následně EN 13703	J/cm ²	≥ 3	≥ 2	≥ 1	≥ 3	≥ 3					
	Zkouška kyvadlem Vitalit ^a (rázová zkouška)	EN 13588	J/cm ²	≥ 0,7									
Odolnost proti stárnutí ^b	Zbylá penetrace	EN 12607-1	%	≥ 35	≥ 40	≥ 45	≥ 50	≥ 55	≥ 60				
	Zvýšení bodu měknutí		°C	≤ 8	≤ 10	≤ 12							
	Změna hmotnosti ^c		%	≤ 0,3	≤ 0,5	≤ 0,8	≤ 1,0						
Bod vzplanutí	EN ISO 2592	°C	≥ 250	≥ 235	≥ 220								

^a Vybírá se jedna metoda koheze podle konečného použití. Pro pojiva nátěrových technologií vozovek se použije pouze zkouška kyvadlem Vitalit (EN 13588).
^b Hlavní zkouškou je RTFOT při 163 °C. Pro některé výše viskózní polymerem modifikované asfalty, u nichž je viskozita příliš vysoká pro vznik pohybujícího se filmu, nelze provádět zkoušku RTFOT při retenční teplotě 163 °C. V těchto případech se postup provádí při 180 °C podle EN 12607-1.
^c Změna hmotnosti může být kladná nebo záporná.

5.2.1 Výsledky stékavosti použitých pojiv

Zkouška byla provedena za účelem porovnání konvenčně vyráběného pojiva a vysoce modifikovaného pojiva vzniklého smísením v laboratoři. Vlastnosti materiálů ve směsi jsou popsány v kapitole 5. Použité materiály a samotná zkouška je popsána v kapitole 4.1.1 Stanovení stékavosti pojiva.

Zkouška se prováděla na vzorku asfaltové směsi BBTM 8 B PmB 45/80-65 a směsi BBTM 8 B HiMA. Hodnota stékavosti se stanovovala jako průměr ze dvou měření v kádinkách VI. a II.

Tabulka 8: Určení stékavosti asfaltových pojiv [vlastní]

Stékavost pojiva	Směs č. 1 s PmB 45/80-65		Směs č. 2 s HiMA	
Označení kádinky	II	VI	VI	II
Vypočtená stékavost pojiva D v [%]	0,057	0,077	0,255	0,249
Průměrná stékavost pojiva σ D [%]	0,07		0,25	

Z výsledků v Tabulce 8 je patrný značný rozdíl ve stékavosti pojiv. Rozdíl s největší pravděpodobností je způsoben vysokou lepivostí a zároveň nízkou tuhostí pojiva ve směsi číslo 2. Tato zkouška vypovídá hodně o zpracovatelnosti směsi za běžných podmínek na stavbě.

6. Složení a návrh asfaltových směsí

Vždy je snahou navrhnout optimální složení jednotlivých materiálů. Rozhodující je vhodně zvolená čára zrnitosti přibližující se Fullerově parabole a určení potřebného množství pojiva. Byly zhotoveny dva druhy směsí s použitím běžně modifikovaného asfaltu (PmB) a vysoce modifikovaného asfaltu (HiMA). Návrh asfaltových směsí byl proveden na základě normy a požadavků národní přílohy ČSN EN 13108-2 ed.2 [9], a na základě zkušeností vedoucího práce.

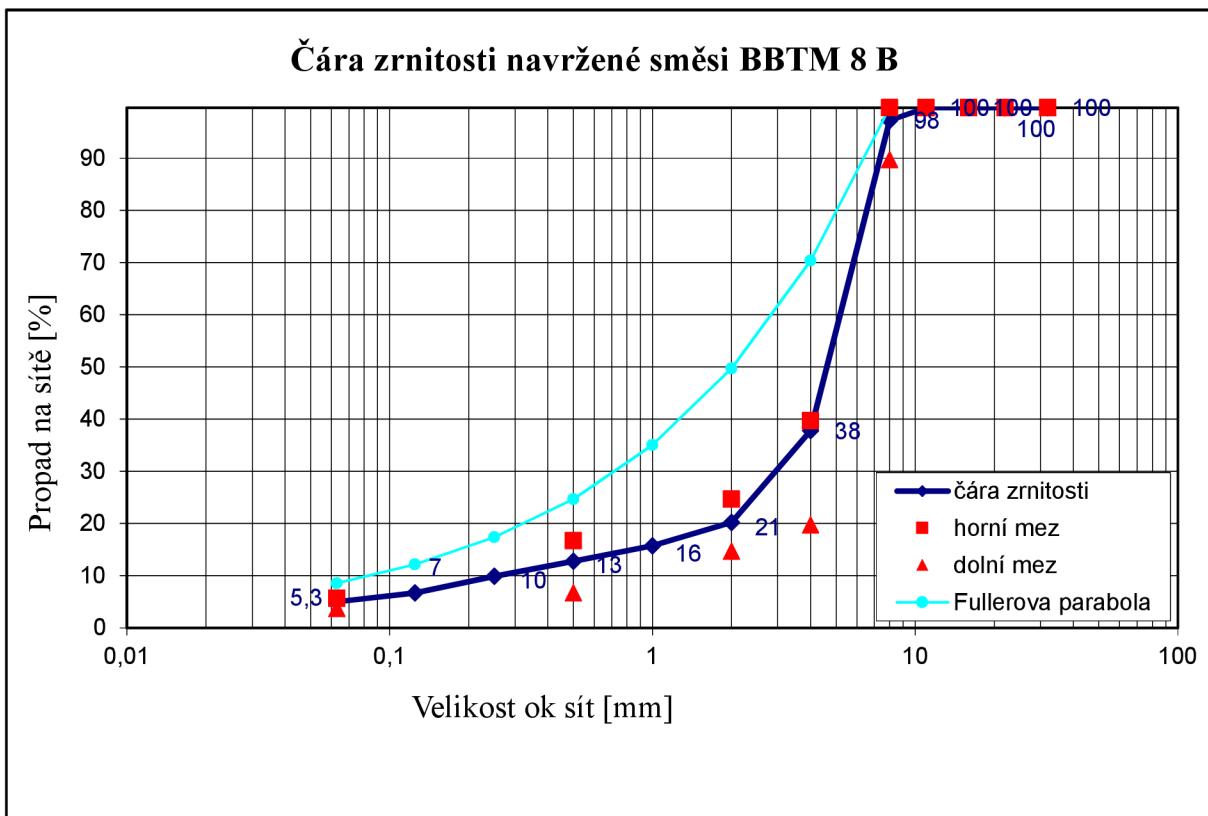
6.1 Zrnitost

Jak už bylo dříve řečeno, byly navrženy dvě směsi typu BBTM 8 B se stejnou zrnitostí, ale s použitím jiného pojiva.

Tabulka 9 a Graf 2 charakterizují navrženou směs.

Tabulka 9: Navržená skladba kameniva [vlastní]

Využití kameniva [%]	Kamenná moučka, filer	frakce 0-4	frakce 4-8	Suma
Směs BBTM 8 B	4	18	78	100



Graf 2: Navržená čára zrnitosti směsi BBTM 8 B [vlastní]

6.2 Obsah pojiva

Nejprve byla provedena pomocí sady čtyř sad Marshallových těles optimalizace dávkování pojiva. Na těchto tělesech byla měřena objemová hmotnost kapitola 4.4.1, maximální objemová hmotnost kapitola 4.4.2, spočítána mezerovitost kapitola 4.4.3. a mezerovitost směsi kameniva (VMA) se stupněm vyplnění mezer pojivem (VFB) kapitola 4.4.4.

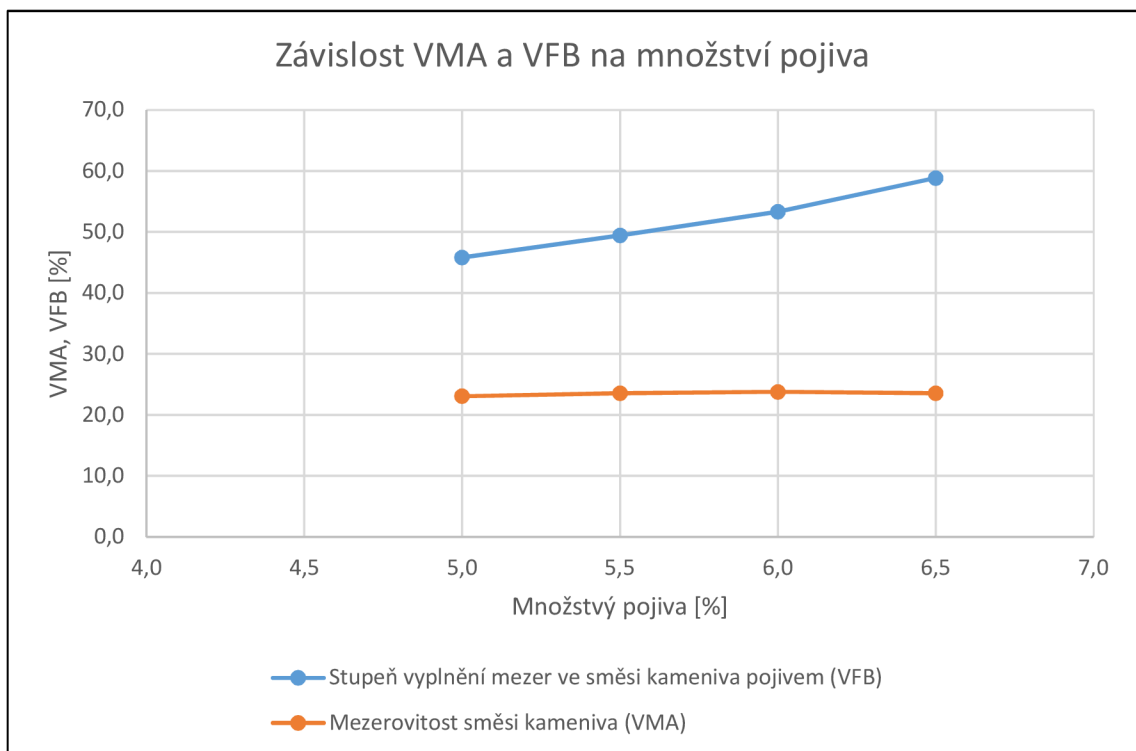
Pro lepší orientaci jsou hodnoty vypsány v *Tabulce 10*.

Z daných výsledků bylo podle požadavků ČSN EN 13108-2 ed.2 Asfaltové směsi-Specifikace pro materiály-Část 2: Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy [9] a po konzultaci s vedoucím diplomové práce určeno optimální množství pojiva. Národní příloha normy [9] totiž požaduje pro směsi BBTM 8 B mezerovitost (určenou vodním vážením) v rozmezí 11 % až 15 %, přičemž snahou bylo přidržet se spodní hranice mezerovitosti.

Optimální množství pojiva u směsi BBTM 8 B bylo stanoveno na **6,0 %**.

Tabulka 10: Určení optimálního obsahu pojiva [vlastní]

Způsob získání:	Změřené hodnoty			Spočítané hodnoty			
Obsah pojiva ve směsi [%]	Max. obj. hmotnost [g/cm ³]	Obj. hm. z hydrostatického vážením [g/cm ³]	Obj. hmotnost z rozměrů [g/cm ³]	Mezerovitost z hydrostatického vážení [%]	Mezerovitost z rozměrů [%]	Mezerovitost směsi kameniva VMA [%]	Stupeň vyplnění mezer pojivem VFB [%]
5,0	2,464	2,156	2,019	12,5	18,1	23,1	45,8
5,5	2,451	2,159	1,994	11,9	18,6	23,5	49,5
6,0	2,426	2,157	2,020	11,1	16,7	23,8	53,3
6,5	2,410	2,177	2,056	9,7	14,7	23,6	58,9



Graf 3: Závislost mezerovitosti směsi kameniva (VMA) a stupně vyplnění mezer ve směsi kameniva pojivem (VFB) na množství pojiva [vlastní]

7. Výsledky zkoušek

V následujících kapitolách jsou uvedeny výsledky zkoušek, které byly v rámci praktické části diplomové práce prováděny a jejich postup je popsán v kapitole 4. *Použité zkušební metody*.

7.1 Výsledky objemové hmotnosti, maximální objemové hmotnosti a mezerovitosti zhutněných desek

V této kapitole jsou uvedeny hodnoty objemové a maximální objemové hmotnosti, i mezerovitosti zhutněných zkušebních desek. Zjištěním objemové a maximální objemové hmotnosti se zabývá *kapitola 4.4.1 a 4.4.2*, zjištěním mezerovitosti se zabývá *kapitola 4.4.3*.

U každé směsi bylo provedeno zjištění objemové hmotnosti dvěma způsoby. První proběhlo z rozměrů těles a druhé z hmotnosti nasyceného osušeného povrchu. Jako maximální objemová hmotnost byla vzata hodnota z kapitoly 6.2 *Obsah pojiva*.

Ukázka měřených desek na *Obrázku 37* a výsledky jsou pro přehlednost zpracovány v *Tabulce 11*.



Obrázek 37: Ukázka měřených zkušebních desek [vlastní]

Tabulka 11: Stanovení objemové hmotnosti, mezerovitosti z rozměrů a z hmotnosti nasyceného osušeného povrchu [vlastní]

Směs	Vzorek	Délka [mm]	Šířka [mm]	Tloušťka [mm]	Hmotnost suchá [g]	Hmotnost ve vodě [g]	Hmotnost mokrá [g]	Objemová hmotnost z těles [g/m ³]	Objemová hmotnost z vody [g/m ³]	Míra zhutnění „hydro“ [%]	Míra zhutnění „těles“ [%]	Provedená zkouška
BRTM 8 B PmB 45/80-65	1	322,0	261,9	51,3	8969	5008	9092	2,073	2,196	101,8	96,1	tuhost, únava
	2	321,9	261,8	50,6	8942	4987	9066	2,097	2,192	101,6	97,2	tuhost, únava
	3	322,3	261,9	50,6	8919	4978	9045	2,088	2,193	101,7	96,8	tuhost, únava
	4	321,9	262,6	50,8	8948	5002	9061	2,084	2,204	102,2	96,6	poj. kolem
	5	322,3	262,2	50,5	8911	5005	9077	2,088	2,188	101,5	96,8	cyklon
BRTM 8 B H1MA	A	322,5	260,2	53,8	8954	4916	9165	1,983	2,107	97,7	91,9	náhradní
	B	322,3	260,5	51,6	8915	4999	9081	2,058	2,184	101,3	95,4	tuhost, únava
	C	321,7	261,4	51,8	8921	5004	9100	2,048	2,178	101,0	94,9	tuhost, únava
	D	321,6	261,2	51,7	8875	4923	9067	2,044	2,142	99,3	94,7	tuhost, únava
	E	321,8	261,5	51,6	8907	4938	9092	2,051	2,144	99,4	95,1	poj. kolem
	F	321,7	261,3	51,9	8921	4953	9102	2,045	2,150	99,7	94,8	cyklon

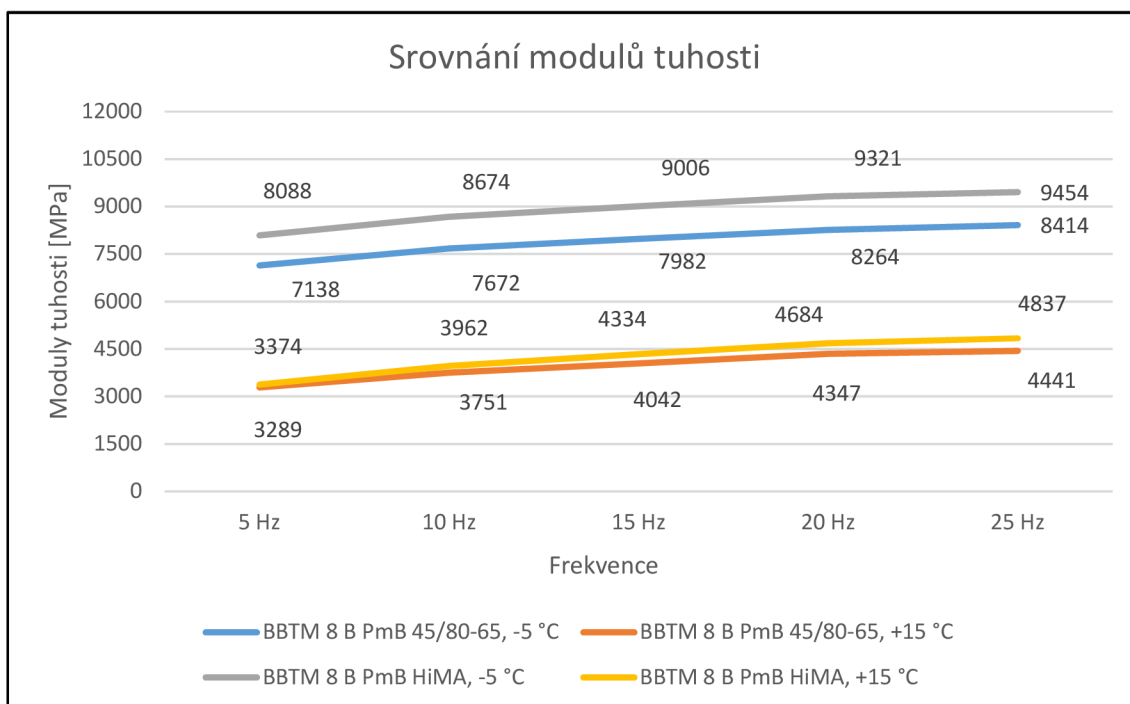
7.2 Výsledky měření modulu tuhosti asfaltové směsi

Zkouška v této práci je popsána v kapitole 4.4.5 *Modul tuhosti asfaltové směsi*. Komplexní modul tuhosti byl zjišťován při teplotách -5 °C, +15 °C a měření probíhalo při působení frekvencí 5 Hz, 10 Hz, 15 Hz, 20 Hz a 25 Hz. Výsledky měření jsou zprůměrované hodnoty patnácti zkušebních těles od každé směsi uvedeny v *Tabulce 12* a názorně zobrazeny v *Grafu 4*.

Rozměry vzorků a jednotlivé výsledky měření jsou v *Příloze 2* a požadavky z normy *Příloha 5*.

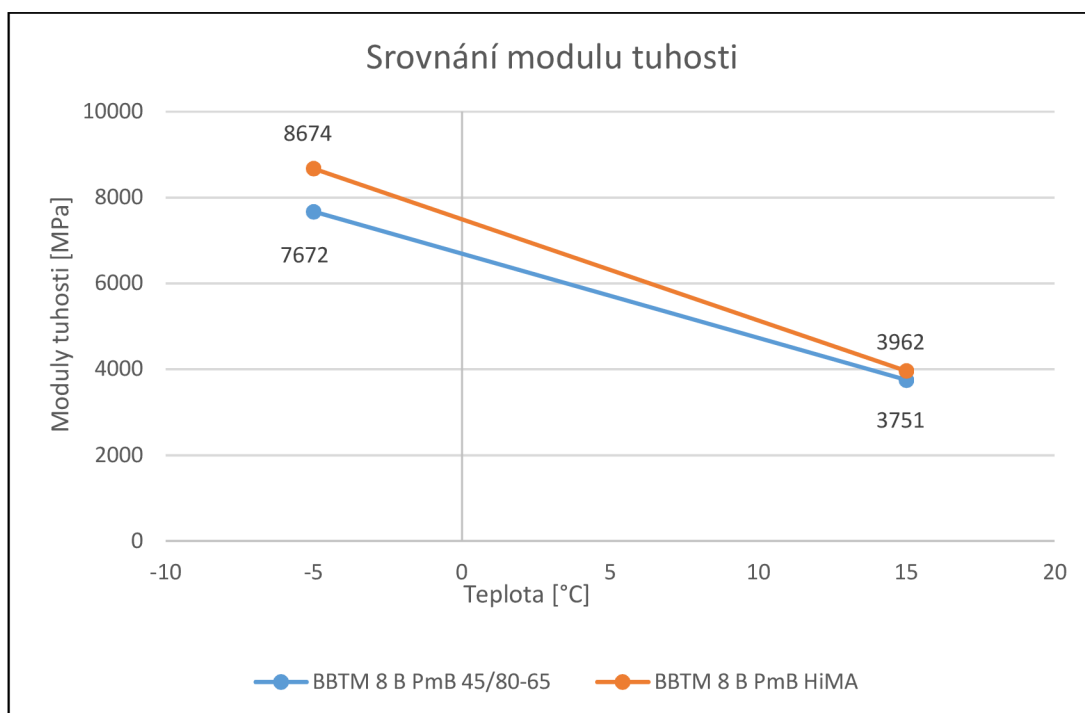
Tabulka 12: Komplexní modul tuhosti asfaltových směsí [vlastní]

Modul tuhosti [Mpa]		Teplota	
Směs	Frekvence zatěžování	-5 °C	15 °C
BBTM 8 B PmB 45/80-65	5 Hz	7138	3289
	10 Hz	7672	3752
	15 Hz	7982	4042
	20 Hz	8264	4347
	25 Hz	8414	4441
BBTM 8 B HiMA	5 Hz	8088	3375
	10 Hz	8674	3963
	15 Hz	9006	4334
	20 Hz	9321	4684
	25 Hz	9454	4837



Graf 4: Závislost modulů tuhosti na frekvenci obou směsí [vlastní]

Návrhová hodnota modulu tuhosti je dle TP 170 [38] určována při základní frekvenci 10 Hz a teplotě +15 °C. Proto bylo na místě vytvořit *Graf 5*, který zobrazuje závislost modulů tuhosti na teplotě při základní frekvenci 10 Hz.



Graf 5: Závislost modulů tuhosti na teplotě obou směsí [vlastní]

Se zvyšující se frekvencí zatěžování, docházelo ke zvýšení hodnoty modulu tuhosti asfaltové směsi. V případě směsi BBTM 8 B jak s pojivem HiMA, tak u směsi s běžně modifikovaným pojivem, byl naměřen modul tuhosti velice nízký. Podle sklonu čáry tuhosti v závislosti na teplotě vykazovala nižší teplotní citlivost směs s pojivem PmB (2,05 MPa) oproti směsi s pojivem HiMA (2,19 MPa), což má pozitivní vliv při vzniku trvalých deformací za vysokých teplot a taktéž při tvorbě mrazových trhlin vznikajících při nízkých teplotách.

Při teplotě 15 °C a frekvenci 10 Hz byl naměřen modul tuhosti 3962 MPa u směsi s pojivem HiMA a u směsi s PmB 45/80-65 činil jen 3751 MPa. Protože norma ČSN EN 13108-2 ed.2 Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy neurčuje minimální hodnotu modulu tuhosti, porovnáme výsledky s nároky normy ČSN EN 3108-1 ed.2 Asfaltový beton [35] a TP 148 Hutněné asfaltové vrstvy s pojivem modifikovaným pryžovým granulátem z pneumatik [36] viz *Tabulka 13*.

Tabulka 13: Porovnání modulu tuhosti s normami [35, 36]

Minimální moduly tuhosti při 15 °C a 10 Hz		ČSN EN 13108-1	TP 148	ČSN EN 13108-2
BBTM 8 B PmB 45/80-65	3 751 MPa	> 7 000 MPa	> 3 500 MPa	Neurčuje
BBTM 8 B HiMA	3 962 MPa			

Tuhost obou sad směsí BBTM 8 B (PMB a HiMA) byla nižší, než požaduje národní příloha normy ČSN EN 13108-1 [35] (*Příloha 5*), ale vyšší, než udává TP 148 [36]. Nižší hodnota tuhosti směsi asfaltového betonu pro velmi tenké vrstvy ovšem není vzhledem k menším tloušťkám prováděných vrstev této směsi kritická. Na vině je zejména značná mezerovitost obou směsí a také vysoký obsah pojiva, z čehož vyplývá velká tloušťka filmu pojiva na povrchu kameniva.

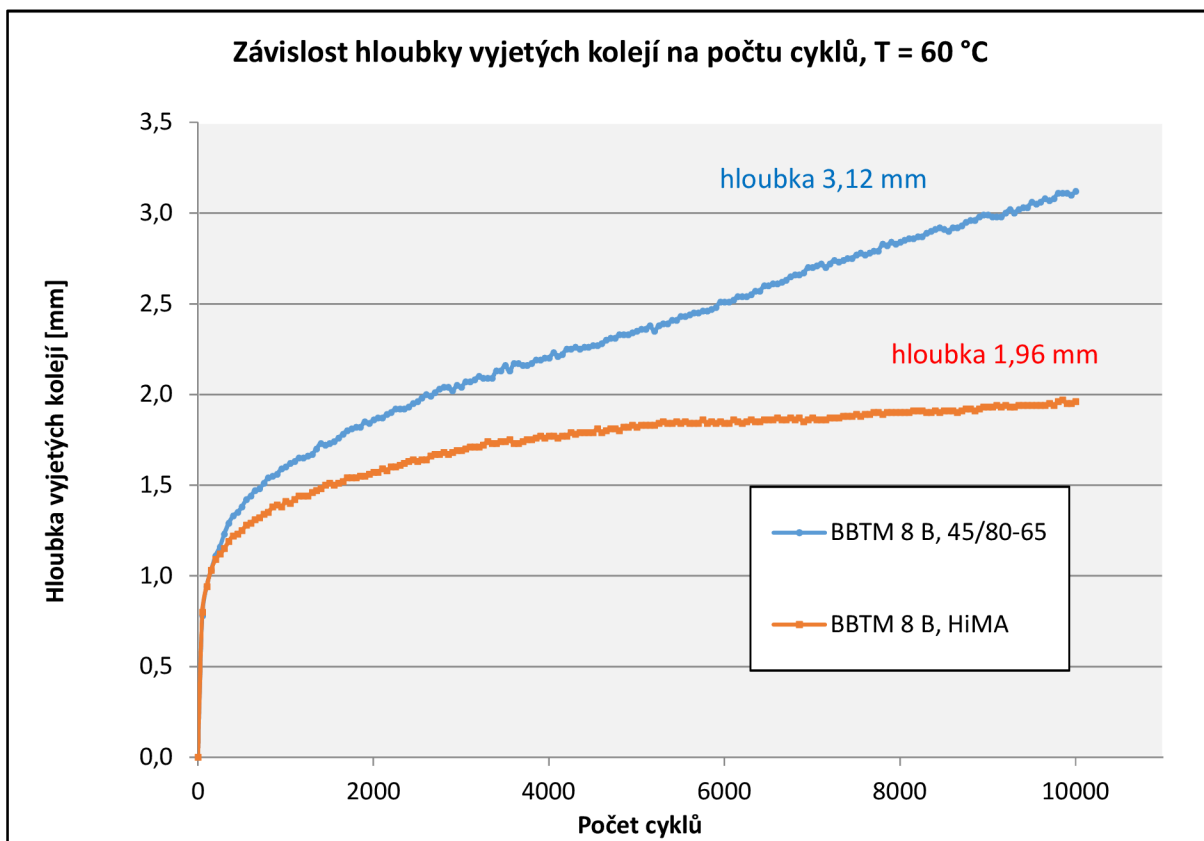
7.3 Výsledky zkoušky trvalých deformací

Další z funkčních zkoušek, která byla provedena, je odolnost proti trvalým deformacím. Zkouška je popsána v kapitole 4.4.6 *Zkouška pojiždění kolem*. Zkouška byla provedena u každé směsi při teplotě 60 °C. Z naměřených hodnot se zjistila hloubka vyjeté koleje po 10 000 cyklech ($d_{10\,000}$) a vypočte se průměrná poměrná hloubka vyjeté koleje PRD_{AIR} a poměrný přírůstek hloubky vyjeté koleje WTS_{AIR} . Výsledné hodnoty jsou uvedeny v *Tabulce 14* a *Grafu 6* a *7*. Výsledky měření jsou v *Příloze 3*.

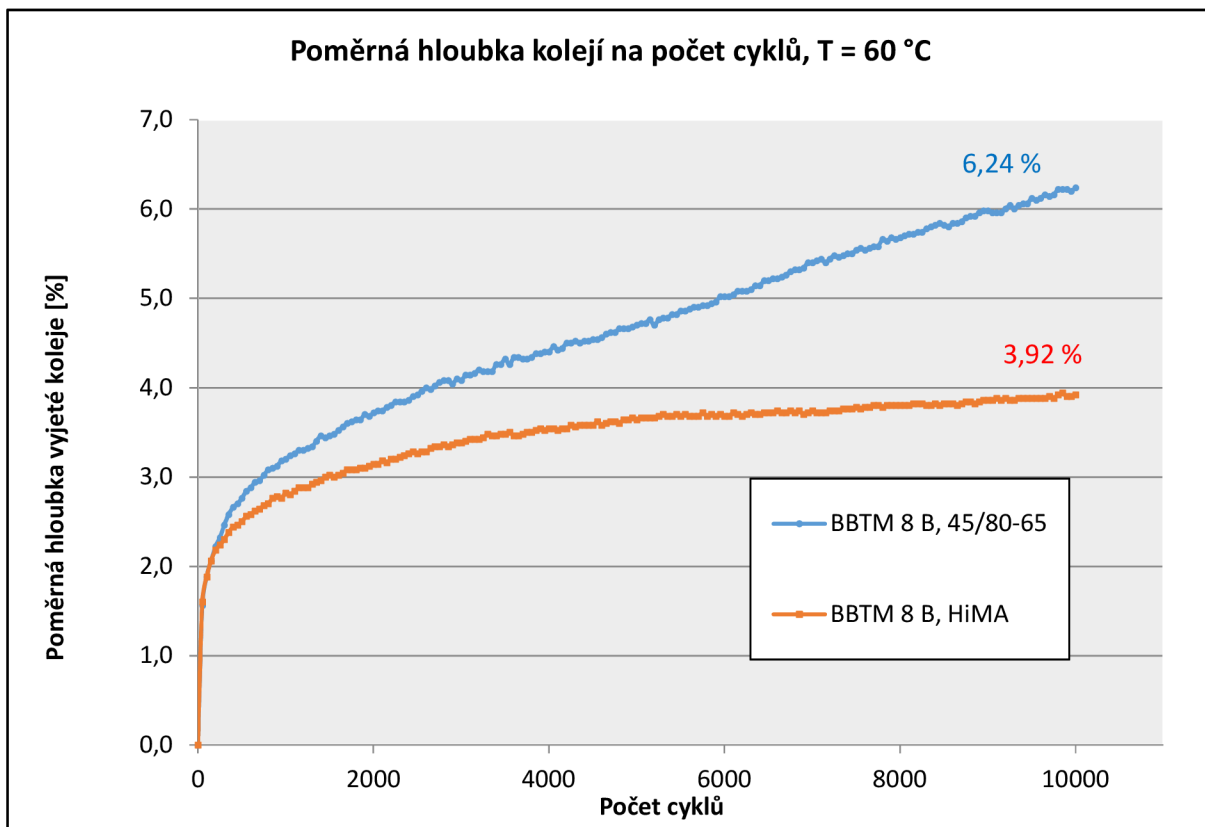
Maximální hodnota PRD_{AIR} dle normy ČSN EN 13108-2 ED.2: *Asfaltové směsi- Specifikace pro materiály-Část 2: Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy* [9] by měla být 7,5 % při tloušťce desky 50 mm. Je dobré zmínit, že norma nebere v potaz poměrný přírůstek hloubky vyjetých kolejí.

Tabulka 14: Výsledné hodnoty zkoušky poježdění kolem [vlastní]

Zkouška poježdění kolem při teplotě 60 °C				
Asfaltová směs	Označení desek	$d_{10\,000}$ [mm]	PRD_{AID} [%]	WTS_{AIR} [mm/10 ³ cyklů]
BBTM 8 B PmB 45/80-65	4	3,12	6,24	0,154
BBTM 8 B HiMA	E	1,96	3,92	0,028



Graf 6: Závislost hloubky vyjetých kolejí na počtu cyklů [vlastní]

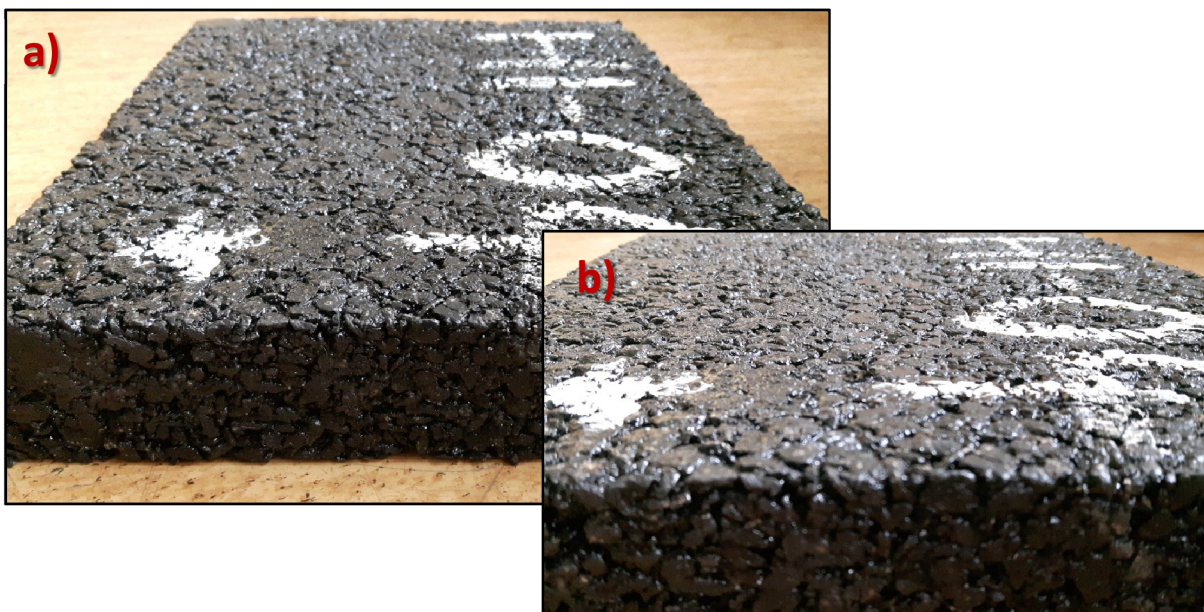


Graf 7: Závislost poměrné hloubky vyjetých kolejí na počtu cyklů [vlastní]

Jak už bylo poznamenáno výše, jedná se o grafické znázornění výsledků. Z *Grafu 6* a *7* lze odvodit, že lépe dopadla směs BBTM 8 B HiMA s hloubkou kolejí 1,96 mm po 10 000 cyklech a s proměnou hloubkou vyjetých kolejí 3,92 %. Lépe jsou hodnoty vidět na *Obrázku 38 a 39*.



Obrázek 38: a) Deska s pojivem PmB 45/80-65 b) detail [vlastní]



Obrázek 39: a) Deska s pojivem PmB HiMA b) detail [vlastní]

7.4 Výsledky nízkoteplotních charakteristik směsí

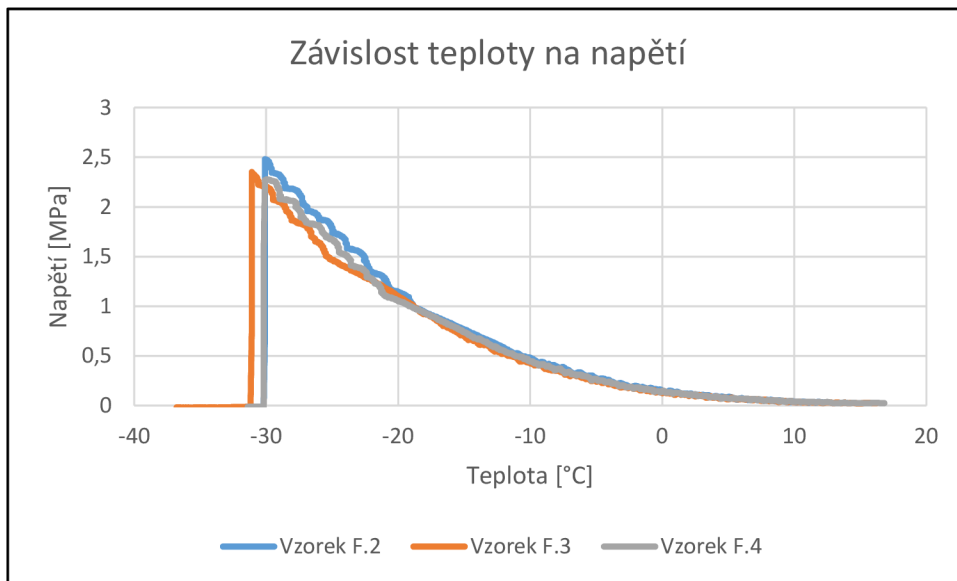
Zkouška stanovení nízkoteplotních charakteristik je popsána výše v kapitole 4.4.8 *Nízkoteplotních vlastností a tvorba trhlin*. Zkouška proběhla na zařízení jménem Cyklon-40 na třech vzorcích, a to od každé směsi. Zkušební tělesa vznikla nařezáním vyrobené zkušební desky, viz 4.3 *Výroba zkušebních těles*. Tělesa byla temperována na teplotu 10 °C po dobu minimálně 15 minut a následně řízeným poklesem teploty o 10 °C za hodinu až do porušení vzorku. Jednotlivé výsledky s hodnotami jsou uvedeny v *Tabulkách 15 a 16* a zpracovaných *Grafech 8 a 9*.

Výsledky měření z přístroje jsou uvedeny v *Příloze 4*.

7.4.1 Výsledky směsi s pojivem PmB 45/80-65

Tabulka 15: Výsledky nízkoteplotních charakteristik, pojivo PmB 45/80-65 [vlastní]

Asfaltová směs		BBTM 8 B PmB 45/80-65		
Označení vzorku		F.2	F.3	F.4
Rozměry vzorků	Tloušťka [mm]	52,0	51,0	51,4
	Šířka [mm]	51,5	52,2	52,0
	Délka [mm]	200,0	200,0	200,0
Maximální síla při porušení [kN]		6,65	6,26	6,09
Maximální napětí při porušení [MPa]		2,48	2,35	2,28
Teplota v komoře při porušení [°C]		-33,3	-32,6	-33,3
Teplota vzorku při porušení [°C]		-30,1	-31,1	-30,0

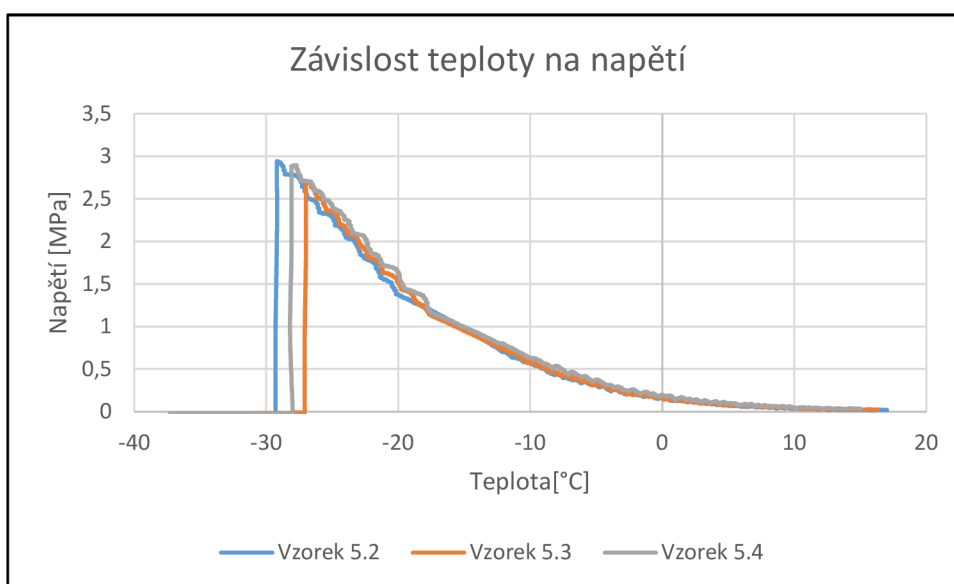


Graf 8: Znázornění závislosti napětí na teplotě u směsi s pojivem PmB 45/80-65 [vlastní]

7.4.2 Výsledky směsi s pojivem HiMA

Tabulka 16: Výsledky nízkoteplotních charakteristik, pojivo HiMA [vlastní]

Asfaltová směs		BBTM 8 B HiMA		
Označení vzorku		5.2	5.3	5.4
Rozměry vzorků	Tloušťka [mm]	50,7	51,0	50,7
	Šířka [mm]	50,7	51,2	51,0
	Délka [mm]	200,0	200,0	200,0
Maximální síla při porušení [kN]		7,57	7,06	7,48
Maximální napětí při porušení [MPa]		2,94	2,71	2,89
Teplota v komoře při porušení [°C]		-32,2	-30,4	-29,2
Teplota vzorku při porušení [°C]		-29,2	-26,9	-27,8

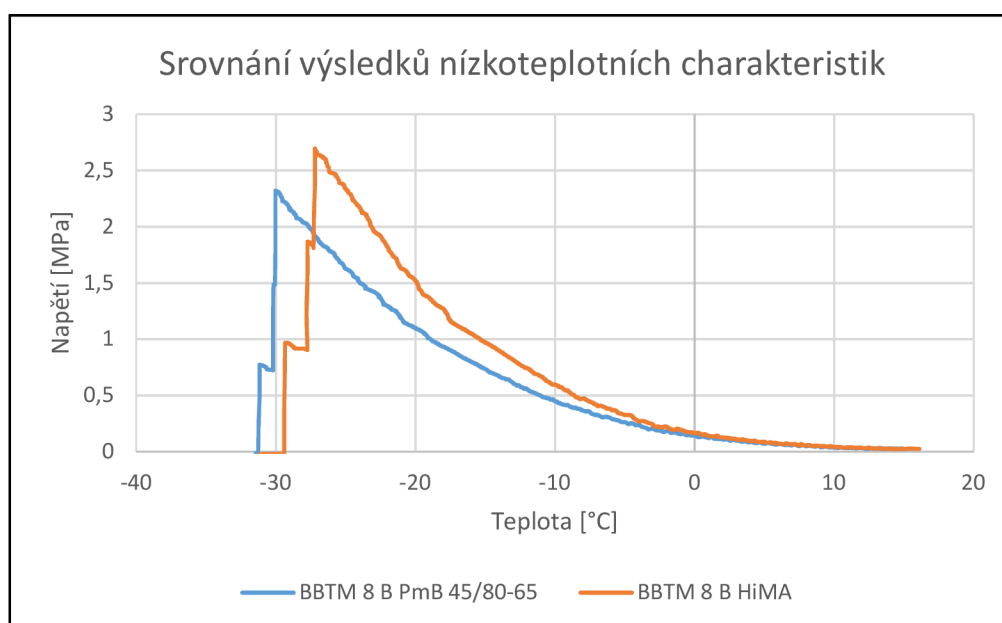


Graf 9: Znázornění závislosti napětí na teplotě u směsi s pojivem HiMA [vlastní]

7.4.3 Porovnání a vyhodnocení výsledků zkoušky nízkoteplotních charakteristik

Oba typy směsí dosahovaly výborných hodnot, co se týká síly i teploty při porušení. Vždy došlo k porušení tělesa mrazovou trhlinou bez zbytkového napětí.

Jak je patrné z *Grafu 10* vzorky s pojivem HiMA se povětšinou porušily do teploty $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ a s pojivem PmB 45/80-65 mírně pod teplotu $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Síla k tomuto porušení byla naopak potřeba vyšší u směsi s použitím pojiva vysoce polymerem modifikovaným, a to nad hodnotu $2,7\text{ MPa}$ a PmB do $2,5\text{ MPa}$.



Graf 10: Srovnání výsledku nízkoteplotních charakteristik obou směsí [vlastní]

7.5 Výsledky odolnosti tělesa vůči vodě

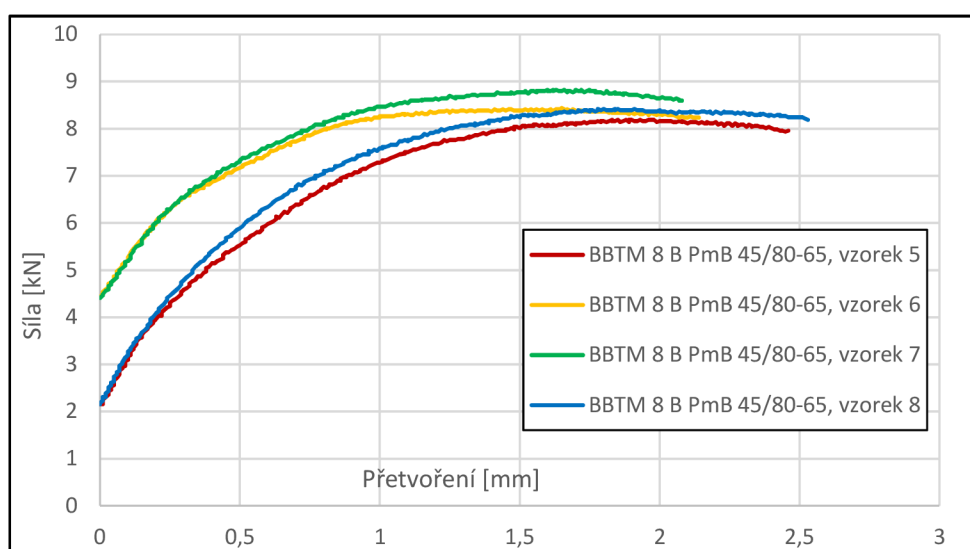
Zkouška odolnosti vůči účinkům vody je popsána v kapitole 4.4.7 *Stanovení odolnosti zkušebních těles vůči vodě*.

Byla provedena zkouška pevnosti v příčném tahu na skupině suchých a mokrých těles. Při vyhodnocení odolnosti vůči vodě se získá poměr pevností v příčném tahu ITS_R. Jednotlivé hodnoty jsou zobrazeny v *Tabulce 17 a 18*, a znázorněny v *Grafu 11, 12, 13, 14 a 15*.

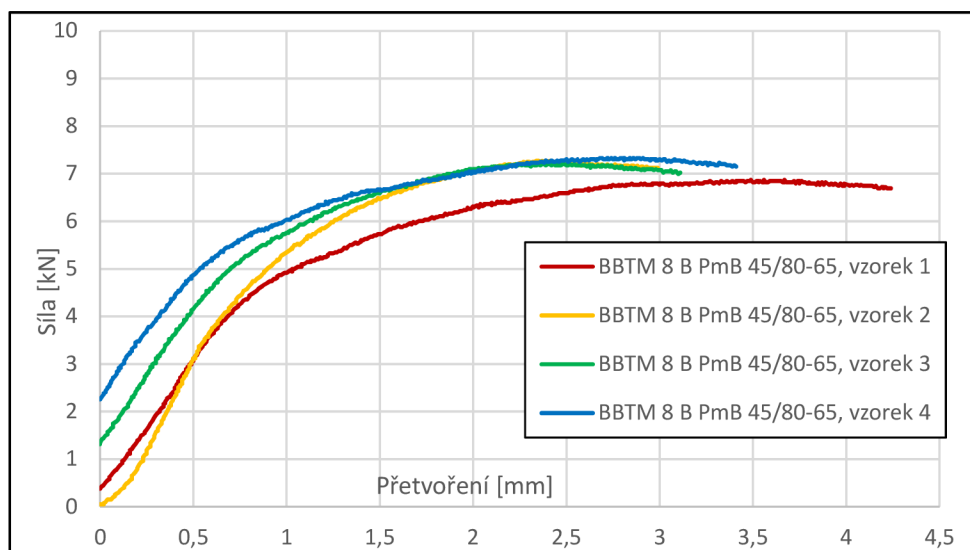
7.5.1 Výsledky směsi s pojivem PmB 45/80-65

Tabulka 17: Odolnost vůči vodě u směsi BBTM 8 B PmB 45/80-65 [vlastní]

	Směs s pojivem	Vzorek číslo	Průměr [mm]	Tloušťka [mm]	Hmotnost [g]	Síla [kN]	Přetvoření [mm]	ITS [kPa]	Průměr ITS [kPa]	ITSR [%]
	Skupina suchých těles	PmB 45/80-65	5	101,7	67,2	1052,9	8,2	2,0	762,9	
PmB 45/80-65		6	102,3	66,0	1047,3	8,4	1,7	795,8		
PmB 45/80-65		7	102,3	66,7	1054,4	8,8	1,7	822,9		
PmB 45/80-65		8	101,9	66,7	1031,9	8,4	1,9	788,7		
Průměr			102,1	66,7	1046,6	8,5	1,8	792,6		
Skupina mokrých těles	Označení vzorků	Vzorek číslo	Průměr [mm]	Tloušťka [mm]	Hmotnost [g]	Síla [kN]	Přetvoření [mm]	ITS [kPa]	Průměr ITS [kPa]	84,4
	PmB 45/80-65	1	101,9	67,0	1045,1	6,9	3,6	640,6	669,1	
	PmB 45/80-65	2	101,9	67,3	1049,9	7,3	2,4	674,9		
	PmB 45/80-65	3	102,0	67,4	1044,0	7,2	2,3	666,7		
	PmB 45/80-65	4	102,3	65,7	1037,1	7,3	2,8	694,3		
Průměr			102,0	66,9	1044,0	7,2	2,7	669,1		



Graf 11: Závislost přetvoření na síle směsi BBTM 8 B PmB 45/80-65, skupina suché [vlastní]

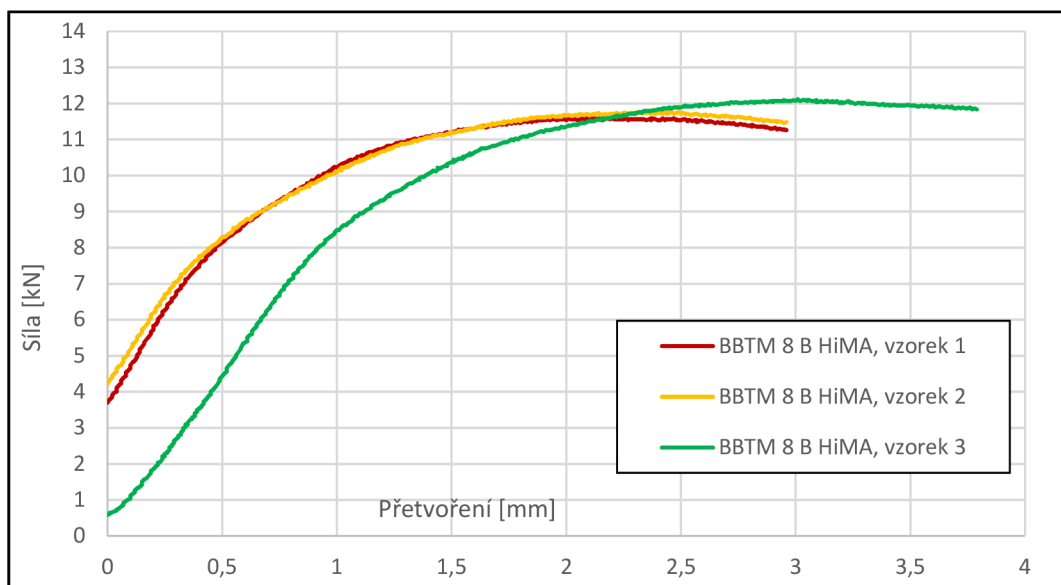


Graf 12: Závislost přetvoření na síle směsi BBTM 8 B PmB 45/80-65, skupina mokré [vlastní]

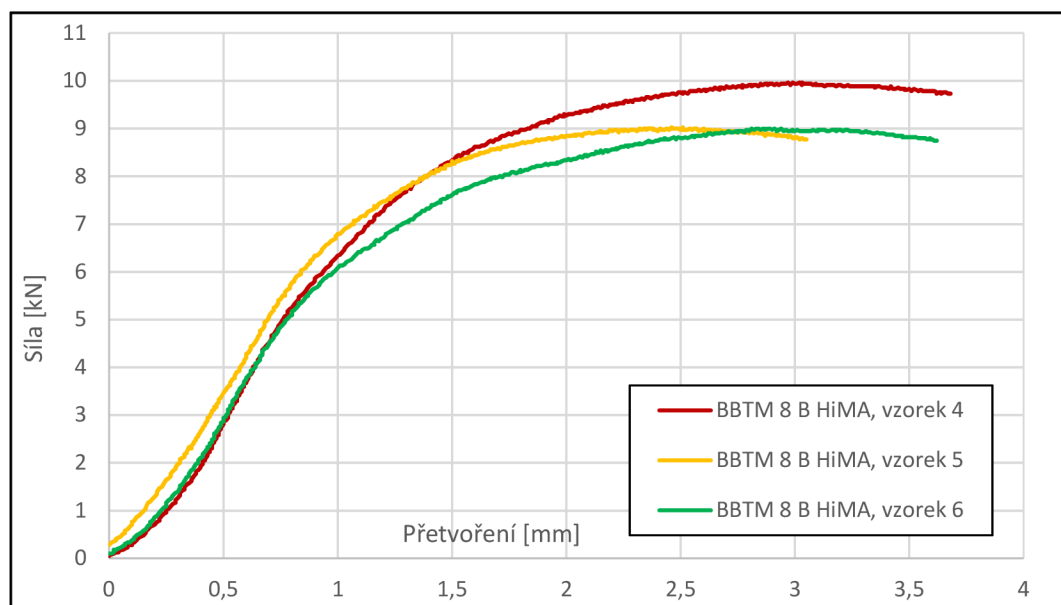
7.5.2 Výsledky směsi s pojivem HiMA

Tabulka 18: Odolnost vůči vodě u směsi BBTM 8 B HiMA [vlastní]

Skupina suchých těles	Směs s pojivem	Vzorek číslo	Průměr [mm]	Tloušťka [mm]	Hmotnost [g]	Síla [kN]	Přetvoření [mm]	ITS [kPa]	Průměr ITS [kPa]	ITSR [%]
	HiMA	1	102,2	65,0	1043,1	11,6	2,3	1110,7	1126,2	
HiMA	2	102,2	66,0	1048,2	11,8	2,4	1109,9			
HiMA	3	102,2	65,2	1049,2	12,1	3,0	1157,9			
Průměr			102,2	65,4	1046,8	11,8	2,6	1126,2		
Skupina mokrých těles	Označení Vzorků	Vzorek číslo	Průměr [mm]	Tloušťka [mm]	Hmotnost [g]	Síla [kN]	Přetvoření [mm]	ITS [kPa]	Průměr ITS [kPa]	
	HiMA	4	102,0	64,3	1044,1	10,0	3,0	966,8	902,6	
	HiMA	5	102,1	65,5	1041,6	9,0	2,5	859,6		
	HiMA	6	101,9	65,2	1039,9	9,2	2,9	881,5		
	Průměr			102,0	65,0	1041,9	9,4	2,8	902,6	



Graf 13: Závislost přetvoření na síle směsi BBTM 8 B HiMA, skupina suché [vlastní]



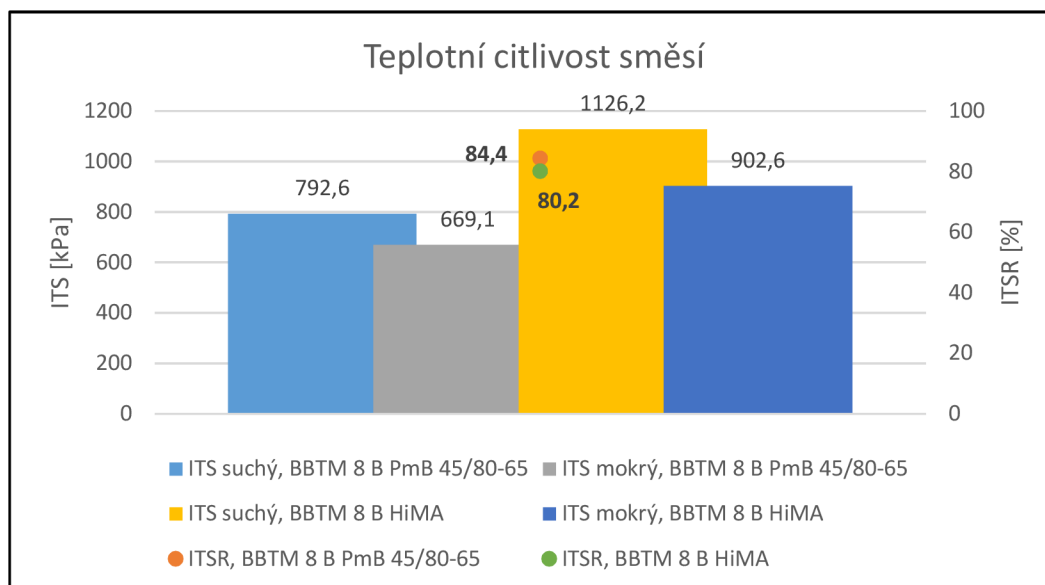
Graf 14: Závislost přetvoření na síle směsi BBTM 8 B HiMA, skupina mokré [vlastní]

7.5.3 Porovnání a vyhodnocení zkoušky odolnosti proti účinkům vody

Porovnáním výsledků obou směsí BBTM 8 B zjistíme, že lepší odolnost proti účinkům vody (parametr ITSR) vykazuje směs s pojivem PmB 45/80-65. Naproti tomu směs BBTM 8 B s pojivem HiMA dosahovala značně vyšších hodnot pevnosti v příčném tahu skupiny mokrých i suchých těles než směs s pojivem PmB 45/80-65.

Minimální hodnota ITSR dle normy ČSN EN 13108-2 ED.2: Asfaltové směsi- Specifikace pro materiály-Část 2: Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy [9] by měla být 80 % (Příloha 5).

Tento požadavek z normy obě směsi splňují.



Graf 15: Srovnání odolnosti směsí proti účinkům vody [vlastní]

7.6 Výsledky ztráty částic zkušebního tělesa

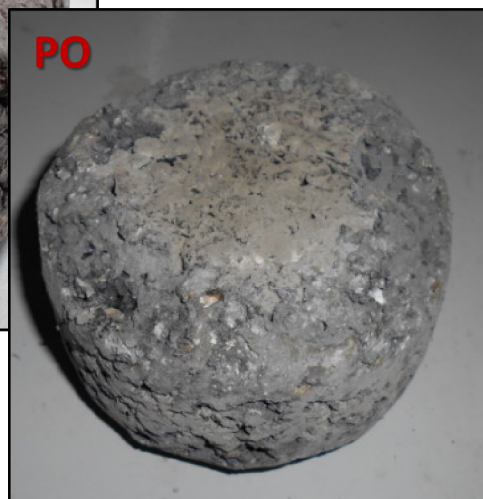
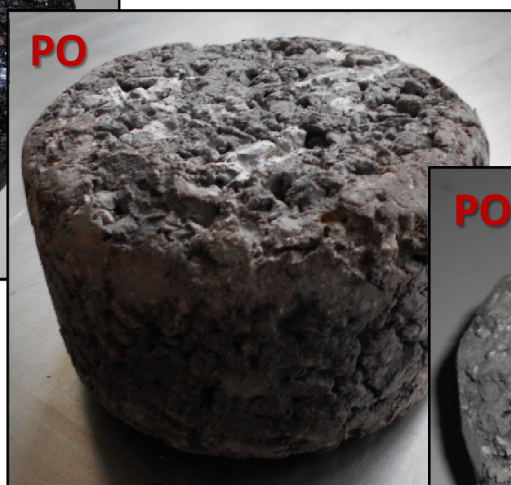
Zkouška je popsána v kapitole 4.4.9 *Ztráta částic zkušebního tělesa*. Požadavek na ztrátu částic zkušebních těles norma ČSN EN 13108-2 ed.2 [9] neuvádí, obvykle se stanovuje pouze pro asfaltové koberce drenážní. Výsledky pro asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy jsou zde uvedeny za účelem srovnání s relativně novým druhem pojiva HiMA a také z důvodu spíše vysoké mezerovitosti směsi, a tudíž určité podobnosti s asfaltovými směsmi typu asfaltového koberce drenážního.

Zařazením dle normy ČSN EN 13108-7 Asfaltové směsi-specifikace pro materiály-Část 7: Asfaltový koberec drenážní [37] se obě směsi řadí do $PL_{10}=10\%$. Tímto srovnáním se poukázalo na fakt, že směsi jsou dle očekávání náchylnější na ztrátu částic v závislosti na snižující se teplotě. Mírně nižší hodnoty ztráty částic bylo dosaženo v případě směsi BBTM 8 B s pojivem PmB 45/80-65.

Výsledky jsou uvedeny v *Tabulce 19* a na *Obrázku 40* jsou vidět tělesa po zkoušce.

Tabulka 19: Srovnání ztráty částic směsí [vlastní]

Směs		BBTM 8 B PmB 45/80-65					
Teplota zkušebních těles	Vzorek	Výška [mm]	Průměr [mm]	Počáteční hmotnost ($W_{1č}$) [g]	Koncová hmotnost ($W_{2č}$) [g]	Hodnota ztráty částic [%]	Průměr [%]
15 °C	1	63,0	101,9	1057,7	1025,1	3,1	3,8
	2	63,2	102,1	1041,2	991,6	4,8	
	3	63,2	101,7	1047,0	1008,8	3,6	
0 °C	4	63,1	101,3	1056,2	983,2	6,9	6,9
	5	62,0	102,1	1058,4	988,9	6,6	
	6	63,2	102,2	1052,7	977,4	7,2	
Směs		BBTM 8 B HiMA					
Teplota zkušebních těles	Vzorek	Výška [mm]	Průměr [mm]	Počáteční hmotnost ($W_{1č}$) [g]	Koncová hmotnost ($W_{2č}$) [g]	Hodnota ztráty částic [%]	Průměr [%]
15 °C	1	63,2	101,9	1058,3	1005,8	5,0	5,2
	2	62,2	102,1	1059,7	1005,3	5,1	
	3	63,3	101,7	1052,7	994,2	5,6	
0 °C	4	63,7	101,7	1052,8	945,8	10,2	9,3
	5	62,1	102,0	1053,9	945,6	10,3	
	6	63,0	102,2	1057,8	979,6	7,4	



Obrázek 40: Tělesa před a po zkoušce ztráty částic [vlastní]

8. Závěr

Cílem diplomové práce bylo navrhnout a porovnat vlastnosti asfaltových směsí pro obrusné vrstvy typu asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy tzv. BBTM.

V teoretické části diplomové práce byly stručně přiblíženy nejpoužívanější typy směsí, a především vysvětleny důležité pojmy týkající se technologie provádění a použití velmi tenké vrstvy obecně. Dále je v práci popsán vznik a použití vysoce polymerem modifikovaného pojiva tzv. HiMA.

V praktické části byly nejprve popsány všechny použité zkoušky a zkušební metody, které byly během diplomové práce prováděny. Dále jsou zde charakterizovány jednotlivé materiály, které byly na výrobu směsí v průběhu práce použity.

Dále se diplomová práce zabývá samotným návrhem směsí pro velmi tenké vrstvy s použitím dvou rozdílných asfaltových pojiv. Jedná se o jedno pojivo běžně modifikované typu PmB 45/80-65 a druhé vysoce polymerem modifikované HiMA, které vzniklo laboratorním smísením silničního asfaltu s polymerními přísadami.

V rámci diplomové práce byly navrženy dvě směsí typu BBTM 8 B PmB 45/80-65 a BBTM 8 B HiMA. Obě směsí mají stejnou čáru zrnitosti kameniva a obsahovaly stejné množství asfaltového pojiva, tj. 6 %.

Na asfaltových pojivech použitých při výrobě jednotlivých směsí byla provedena zkouška stékavosti asfaltového pojiva. I když norma pro asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy neuvádí maximální požadovanou hodnotu, tak obě pojiva obsažená v dané asfaltové směsí dopadla velice dobře – PmB 0,07 % a HiMA 0,25 %. Tyto hodnoty vypovídají hodně o zpracovatelnosti vyrobených směsí z těchto pojiv.

Dále se na asfaltových směsích vyrobených v laboratoři provedlo několik funkčních zkoušek. Nejdříve byla provedena zkouška stanovení modulu tuhosti. Jednotlivé tuhosti byly zjišťovány za teploty $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ a frekvencích 5, 10, 15, 20 a 25 Hz. Při porovnání výsledků obou směsí bylo zjištěno, že směs s použitím pojiva HiMA dosahuje mírně vyšší tuhosti. Norma pro výrobu asfaltového betonu pro velmi tenké vrstvy ovšem neuvádí minimální moduly tuhosti, a proto srovnání proběhlo s jinými předpisy. Ani jedna ze směsí nevyhovuje požadavkům národní přílohy normy ČSN EN 13108-1 pro asfaltový beton, ale vyhovuje TP 148 na minimální hodnoty modulu tuhosti. S největší pravděpodobností je na vině značná mezerovitost obou směsí, ale vzhledem k menší tloušťce vrstev není nikterak kritická. Značný vliv na spíše nízkou tuhost měl i zvýšený obsah asfaltového pojiva.

Další funkční zkouškou bylo stanovení odolnosti proti trvalým deformacím neboli zkouška pojíždění kolem. Při zkoušce se ukázalo, že lepších výsledků dosáhla směs za použití pojiva HiMA, avšak i druhá směs vyhověla hodnotám stanovených v normě pro asfaltové betony pro velmi tenké vrstvy.

Při zkoušce nízkoteplotních vlastností se ukázalo, že obě směsi dosahují velice dobrých hodnot. Směs s pojivem HiMA se vždy porušila tahovou trhlinou do teploty $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ při tahovém napětí $2,7\text{ MPa}$. Směs s pojivem PmB 45/80-65 se porušila tahovou trhlinou s teplotou nižší než $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ a napětím $2,5\text{ MPa}$.

Dále byly směsi podrobeny zkoušce odolnosti vůči vodě. Obě vyhověly požadavkům normy, ale směs za použití pojiva PmB 45/80-65 dosáhla vyšší hodnoty parametru ITSR oproti směsi s pojivem HiMA.

Poslední provedenou funkční zkouškou byla ztráta částic zkušebního tělesa. I když zkouška byla prováděna jako doplňková, za účelem lepšího porovnání směsí podala přesvědčující informace. Zkouška proběhla za teplot $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ a v obou případech dopadla směs s pojivem PmB 45/80-65 mírně lépe. Směs má takřka o třetinu menší ztrátu částic, než směs s pojivem HiMA.

Závěrem lze tedy konstatovat, že testované směsi vyhovují požadavkům z příslušných norem. Nicméně směs BBTM 8 B HiMA vykazuje dobré předpoklady použití v silničním stavitelství, avšak její vlastnosti jsou srovnatelné s běžně polymerem modifikovanými pojivy.

Je možné říct, že pojivo HiMA umožnilo zlepšit chování směsi při vysokých teplotách, ovšem při nízkých teplotách obě směsi obsahující pojivo HiMA a 45/80-65 dosahovaly spíše srovnatelných výsledků. Pro přehlednost jsou hodnoty jednotlivých výsledků uspořádány v *Tabulce 20*.

Návaznost na tuto práci spatřuji především v provedení dalších funkčních zkoušek za použití vysoce polymerem modifikovaným asfaltem od různých výrobců, a především sledování chování směsi s tímto pojivem v reálném prostředí provozu.

Tabulka 20: Porovnání jednotlivých výsledků zkoušek [vlastní]

Provedené zkoušky		BBTM 8 B PmB 45/80-65	BBTM 8 B HiMA
Stékavost pojiva (ϕD) [%]		0,07	0,25
Modul tuhosti (při 15 °C a 10 Hz) [MPa]		3 751	3 962
Odolnost proti trvalým deformacím (PRD_{AD}) [%]		6,24	3,92
Přírůstek hloubky vyjeté koleje zatěžovacích cyklů (WTS_{AIR}) [mm/10 ³ cyklů]		0,154	0,028
Hloubka vyjetých kolejí [mm]		3,12	1,96
Nízkoteplotní charakteristiky	Průměrná teplota porušení [°C]	-30,40	-27,97
	Průměrné napětí při porušení [MPa]	2,37	2,85
Odolnost vůči vodě (ITSR) [%]		84,4	80,2
Ztráta částic [%]	15 °C	3,8	5,2
	0 °C	6,9	9,3

9. Seznam použitých zdrojů

- [1] *TECHNOR: Ing. Jiří Řezníček* [online]. TECHNOR print, c2005-2018 [cit. 2018-10-22]. Dostupné z: <http://www.technicke-normy-csn.cz/>
- [2] ZAJÍČEK, Jan. *Technologie stavby vozovek*. Praha: ČKAIT, 2014. ISBN 978-80-87438-59-6.
- [3] Návrh a stavba vozovek: Krytové vrstvy vozovek. *Vzděláváním ke kvalitě* [online]. Brno, 2011 [cit. 2018-10-17]. Dostupné z: <http://www.vzdelavanimkekvalite.cz/PDFs/DT%203%20Asfaltove%20vrstvy.pdf>
- [4] Optimization of Thin Asphalt Layers – State-of-the-Art Review: ERA-NET ROAD. *Digitala Vetenskapliga Arkivet* [online]. 2011 [cit. 2018-10-17]. Dostupné z: <http://vti.diva-portal.org/smash/get/diva2:674028/FULLTEXT02.pdf>
- [5] Bau von Kompakten Asphaltbefestigungen-Hinweise und Erläuterungen zum „neusen“ Merkblatt und zur Bauvertraglichen Umsetzung unter Berücksichtigung der RStO 12. *Schäfer Consult* [online]. 2011 [cit. 2018-10-22]. Dostupné z: https://www.schaefer-consult.com/downloads/aufsatz_ka_s_a_06-2013
- [6] KELLER, Lars. Kompakte Asphaltbefestigungen. *Matthäi* [online]. [cit. 2018-10-22]. Dostupné z: <http://www.matthaei.de/db/docs/Kompakte-Asphaltbefestigungen-2010.pdf>
- [7] *DSH-V: Gütegemeinschaft* [online]. [cit. 2018-10-22]. Dostupné z: <https://dsh-v.de/>
- [8] DUDENHÖFER, Bernd. Dünne Asphaltdeckschichten in Heißbauweise auf Versiegelung. *Asphalt: für alle fälle* [online]. c2018, 2011 [cit. 2018-10-22]. Dostupné z: https://www.asphalt.de/fileadmin/user_upload/asphaltberatung/downloads/dsh-v_lrmindernd_und_griffig.pdf
- [9] *ČSN EN 13108-2 ED.2: Asfaltové směsi-Specifikace pro materiály-Část 2: Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy (BBTM)*. Praha: Český normalizační institut, 2017.
- [10] SNIŽOVÁNÍ HLUKU Z AUTOMOBILOVÉ DOPRAVY. *DOCPLAYER* [online]. c2018 [cit. 2018-10-19]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/8620176-Snizovani-hluku-z-automobilove-dopravy.html>
- [11] Rugosoft: Enrobé optimisé. *COLAS: LES FILIALES ROUTIÈRES EN FRANCE* [online]. 2011 [cit. 2018-10-22]. Dostupné z: http://www.colas-france.fr/sites/default/files/products/resources/noticetechniquerugosoft_hdsanscoupe.pdf
- [12] *EUROVIA: VINCI* [online]. c2018 [cit. 2018-10-22]. Dostupné z: <https://www.eurovia.cz/cs/technologie-a-laboratore/asfaltove-smesi>

- [13] *EURO: Něco málo z historie těžby ropy a zemního plynu* [online]. 2003 [cit. 2018-10-22]. Dostupné z: <https://www.euro.cz/byznys/neco-malo-z-historie-tezby-ropy-a-zemniho-plynu-865048>
- [14] *SHUT DOWN: Nejpozoruhodnější a nejzajímavější jezera světa* [online]. 2015 [cit. 2018-10-22]. Dostupné z: <http://www.shut-down.cz/2015/12/17/nejpozoruhodnejsi-a-nejzajimavejsi-jezera-na-svete/>
- [15] *Total: CO JE TO ASFALT* [online]. 2018 [cit. 2018-10-22]. Dostupné z: <https://www.total.cz/bitumen/co-je-asfalt>
- [16] BŁAŻEJOWSKI, Krzysztof, Jacek OLSZACKI a Hubert PECIAKOWSKI. VYSOCE MODIFIKOVANÉ ASFALTY ORBITON HiMA. *Orlen Asphalt* [online]. 2014 [cit. 2018-10-23]. Dostupné z: <http://www.orlen-asfalt.pl/PL/InformacjeTechniczne/PortalWiedzy/Documents/flipbook/2015-HIMA-CZ/files/assets/common/downloads/publication.pdf>
- [17] BUREŠ, Petr. Nové technologické trendy u asfaltových vozovek: Generální zpráva. *AV'19: Konference asfaltové vozovky* [online]. Praha, 24.11. – 25.11.2015 [cit. 2018-10-23]. Dostupné z: http://www.asfaltove-vozovky.cz/av2015/data/prezentace/t1-1_bures.pdf
- [18] ČSN EN 12697-18 *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka- Část 18: Stékavost pojiva*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [19] ČSN EN 933-1 *Zkoušení geometrických vlastností kameniva-Část 1: Stanovení zrnitosti- Síťový rozbor*. Praha: Český normalizační institut, 2012.
- [20] ČSN EN 933-2 *Zkoušení geometrických vlastností kameniva-Část 2: Stanovení zrnitosti- Zkušební síta, jmenovité velikosti otvorů*. Praha: Český normalizační institut, 1997.
- [21] ČSN EN 12697-35+A1 *Asfaltové směsi-Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka- Část 35: Laboratorní výroba směsi*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [22] 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.
- [23] ČSN EN 12697-33+A1 *Asfaltové směsi-Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka- Část 33: Příprava zkušebních těles zhutňovačem desek*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [24] 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.

- [25] *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.
- [26] *ČSN EN 12697-8 Asfaltové směsi-Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka-Část 8: Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [27] *ČSN EN 12697-26 Asfaltové směsi-Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka-Část 26: Tuhost*. Praha: Český normalizační institut, 2012.
- [28] *ČSN EN 12697-22+A1 Asfaltové směsi-Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka-Část 22: Zkouška poježdění kolem*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [29] *ČSN EN 12697-12 Asfaltové směsi-Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka-Část 12: Stanovení odolnosti zkušebního tělesa vůči vodě*. Praha: Český normalizační institut, 2009.
- [30] *ČSN EN 12697-46 Asfaltové směsi-Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka-Část 46: Nizkoteplotní vlastnosti a tvorba trhlin pomocí jednoosé zkoušky táhlem*. Praha: Český normalizační institut, 2012.
- [31] *ČSN EN 12697-17+A1 Asfaltové směsi-Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka-Část 17: Ztráta částic zkušebního tělesa asfaltového koberce drenážního*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [32] *ČSN EN 13043 Kamenivo pro asfaltové směsi a povrchové vrstvy pozemních komunikací, letištních a jiných dopravních ploch*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [33] *ČSN EN 14023 Asfalty a asfaltová pojiva-Systém specifikací pro polymerem modifikované asfalty*. Praha: Český normalizační institut, 2010.
- [34] *ČSN EN 12591 Asfalty a asfaltová pojiva-Specifikace pro silniční asfalty*. Praha: Český normalizační institut, 2009.
- [35] *ČSN EN 13108-1 Asfaltové směsi-specifikace pro materiály-Část 1: Asfaltový beton*. Praha: Český normalizační institut, 2017.
- [36] *TP 148 Hutněné asfaltové vrstvy s pojivem modifikovaným pryžovým granulátem z pneumatik*. Brno: VUT FAST, 2009.
- [37] *ČSN EN 13108-7 Asfaltové směsi-specifikace pro materiály-Část 7: Asfaltový koberec drenážní*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [38] *TP 170 Navrhování vozovek pozemních komunikací*. Brno: VUT FAST, 2010.

10. Seznam použitých zkratk a symbolů

Zkratka/symbol	Jednotka	Název
AC	[-]	Asfaltový beton (Asphalt Concrete)
BBTM	[-]	Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy (Beton Bitumineux Très Minces)
HRA	[-]	Asfaltová směs hutněná za horka
SMA	[-]	Asfaltový koberec mastixový (Stone Mastix Asphalt)
MA	[-]	Litý asfalt (Mastic Asphalt)
PA (LA)	[-]	Asfaltový koberec drenážní (Porous Asphalt)
AUTL	[-]	Asfaltová směs pro ultratenké vrstvy z asfaltového betonu
TAL	[-]	Tenké obrusné vrstvy (Thin Asphalt Layers)
HiMA	[-]	Vysoce polymerem modifikovaný asfalt (Highly Modified Asphalt)
PmB	[-]	Polymerem modifikovaný asfalt (Polymer modified Bitumen, Polymer modifizierte Bitumen)
Filer	[-]	vápencová moučka
D	[%]	stečený materiál
R	[%]	zbytek na síť
W ₁	[g]	hmotnost prázdné kádinky
W ₂	[g]	hmotnost kádinky a dávky
W ₃	[g]	hmotnost kádinky a zachyceného materiálu po jejím převrácení
W ₄	[g]	hmotnost vysušeného zbytku zachyceného na síť
f	[%]	jemné částice, které propadly sítím 0,063 mm
M ₁	[kg]	hmotnost vysušené zkušební navážky
M ₂	[kg]	hmotnost vysušeného zůstatku na síť 63 μm
R _z	[kg]	hmotnost zůstatků na jednotlivém síť
P	[kg]	hmotnost propadu jemných částic na dně

M	[kg]	hmotnost potřebné navážky desky asfaltové směsi
L	[mm]	vnitřní délka formy
l	[mm]	vnitřní šířka formy
e	[mm]	tloušťka desky konečná (snížená o tloušťku plechu)
ρ_m	[kg/m ³]	zhuštěná maximální objemová hmotnost směsi
v	[%]	mezerovitost směsi
ρ_{bssd}	[kg/m ³]	objemová hmotnost SSD
m _{1h}	[g]	hmotnost suchého tělesa
m _{2h}	[g]	hmotnost tělesa ve vodě
m _{3h}	[g]	hmotnost tělesa nasyceného vodou a povrchově osušeného
ρ_w	[kg/m ³]	hustota vody při zkušební teplotě
$\rho_{b,dim}$	[kg/m ³]	objemová hmotnost zkušebního tělesa podle rozměrů
m _{1r}	[g]	hmotnost suchého tělesa
h _r	[mm]	výška zkušebního tělesa
l _r	[mm]	délka tělesa
w _r	[mm]	šířka tělesa
ρ_{mv}	[kg/m ³]	maximální objemová hmotnost asfaltové směsi
m _{1m}	[g]	hmotnost pyknometru, nástavce a pružiny
m _{2m}	[g]	hmotnost pyknometru, nástavce, pružiny a vzorku směsi
m _{3m}	[g]	hmotnost pyknometru, nástavce, pružiny, vzorku a rozpouštědla
V _{pm}	[m ³]	objem pyknometru při naplnění po rysku
ρ_{wm}	[kg/m ³]	hustota rozpouštědla při zkušební teplotě
V _m	[%]	mezerovitost směsi
ρ_b	[kg/m ³]	objemová hmotnost zkušebního tělesa
VFB	[%]	stupeň vyplnění mezer ve směsi kameniva pojivem
B	[%]	obsah pojiva ve zkušebním tělese (ve 100 % směsi)

ρ_B	[kg/m ³]	objemová hmotnost pojiva
VMA	[%]	mezerovitost směsi kameniva
V _M	[%]	mezerovitost zkušebního tělesa
σ	[MPa]	okamžité napětí
σ_0	[MPa]	amplituda maximálního napětí v tělese
ω	[s ⁻¹]	úhlová rychlost
φ	[°]	fázový úhel posunu průběhu přetvoření za průběhem síly
ε	[-]	okamžité poměrné přetvoření
ε_0	[-]	amplituda maximálního přetvoření ve zkušebním tělese
ψ	[°]	fázový úhel posunu průhybu a síly
E*	[MPa]	komplexní modul
E ₁	[MPa]	reálná složka charakterizující pružné vlastnosti
E ₂	[MPa]	imaginární složka
S	[MPa]	modul tuhosti
WTS _{AIR}	[mm/10 ³]	přírůstek hloubky vyjeté koleje zatěžovacích cyklů
PRD _{AIR}	[%]	poměrná hloubka vyjeté koleje
d _{10 000}	[mm]	hloubka vyjeté kolej po 10 000 cyklech
d _{5 000}	[mm]	hloubka vyjeté kolej po 5 000 cyklech
t	[mm]	tloušťka desky
ITS	[MPa]	pevnost v příčném tahu
ITS _w	[kPa]	průměrná pevnost v příčném tahu skupiny mokrých těles
ITS _d	[kPa]	průměrná pevnost v příčném tahu skupiny suchých těles
ITSR	[%]	poměr pevnost v příčném tahu
P _t	[N]	maximální zatížení
D _t	[mm]	průměr zkušebního tělesa
H _t	[mm]	výška zkušebního tělesa
PL	[%]	hodnota ztráty částic
W _{1č}	[g]	počáteční hmotnost zkušebního tělesa
W _{2č}	[g]	koncová hmotnost zkušebního tělesa

11. Seznam příloh

Příloha 1: Stanovení zrnitosti-Sítový rozbor kameniva

Příloha 2: Hodnoty komplexních modulu tuhosti asfaltové směsi a rozměry vzorků

Příloha 3: Hodnoty zkoušky pojiždění kolem-odolnosti proti trvalým deformacím

Příloha 4: Výsledky zkoušek nízkoteplotních charakteristik

Příloha 5: Požadavky na směsi z norem

Stanovení zrnitosti-Sítový rozbor kameniva

Příloha 1

Frakce: Kamenná moučka, filer

List 1/3

Stanovení obsahu jemných částic

Hmotnost vysušené navážky před promýváním (M_1):	g	278,7	
Hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063 mm (M_2):	g	75,2	
Hmotnost propadu jemných částic na dně (P):	g	5,6	
Obsah jemných částic:	$f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100$	%	75,1

Stanovení zrnitosti

Velikost ok sít	Zbytky	Zbytky	Celkové zbytky	Propad
[mm]	[g]	[%]	[%]	[%]
125	0,0	0,0	0,0	100,0
90	0,0	0,0	0,0	100,0
63	0,0	0,0	0,0	100,0
45	0,0	0,0	0,0	100,0
31,5	0,0	0,0	0,0	100,0
22,4	0,0	0,0	0,0	100,0
16	0,0	0,0	0,0	100,0
11,2	0,0	0,0	0,0	100,0
8	0,0	0,0	0,0	100,0
5,6	0,0	0,0	0,0	100,0
4	0,0	0,0	0,0	100,0
2	0,0	0,0	0,0	100,0
1	0,0	0,0	0,0	100,0
0,5	0,5	0,2	0,2	99,8
0,25	0,8	0,3	0,5	99,5
0,125	8,2	2,9	3,4	96,6
0,063	59,8	21,5	24,9	75,1
Dno sítový rozbor P	5,6	75,1	100,0	0,0
Dno jemné částice (M1 - M2)	203,7			
Celkem	278,6	100,0	100,0	0,0

Frakce: 0-4 Luleč

Stanovení obsahu jemných částic

Hmotnost vysušené navážky před promýváním (M_1):	g	611,8	
Hmotnost vysušeného zůstatku na síť 0,063 mm (M_2):	g	589,1	
Hmotnost propadu jemných částic na dně (P):	g	3,9	
Obsah jemných částic:	$f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100$	%	3,9

Stanovení zrnitosti

Velikost ok sít	Zbytky	Zbytky	Celkové zbytky	Propad
[mm]	[g]	[%]	[%]	[%]
125	0,0	0,0	0,0	100,0
90	0,0	0,0	0,0	100,0
63	0,0	0,0	0,0	100,0
45	0,0	0,0	0,0	100,0
31,5	0,0	0,0	0,0	100,0
22,4	0,0	0,0	0,0	100,0
16	0,0	0,0	0,0	100,0
11,2	0,0	0,0	0,0	100,0
8	0,0	0,0	0,0	100,0
5,6	1,7	0,3	0,3	99,7
4	21,4	3,5	3,8	96,2
2	139,1	22,8	26,5	73,5
1	128,0	20,9	47,5	52,5
0,5	97,0	15,9	63,4	36,6
0,25	91,9	15,0	78,4	21,6
0,125	81,1	13,3	91,7	8,3
0,063	27,0	4,4	96,1	3,9
Dno sítový rozbor P	1,1	3,9	100,0	0,0
Dno jemné částice (M1 - M2)	22,7			
Celkem	611,0	100,0	100,0	0,0

Frakce: 4-8 Luleč

Stanovení obsahu jemných částic

Hmotnost vysušené navážky před promýváním (M_1):	g	1111,0	
Hmotnost vysušeného zůstatku na síť 0,063 mm (M_2):	g	1087,2	
Hmotnost propadu jemných částic na dně (P):	g	0,3	
Obsah jemných částic:	$f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100$	%	2,1

Stanovení zrnitosti

Velikost ok sít	Zbytky	Zbytky	Celkové zbytky	Propad
[mm]	[g]	[%]	[%]	[%]
125	0,0	0,0	0,0	100,0
90	0,0	0,0	0,0	100,0
63	0,0	0,0	0,0	100,0
45	0,0	0,0	0,0	100,0
31,5	0,0	0,0	0,0	100,0
22,4	0,0	0,0	0,0	100,0
16	0,0	0,0	0,0	100,0
11,2	0,0	0,0	0,0	100,0
8	34,0	3,1	3,1	96,9
5,6	401,0	36,1	39,2	60,8
4	435,6	39,2	78,4	21,6
2	192,4	17,3	95,8	4,2
1	9,9	0,9	96,7	3,3
0,5	1,6	0,1	96,8	3,2
0,25	2,1	0,2	97,0	3,0
0,125	9,8	0,9	97,9	2,2
0,063	0,5	0,0	97,9	2,1
Dno síťový rozbor P	0,3	2,1	100,0	0,0
Dno jemné částice (M1 - M2)	22,8			
Celkem	1110,0	100,0	100,0	0,0

Hodnoty komplexních modulu tuhosti asfaltové směsi a rozměry vzorků

Příloha 2

List 1/3

- Naměřené hodnoty směsi BBTM 8 B PmB 45/80-65

Modul Tuhosti [MPa]						
Teplota:	-5 °C					
Tělesa	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz	5 Hz
B.1	6811	7468	7868	8269	8392	7312
B.2	6255	6923	7391	7640	7835	6707
B.3	7047	7696	7953	8286	8420	7384
B.4	7527	8051	8378	8695	8870	7662
B.5	7203	7693	8040	8305	8413	7395
C.1	7833	8245	8528	8860	8983	7885
C.2	7718	8230	8598	8706	9049	8034
C.3	7618	8128	8456	8714	8878	7844
C.4	7035	7654	7892	8268	8372	7293
C.5	7361	7909	8228	8459	8661	7433
D.1	6973	7468	7727	7932	8023	6770
D.2	6726	7235	7589	7932	8060	6815
D.3	6393	6880	7089	7379	7478	6419
D.4	7513	8009	8238	8533	8626	7587
D.5	7051	7493	7752	7986	8148	7155
Průměr	7137,6	7672,1	7981,8	8264,3	8413,9	7313,0
Modul Tuhosti [MPa]						
Teplota:	+15 °C					
Tělesa	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz	5 Hz
B.1	3069	3527	3823	4118	4249	3029
B.2	2816	3326	3588	3938	3966	2877
B.3	2946	3420	3691	3974	4099	2992
B.4	2962	3429	3707	4035	4138	3023
B.5	3046	3487	3750	4118	4195	3123
C.1	3722	4247	4552	4863	4930	3836
C.2	3737	4169	4513	4823	4979	3828
C.3	3773	4241	4579	4898	4957	3881
C.4	4080	4539	4769	4996	5111	3962
C.5	3840	4309	4616	4868	4961	3877
D.1	3073	3494	3781	4078	4154	3068
D.2	3016	3448	3739	4092	4145	3096
D.3	3036	3478	3768	4094	4220	3039
D.4	3219	3727	4048	4347	4452	3316
D.5	2993	3431	3704	3965	4060	2989
Průměr	3288,5	3751,5	4041,9	4347,1	4441,1	3329,1

➤ Naměřené hodnoty směsi BBTM 8 B HiMA

Modul Tuhosti [MPa]						
Teplota:	-5 °C					
Tělesa	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz	5 Hz
1.1	8462	8935	9216	9561	9591	8598
1.2	8525	9129	9460	9671	9772	8741
1.3	8759	9382	9653	10009	10159	8954
1.4	8587	9125	9441	9709	9843	8674
1.5	8362	8913	9353	9587	9714	8516
2.1	7645	8282	8736	8883	9185	7864
2.2	8904	9501	9799	10152	10229	9060
2.3	7864	8442	8834	9151	9327	8054
2.4	7950	8607	8981	9391	9494	8225
2.5	7495	8082	8451	8756	8942	7635
3.1	7487	8160	8430	8798	8922	7709
3.2	7257	7847	8099	8575	8655	7499
3.3	8435	8934	9254	9493	9672	8548
3.4	8030	8634	8976	9314	9444	8259
3.5	7560	8131	8405	8762	8856	7696
Průměr	8088,1	8673,6	9005,9	9320,8	9453,7	8268,8
Modul Tuhosti [MPa]						
Teplota:	+15 °C					
Tělesa	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz	5 Hz
1.1	3297	3822	4180	4564	4639	3245
1.2	3359	4006	4379	4777	4905	3457
1.3	3480	4115	4524	4800	4966	3462
1.4	3533	4245	4551	4946	5042	3549
1.5	3654	4237	4661	5008	5230	3673
2.1	3399	3888	4257	4634	4731	3291
2.2	3342	3892	4256	4557	4769	3280
2.3	3131	3695	4063	4472	4628	3144
2.4	3321	3921	4282	4716	4805	3299
2.5	3110	3664	4101	4392	4590	3159
3.1	2839	3430	3841	4149	4352	2919
3.2	3044	3666	4011	4365	4507	3099
3.3	3737	4327	4631	5026	5131	3689
3.4	3785	4378	4740	5061	5237	3734
3.5	3586	4151	4539	4787	5021	3590
Průměr	3374,5	3962,5	4334,4	4683,6	4836,9	3372,7

➤ Rozměry zkušebních těles (trapezoidů)

Směs	Vzorek	Šířka spodní základna [mm]	Šířka horní strana [mm]	Tloušťka [mm]	Výška [mm]	Hmotnost [g]
BBTM 8 B HIMA	1.1	70,8	24,9	51,2	151,2	1292,8
	1.2	70,5	25,2	51,5	251,4	1314,0
	1.3	70,8	25,5	51,0	251,7	1315,8
	1.4	70,8	24,4	50,5	251,2	1307,2
	1.5	70,5	25,3	50,3	251,1	1304,0
	2.1	70,9	25,1	50,3	250,7	1302,0
	2.2	70,8	24,9	50,6	250,8	1309,4
	2.3	71,0	25,2	50,8	251,0	1300,6
	2.4	70,0	25,3	51,0	250,7	1300,0
	2.5	70,4	24,6	50,7	250,5	1282,3
	3.1	70,5	26,7	50,5	249,1	1288,6
	3.2	70,1	25,9	50,8	249,4	1304,7
	3.3	70,2	24,8	50,7	249,4	1274,5
	3.4	70,8	25,1	50,9	249,6	1284,6
	3.5	71,0	26,8	50,7	249,3	1303,9
BBTM 8 B PmB 45/80-65	B.1	71,2	25,2	51,5	250,2	1313,0
	B.2	71,8	23,3	51,7	250,5	1287,4
	B.3	71,4	24,4	51,7	250,2	1299,0
	B.4	71,0	26,0	51,7	250,5	1318,7
	B.5	71,0	26,4	51,5	251,0	1317,1
	C.1	71,2	26,0	51,5	252,4	1325,5
	C.2	71,0	25,6	52,0	252,4	1336,9
	C.3	71,2	26,9	52,0	252,2	1350,5
	C.4	71,4	26,1	52,0	251,7	1330,4
	C.5	71,5	25,9	51,8	251,5	1317,5
	D.1	71,7	26,5	52,0	251,2	1318,6
	D.2	71,0	26,4	52,2	251,2	1329,0
	D.3	71,2	27,5	52,0	251,2	1334,3
	D.4	71,0	26,3	52,0	251,0	1323,4
	D.5	71,4	27,0	51,7	250,5	1315,6

Hodnoty zkoušky pojiždění kolem

Příloha 3

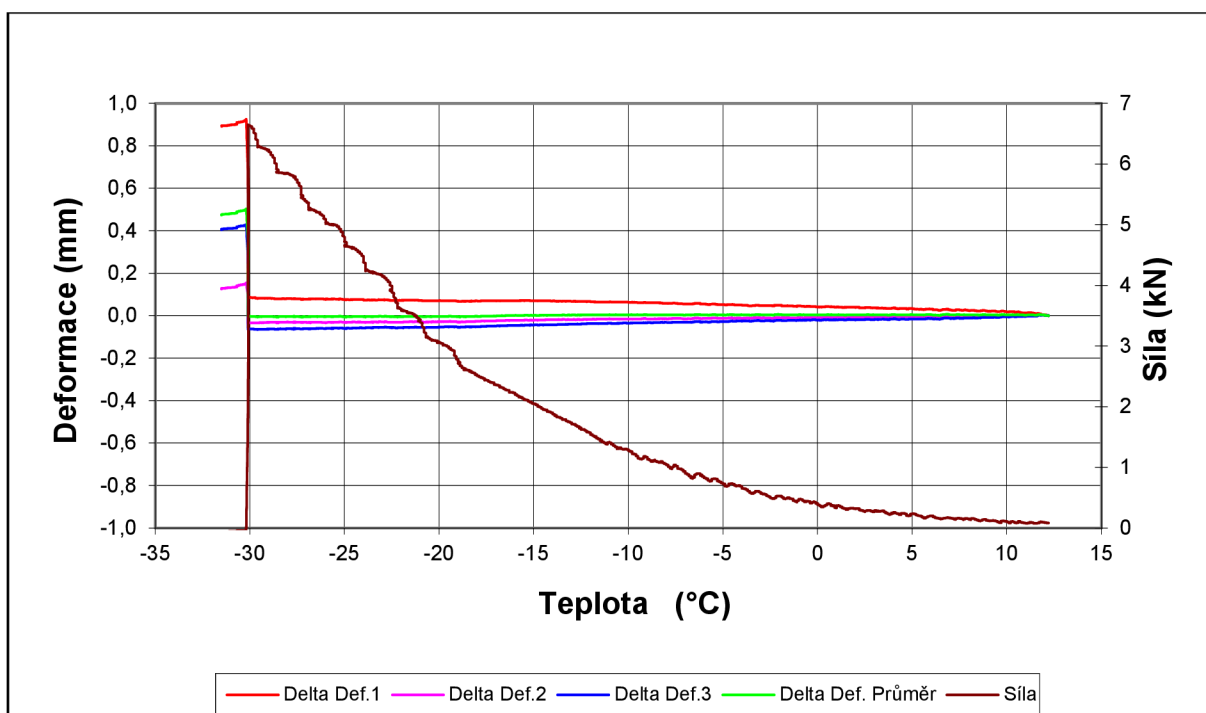
odolnosti proti trvalým deformacím

List 1/1

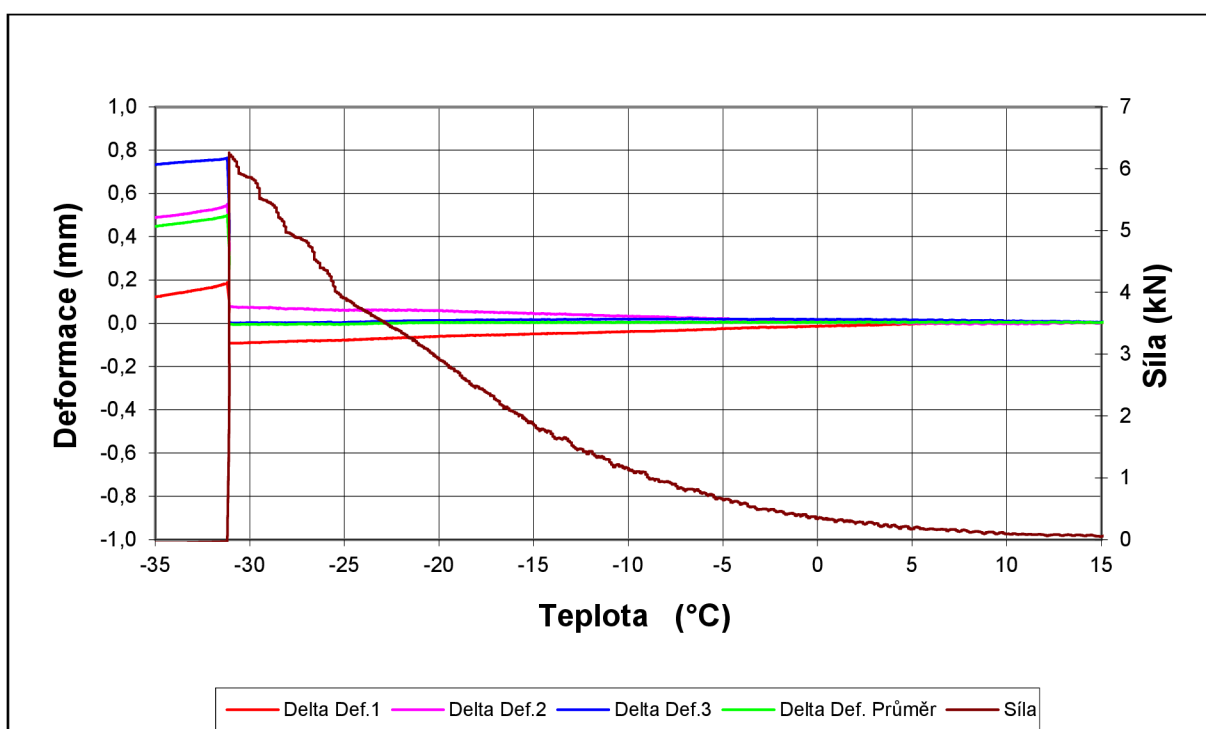
Počet cyklů	BBTM 8 B 45/80-65		BBTM 8 B HiMA	
	Poměrná hloubka [%]	Hloubka [mm]	Poměrná hloubka [%]	Hloubka [mm]
0	0,00	0,00	0,00	0,00
500	2,76	1,38	2,50	1,25
1000	3,20	1,60	2,82	1,41
1500	3,46	1,73	3,02	1,51
2000	3,72	1,86	3,14	1,57
2500	3,92	1,96	3,26	1,63
3000	4,08	2,04	3,38	1,69
3250	4,18	2,09	3,44	1,72
3500	4,32	2,16	3,48	1,74
3750	4,32	2,16	3,50	1,75
4000	4,40	2,20	3,54	1,77
4250	4,50	2,25	3,58	1,79
4500	4,54	2,27	3,58	1,79
4750	4,62	2,31	3,62	1,81
5000	4,70	2,35	3,64	1,82
5250	4,76	2,38	3,68	1,84
5500	4,86	2,43	3,68	1,84
5750	4,92	2,46	3,72	1,86
6000	5,02	2,51	3,68	1,84
6250	5,08	2,54	3,70	1,85
6500	5,20	2,60	3,72	1,86
6750	5,30	2,65	3,74	1,87
7000	5,40	2,70	3,74	1,87
7250	5,48	2,74	3,74	1,87
7500	5,54	2,77	3,78	1,89
7750	5,58	2,79	3,80	1,90
8000	5,68	2,84	3,80	1,90
8250	5,74	2,87	3,82	1,91
8500	5,82	2,91	3,82	1,91
8750	5,90	2,95	3,84	1,92
9000	5,98	2,99	3,86	1,93
9250	6,04	3,02	3,86	1,93
9500	6,12	3,06	3,88	1,94
9750	6,16	3,08	3,88	1,94
10000	6,24	3,12	3,92	1,96

➤ BBTM 8 B PmB 45/80-65

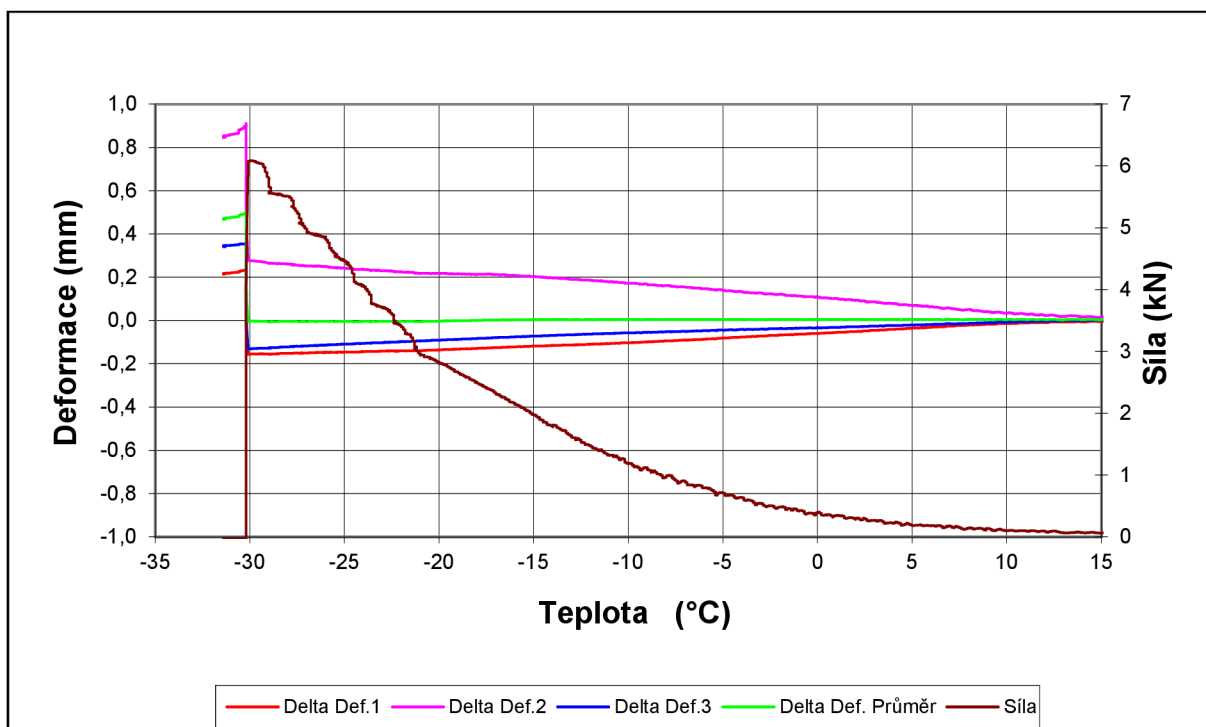
Akce	Diplomová práce
Asfaltová směs, vzorek	BBTM 8 B PmB 45/80-65, F.2
Rozměry zkušebního tělesa [mm]	52,0 x 51.5 x 200
Datum zkoušky	12.08.2018
Zkoušku provedl	Jaroslav Renza
Teplota temperování [°C]	10
Doba temperování [min.]	15
Rychlost ochlazování [°C/hod]	10
Max. síla při porušení [kN]	6,65
Max. napětí při porušení [MPa]	2,48
Teplota v komoře při porušení [°C]	-33,3
Teplota vzorku při porušení [°C]	-30,1



Akce	Diplomová práce
Asfaltová směs, vzorek	BBTM 8 B PmB 45/80-65, F.3
Rozměry zkušebního tělesa [mm]	51,0 x 52,2 x 200
Datum zkoušky	13.08.2018
Zkoušku provedl	Jaroslav Renza
Teplota temperování [°C]	10
Doba temperování [min.]	15
Rychlost ochlazování [°C/hod]	10
Max. síla při porušení [kN]	6,26
Max. napětí při porušení [MPa]	2,35
Teplota v komoře při porušení [°C]	-32,6
Teplota vzorku při porušení [°C]	-31,1

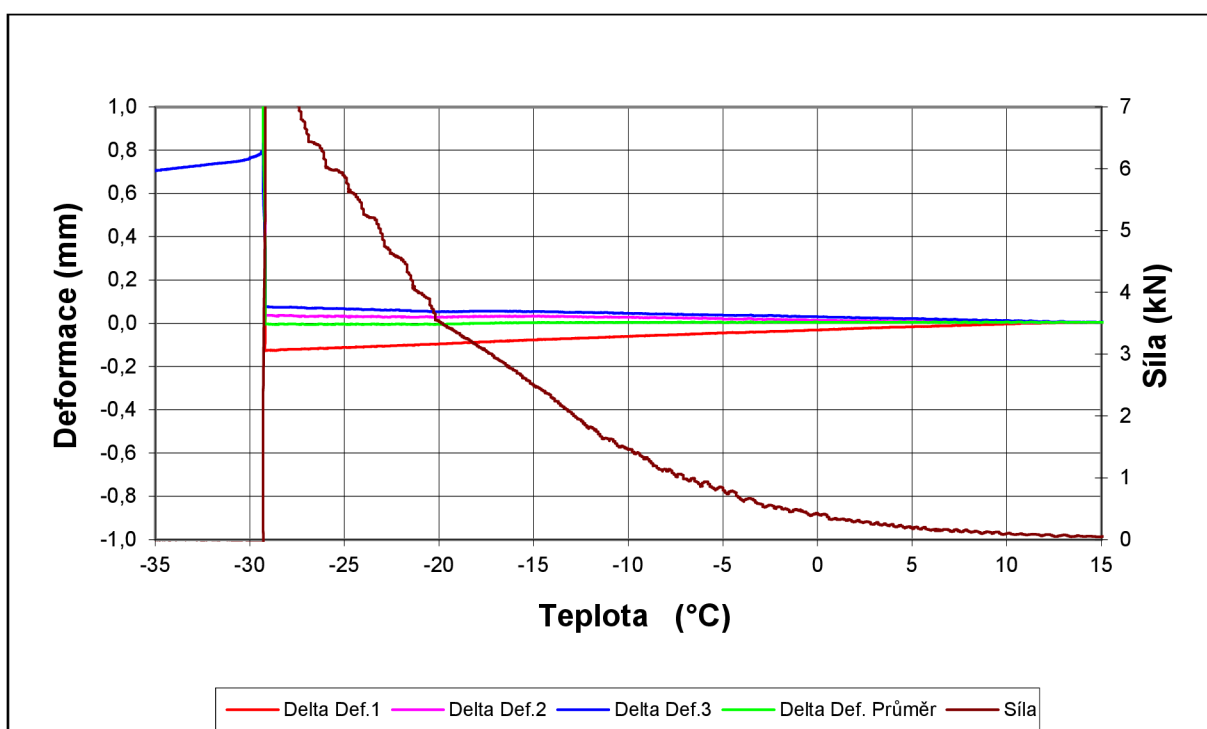


Akce	Diplomová práce
Asfaltová směs, vzorek	BBTM 8 B PmB 45/80-65, F.4
Rozměry zkušebního tělesa [mm]	51,4 x 52,0 x 200
Datum zkoušky	16.08.2018
Zkoušku provedl	Jaroslav Renza
Teplota temperování [°C]	10
Doba temperování [min.]	15
Rychlost ochlazování [°C/hod]	10
Max. síla při porušení [kN]	6,09
Max. napětí při porušení [MPa]	2,28
Teplota v komoře při porušení [°C]	-33,3
Teplota vzorku při porušení [°C]	-30,0

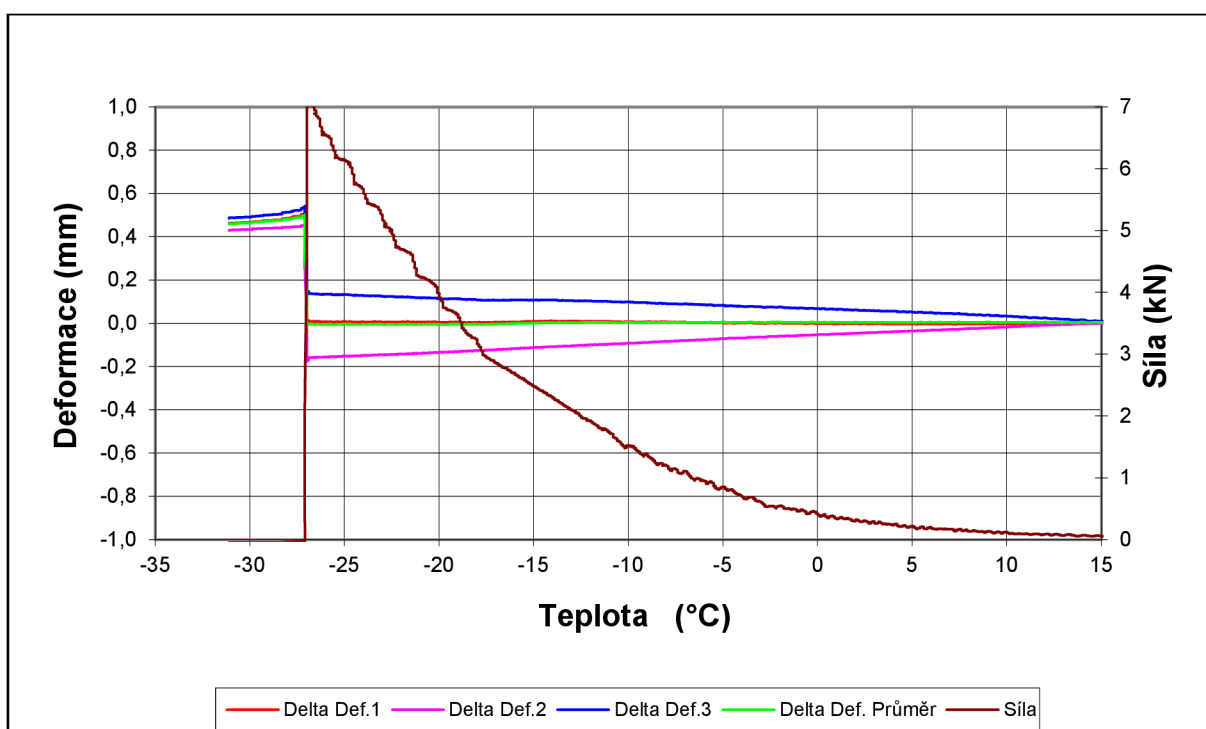


➤ BBTM 8 B HiMA

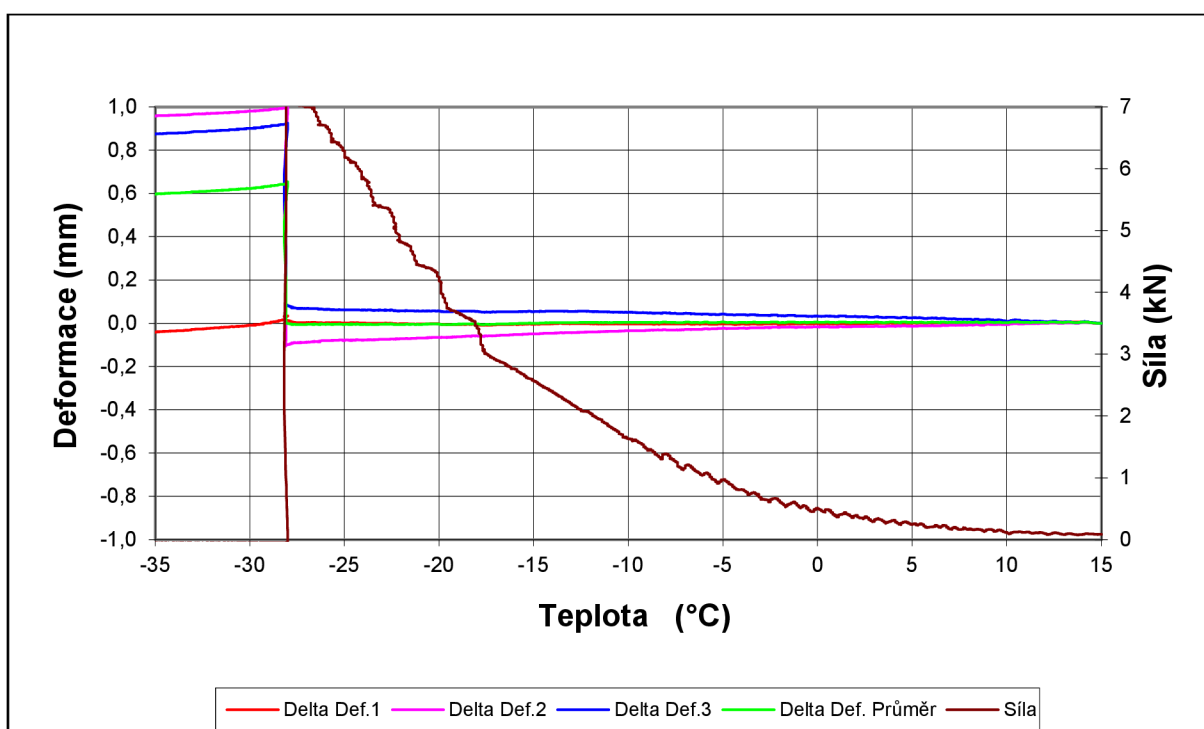
Akce	Diplomová práce
Asfaltová směs, vzorek	BBTM 8 B HiMA, 5.2
Rozměry zkušebního tělesa [mm]	50.7 x 50.7 x 200
Datum zkoušky	09.08.2018
Zkoušku provedl	Jaroslav Renza
Teplota temperování [°C]	10
Doba temperování [min.]	15
Rychlost ochlazování [°C/hod]	10
Max. síla při porušení [kN]	7,57
Max. napětí při porušení [MPa]	2,94
Teplota v komoře při porušení [°C]	-32,2
Teplota vzorku při porušení [°C]	-29,2



Akce	Diplomová práce
Asfaltová směs, vzorek	BBTM 8 B HiMA, 5.3
Rozměry zkušební tělesa [mm]	51,0 x 51.2 x 200
Datum zkoušky	10.08.2018
Zkoušku provedl	Jaroslav Renza
Teplota temperování [°C]	10
Doba temperování [min.]	15
Rychlost ochlazování [°C/hod]	10
Max. síla při porušení [kN]	7,06
Max. napětí při porušení [MPa]	2,71
Teplota v komoře při porušení [°C]	-30,4
Teplota vzorku při porušení [°C]	-26,9



Akce	Diplomová práce
Asfaltová směs, vzorek	BBTM 8 B HiMA, 5.4
Rozměry zkušebního tělesa [mm]	50.7 x 51,0 x 200
Datum zkoušky	15.08.2018
Zkoušku provedl	Jaroslav Renza
Teplota temperování [°C]	10
Doba temperování [min.]	15
Rychlost ochlazování [°C/hod]	10
Max. síla při porušení [kN]	7,48
Max. napětí při porušení [MPa]	2,89
Teplota v komoře při porušení [°C]	-29,2
Teplota vzorku při porušení [°C]	-27,8



- Požadavky na Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy [9]

Obrusné vrstvy														
Typ	S					+				bez označení				
Označení směsi BBTM	8 S, 11 S					8 +, 11 +				5, 8, 11				
Počet úderů Marshallova pěchu	2 x 50					2 x 50				2 x 50				
Všeobecné požadavky														
Zrnitost / síto (mm) ¹⁾	BBTM-8A	BBTM-8B	BBTM-11A ⁷⁾	BBTM-11C	BBTM-11B	BBTM-8A	BBTM-8B	BBTM-11A ⁷⁾	BBTM-11C ⁸⁾	BBTM-5A	BBTM-5B	BBTM-8A	BBTM-8B	BBTM-11B
22,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	100	100	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11,2	100	100	90-100	90-100	90-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	90-100	90-100	40-60	40-60	30-50	-	-	-	-	90-100	90-100	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	40-60	20-40	30-45	30-45	20-35	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	25-35	15-25	25-35	25-35	15-25	-	-	-	-	25-35	15-25	-	-	-
0,5	15-25	7-17	15-25	15-25	8-18	-	-	-	-	10-20	8-18	-	-	-
0,063	7-9	4-6	7-9	10-12	4-6	-	-	-	-	7-9	4-6	-	-	-
Minimální mezerovitost V_{min} (%) ²⁾	3,0 (2,0)	11,0 (10,0)	3,0 (2,0)	2,5 (1,5)	11,0 (10,0)	viz S	viz S	viz S	viz S	7,0 (6,0)	11,0 (10,0)	viz S	viz S	viz +
Maximální mezerovitost V_{max} (%) ²⁾	6,0 (7,0)	15,0 (16,0)	6,0 (7,0)	4,0 (5,0)	15,0 (16,0)	viz S	viz S	viz S	viz S	10,0 (11,0)	15,0 (16,0)	viz S	viz S	viz +
Minimální poměr pevnosti v příčném tahu $ITSR$ (%) ³⁾	80					70				-				
Mezní hodnoty teploty asfaltové směsi pro silniční asfalty (°C) ⁴⁾	30/45 = 155 °C – 195 °C, 35/50 a 40/60 = 150 °C – 190 °C, 50/70 a 70/100 = 140 °C – 180 °C, 100/150 = 130 °C – 170 °C													
Empirické požadavky														
Minimální obsah rozpustného pojiva B_{min} (% hm.) ⁵⁾⁶⁾	5,4	5,2	5,0	5,3	4,8	viz S	viz S	viz S	viz S	5,4	5,2	viz S	viz S	viz +
<p>HK – hrubé kamenivo, DK – drobné kamenivo, SK – směs kameniva (např. 0/4), HDK – hrubé drcené kamenivo, DDK – drobné drcené kamenivo, SDK – směs drceného kameniva</p> <p>1) Při různé objemové hmotnosti HDK a DDK (SDK) lze čáru zrnitosti vyhodnocovat v % objemu.</p> <p>2) Mezerovitost zhuťné asfaltové směsi se stanoví podle ČSN EN 13108-20:2008, tabulka B. 2, řádek 3. Hodnoty v závorkách platí pro kontrolní zkoušky.</p> <p>3) Zkouška pevnosti v příčném tahu se provede podle ČSN 13108-20:2008, tabulka B. 2, řádek 7.</p> <p>4) Uvedené minimální a maximální teploty nemají být překročeny na žádném místě obalovny. Teploty pro modifikované asfalty se řídí podle údajů výrobce.</p> <p>5) Minimální hodnota obsahu asfaltu se násobí korekčním faktorem $\alpha = 2650/\rho_d$, kde ρ_d je objemová hmotnost kameniva v Mg/m³ stanovená podle EN 1097-6.</p> <p>6) Doporučené hodnoty.</p> <p>7) Hodnoty propadu pro typ s plynulou čarou zrnitosti pro směsi typu S, +: propad sítem 8 55 % až 75 %; propad sítem 4 34 % až 55 %, ostatní hodnoty zůstávají nezměněny.</p> <p>8) Hodnoty propadu pro typ s plynulou čarou zrnitosti pro směsi typu S a bez označení: propad sítem 8 55 % až 75 %; propad sítem 4 35 % až 55 %, ostatní hodnoty zůstávají nezměněny.</p>														

➤ Minimální tuhost dle ČSN EN 13108-1 [35]

Obrusné vrstvy				
Typ	S (F)		+ (F)	
Označení směsi ACO	11 S (F), 16 S (F)		11 + (F), 16 + (F)	
Počet úderů Marshallova pěchu	2 x 75		2 x 50	
Pojivo	50/70			
Všeobecné požadavky				
Zrnitost / síto (mm) ¹⁾	ACO 11 S (F)	ACO 16 S (F)	ACO 11 + (F)	ACO 16 + (F)
22,4	-	100	-	100
16	100	90-100	100	90-100
11,2	90-100	-	90-100	-
2	29-42	26-40	24-49	20-45
0,063	5-10	4-9	3-11	3-10
Minimální mezerovitost V_{min} (%) ²⁾	2,5 (2,0)		2,5 (2,0)	
Maximální mezerovitost V_{max} (%) ²⁾	4,0 (5,5)		4,5 (6,0)	
Minimální poměr pevnosti v příčném tahu $ITSR$ (%) ³⁾	80		70	
Maximální poměrná hloubka koleje PRD_{AIR} (%) ⁴⁾ po 5 000 cyklech	5,0		-	
Maximální přírůstek hloubky koleje WTS_{AIR} (mm/10 ³ cyklů) ⁴⁾	0,07		-	
Mezní hodnoty teploty asfaltové směsi pro silniční asfalty (°C) ⁵⁾	50/70 – 150 °C –180 °C			
Maximální podíl DTK nebo STK ve směsi kameniva (%)	10 %		15 %	
Funkční požadavky ⁶⁾				
Minimální tuhost S_{min} (MPa) ⁶⁾	7 000			
Odolnost proti trvalým deformacím – triaxiál $f_{o max}$ (μm/m/n)	Prozatím nahrazeno zkouškou vyjetím kolem (viz všeobecné požadavky)			

¹⁾ Při různé objemové hmotnosti HDK a DDK (SDK) lze čáru zrnitosti vyhodnocovat v % objemu. V případě odlišného konceptu návrhu směsi (např. při použití přísad) mohou být čáry zrnitosti kameniva níže, než jsou spodní meze zrnitostí. Pro zlepšení protismykových a protihlukových vlastností se může použít také směs kameniva do 8 mm.

²⁾ Mezerovitost ztuhlé asfaltové směsi se stanoví podle ČSN EN 13108-20:2008, tabulka B.1, řádek 3. Hodnoty v závorkách platí pro kontrolní zkoušky.

³⁾ Stanovení odolnosti vůči vodě se provede podle ČSN 13108-20:2008, tabulka B.1, řádek 7.

⁴⁾ Zkouška odolnosti proti tvorbě trvalých deformací se provede podle ČSN 13108-20:2008, tabulka D.1, řádek 4.

⁵⁾ Uvedené minimální a maximální teploty nemají být překročeny na žádném místě obalovny. Teploty pro jiné silniční asfalty se řídí podle tabulky 11 a pro modifikované nebo speciální asfalty se řídí podle údajů výrobce.

⁶⁾ Při použití jiných druhů silničních asfaltů a modifikovaných asfaltů pro zlepšení vlastností podle 4.2.2.1 a nově vyvíjených asfaltových směsí se hodnoty funkčních vlastností stanovují podle řady norem ČSN EN 12697 a zařadí se do kategorií uvedených v tabulce 22 až 25. V případě dosažení vyšších kategorií, lze na základě výpočtu konstrukce vozovky podle platné návrhové metody snížit tloušťky použitých vrstev v konstrukci vozovky a/nebo se počítá s delší trvanlivostí obrusné vrstvy. Tuhost asfaltové směsi se stanoví podle ČSN EN 13108-20:2008, tabulka D.3, metoda D.3.1.

- Modul Tuhosti dle TP 148 [36]

Tabulka 1 – Kategorie funkčních vlastností CRmB směsí

Typ vrstvy z CRmB směsi	Minimální kategorie funkční vlastnosti ¹		
	AC	BBTM B, PA A	PA B
Modul tuhosti (návrhový modul pružnosti)	$S_{\min 4\,500}$	$S_{\min 3\,500}$	$S_{\min 1\,500}$
Odolnost proti únavě ²	$\epsilon_{\min 160}$		

Poznámky:

¹ Moduly tuhosti je možno zvýšit např. přidáním vápenného hydrátu v množství 20 % obsahu silničního asfaltu namísto přidání stejného množství vápencové moučky nebo lze použít i jiné přísady.

² Pro výpočet vozovky dle TP 170 je minimální hodnota charakteristiky únavy $B = 6$, přičemž se použije součinitel aplikace únavové zkoušky podle B.10.2.9 TP 170 $\gamma_u = 1,25$.

- Ztráta částic [37]

Tabulka 9 – Maximální ztráta částic, PL

Maximální ztráta částic %	Kategorie PL
10	PL ₁₀
15	PL ₁₅
20	PL ₂₀
30	PL ₃₀
40	PL ₄₀
50	PL ₅₀
Bez požadavků	PL _{NR}