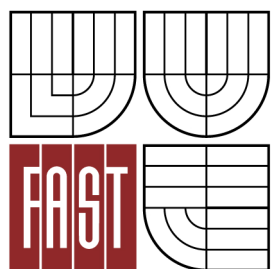




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

PROBLEMATIKA TENKOVRSŤVÝCH ASFALTOVÝCH KOBERCŮ

ASPHALT CONCRETE FOR VERY THIN LAYERS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

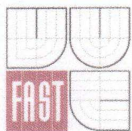
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. ONDŘEJ KUBÁNEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Petr Hýzl, Ph.D.

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

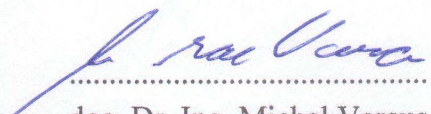
Studijní program N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor 3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště Ústav pozemních komunikací

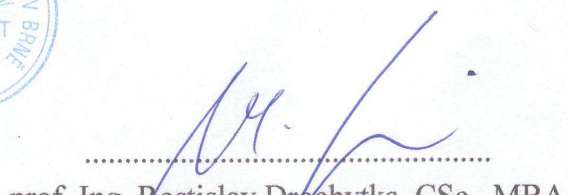
ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant Bc. Ondřej Kubánek
Název Problematika tenkovrstvých asfaltových koberců
Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Hýzl, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce 31. 3. 2014
Datum odevzdání diplomové práce 16. 1. 2015

V Brně dne 31. 3. 2014




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


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

Podklady a literatura

ČSN EN 13108-2 Asfaltové směsi - Specifikace pro materiály -

Část 2: Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy

TP 170 Navrhování vozovek pozemních komunikací

Sborníky z odborných konferencí

Internetové zdroje

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

Diplomová práce je zaměřena na problematiku tenkovrstvých asfaltových úprav vozovek. V úvodní rešeršní části bude daná problematika rozebrána teoreticky. V praktické části práce bude věnována pozornost laboratornímu návrhu těchto druhů vrstev a stanovení jejich vybraných parametrů.

Struktura bakalářské/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. Petr Hýzl, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP: Bc. Ondřej Kubánek *Problematika tenkovrstvých asfaltových koberců*. Brno, 2015. 125 s., Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce Ing. Petr Hýzl, Ph.D..

ABSTRAKT

Cílem diplomové práce je získání zkušeností s návrhem směsí asfaltového betonu pro velmi tenké vrstvy. Seznámením s vlastnostmi těchto směsí, jako je mezerovitost, odolnost vůči vodě a odolnost vůči trvalým deformacím. Porovnáním zjištěných parametrů s požadavky normy ČSN EN 13108-2 a její národní přílohy.

ABSTRACT

The aim of bachelor thesis is to gain experience with the design mixtures of asphalt concrete for very thin layers. Familiarizing with the properties of these mixtures, as porosity, water resistance and resistance to permanent deformation. Comparing detected parameters with the requirements of standard EN 13108-2 and its National Annex.

KLÍČOVÁ SLOVA

asfaltová směs, pojivo, kamenivo, Marshallova zkouška, asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy, mezerovitost, odolnost vůči vodě, odolnost vůči vzniku trvalých deformací

KEYWORDS

asphalt mixture, binder, stones, Marshall test, asphalt concrete for very thin layers, void content, water resistance, resistance to permanent deformation

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Tenkovrstvé koberce“ vypracoval samostatně, dle pokynů vedoucího diplomové práce a konzultantů a použil jsem pramenů, které uvádím v příloženém seznamu literatury.

V Brně dne: 14. 1. 2015

.....

Bc. Ondřej Kubánek

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych na tomto místě poděkovat vedoucímu mé diplomové práce doc. Ing. Petru Hýzlovi, Ph.D. a také všem zaměstnancům školní laboratoře VUT FAST v Brně za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a cenné rady při psaní této práce.

Obsah

1.	Úvod.....	11
2.	Vymezení pojmů, použité Značky a zkratky	12
2.1.	Pojmy.....	12
2.2.	Značky a zkratky	13
3.	Dosavadní stav řešené problematiky	15
3.1.	Použití asfaltových směsí typu BBTM v Brně	16
3.2.	Použití asfaltových směsí typu BBTM v Pardubicích	17
3.3.	Hodnocení kvality provedených oprav.....	19
3.4.	Závěrečné zhodnocení oprav	21
4.	Označení a popis navrhovaných směsí.....	23
5.	Popis vstupních materiálů pro směsi	25
5.1.	Kamenivo.....	25
5.2.	Pojivo	29
6.	Návrh asfaltové směsi	31
6.1.	Stručný popis postupu prací.....	31
6.2.	Stanovení zrnitosti jednotlivých frakcí kameniv	31
6.3.	Návrh čáry zrnitosti asfaltové směsi	32
6.4.	Navržení navážek kameniva a pojiva.....	33
7.	Výroba Marshallových těles	34
7.1.	Provedení navážek na jednotlivá tělesa.....	34
7.2.	Vytemperování jednotlivých navážek	35
7.3.	Míchání směsi pro Marshallova tělesa.....	36
7.4.	Hutnění Marshallových těles.....	38
8.	Výroba desek	43
8.1.	Navržení navážek kameniva a pojiva na desky	43

8.2.	Příprava navážek na jednotlivé desky	43
8.3.	Míchání směsi na desky.....	44
8.4.	Navážka namíchané směsi na desky	45
8.5.	Příprava lamelového zhutňovače.....	46
8.6.	Hutnění směsi v lamelovém zhutňovači.....	47
8.7.	Hutnění směsi ve zhutňovači desek laboratoře PKO VUT v Brně	49
9.	Popis použitých zkušebních metod	52
9.1.	Zkoušky prováděné na Marshallových tělesech	52
9.1.1.	Rozměry a hmotnosti Marshallových těles a desek.....	52
9.1.2.	Objemová hmotnost Marshallových těles a desek	53
9.1.3.	Maximální objemová hmotnost	54
9.1.4.	Mezerovitost Marshallových těles	58
9.1.5.	Odolnost vůči vodě.....	58
9.2.	Zkouška prováděná na deskách	62
9.2.1.	Odolnost vůči vzniku trvalých deformací	62
10.	Výsledky návrhů a zkoušek jednotlivých směsí	66
10.1.	Směs BBTM 8A 45/80-65	66
10.1.1.	Návrh čáry zrnitosti	66
10.1.2.	Stanovení navážek a množství pojiva na Marshallova tělesa pro kontrolu návrhu směsi.....	67
10.1.3.	Rozměry a hmotnosti Marshallových těles.....	68
10.1.4.	Objemové hmotnosti těles	69
10.1.5.	Maximální objemová hmotnost.....	69
10.1.6.	Mezerovitost	70
10.1.7.	Stanovení navážek a množství pojiva na Marshallova tělesa pro zkoušku odolnosti vůči vodě (ITSR)	71

10.1.8.	Rozměry a hmotnosti Marshallových těles.....	72
10.1.9.	Odolnost vůči vodě (ITSR)	73
10.1.10.	Stanovení navážek a množství pojiva pro desky.....	74
10.1.11.	Rozměry, hmotnosti a míra zhutnění desek.....	75
10.1.12.	Odolnost proti vzniku trvalých deformací	76
10.2.	Směs BBTM 8B 45/80-65.....	78
10.2.1.	Návrh čáry zrnitosti.....	78
10.2.2.	Stanovení navážek a množství pojiva na Marshallova tělesa pro kontrolu návrhu směsi.....	80
10.2.3.	Rozměry a hmotnosti Marshallových těles.....	80
10.2.4.	Objemové hmotnosti těles	81
10.2.5.	Maximální objemová hmotnost.....	82
10.2.6.	Mezerovitost	82
10.2.7.	Stanovení navážek a množství pojiva na Marshallova tělesa pro zkoušku odolnosti vůči vodě (ITSR)	83
10.2.8.	Rozměry a hmotnosti Marshallových těles.....	84
10.2.9.	Odolnost vůči vodě (ITSR)	85
10.2.10.	Stanovení navážek a množství pojiva pro desky.....	86
10.2.11.	Rozměry, hmotnosti a míra zhutnění desek.....	87
10.2.12.	Odolnost proti vzniku trvalých deformací	88
10.3.	Směs BBTM 4 50/70	90
10.3.1.	Návrh čáry zrnitosti.....	90
10.3.2.	Stanovení navážek a množství pojiva na Marshallova tělesa pro kontrolu návrhu směsi.....	93
10.3.3.	Rozměry a hmotnosti Marshallových těles.....	93
10.3.4.	Objemové hmotnosti těles	94

10.3.5.	Maximální objemová hmotnost.....	95
10.3.6.	Mezerovitost	95
10.3.7.	Stanovení navážek a množství pojiva na Marshallova tělesa pro zkoušku odolnosti vůči vodě (ITSR)	97
10.3.8.	Rozměry a hmotnosti Marshallových těles.....	98
10.3.9.	Odolnost vůči vodě (ITSR)	100
10.3.10.	Stanovení navážek a množství pojiva pro desky.....	102
10.3.11.	Rozměry, hmotnosti a míra zhutnění desek	103
10.3.12.	Odolnost proti vzniku trvalých deformací	105
11.	Souhrn výsledků.....	110
12.	Závěr	114
13.	Seznam Použité literatury.....	117
14.	Seznam obrázků.....	120
15.	Seznam Tabulek.....	122
16.	Seznam Grafů.....	125

1. ÚVOD

Asfaltová směs pro velmi tenké vrstvy byla vyvinuta ve Francii na začátku devadesátých let minulého století. Hlavní výhodou směsi je malá spotřeba materiálu, čímž se snižují náklady a zároveň šetří životní prostředí. Díky nižší tloušťce, která je 20 až 30 mm, jsou tyto asfaltové betony také ekonomičtější při jejich frézování a obnovách. [18]

Asfaltová směs asfaltového koberce velmi tenkého se používá do obrusných vrstev netuhých a polotuhých vozovek podle třídy dopravních zatížení. Užití směsi není nijak omezeno, jejich použití je možné na všech pozemních komunikacích. Obzvláště tam, kde je zapotřebí snížit hladinu hluku od dopravy nebo snížení tloušťky obrusné vrstvy. Na místech kde je požadováno překrytí obrusných vrstev obsahujících povrchové vady a nehomogenních obrusných vrstev opatřených vysprávkami a trhlinami. Dále v obrusných i podkladních vrstvách, které mají zabránit prokopírování reflexních trhlin nebo snížit celkovou tloušťku asfaltových vrstev včetně překrytí vozovky s cementobetonovým krytem nebo vozovky z dílců. [17]

Cílem této diplomové práce je získání praktických zkušeností s návrhem asfaltových směsí pro velmi tenké vrstvy. Zejména praktické ověření a doplnění nové revize normy ČSN EN 13108-2, ověření požadavků na směsi BBTM 8A a BBTM 8B jako jsou mezerovitost a odolnost vůči vodě. Tato norma také nově obsahuje směs BBTM 4 s maximální velikostí zrna kameniva 4 mm. Tato směs nahrazuje původní směs BBTM 5, s maximální velikostí zrna 5 mm. Parametry nové směsi vychází z původní směsi BBTM 5. S touto směsí nejsou prozatím velké zkušenosti, proto se tato diplomová práce pokusila ověřit požadavky návrhu této směsi a poukázat na možná doplnění a změny požadavků.

Jelikož asfaltové směsi pro velmi tenké vrstvy se používají jako obrusné vrstvy vozovek, byla u návrhu všech směsí provedena také zkouška odolnosti vůči trvalým deformacím, kterou však norma nevyžaduje.

2. VYMEZENÍ POJMŮ, POUŽITÉ ZNAČKY A ZKRATKY

2.1. POJMY

Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy

asfaltová směs pro obrusné vrstvy o tloušťce 20 mm až 30 mm, ve které jsou částice kameniva odstupňovány tak, aby umožnily vytvoření otevřené povrchové struktury

Marshallovo těleso

oválné zhutněné těleso požadovaných rozměrů vyrobené za účelem zkoušení asfaltové směsi

Zhutňovač Marshallových těles

zhutňovací zařízení sloužící k hutnění Marshallových těles ve formě pomocí opakovaných rázů pěchu (2 x 50 nebo 2 x 25 rázů)

Lamelový zhutňovač

zhutňovací zařízení, sloužící k výrobě desek, které v laboratorních podmínkách simulují pomocí válce zatěžovaných, zatlačujících se lamel, pojezd válce a hutnění směsi

Objemová hmotnost

hmotnost při dané zkušební teplotě připadající na jednotku objemu zkušebního tělesa včetně mezer

Maximální objemová hmotnost

hmotnost při dané zkušební teplotě, připadající na jednotku objemu asfaltové směsi bez mezer

Pyknometr

nádoba s nástavcem s ryskou se známým objemem, sloužící k zjištění maximální objemové hmotnosti

Mezerovitost

znázorňuje objem mezer ve zkušebním tělese vyjádřený v procentech celkového objemu zkušebního tělesa

Odolnost vůči vodě (ITSR)

je vyjádřena procentuálním poměrem pevnosti získaným na sadě mokrých a suchých Marshallových těles

Pevnost v příčném tahu (ITS)

maximální napětí působící na válcové zkušební těleso při dané teplotě a rychlosti posunu zkušebního zařízení

Odolnost proti vzniku trvalých deformací

náchylnost asfaltových směsí k trvalé deformaci pod působením zatížení

2.2. ZNAČKY A ZKRATKY

BBTM

Bétons Bitumineux Très Minces – asfaltový koberec pro velmi tenké vrstvy

CRmB

Crumb Rubber modified Bitumen – asfaltová směs modifikovaná pryžovým granulátem

D

velikost oka horního síta nejhrubší frakce použitého kameniva v mm

AC

asfaltový beton

$\rho_{b,dim}$

objemová hmotnost zkušebního tělesa dle rozměrů [kg/m³]

$\rho_{b,SSD}$

objemová hmotnost SSD [kg/m³]

ρ_w

hustota vody [kg/m³]

ρ_{mv}

je maximální objemová hmotnost směsi [kg/m³]

V_p

objem pyknometru při naplnění po referenční značku nástavce [m³]

V_m

mezerovitost směsi [%]

ITS

pevnost v příčném tahu [MPa]

P

maximální zatížení [N]

ITSR

poměr pevnosti v příčném tahu [%]

ITS_w

průměrná pevnost v příčném tahu skupiny mokrých zkušebních těles [kPa]

ITS_d

průměrná pevnost v příčném tahu skupiny suchých zkušebních těles [kPa]

WTS_{AIR}

přírůstek hloubky vyjeté koleje za 1 000 zatěžovacích cyklů [mm/10³ cyklů]

RD_{AIR}

hloubka vyjeté koleje při 10 000 zatěžovacích cyklech [mm]

PRD_{AIR}

poměrná hloubka vyjeté koleje při 10 000 zatěžovacích cyklech [%]

3. DOSAVADNÍ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

V následující kapitole je popsán dosavadní stav použití asfaltových koberců pro velmi tenké vrstvy. Stávajícím použitím asfaltových koberců pro velmi tenké vrstvy v České republice se zabývá projekt autorského kolektivu Fakulty stavební VUT v Brně, společnosti Consultest s.r.o. a správy a Údržby silnic Pardubického kraje na téma Nové technologie údržby a oprav asfaltových vozovek.

Z důvodu nízkých kvalit a vysokých cen asfaltů se v celém světě hledají nové technologie asfaltových vrstev. To platí i v České republice, kde z důvodu klimatických změn, střídání vysokých a nízkých teplot je kvalita asfaltů a zejména cena velmi pocítována. To vedlo k vývoji nových technologií a hledání nových postupů se snahou o snížení množství asfaltu v asfaltových vrstvách. Jednou z možností jak řešit odolnost asfaltových směsí vůči klimatickým jevům je jejich modifikace pryžovým granulátem. Tato speciální pojiva přinášejí asfaltovým směsím zvýšenou odolnost proti trvalým deformacím a proti únavovým a mrazovým trhlinám. Další možností snížení množství asfaltu v asfaltových vrstvách je použití velmi tenkých asfaltových koberců. Obě tyto možnosti lze s výhodou kombinovat.

Na možnosti využití pryžového granulátu ve velmi tenkých asfaltových vrstvách se zaměřili výzkumné práce podporované Ministerstvem průmyslu a obchodu a Technologickou agenturou ČR. Byly vyvíjeny technologie pro výrobu asfaltů modifikovaných pryžovým granulátem a jejich použití v asfaltových směsích. Modifikace asfaltů pryžovým granulátem z pneumatik je prováděná v zařízení přímo na obalovně asfaltových směsí. Bylo vyvinuto a odzkoušeno zařízení pro výrobu a následně navrhnutý, vyrobený, laboratorně odzkoušený a položeny různé asfaltové směsi. Byly tak stanoveny přednosti těchto směsí:

- vysoká odolnost proti tvorbě trvalých deformací,
- velmi dobrá odolnost vůči únavě,
- zvýšená odolnost proti trhlinám,
- nižší stárnutí pojiva,
- dobré protismykové vlastnosti od počátku užívání povrchu vozovky,
- možnost používání jemnozrnných směsí až do zrnitosti 4 mm,
- směsi s mezerovitostí vyšší než 8 % se na rozdíl od běžných směsí nerozpadají po krátké době provozování [19].

3.1. POUŽITÍ ASFALTOVÝCH SMĚSÍ TYPU BBTM V BRNĚ

Již více jak 10 let uběhlo od prvního použití asfaltové směsi modifikované pryžovým granulátem v ČR. Tento asfaltový koberec drenážní se zrnitostí 16 mm s pojivem CRmB (CRmB z angl. výrazu Crumb Rubber modified Bitumen, hovorově gumoasfalt) a mezerovitostí vyšší než 18 % byl položen na silnici R43 poblíž Brna. Tato vrstva je po 10 letech stále ve velmi dobrém stavu. Tato zkušenost, zkušenosti z laboratorních zkoušek a zkušenosti s výrobou směsí CRmB potvrzují předpoklad, že je tyto vrstvy možné využívat k údržbě a opravě vozovek ve velmi tenkých vrstvách. Na tyto opravy a údržby jsou použity technologie dle podle vzorových technologických listů VTL listů 4 až 6 obsažených v TP 87 [23], které mohou být částečně doplněny:

- VTL 4 údržba asfaltovým betonem pro velmi tenké vrstvy, což je technologie navýšení povrchu vozovky nejvýše o 30 mm. Z důvodu pozdního přístupu k souvislé údržbě jsou používány zřídka, je nutné provést ostatní finančně náročnější opravy.
- VTL 5 Výměna obrusné vrstvy ovšem s tím, že se odfrézuje pouze nejvýše 30 mm (provede se vyrovnání povrchu) a následně se provedou lokální opravy poruch do hloubky zaručující jejich odstranění. Po opravách se položí tenká vrstva z asfaltové směsi s CRmB v tloušťce 30 mm. Tato technologie byla poprvé použita v rámci výzkumné práce na ulici Veslařská v Brně. Byl použit asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy BBTM 5A s CRmB s několika lokálními úpravami do hloubky 50 mm.
- VTL 6 Výměna krytových vrstev jen s tím rozdílem, že se odfrézují vrstvy krytu do 60 mm s vyrovnáním příčného a podélného sklonu a opraví se lokální konstrukční poruchy do hloubky zaručující jejich odstranění. Na takto z hlediska únosnosti vozovky homogenizovaný podklad se položí dvě funkčně odlišné krytové vrstvy v celkové tloušťce 60 mm.

V druhém případě výzkumné práce byla na ulici Koliště v Brně použita technologie VTL 6. Tato technologie se obecně používá z těchto důvodů:

- základní poruchou je porušování obrusné vrstvy s výskytem často prováděných vysprávek
- při výskytu konstrukčních poruch (síťové trhliny s poklesy vozovky, rozvětvené příčné a podélné trhliny a trvalé deformace v asfaltových vrstvách) na ploše menší než 10 % pro dálnice, rychlostní komunikace a silnice I. třídy nebo 20 % až 30 % pro ostatní silnice s tím, že se tato místa lokálně opraví,

- příčinou trvalých deformací na vyšších plochách, než je uvedeno výše, je neodolná obrusná vrstva vozovky, která se při opravě odstraňuje,
- výskyt příčných, podélných a nepravidelných tenkých trhlin nemá vliv na šíření dalších poruch a jejich rozsah je omezen na 0,5 m délky na 1 m² (trhliny se buď neprokopírují do ložní vrstvy, nebo se v původní ložní vrstvě utěsňují)

Rozhodnutí zda v tomto případě použít metodu VTL 5 nebo VTL 6 ovlivnila velikost dopravního zatížení a zanedbání údržby. Většina poruch zapříčiněná pronikající vodou do konstrukce, která poruší vrstvu ložní i podkladní. Proto byla navržena a realizována tato technologie opravy, s použitím asfaltového betonu pro velmi tenké vrstvy (BBTM) jako obrusné vrstvy:

- frézování obrusné vrstvy s vyrovnáním do hloubky max. 60 mm,
- utěsnění tenkých trhlin zálivkou,
- odfrézování porušené ložní vrstvy v širokých, rozvětvených a síťových trhlínách (do 5 % povrchu vozovky) na šířku do 2 m,
- v odfrézovaných plochách nanesení vrstvy SAMI z CRmB podle TP 147 [24],
- převážně ruční pokládka ACL S 60 mm podle ČSN EN 13108-1 [15] na nanesenou vrstvu SAMI,
- ložní vrstva z asfaltového betonu se zvýšenou odolností proti trhlínám (SAL – Stress Absorbing Layer) s mezerovitostí do 3 % – AC 4, CRmB, tloušťka 30 mm podle ČSN EN 13108-1 [15],
- obrusná vrstva asfaltového betonu pro velmi tenké vrstvy s mezerovitostí 7 % až 10 % – BBTM 5A, CRmB, 30 mm podle ČSN EN 13108-2 [12].

Realizací této opravy se snížila tloušťka vrstvy na 60 mm, při běžných opravách tohoto typu je tloušťka vrstvy nejméně 100 mm. Běžné vrstvy byly nahrazeny vrstvami s vysokou odolností proti trhlínám [19].

3.2. POUŽITÍ ASFALTOVÝCH SMĚSÍ TYPU BBTM V PARDUBICÍCH

Vzhledem k dobrým technologickým i provozním zkušenostem oprav v Brně byly stejné postupy použity i při opravě vozovek na průtahu městem Pardubice. Realizace těchto oprav byla provedena se snahou o snížení hlučnosti stávajících komunikací a objektivního posouzení přínosu protihlukových vlastností použitých vrstev. Jako obrusné vrstvy byly vybrány tyto technologie s využitím modifikace pryžovým granulátem:

- drenážní koberec PA 8 v tloušťce 30 mm podle ČSN EN 13108-7 a
- asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy BBTM 5A rovněž v tloušťce 30 mm podle ČSN EN 13108-2 [12].

Porézní (mezerovitá) vrstva PA byla umístěna na část silnice s nezpevněnou krajnicí k zajištění odtoku vody z vrstvy, případně byly u obrubníků použity rámy vpustí, které tento odtok vody umožňovaly. Vrstva BBTM byla použita v částech lemovaných přídlažbou, ve které byl vytvořen podélný spád do dešťových vpustí, tato vrstva má méně pórů přístupných vodě.

Jako opatření pro zvýšení odolnosti vůči prokopírování trhlin byla použita ložní vrstva SAL se zvýšenou odolností proti šíření trhlin, AC 8 s CRmB v tloušťce 30 mm s mezerovitostí do 2,6 % s odolností proti trvalým deformacím požadovanou pro obrusné vrstvy. Ve vrstvě je z důvodu nízké mezerovitosti a odolnosti proti trhlinám použito 9,5 % CRmB a při předávkování pojiva však již může dojít ke snížení mezerovitosti na méně než 2 %, což může způsobit sníženou odolnost proti vzniku trvalých deformací v místech dlouhodobého stání těžkých vozidel.

V místech širokých, rozvětvených a mozaikových trhlin, kde byla poškozena i ložní vrstva, bylo provedeno další frézování do hloubky 60 mm. Zde byla aplikována vrstva SAMI z CRmB splňující požadavky TP 147 [24] s rozprostřením pomocí postřikovače, který měl možnost ohřát pojivo v nádrži.

Celkově byla realizována oprava 2,6 km silnic, z toho 1,1 km je ve čtyřech jízdních pruzích, celková plocha povrchu je 31 556 m² [19].



Obrázek 3.1 – Pokládka obrusné vrstvy BBTM 5A, CRmBs použitím 2 finišerů a 4 válců

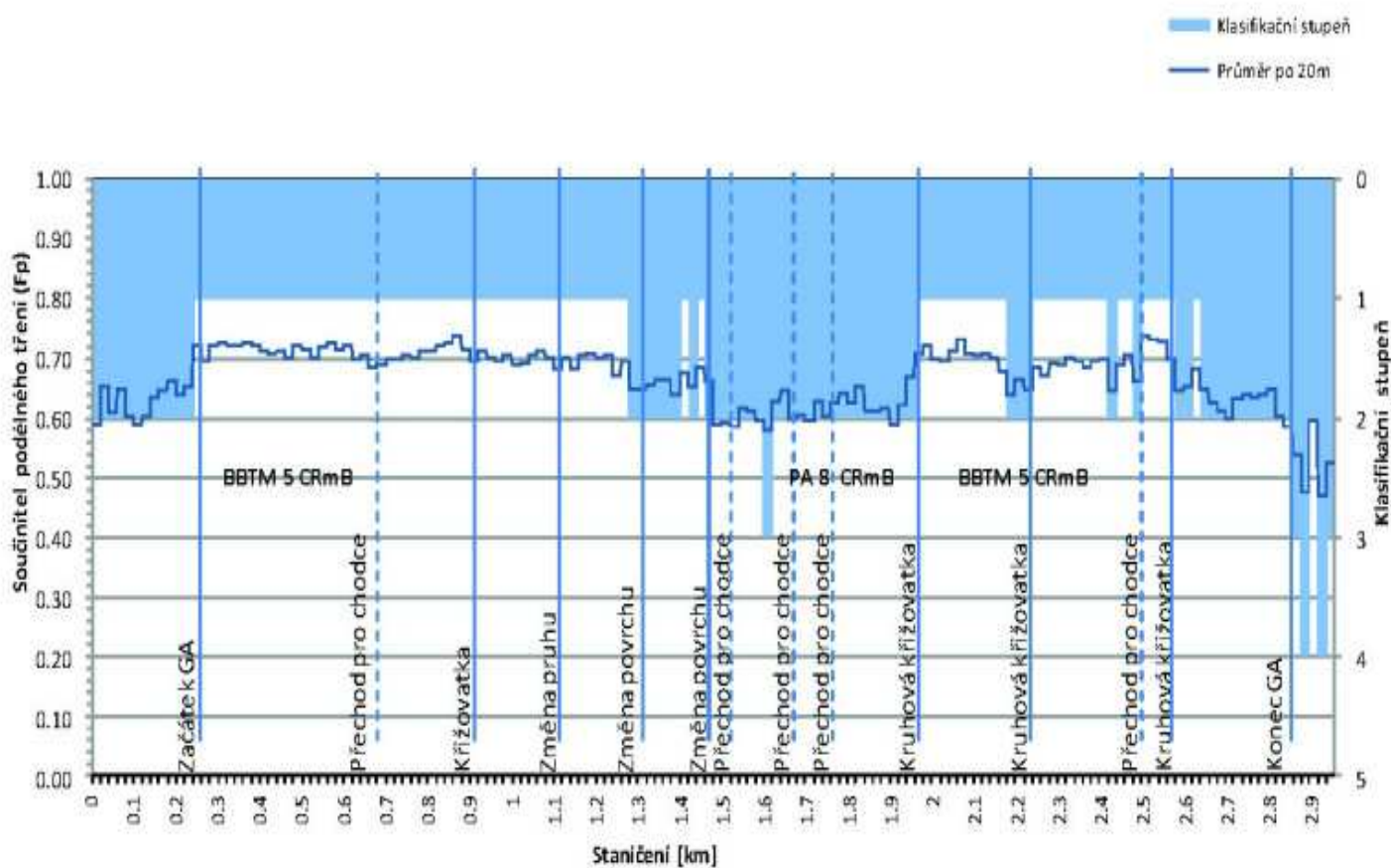
3.3. HODNOCENÍ KVALITY PROVEDENÝCH OPRAV

U všech provedených oprav byly sledovány především povrchové vlastnosti vozovek, které jsou základní charakteristikou, která se užíváním mění. Sledované vlastnosti jsou:

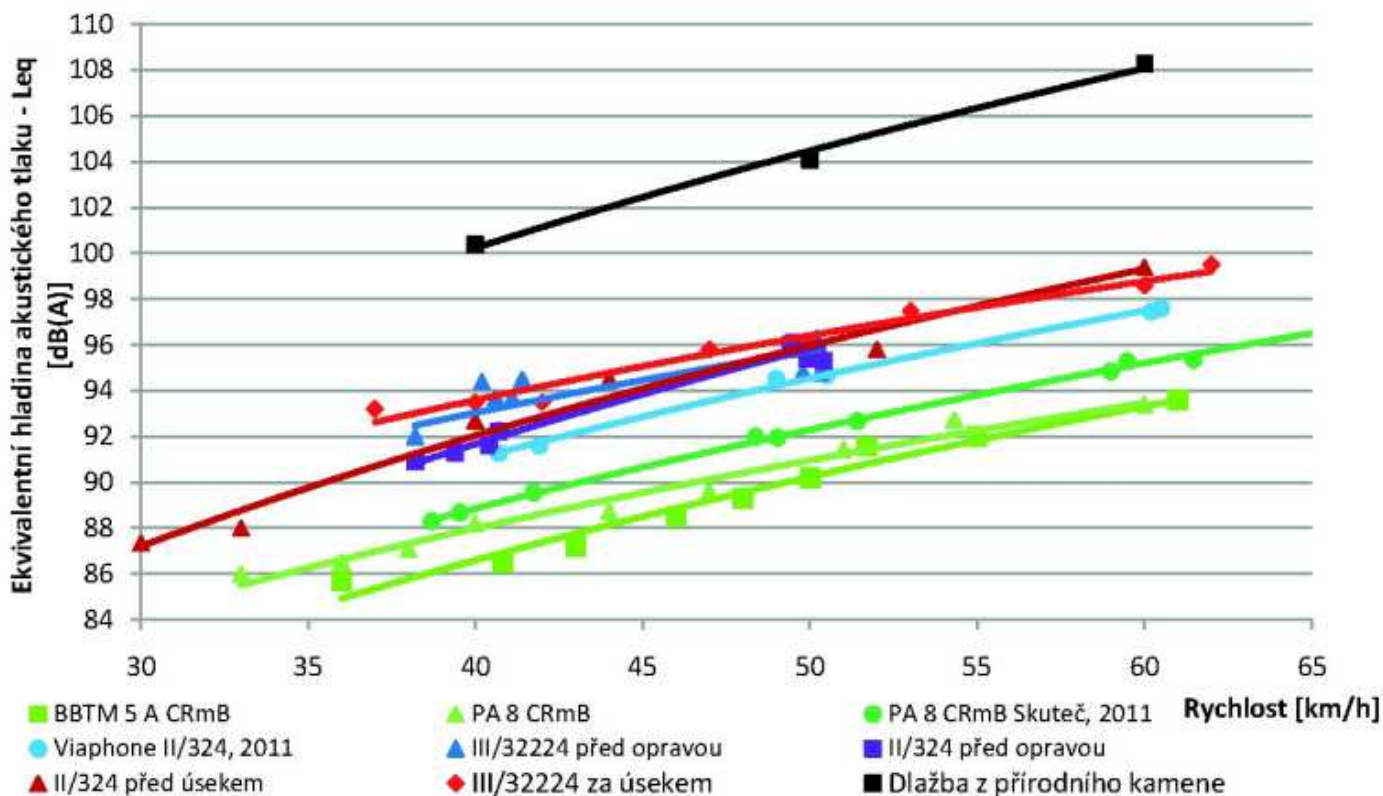
- Protismykové vlastnosti povrchu, vyjádřené součinitelem podélného tření, stanovené zařízením GripTester, měření a hodnocení je provedeno podle ČSN 73 6177 [25],
- Makrotextura povrchu, vyjádřená pomocí laserového měření hodnotou MPD, stanovená zařízením Hawkeye, měření a hodnocení je provedeno podle ČSN 73 6177 [25].
- Rovnost povrchu, vyjádřená hodnotou mezinárodního indexu nerovnosti IRI, stanovená zařízením Hawkeye, měření a hodnocení je provedeno podle ČSN 73 6175 [26],
- Protihlukové vlastnosti, vyjádřené ekvivalentní hladinou akustického tlaku s filtrem A metodou CPX, tj. měřením dvěma mikrofony v těsné blízkosti pneumatiky měřícího vozu podle ISO/CD 1189-2 [27].

Dle použitých oprav byly jednotlivé vlastnosti seřazeny a vyhodnoceny. Z hlediska protismykových parametrů byl vyhodnocen jako povrch s nejlepšími vlastnostmi povrch z asfaltového koberce velmi tenkého BBTM 5A, všechny úseky kde byl tento povrch použit, splňovaly nejvyšší stupeň klasifikace pro požadavky na silnice a městské komunikace. Tohoto

hodnocení dosáhl povrch stanovením ze součinitele podélného tření, při změření makrotextury laserovým měřením tento povrch dosáhl nižších hodnot z důvodu použití směsi s obsaženou frakcí zrn kameniva 2/4 mm, který nevytvořil dobrou makrotexturu. Rovnost povrchu byla ve všech případech velmi dobrá. Z hlediska hlučnosti se ukázalo jako nejvýhodnější použití vrstvy BBTM 5A u které byla emise hluku v městských podmínkách do 60 km/h nejnižší ze všech hodnocených oprav. Vrstva PA 8 má výhodnější protihlukové vlastnosti v rychlostech od 60km/h [19].



Obrázek 3.2 – Graf z měření protismykových vlastností povrchu vozovky



Obrázek 3.3 – Ekvivalentní hladiny akustického tlaku povrchů

3.4. ZÁVĚREČNÉ ZHODNOCENÍ OPRAV

Dosavadní zkušenosti ukázaly, že použití asfaltových směsí s využitím modifikace asfaltu pryžovým granulátem umožňuje použití jemnozrnnějších směsí a tím i snížení tloušťek vrstev použitých při údržbách a opravách vozovek. Na popsanych příkladech v Brně a Pardubicích bylo při opravách vozovek využito použití pryžového granulátu s tloušťkou vrstev 60 mm a lokálními opravami původní ložní, případně podkladní vrstvy.

V popsanych opravách bylo také výhodně využito použití asfaltové membrány (SAMI) z CRmB v hloubce 120 mm k zabránění prokopírování širokých a rozvětvených trhlin z podkladních vrstev. Ke snížení prokopírování tenkých příčných a nepravidelných trhlin v původní ložní a podkladní vrstvě byla použita vrstva se zvýšenou odolností proti trhlinám (SAL) v tloušťce 30 mm. Vrstva o mezerovitosti do 3 % má také zabránit pronikání vody do nižších vrstev vozovky.

Jako obrusné vrstvy se jeví jako velmi výhodné použití asfaltového koberce drenážního (PA 8) nebo asfaltového betonu pro velmi tenké vrstvy (BBTM 5A). Obě obrusné vrstvy mají velmi dobré povrchové vlastnosti, zejména co se týče protismykových vlastností,

rovnosti povrchu a protihlukových vlastností. Měřením bylo stanoveno, že oproti původním povrchům vozovek, došlo ke snížení emisí hluku o 5 dB až 6 dB, na některých místech až o 8dB. V rychlostech do 60 km/h se ukázalo jako výhodnější použití vrstvy BBTM 5A, v rychlostech vyšších jsou emise hluku srovnatelné. V městských podmínkách je proto využití těchto obrusných vrstev velmi výhodné [19].

4. OZNAČENÍ A POPIS NAVRHOVANÝCH SMĚSÍ

Označení jednotlivých směsí vychází z ČSN EN 13108-2 [12]

BBTM D třída pojivo

Kde **BBTM** - asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy (vychází z francouzského názvu pro asfaltový beton velmi tenký = **B**étons **B**itumineux **T**rés **M**inces);

D - velikost oka horního síta nejhrubší použité frakce kameniva;

třída – označení podle čáry zrnitosti:

A – směsi s vyšším obsahem drobného kameniva a jemných částic

B – směsi s nižším obsahem kameniva a jemných částic

C – směsi s vyšším obsahem kameniva a nejvyšším obsahem jemných částic;

pojivo - označení použitého pojiva.

Ve staré normě ČSN 73 8121 z roku 1994 a dalších předpisech bylo pro asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy používáno označení AKT – asfaltový koberec tenký a přidávána koncovka VJ – velmi jemný (do frakce max. D = 5mm), J – jemnozrný (D = 8) a S – střednězrný (D= 11).

V laboratorním návrhu směsi asfaltového betonu pro velmi tenké vrstvy byly řešeny čtyři směsi:

BBTM 8A 45/80-65 - asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy s nejhrubší použitou frakcí kameniva 8 mm, s vyšším obsahem drobného kameniva a jemných částic a použitým modifikovaným asfaltovým pojivem s gradací 45/80-65.

BBTM 8B 45/80-65 - asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy s nejhrubší použitou frakcí kameniva 8 mm, s nižším obsahem drobného kameniva a jemných částic a použitým modifikovaným asfaltovým pojivem s gradací 45/80-65.

BBTM 4 50/70 na horní mezi zrnitosti - na tento návrh byl použit asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy s nejhrubší použitou frakcí kameniva 4 mm, křivka zrnitosti této směsi byla navrhnutá tak, aby se co nejvíce přiblížila horní mezi čáry zrnitosti, rozmezí zrnitosti této směsi je dáno v ČSN EN 13108-2. Použitým asfaltovým pojivem bylo pojivo s gradací 50/70.

BBTM 4 50/70 na dolní mezi zrnitosti - na tento návrh byl použit asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy s nejhrubší použitou frakcí kameniva 4 mm, křivka zrnitosti této

směsi byla navrhnutá tak, aby se co nejvíce přiblížila dolní mezi čáry zrnitosti, rozmezí zrnitosti této směsi je dáno v ČSN EN 13108-2 [12]. Použitým asfaltovým pojivem bylo pojivo s gradací 50/70.

5. POPIS VSTUPNÍCH MATERIÁLŮ PRO SMĚSI

V této kapitole jsou popsány materiály, které posloužily k návrhu jednotlivých směsí. Obecně jsou to kamenivo, pojivo. V následující kapitole jsou popsána použitá kameniva (frakce, zrnitosti) a použitá asfaltová pojiva s teplotami míchání a hutnění.

5.1. KAMENIVO

BBTM 8A 45/80-65 a BBTM 8B 45/80-65

Pro návrh směsí BBTM 8A 45/80-65 a BBTM 8B 45/80-65 na které je použita maximální velikost zrna 8 mm bylo použito hrubé kamenivo frakce 4/8 z lokality Žumberk, dále drobné kamenivo frakce 0/4 z lokality Sloupno a vápencová moučka dle Tabulky 5.1.1

Tabulka 5.1.1 – Použitá kameniva

Lokalita	Frakce [mm]
Žumberk	4/8
Sloupno	0/4

Použitá kameniva i vápencová moučka odpovídají požadavkům EN 13043 a jsou zobrazena v nádobách na Obrázku 5.1



Obrázek 5.1 – Použitá kameniva (zleva: vápencová moučka, Sloupno 0/4, Žumberk 4/8)

V následujících tabulkách jsou procentuální propady zjištěné ze síťových rozborů jednotlivých kameniv. Porovnání zrnitosti jednotlivých frakcí je zobrazeno v Grafu 5.1.1.

Tabulka 5.1.2 – Síťový rozbor frakce 4/8

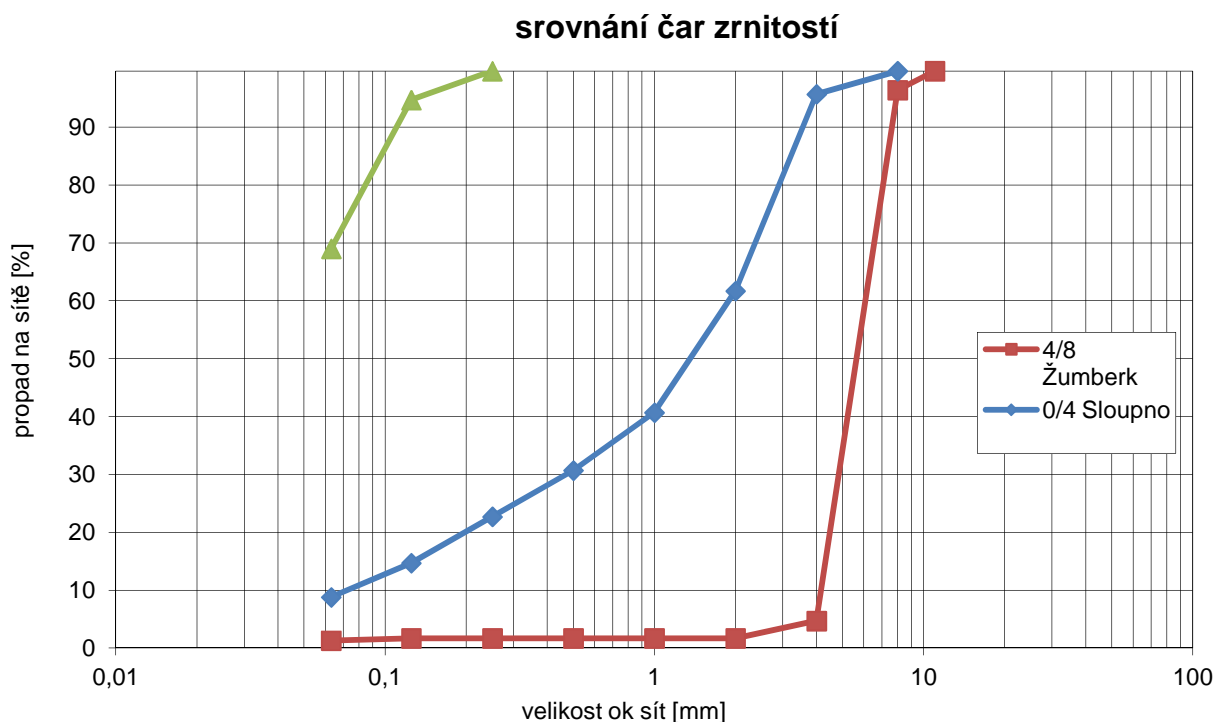
Kamenivo:	Velikost ok sít								
	11	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
Žumberk 4/8	100,0	96,7	5,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,6

Tabulka 5.1.3 – Síťový rozbor frakce 0/4

Kamenivo:	Velikost ok sít								
	11	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
Sloupno 0/4	100,0	100,0	96,0	62,0	41,0	31,0	23,0	15,0	9,1

Tabulka 5.1.4 – Síťový rozbor vápencové moučky

Kamenivo:	Velikost ok sít				
	1	0,5	0,25	0,125	0,063
Vápencová moučka	100,0	100,0	100,0	95,0	69,3



Graf 5.1.1 – Čáry zrnitostí použitých kameniv

BBTM 4 50/70 na horní a dolní mezi zrnitosti

Pro návrh směsí BBTM 4 50/70 na horní a dolní mezi zrnitosti na které je použita maximální velikost zrna 4 mm bylo použito kamenivo z lokality Luleč hrubší frakce 2/4 a drobnější 0/4 a vápencová moučka z lokality Mokrá dle Tabulky 5.1.5.

Tabulka 5.1.5 – Použitá kameniva

Lokalita	Frakce [mm]
Luleč	2/4
Luleč	0/4

Použitá kameniva i moučka odpovídají požadavkům EN 13043 a jsou zobrazena v nádobách na Obrázku 5.2



Obrázek 5.2 – Použitá kameniva (zleva: Luleč 2/4, Luleč 0/4, vápencová moučka Mokrá)

V tabulkách jsou procentuální propady zjištěné ze síťových rozborů jednotlivých kameniv. Porovnání zrnitosti jednotlivých frakcí je zobrazeno v Grafu 5.1.2.

Tabulka 5.1.6 – Síťový rozbor frakce 2/4

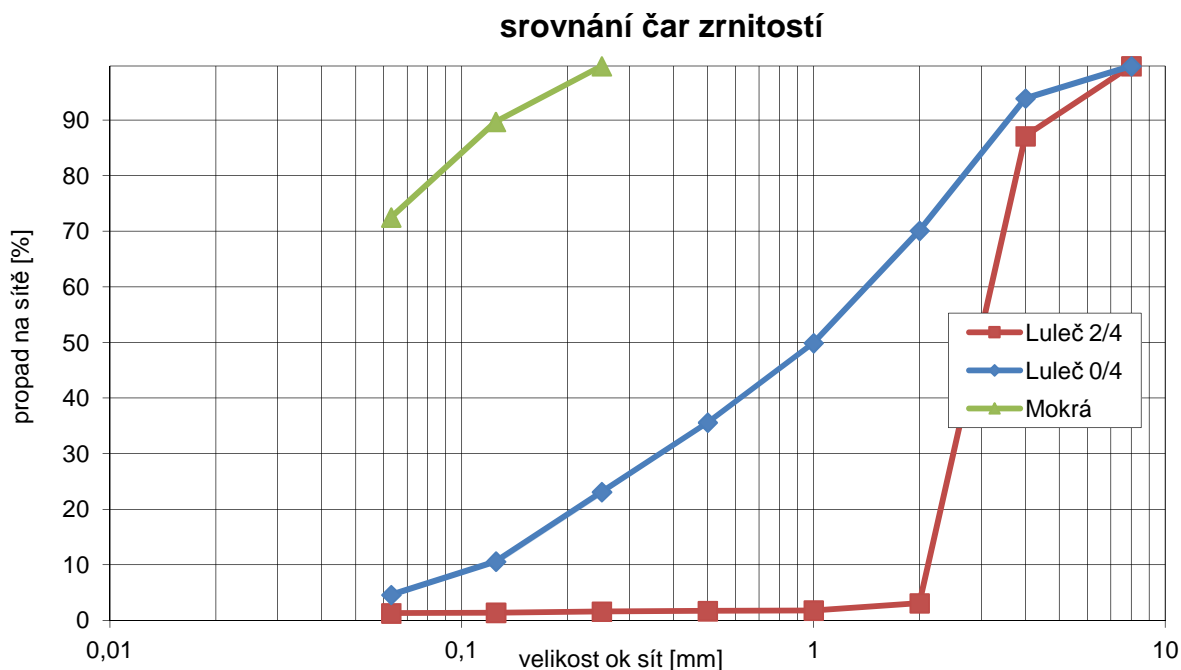
Kamenivo:	Velikost ok sít								
	11	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
Luleč 2/4	100,0	100,0	87,4	3,4	2,1	2,0	1,9	1,7	1,6

Tabulka 5.1.7 – Síťový rozbor frakce 0/4

Kamenivo:	Velikost ok sít								
	11	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
Luleč 0/4	100,0	100,0	94,2	70,4	50,2	35,9	23,4	10,9	4,9

Tabulka 5.1.8 – Síťový rozbor vápencové moučky

Kamenivo:	Velikost ok sít				
	1	0,5	0,25	0,125	0,063
Vápencová moučka Mokrá	100,0	100,0	100,0	90,0	72,8



Graf 5.1.2 – Čáry zrnitostí použitých kameniv

5.2. POJIVO

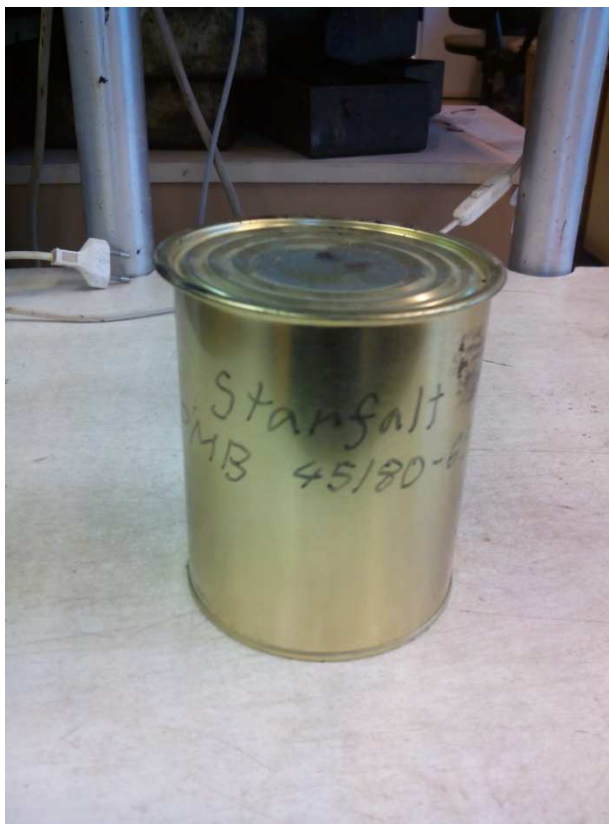
Jako pojivo je použit u směsí BBTM 8A 45/80-65 a BBTM 8B 45/80-65 modifikovaný asfalt OMV Starfalt PmB 45/80 – 65 s teplotou míchání 165 °C a teplotou hutnění 155 °C. U směsí BBTM 4 50/70 je použito nemodifikované pojivo TOTAL 50/70 s teplotou míchání 155 °C a teplotou hutnění 145 °C. Teploty a použitá pojiva jsou uvedeny v Tabulce 5.2.1. Obě asfaltová pojiva byla rozlita do menších k tomu určených nádob dle Obrázku 5.3 a 5.4, abychom zabránili nežádoucímu vícenásobnému ohřevu, který má vliv na vlastnosti pojiva.

Tabulka 5.2.1 – Použitá pojiva

Označení směsi	Použitá pojiva	Teplota míchání	Teplota hutnění
BBTM 8A 45/80-65	OMV Starfalt PmB 45/80-65	165 °C	155 °C
BBTM 8B 45/80-65	OMV Starfalt PmB 45/80-65	165 °C	155 °C
BBTM 4 50/70 horní	TOTAL 50/70	155 °C	145 °C
BBTM 4 50/70 dolní	TOTAL 50/70	155 °C	145 °C



Obrázek 5.3 – Asfaltové pojivo TOTAL 50/70



Obrázek 5.4 – Asfaltové pojivo OMV Starfalt PmB 45/80-65

6. NÁVRH ASFALTOVÉ SMĚSI

Jedná se o návrhové vstupní složení směsi v podobě jednotlivých složek materiálu a to čáry zrnitosti kameniva a procentuálního množství pojiva přidaného do směsi [20].

6.1. STRUČNÝ POPIS POSTUPU PRACÍ

Návrh směsi probíhal nejprve navrhnutím čáry zrnitosti jednotlivých směsí v předem připraveném programu, dle zrnitosti použitých frakcí kameniv a požadovaných mezí jednotlivých navrhovaných směsí byla navrhována co nejvhodnější čára zrnitosti. Obecně vzato jsou všechny směsi pod Fullerovou parabolou, která znázorňuje nejtěsnější uspořádání kamenné kostry a je reprezentována rovnicí $Y=(d/D)^{0,5} \times 100$, kde Y je procentuální propad kameniva na daném síti [%], d je velikost oka síta [mm], na kterém počítáme propad a D je velikost největšího zrna směsi [mm].

Následně je vypočítána navážka s odpovídajícím množstvím pojiva, kde jsou určeny hmotnosti jednotlivých frakcí kameniva a pojiva. U každé směsi byla vyrobena potřebná sada Marshallových těles, minimálně však tři Marshallova tělesa v Marshallově zhutňovači (2x50 úderů), z kterých se určí pomocí níže popsaných zkoušek, zdali bylo navrženo optimální množství pojiva a vhodná čára zrnitosti dle maximální objemové hmotnosti a mezerovitosti.

Pro další zhodnocení správnosti návrhu byla vyrobena u každé směsi další sada šesti Marshallových těles v Marshallově zhutňovači (2x25 úderů) použitých pro zkoušku odolnosti vůči vodě. Pro tuto zkoušku bylo dle vizuálního zhodnocení a objemových hmotností vybráno šest těles [20].

Dále se v lamelovém zhutňovači vyrobí desky potřebné ke zkoušce stanovení odolnosti vůči trvalým deformacím.

6.2. STANOVENÍ ZRNITOSTI JEDNOTLIVÝCH FRAKČÍ KAMENIV

U kameniv Žumberk 0/8 a Sloupno 0/4 byl síťový rozbor předem známý a nebylo nutné jej provádět. U kameniv Luleč 2/4 a Luleč 0/4 bylo nutné provést síťový rozbor.

Sítovým rozbohem se rozumí prosévání na seřazené typizační sestupné řadě sít a to 0,063; 0,125; 0,25; 0,5; 1,0; 2,0; 4,0; 8,0; 11,0 mm. Je použito praní a prosévání za sucha dle ČSN EN 933 - 1 [25]. Odplavení jemných částic probíhá na saturovaném promíchaném vzorku. Tento vzorek se vsypává na ochranné síto 1 mm, samotné praní se odehrává na síti

0,063 mm pod ním. Praní je ukončeno při vytékání čiré vody ze vzorku. Zůstatek na síti 0,063 mm se vysuší, zváží a dopočítá procento jemných částic dle ČSN EN 933 - 1 [13].

Dále se na seřazená síta vsype předem zvážená suchá navážka kameniva o určité frakci, většinou se nasype na síto o třídu vyšší, než je známá hodnota frakce kameniva. Pod sestavou sít je miska pro zachycení propadu, jež se dostane skrze síta. Poté se síta upnou do vibračního stroje (Obrázek 6.1) a nechá se protřepat po určitý časový interval, přičemž se zrna zachycují na příslušných odpovídajících sítích. Následně se zváží zůstatky kameniva na jednotlivých sítích a vyjádří se procentuální hmotnost zrn menších k určitému průměru zrna d. Takto vyjádřený procentuální propad se vynáší do grafu zobrazujícího čáru zrnitosti. [20]



Obrázek 6.1 – Vibrační stroj pro síťový rozbor

6.3. NÁVRH ČÁRY ZRNITOSTI ASFALTOVÉ SMĚSI

Výchozím krokem je již zmíněný návrh síťového rozboru jednotlivých frakci kameniv a vápencové moučky, jež bude tvořit čáru zrnitosti splňující požadované podmínky pro

jednotlivé směsi a to dle ČSN EN 13108-2 [12]. Čára zrnitosti byla navrhována pomocí změn procentuálního zastoupení jednotlivých frakcí kameniva v předem připraveném programu.

U směsi s nejvyšší frakcí kameniva 8 mm byla navrhována co nejplynulejší čára v zadaných normových mezích pro tuto směs, tak aby nepřekročila horní ani dolní mez.

U směsi s maximální velikostí zrna kameniva 4 mm byla čára zrnitosti navrhována tak, aby se co nejvíce blížila mezím dle normových požadavků. Proto byly navrženy dvě čáry zrnitosti, jedna kopírující horní mez zrnitosti a druhá dolní mez zrnitosti kameniva.

6.4. NAVRŽENÍ NAVÁŽEK KAMENIVA A POJIVA

Po navržení čáry zrnitosti jsou vypočteny hmotnostní podíly jednotlivých složek ve směsi. Je stanoveno přesné množství zkušebních těles, která budou vytvořena z navážek. V ČSN EN 13108-2 [12] je definován minimální obsah pojiva v návrhovém složení směsi dle kategorie zatížení.

Optimální množství pojiva bylo stanoveno dle zkušeností s výrobou daných směsí a v případě některých směsí bylo v dalším návrhu upraveno. Pro směsi s nejvyšší frakcí kameniva 8 mm byly nejprve vytvořeny navážky pro tři Marshallova tělesa, pro další úpravu návrhu byla vyrobena další dvě Marshallova tělesa. U směsi s maximální velikostí zrna kameniva 4 mm byla připravena navážka na dvě Marshallova tělesa. Pro zjištění maximální objemové hmotnosti byly také u každé směsi připraveny navážky na dva pyknometry (ve vodě a v trichloruethyleny).

7. VÝROBA MARSHALLOVÝCH TĚLES

V následující kapitole je popsána výroba Marshallových těles použitých při návrhu směsí asfaltového koberce velmi tenkého [20]. Výroba Marshallových těles probíhá dle ČSN EN 12697-30 [8].

7.1. PROVEDENÍ NAVÁŽEK NA JEDNOTLIVÁ TĚLESA

Dle stanovených navážek na jedno Marshallovo těleso jsou nabrány do kovových misek přesné navážky kameniva.

Je důležité přesné navážení dané frakce pro následující vyhodnocování daných směsí. Navážky jsou přidávány do misky, která je na vytárované (vynulované) váze s potřebnou přesností. Do misek se přidává zhomogenizované kamenivo pro dosažení hmotnosti dané frakce kameniva. Při dosažení hmotnosti první navážky (jako první nasypeme vápennou moučku) se váha znovu vytáruje a nasypává se druhé hrubší zhomogenizované kamenivo. Následně se nasype poslední nejhrubší část kameniva (Obrázek 7.1).



Obrázek 7.1 – Provedení navážek kameniva

7.2. VYTEMPEROVÁNÍ JEDNOTLIVÝCH NAVÁŽEK

Po navážení všech potřebných misek s jednotlivými frakcemi kameniv se misky vloží do laboratorní sušárny (Obrázek 7.2), aby se vytemperovaly na potřebnou teplotu míchání, která se pro dané směsi liší dle použitého asfaltového pojiva. Současně při vkládání misek s navážkami se vloží i pojivo v plechovkách k vytemperování. Při temperování navážek se kontroluje teplota kameniva a asfaltového pojiva. Po dosažení potřebné teploty, jak navážky, tak pojiva se pokračuje k dalšímu kroku a to míchání [20].



Obrázek 7.2 – Laboratorní sušárna

7.3. MÍCHÁNÍ SMĚSI PRO MARSHALLOVA TĚLESA

Samotné míchání začíná vytárováním zahřáté míchací nádoby, kde je vsypán obsah jedné kovové misky s navázkou kameniva. Do takto vytárované nádoby se postupně vlévá pečlivě rozmíchané (zhomogenizované) pojivo pro dosažení přesné hmotnosti vlitého pojiva (Obrázek 7.3). Pojivo se homogenizuje míchadlem tak, aby došlo k promísení částic usazeného granulátu [20].



Obrázek 7.3 – Míchací nádoba s pojivem a kamenivem na váze

Při dosažení potřebné hmotnosti směsi se přemístí z váhy na varnou desku a pomocí špachtle se promíchává směs. V závěru míchaní je vizuálně zřejmé kompletní obalení všech zrn kameniva, v tuto chvíli se přistoupí k přesypání do speciálně upravené misky se zkosenými čelními hranami (Obrázek 7.4). Tuto misku s umíchanou směsí vložíme zpět do předehřáté sušárny a necháme ji natemperovat na teplotu hutnění dle použitého asfaltového pojiva. Teplotu kontrolujeme kontaktním elektronickým teploměrem. Vše se odehrává při vysoké teplotě, a tudíž je nezbytné používat ochranné pomůcky [20].



Obrázek 7.4 – Miska pro temperování na teplotu hutnění

7.4. HUTNĚNÍ MARSHALLOVÝCH TĚLES

Při dosažení potřebné teploty hutnění směsi se vloží do laboratorní sušárny podložka, forma, nástavec a trychtýř potřebný k výrobě Marshallových těles (Obrázek 7.5).



Obrázek 7.5 – Podložka, forma, nástavec a trychtýř pro výrobu Marshallových těles

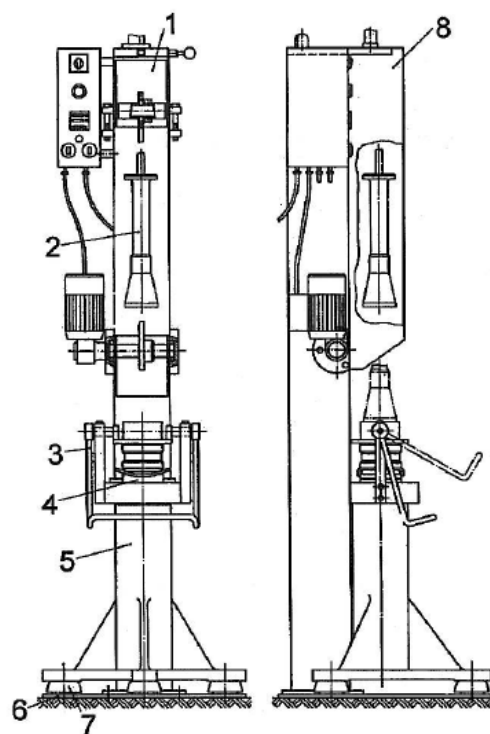
Připraví se papírové podložky v kruhovém tvaru o průměru vnitřních hran formy, nejlépe z křídového papíru. Nastaví se zhutňovač na potřebný počet úderů a připraví k

použití. Při dostatečném nateperování kovových částí potřebných k výrobě Marshallových těles se sestaví válcová forma. Nejprve se na dřevěné prkénko položí podložka s hranou vstupující do formy pro zajištění tvaru tělesa. Na vzniklé dno mezi formou a podložkou se vloží předpřipravená papírová podložka zamezující nalepení na část podložky, či úderníku zhutňovače. Na válcovou formu se vloží nástavec, na nějž se nasadí kovový trychtýř o vnitřním průměru odpovídajícím formě. Do takto sestavené formy (Obrázek 7.6) se může vsypat třetina směsi z misky s netemperovanou směsí. Tato třetina směsi se urovná špachtlí a vsype se další třetina, která se také upraví do roviny stejně jako poslední třetina směsi.



Obrázek 7.6 – Sestavená forma připravená na plnění asfaltovou směsí

Na urovnanou směs ve formě se vloží další papírová podložka, odstraní se kovový trychtýř a celá forma se přemístí do Marshallova zhutňovače (Obrázek 7.7), kde se forma zcentruje pomocí výlisků a upevní se odstředivou vačkou. Následně se spustí na povrch směsi hutnící pěch skládající se z vodící tyče, hutnícího beranu a bicí hlavy. Zhutňovač funguje na principu pohonného řetězu zdvihajícím a pouštějícím hutnící beran z výšky přibližně 460 mm. Hutnící beran padá po vodící tyči na bicí hlavu, která zhutňuje směs ve formě. Přesný popis je uveden v ČSN EN 12697-30 [8].



Legenda

- 1 Základní zdvihací zařízení s motorovým pohonem pro hutnicí beran a počítadlem rázů (na obrázku bez ochranného krytu)
- 2 Hutnicí pěch s válcovou vodící tyčí hutnicího beranu
- 3 Excentrická vačka upínacího zařízení
- 4 Podkladní deska formy pro hutnění, na kterou se forma připevní
- 5 Zhutňovací podstavec
- 6 Ocelová podkladní deska
- 7 Patky
- 8 Ochranný kryt

Obrázky 7.7 – Marshallův zhutňovač

Po přípravě formy se směsí ke zhutňování se spustí zhutňovač. Hutnění by mělo proběhnout co nejrychleji, aby nedocházelo k přílišnému ochlazení směsi, samozřejmě s dodržením bezpečnosti práce. Hutníme přednastaveným počtem úderů a to buď 2x50 úderů a nebo 2x25 úderů (pro zkoušku odolnosti zkušebních těles vůči vodě).

Po dosažení první poloviny úderů se úderník přesune do původní zajištěné polohy a odebere se forma se směsí mimo zhutňovač, kde se sundá nástavec a opatrně se otočí forma se zhutněnou směsí dnem vzhůru. Následně se znovu přiloží nástavec a vloží se celá sestavená forma do zhutňovače a opět se upevní. Přesune se úderník na povrch směsi a spustí se další cyklus úderů při otočené formě, aby došlo k prohutnění z obou stran. Celý proces hutnění by měl být hotov do 4 minut od vytažení ze sušárny. Poté co zhutňovač provede další sadu úderů, tak se vyjme forma se zhutněnou směsí a odstraní se nástavec a podložka.

Následně formu se ztuhlou směsí osadíme a necháme vychladnout na vytvarovaném plechu s vytlisovanými válcovými podložkami tak, aby nedocházelo k rozsypání nahutněné směsi. Tento plech je vsunut pro urychlení vychladnutí pod ventilátor (Obrázek 7.8).



Obrázek 7.8 – Ventilátor pro urychlení vychladnutí směsi

Marshallova tělesa se po vychladnutí vytlačí z formy ručním hydraulickým lisem, který je upraven k tomuto účelu (Obrázek 7.9) [20].



Obrázek 7.9 – Hydraulický lis pro vytlačování Marshallových těles z formy

Takto vyrobené zkušební těleso se důkladně popíše bílou barvou dle Obrázku 7.10.



Obrázek 7.10 – Popsané Marshallovo těleso

Následně budou na vytvořených tělesech provedené potřebné zkoušky, které budou popsány níže.

8. VÝROBA DESEK

V této kapitole je popsán postup výroby desek zhutněných v lamelovém zhutňovači, které byly použity na zkoušku odolnosti vůči vzniku trvalých deformací [20]. Výroba desek proběhla dle postupu v ČSN EN 12697-33 [9].

Pro výrobu desky směsi **BBTM 4 50/70 na horní mezi zrnitosti** byl použit nový zhutňovací přístroj silniční laboratoře VUT v Brně ústavu Pozemních komunikací a ověřena funkčnost a použitelnost na výrobu směsí menších frakcí kameniva (v tomto případě frakce s maximální velikostí zrna 4 mm). V závěru této kapitoly jsou popsány odlišnosti od klasického lamelového zhutňovače. Praktická zkušenost s výrobou pomocí tohoto zhutňovače je popsána v kapitole vyhodnocení směsi BBTM 4.

8.1. NAVRŽENÍ NAVÁŽEK KAMENIVA A POJIVA NA DESKY

Hmotnosti navážek na desky jednotlivých směsí se upraví tak, aby odpovídaly výsledným požadovaným rozměrům desky. Navážka se stanovuje z již zjištěné objemové hmotnosti na Marshallových tělesech a potřebných rozměrů, kterých má deska dosahovat.

Desky mají přibližný rozměr (a x b x v) 260,0 mm x 320,0 mm x 40,0 mm. Při výpočtu navážky od výšky desky 40,0 mm odečteme 0,8 mm, což je tloušťka plechu, přes který jsou položeny lamely ve zhutňovači. Rozměry nám dají předběžnou hodnotu objemu desky. Pomocí žádané objemové hmotnosti desky, požadované mezerovitosti směsi a objemu desky lze dopočítat teoretickou hmotnost směsi na desku. Na desku však hmotnost nadvýšíme z důvodu možného přichycení na límec hrnce a tím vznikne navážka směsi na míchání. Přesnou hmotnost odvážíme po namíchání směsi.

Dále se dopočítá z již stanoveného optimálního procentuálního obsahu pojiva hmotnost pojiva. Hmotnost kameniva se určí při odečtu hmotnosti asfaltu od hmotnosti navážky směsi. Pak se již dle známých podílů jednotlivých frakcí kameniva jednoduše dopočtou hmotnostní podíly kameniv [20].

8.2. PŘÍPRAVA NAVÁŽEK NA JEDNOTLIVÉ DESKY

Dostatečně velké nádoby se naplní jednotlivými frakcemi kameniv dle navážek a po navážení se dají temperovat do laboratorní sušárny.

Dále se naváží příslušné množství pojiva do připravované desky a po navážení se nechá temperovat v sušárně s kamenivem.

Temperování probíhá při teplotě dle použitého pojiva. V průběhu temperování se zjišťuje teplota a po jejím dosažení se nechá teplota ustálit.

Pro zkoušku odolnosti proti vzniku trvalých deformací je třeba vyrobit z každého návrhu dvě desky, v případě návrhu BBTM 4 na horní i dolní mezi zrnitosti byla vyrobena z důvodu úspory materiálu pouze jedna deska od každého návrhu.

8.3. MÍCHÁNÍ SMĚSI NA DESKY

Je nutné si připravit a nechat natemperovat i nádobu na míchání i s metlou. Dále si připravíme laboratorní míchačku s termostatickým ohřevem spodní části, do které se vkládá nádoba na míchání a necháme ji také natemperovat pro přehřívání nádoby při míchání směsi. Při kompletním natemperování navážky a ostatních potřebných částí se může přistoupit k samotnému míchání směsi. Jak již bylo řečeno, tak se používá váha, která umožňuje zvážit příslušné množství směsi s danou přesností dle ČSN EN 12697-38 [22]. Následně se vytáhne z laboratorní sušárny ohřátá nádoba z míchačky a vsype se do ní navážka kameniva (Obrázek 8.1). Do takto připravené navážky kameniva se přidá zhomogenizované, natemperované pojivo. Takto zhomogenizované pojivo se vlévá do nádoby stojící na vytárované váze a vlévá se přesně dané množství pojiva z navážky [20].



Obrázek 8.1 – Nádoba na míchání směsi s kamenivem

Po navážení se přemístí nádoba s kompletní navázkou do laboratorní míchačky (Obrázek 8.2) a upevní se nateperovaná metla. Spustí se přehřátá míchačka a dojde se pojezdem spodní části míchačky s nádobou k metle. Metla rotuje kolem své osy a současně excentricky vůči ose nádoby, aby byla směs homogenně promíchána. V průběhu míchání se s nádobou sjelo do původní polohy, vypnula se míchačka a pomocí špachtle se směs promíchala od spodku nádoby, jelikož na dně nádoby může zůstat nepromíchané jemné kamenivo. Dále se seškrábly okraje, kde byly zachycené nejjemnější částice ve formě asfaltové malty. Takto ručně promíchaná směs se ještě nechala promíchat míchačkou po najetí nádoby k metle [20].



Obrázek 8.2 – Míchání směsi laboratorní míchačkou

Směs musí mít po smíchání homogenní vzhled, zrna kameniva musí být zcela obalena pojivem a nesmí se vyskytnout obalené hrudky drobného kameniva.

Cele míchání musí proběhnout do 5 minut a všechna zrna musí být kompletně obalena. Stejně jako při míchání Marshallových těles i toto míchání probíhá za vysoké teploty a proto je nutné používat ochranné pracovní pomůcky.

8.4. NAVÁŽKA NAMÍCHANÉ SMĚSI NA DESKY

Poté co jsou všechna zrna důkladně obalena, tak se upraví hmotnost navážky, odpovídající příslušné desce a směsi. Navážená zhomogenizovaná směs by měla odpovídat

zjištěné hodnotě teoretické hmotnosti směsi na desku z navážek. Tuto hmotnost nadvýším o cca 15 g z důvodu možného přichycení směsi ve formě, či špachtli.

Připravená navážka směsi se vloží do laboratorní sušárny a temperuje se na teplotu dle použitého pojiva. Hodnota teploty je zjišťovaná čidlem teploměru zasunutým v temperované směsi. Po dosažení potřebné hodnoty se směs nechá půl hodiny ustálit při dané teplotě.

8.5. PŘÍPRAVA LAMELOVÉHO ZHUTŇOVAČE

V průběhu temperování směsi se připraví zhutňovač s ocelovými lamelami (Obrázek 8.3). Nejdříve se zkontroluje výška spodní desky ve formě tak, aby odpovídala požadované tloušťce desky. Měří se od horní hrany formy po líc spodní desky. Od naměřené hodnoty se odečte výška lamely a tento rozdíl by měl odpovídat tloušťce desky. Tuto výšku lze upravovat po 10 mm kovovými podložkami (distanční rámečky) pod spodní deskou. Při nastavení požadované výšky se sestaví celá forma a složí se dohromady. Jednotlivé části jsou osazeny čepy a otvory pro šrouby tak, aby celá forma měla konstantní rozměry. Na takto sestavené formě se nedotahují šrouby, ale nechají se povolené o cca dvě otáčky a to z důvodu snadnějšího zasunutí lamelových desek. Použité lamely jsou o rozměrech 260 x 100 x 15(10) mm. Přesný popis lamel je uveden v ČSN EN 12697-33 [9] odstavci 5.3.2.3. Následně se celá forma důkladně natře separačním prostředkem, jenž není rozpouštědlem asfaltového pojiva. Takto se natře i rub plechu, na nějž se budou pokládat jednotlivé lamely. Dále se připraví jednotlivé lamely tak, aby bylo možné co nejrychlejší naskládání do formy. V posledním kroku se nastaví stůl s formou tak, aby byl co nejvíce vyjetý, což odpovídá základní poloze [20].

Detailnější informace o zhutňovači desek lze nalézt v ČSN EN 12697-33 [9].



Obrázek 8.3 – Lamelový zhutňovač

8.6. HUTNĚNÍ SMĚSI V LAMELOVÉM ZHUTŇOVAČI

Po natepování směsi se přistoupí ke zhutňování v lamelovém zhutňovači. Vyjme se nádoba s naváženou a zhomogenizovanou směsí z laboratorní sušárny a přesype se obsah z nádoby do formy lamelového zhutňovače. Nádoba s navázkou se vyčistí a směs se ve formě rovnoměrně rozprostře. Špachtlí se předhutní rohy tím, že se do nich nahrne více směsi a upěchují se. Znovu se urovná směs ve formě (Obrázek 8.4). Dále na urovnanou směs položí plech natřenou stranou na směs a začnu vkládat lamely (Obrázek 8.5). Posléze odjistím hydraulickou páku statického válce, který má uvolněný pohyb pouze kolem své rotační osy a sjedu s ním hydraulickou pákou cca 1,0mm nad hranu lamel. Následně páku zajistím a můžu přistoupit ke spuštění pojezdu stolu s formou se směsí, při čemž současně probíhá sjíždění válce na lamely a k hutnění směsi přenesením zatížení z lamel na směs. Šířka statického válce je větší oproti délce jednotlivých ocelových lamel [20].



Obrázek 8.4 – Urovnání směsi ve zhutňovači desek



Obrázek 8.5 – Vložení lamel

V plošné formě se směsí dochází k volnému sjíždění lamel pod tíhou statického válce a tím pádem ke zhutňování směsi. Celý stůl s formou se pohybuje pod válcem tam a zpět ve vodorovném směru, což je označeno jako pojezd stolu. Tento pojezd se opakuje, dokud nejsou lamely zatlačeny do formy a jsou srovnány výšky hran formy s výškou lamely (Obrázek 8.6). To znamená, že je směs zhutněna. Poté se nechá forma se zhutněnou směsí vychladnout. Následně se vyjmou lamely z formy, odebere se plech ležící na směsi, který odděloval lamely od směsi. Poté se nahutněná deska odebere z formy, vezme špachtle,

odloupne se od podkladní ocelové desky a dá se vychladnout pod ventilátor (Obrázek 6.8). Nakonec je deska označena popisem (Obrázek 8.7) [20].



Obrázek 8.6 – Hutnění desky



Obrázek 8.7 – Popsání desky

8.7. HUTNĚNÍ SMĚSI VE ZHUTŇOVAČI DESEK LABORATOŘE PKO VUT V BRNĚ

V následující kapitole je popsáno zhutnění jedné desky směsi BBTM 4 50/70 na horní mezi zrnitosti, které bylo provedeno pomocí nového zhutňovače laboratoře Ústavu pozemních komunikací Vysokého učení technického v Brně (Obrázek 8.8).



Obrázek 8.8 – Zhutňovač desek s řídicím panelem

Příprava navážek a provedení navážek je stejné jako u lamelového zhutňovače. Nejprve připravíme formu, kterou složíme na pojezdovém stole a zajistíme proti rozložení. Formu důkladně natřeme separačním prostředkem, jenž není rozpouštědlem asfaltového pojiva. Natřeme i rub plechu, přes který bude směs hutněna. Obsah nádoby s naváženou a zhomogenizovanou směsí vyjmete z laboratorní sušárny, kde byla temperována na potřebnou teplotu a vsypeme do připravené formy. Asfaltovou směs co nejlépe urovnáme a předhutníme v rozích a překryjeme plechem. Na hutnícím stroji nastavíme požadovanou tloušťku desky a sjedeme hutnící částí, která je výsečí z válcové plochy a simuluje stejně jako u lamelového zhutňovače pohyb a hutnění pojezdem válce, nad nasýpanou a urovnanou asfaltovou směs. Následně spustíme samotné hutnění (Obrázek 8.9). Při hutnění dochází k pojezdu desky stolu s formou a pravidelnému posunu hutnící plochy směrem dolů dle přednastaveného posunu při každém cyklu. Průběh hutnění kontrolujeme a provádíme ho

do doby než hutnič dosáhne požadované tloušťky desky. Poté se s hutnicí hlavou vyjede nahoru a forma se zhutněnou směsí se nechá vychladnout. Po vychladnutí formy se forma rozloží a deska se za pomoci špachtle vyjme z formy a vloží pod ventilátor. Následně se deska označí popisem (Obrázek 8.7).



Obrázek 8.9 - Hutnění desky

9. POPIS POUŽITÝCH ZKUŠEBNÍCH METOD

Tato kapitola popisuje postupy zkoušek prováděné na jednotlivých zkušebních tělesech. Veškeré zkoušky byly provedeny podle platných a příslušných norem a předpisů.

9.1. ZKOUŠKY PROVÁDĚNÉ NA MARSHALLOVÝCH TĚLESECH

Postup výroby Marshallových těles je uveden v kapitole 7. Zde budou popsány jednotlivé zkoušky na tělesech prováděné.

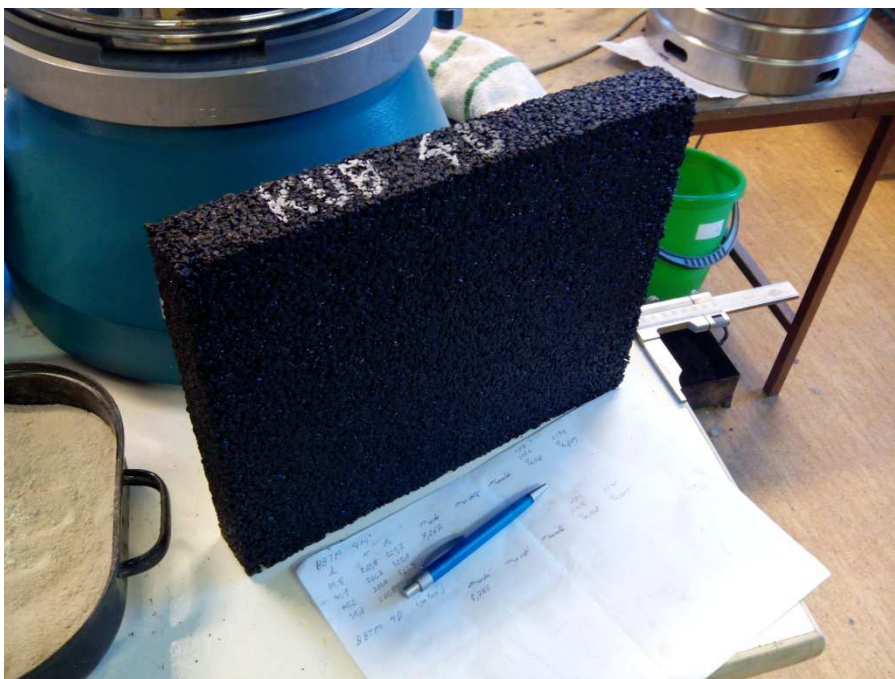
9.1.1. ROZMĚRY A HMOTNOSTI MARSHALLOVÝCH TĚLES A DESEK

Stanovení rozměrů se provádí dle postupů uvedených v ČSN EN 12697-29 [7].

Výška se měří ve čtyřech bodech rovnoměrně rozmístěných po obvodu. Průměr válcové plochy je měřen ve dvou polohách na sebe kolmých a to v horní, střední a spodní části. Výsledná hodnota je průměr z šesti naměřených hodnot. U desek se v každém rozměru (výška x šířka x délka) měří rovnoměrně po obvodu ve čtyřech bodech (Obrázek 9.1).

Hmotnost jednotlivých těles je vážena na příslušných vahách. Dané těleso je suché a zbavené povrchových nečistot v podobě nezhutněného zrna směsi.

Rozměry a hmotnosti budou uvedeny v tabulkách u jednotlivých směsí s přesností na desetinu gramu.



Obrázek 9.1 – Měření rozměrů u desky

9.1.2. OBJEMOVÁ HMOTNOST MARSHALLOVÝCH TĚLES A DESEK

Objemová hmotnost je hmotnost při dané zkušební teplotě připadající na jednotku objemu zkušebního tělesa včetně mezer. Podrobněji je postup popsán v ČSN EN 12697-6 [14].

Objemová hmotnost z rozměrů se stanoví z hmotnosti suchého zkušebního tělesa (m_1) a jeho objemu stanoveného z rozměrů (V).

Postup výpočtu objemové hmotnosti z rozměrů se vypočítá s přesností na kg/m³:

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

kde $\rho_{b,dim}$ je objemová hmotnost zkušebního tělesa dle rozměrů [kg/m³]

m_1 hmotnost suchého tělesa [g]

h výška zkušebního tělesa [mm]

d průměr tělesa [mm]

Další objemovou hmotnost lze zjistit při zjištění hmotnosti tělesa na vzduchu a po saturaci ve vodě. Při známé hustotě vody, která je při teplotě 25 °C 997,1 kg/m³ lze dopočítat objemovou hmotnost tělesa váženého ve vodě (Obrázek 9.2). Těleso musí být zcela ponořené a nasycené vodou (přibližně 30 min). Takto nasycené těleso bez ulpělých vzduchových bublinek na povrchu zvážíme (m_2) na závěsu váhy, který je ve vodní lázni, tak

aby nedocházelo k zachycení tělesa o jiný předmět, což by mohlo ovlivnit vážení. Těleso se po zvážení ve vodní lázni vytáhne a lehce povrchově osuší, nemělo by dojít k vysoušení vnitřních mezer v tělese. Následně se povrchově osušené těleso zváží a okamžitě se stanoví hmotnost tělesa nasyceného vodou [20].



Obrázek 9.2 – Vážení desky ve vodě

Postup výpočtu objemové hmotnosti tělesa nasyceného vodou při osušeném povrchu (SSD):

$$\rho_{b,SSD} = \frac{m_1}{m_3 - m_2} * \rho_w$$

Kde $\rho_{b,SSD}$ je objemová hmotnost SSD [kg/m³]

m_1 hmotnost suchého tělesa [g]

m_2 hmotnost tělesa ve vodě [g]

m_3 hmotnost tělesa nasyceného vodou a povrchově osušeného [g]

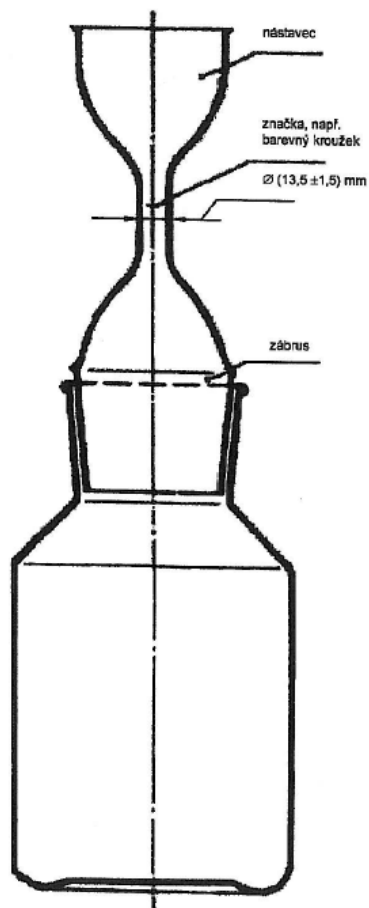
ρ_w hustota vody [kg/m³]

9.1.3. MAXIMÁLNÍ OBJEMOVÁ HMOTNOST

Maximální objemová hmotnost je stanovena na asfaltové směsi bez mezer a podrobný popis zkoušky je uveden v ČSN EN 12697-5 [1].

Jedná se o hmotnost při dané zkušební teplotě, připadající na jednotku objemu asfaltové směsi bez mezer.

U volumetrického postupu se objem vzorku měří jako objem rozpouštědla vytěsněného vzorkem v pyknometru (Obrázek 9.3).



Obrázek 9.3 – Pyknometr s nástavcem

Připraví se dva pyknometry, které jsou sestaveny ze spodní nádoby a z horního nástavce, který je označen barevným kroužkem (ryskou) v hrdle a má na své spodní stěně zábrus. Pyknometry jsou označeny dvěma značkami a to spodní nádoba i jejich patřičný nástavec stejným označením. U takto připravených pyknometrů je znám objem (V_p) po barevný kroužek na hrdle nástavce a stanoví se hmotnost (m_1) prázdných pyknometrů i s nástavci.

Vzorek nezhutněné asfaltové směsi se vysype do nádoby se separační podložkou (voskovaný papír) a rozdělují se špachtlí případné shluky směsi na menší zrna směsi. Maximální velikost shluků je omezena velikostí otvoru pro vsypání do pyknometru. Jakmile je

směs dostatečně rozdrobena a je ochlazena v dostatečné míře, tak se přistoupí k plnění pyknometrů.

Každý pyknometr se na vnitřní straně namaže stejně jako jeho příslušná část nástavce na vnější straně a to v malé vrstvě. Do každého pyknometru se vloží papírový trychtýř. Připravená směs o hmotnosti navážky na jedno Marshallovo těleso se rozdělí na polovinu a kompletně rozdrobený vzorek se vsype do obou pyknometrů. Poté se znovu stanoví hmotnost (m_2) každého pyknometru s nástavcem a vzorkem. Nasadí se nástavce na pyknometry a poté se mírně pod okraj naplní první pyknometr vodou a druhý trichlorethylenem. Nástavec na pyknometru s trichlorethylenem se zazátkuje alobalem proti nežádoucímu odpařování rozpouštědla. Druhý pyknometr s vodou vložíme na 30 minut do vakuového přístroje (Obrázek 9.4), kde se vytváří podtlak, s jehož pomocí vytěsníme nežádoucí vzduchové bubliny [20].



Obrázek 9.4 – Vakuový přístroj

Poté se oba takto naplněné pyknometry vloží do vodní lázně o teplotě 25 °C přibližně na 120 minut. Tím se docílí vyrovnání teploty vzorku a rozpouštědla v pyknometru s teplotou vodní lázně. Teplota se měří vnořeným teploměrem do vodní lázně. Po netemperování se stříčkou doplní rozpouštědlo (v prvním pyknometru voda, v druhém trichlorethylen) až po

značku na nástavci (Obrázek 9.5). Pykometry se vyjmou z vodní lázně a z vnější strany se osuší a určí se jejich hmotnost (m_3).



Obrázek 9.5 – Naplněné pykometry před zvážením (vlevo s trichlorethylenem, vpravo s vodou)

Maximální objemová hmotnost ρ_{mv} asfaltové směsi je stanovena volumetrickým postupem a vypočítá se dle vzorce:

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

Kde ρ_{mv} je maximální objemový hmotnost směsi [kg/m³]

m_1 hmotnost pykometru a nástavce [g]

m_2 hmotnost pykometru, nástavce a zkušební vzorku [g]

m_3 hmotnost pykometru, nástavce, zkušební vzorku a rozpouštědla [g]

V_p objem pykometru při naplnění po referenční značce nástavce [m³]

ρ_w hustota rozpouštědla [kg/m³]

9.1.4. MEZEROVITOST MARSHALLOVÝCH TĚLES

Mezerovitost (V_m) znázorňuje objem mezer ve zkušebním tělese vyjádřený v procentech celkového objemu zkušebního tělesa, podrobný postup zkoušky je uveden v ČSN EN 12697-8 [2].

Mezerovitost zkušebního tělesa se počítá na základě maximální objemové hmotnosti a objemové hmotnosti zkušebního tělesa a to dle vztahu:

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

Kde V_m je mezerovitost směsi [%]

ρ_m maximální objemová hmotnost směsi [kg/m³]

ρ_b objemová hmotnost zkušebního tělesa dané směsi [kg/m³]

Vypočtenou mezerovitost porovnáváme s požadovanými hodnotami na každou ze směsí dle ČSN EN 13108-2 [12].

9.1.5. ODOLNOST VŮČI VODĚ

Stanovení odolnosti zkušebního tělesa vůči vodě je podrobně popsáno v ČSN EN 12697-12 [4]. Tato norma uvádí tři zkušební metody pro stanovení účinků nasycení vodou, v této práci je použita **metoda A** využívající stanovení pevnosti v příčném tahu zkušebního tělesa.

Odolnost vůči působení vody je vyjádřena poměrem pevnosti získaným na Marshallových tělesech a to na sadě těles, které byly hutněny 2 x 25 rázy. Získává se poměr pevnosti v příčném tahu (ITSR) mokrých a suchých těles, který se vyjadřuje procentuálně.

Pevnost v příčném tahu (ITS) je maximální napětí působící na válcové zkušební těleso při dané teplotě a rychlosti posunu zkušebního zařízení. Podrobněji je zkouška popsána v ČSN EN 12697-23 [6].

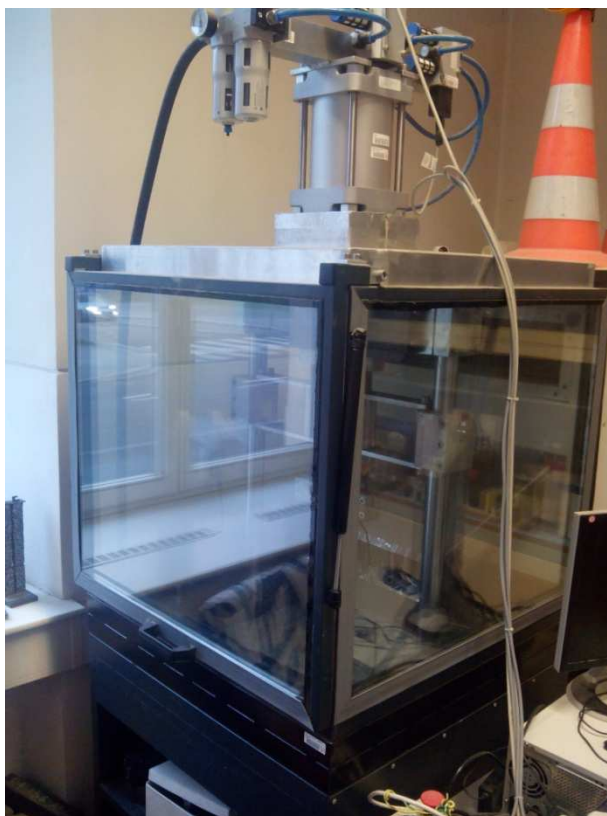
Zkouška se provádí na 6 tělesech z každé směsi. Z důvodu přesnějšího rozdělení se vyrobí 7 těles a podle zjištěných objemových hmotností (dle kapitoly 8.1.2) se vyrobená tělesa rozdělí do dvou skupin tak, aby každá skupina obsahovala stejné průměrné rozložení objemové hmotnosti. Detailněji je celý proces popsán v ČSN EN 12697-12 [4].

První (suchá) skupina těles je pouze uchována při laboratorní teplotě (cca 20 °C) a druhá (mokrá) skupina těles je nasycena destilovanou vodou v celém svém objemu a to díky vakuovému přístroji (Obrázek 9.4). Ve vakuové komoře během 10 min vznikne absolutní tlak 6,7 kPa. Vakuová komora je plně automatická, při této zkoušce se pouze vpouští zpět

atmosférický tlak a to velmi pozvolna, aby nedošlo k poškození tělesa. Skupina mokrých zkušebních těles se přenesse do vodní lázně natepované na teplotu 40 °C na dobu přibližně 70 hodin (Obrázek 9.6). Jakmile uběhne požadovaný čas, tak se tělesa přetemperují na zkušební teplotu 15 °C (Obrázek 9.7), a po jednom vytahují z vodní lázně, osuší se a přesouvají do zkušebního lisu [20].



Obrázek 9.6 – Vodní lázeň na temperování mokrých těles na teplotu 40 °C



Obrázek 9.7 – Komora na ochlazení těles na teplotu 15 °C

Do zkušebního přístroje (Obrázek 9.8) se osadí těleso pomocí nastavovací podpěry rámečku při položení tělesa na spodních čelistích dle Obrázku 9.9. Připraví se horní část položená centricky na zkušebním tělese a změří se pevnost v příčném tahu (dle ČSN EN 12697-23 [6]). Tento postup se opakuje u všech třech mokrých zkušebních těles.



Obrázek 9.8 – Zkušební lis



Obrázek 9.9 – Usazení tělesa do zkušební lisu

Skupina suchých těles se nechá před samotnou zkouškou také nateperovat v termostaticky regulované komoře na zkušební teplotu 15 °C. Následně se stejně jako mokrá zkušební tělesa upnou do přístroje a stanoví se jejich pevnost v příčném tahu.

Pro každé zkušební těleso (Obrázek 9.10) se vypočítá pevnost v příčném tahu ITS (dle ČSN EN 12697-23 [6]):

$$ITS = \frac{2 * P}{\pi * D * H}$$

Kde **ITS** je pevnost v příčném tahu [MPa]
P maximální zatížení [N]
D průměr zkušební tělesa [mm]
H výška zkušební tělesa [mm]

Dále je vypočten poměr pevnosti v příčném tahu **ITSR** (dle ČSN EN 12697-12 [5]):

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

Kde **ITSR** je poměr pevnosti v příčném tahu [%]

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

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

Vypočítaný poměr pevnosti v příčném tahu se porovná s požadavky normy ČSN EN 13108-2 [12] na jednotlivé směsi.



Obrázek 9.10 – Zkušební těleso po zkoušce pevnosti v příčném tahu ITS

9.2. ZKOUŠKA PROVÁDĚNÁ NA DESKÁCH

Na celé desce o tloušťce 40 mm se provádí pouze zkouška pojezdem kola neboli odolnost vůči vzniku trvalých deformací.

9.2.1. ODOLNOST VŮČI VZNIKU TRVALÝCH DEFORMACÍ

Na zkoušku odolnosti vůči vzniku trvalých deformací dle ČSN EN 12697-22 [5] jsou použity desky vyrobené lamelovým zhutňovačem popsané v kapitole 7.

Popisuje náchylnost asfaltových směsí k trvalé deformaci pod působením zatížení. Zkouška vyjadřuje závislost trvalé deformace na základě hloubky vyjeté koleje způsobené opakovaným pojížděním zátěžového kola zatěžovacím cyklem (pojezd tam a zpět) při dané teplotě [20].

Hloubka vyjeté koleje vyjadřuje zmenšení tloušťky desky oproti původní tloušťce.

Zatěžovací zkouška probíhala v malém zkušebním zařízení popsaném v ČSN EN 12697-22 [5]. Přístroj se skládá ze zatěžovacího pohybujícího se kola a statického stolu, na kterém je upnuto zkušební těleso dle Obrázku 9.11. Před zahájením zkoušky je těleso temperováno nejméně 4 hodiny.



Obrázek 9.11 – Přístroj pro zatěžovací zkoušku poježdění kolem

Zkušební těleso (deska) se vloží na ocelovou podkladní desku a následně se upne do formy, která se pomocí výlisků a šroubů centricky stáhne dle Obrázku 9.12. Celá forma se vloží do přístroje a přišroubuje.



Obrázek 9.12 Deska upnutá do formy po zkoušce vyjždění kolem

Zatěžovací kolo je opatřeno obručí z pevné pryže bez dezénu a to s vnějším průměrem cca 205 mm, šířce 50mm a tloušťce 13 mm. Testovaný vzorek je zatěžován centricky a harmonicky o frekvenci 24 zatěžovacích cyklů za minutu.

Přístroj „vyjížděč“ (Obrázek 9.11) je zcela automatický. Poté se přístroj uvede do pohybu při konstantní teplotě. Následná hloubka vyjeté koleje se měří zcela automaticky v průběhu zatěžovacích cyklů při natemperované komoře na teplotu 50 °C. Zkušební těleso je zatíženo po dobu 10 000 zatěžovacích cyklů nebo do dosažení hloubky vyjeté koleje 15 mm a to v závislosti na tom co nastane dříve.

Po dokončení zkoušky se z přístroje opiší výsledky pro danou směs.

Je měřen nárůst hloubky vyjeté koleje ve zkušebním tělese.

Výpočet přírůstku vyjeté koleje po 10 000 cyklech (20 000 pojezdů):

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

Kde WTS_{AIR} je přírůstek hloubky vyjeté koleje [mm/1000cyklů]

$d_{10\ 000}$ hloubka vyjeté koleje po 10 000 cyklech [mm]

$d_{5\ 000}$ hloubka vyjeté koleje po 5 000 cyklech [mm]

Výpočet průměrné poměrné hloubky vyjeté koleje PRD_{AIR} na vzduchu při 10 000 cyklech je průměr poměrné hloubky vyjeté koleje nejméně ze dvou zkušebních těles s přesností na 0,1 % podle [8]. U směsí s nejvyšší frakcí kameniva 8 mm BBTM 8 byli vyrobeny pro každý návrh dvě desky. U směsi BBTM 4 byla z důvodu úspory materiálu vyrobena jedna deska pro každý návrh. Na Obrázku 9.13 je deska po zkoušce odolnosti vůči trvalým deformacím s patrnou vyjetou kolejí.



Obrázek 9.13 Vyjetá kolej na desce po zkoušce odolnosti vůči trvalým deformacím

10. VÝSLEDKY NÁVRHŮ A ZKOUŠEK JEDNOTLIVÝCH SMĚSÍ

V této kapitole budou popsány výsledky návrhů a zkoušek jednotlivých směsí, nejprve bude popsán návrh směsi BBTM 8A 45/80-65 s uzavřenější čarou zrnitosti (s vyšším podílem frakcí drobného kameniva), poté směs BBTM 8B 45/80-65 s otevřenější čarou zrnitosti (s vyšším podílem frakce hrubšího kameniva o maximální velikosti zrna 8 mm), na závěr bude popsán návrh dvou směsí BBTM 4, kopírujících horní a dolní mez zrnitosti kameniva. U všech návrhů budou vyhodnoceny požadované zkoušky.

10.1. SMĚS BBTM 8A 45/80-65

10.1.1. NÁVRH ČÁRY ZRNITOSTI

Čára zrnitosti byla navrhována v programu, kde se snažíme navrhnout změnami procentuálního zastoupení frakcí kameniva čáru zrnitosti v zadaných mezích dle normy ČSN EN 13108-2 [12]. V následující tabulce 10.1.1 je výsledné procentuální rozložení jednotlivých frakcí.

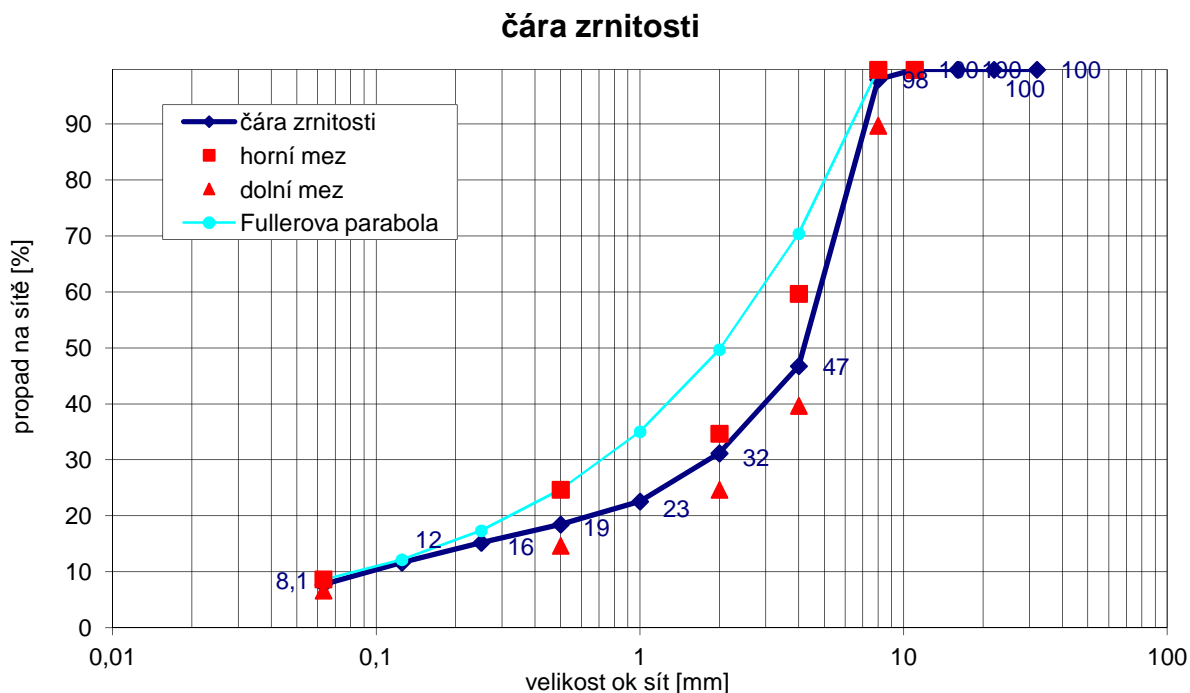
Tabulka 10.1.1 – Skladba kameniva směsi BBTM 8A 45/80-65

Kamenivo	Žumberk 4/8	Sloupno 0/4	Moučka
Složení	54 %	41 %	5 %

V tabulce 10.1.2 jsou zadané meze a výsledná čára zrnitosti, kterou se podařilo umístit do mezí a nepřekračuje ani horní ani dolní mez uvedenou v požadavcích pro danou směs. Čára zrnitosti je vyznačena v grafu 10.1.1.

Tabulka 10.1.2 – Normové meze směsi BBTM 8A 45/80-65

	d.mez	BBTM 8 A 13108-2	h.mez	meze	Fuller
11	100	100,0	100	OK	-
8	90	98,2	100	OK	100,0
4	40	47,1	60	OK	70,7
2	25	31,5	35	OK	50,0
1		22,9		bez meze	35,4
0,5	15	18,8	25	OK	25,0
0,25		15,5		bez meze	17,7
0,125		12,0		bez meze	12,5
0,063	7	8,1	9	OK	8,9



Graf 10.1.1 – Čára zrnitosti směsi BBTM 8A 45/80-65

10.1.2. STANOVENÍ NAVÁŽEK A MNOŽSTVÍ POJIVA NA MARSHALLOVA TĚLESA PRO KONTROLU NÁVRHU SMĚSI

V případě směsi BBTM 8A 45/80-65 bylo použito minimální množství pojiva 5,4 % dané v požadavcích na směs dle ČSN EN 13108-2 [12]. Po výrobě Marshallových těles, zjištění maximální objemové hmotnosti a vypočítání mezerovitosti (viz kapitola 9.1.4) bylo dosaženo vyšší mezerovitosti než je normou požadovaná, proto bylo nutné zvýšit množství pojiva na 6 %.

Provedení navážek a výroba Marshallových těles proběhla dle kapitoly 7.

V Tabulce 10.1.3 jsou porovnány oba návrhy podle množství pojiva a vypočítáno hmotnostní množství pojiva a kameniva při navážce na jedno Marshallovo těleso. Celková hmotnost byla v druhém návrhu zvýšena z důvodu nedostatečné výšky Marshallových těles v prvním návrhu a snaze přiblížit se výšce 63,5 mm ± 2,5 mm dle ČSN EN 12697-30 kapitola 5 [8].

Tabulka 10.1.3 – Podíl asfaltového pojiva směsi BBTM 8A 45/80-65

	BBTM 8A - 1.návrh	BBTM 8A - 2.návrh
Celková hmotnost [g]	1150	1200
Podíl asfaltového pojiva [%]	5,4	6
Množství pojiva [g]	62	72
Hmotnost kameniva	1088	1128

V následující Tabulce 10.1.4 jsou dle procentuálního podílu jednotlivých frakcí kameniv vypočítány hmotnosti navážek jednotlivých kameniv.

Tabulka 10.1.4 – Navážky kameniva směsi BBTM 8A 45/80-65

Kamenivo	Procentuální podíl [%]	BBTM 8A - 1.návrh	BBTM 8A - 2.návrh
		Hmotnostní podíl [g]	Hmotnostní podíl [g]
Moučka	5	54,395	56,4
Sloupno 0/4	41	446,039	462,48
Žumberk 4/8	54	587,466	609,12
Celkem	100	1088	1128

V 1. Návrhu byla vyrobena tři Marshallova tělesa a namíchána směs na jedno Marshallovo těleso, která byla použita na zkoušku maximální objemové hmotnosti.

Ve 2. Návrhu byla vyrobena dvě tělesa a také byla připravena směs pro zkoušku maximální objemové hmotnosti.

10.1.3. ROZMĚRY A HMOTNOSTI MARSHALLOVÝCH TĚLES

V následující Tabulce 10.1.5 jsou rozměry a hmotnosti vyrobených Marshallových těles. Stanovení rozměrů a hmotností je provedeno dle kapitoly 9.1.1.

Tabulka 10.1.5 – Rozměry a hmotnosti Marshallových těles směsi BBTM 8A 45/80-65

Rozměry a hmotnosti směsi BBTM 8A 45/80-65							
návrh	% pojiva	označení	h výška [mm]	d průměr [mm]	m₁ suchá [g]	m₂ ve vodě [g]	m₃ nasycená [g]
1.	5,4	KUB 8A1	59,930	102,180	1135,8	666,0	1144,0
		KUB 8A2	53,960	102,150	1033,4	609,3	1037,3
		KUB 8A3	60,790	102,100	1149,1	673,6	1157,1
		průměr	60,475	102,140	1142,5	669,8	1150,55
2.	6,0	KUB 8A4	63,113	101,942	1187,5	693,7	1191,7
		KUB 8A5	64,025	101,600	1198,5	703,5	1203,7
		průměr	63,569	101,771	1193	698,6	1197,7

V prvním návrhu bylo z výpočtu vyřazeno druhé těleso KUB 8A2, pravděpodobně došlo k chybě při navážce, proto se rozměry a hmotnosti tohoto tělesa v dalších výpočtech nezapočítávají.

10.1.4. OBJEMOVÉ HMOTNOSTI TĚLES

Z hmotností a rozměrů Marshallových těles jsou vypočítány objemové hmotnosti dle kapitoly 9.1.2. Objemové hmotnosti uvedené v Tabulce 10.1.6 jsou poté použity pro zjištění mezerovitosti směsi.

Tabulka 10.1.6 – Objemové hmotnosti Marshallových těles směsi BBTM 8A 45/80-65

Stanovení objemové hmotnosti směsi BBTM 8A 45/80-65						
návrh	% pojiva	označení	$\rho_{b,dim}$ z rozměrů [kg/m ³]	průměrná $\rho_{b,dim}$ z rozměrů [kg/m ³]	$\rho_{b,SSD}$ z vážení [kg/m ³]	průměrná $\rho_{b,SSD}$ z vážení [kg/m ³]
1.	5,4	KUB 8A1	2311,190	2309,990	2369,260	2369,500
		KUB 8A3	2308,790		2369,740	
2.	6,0	KUB 8A4	2305,286	2307,109	2377,623	2383,358
		KUB 8A5	2308,932		2389,093	

10.1.5. MAXIMÁLNÍ OBJEMOVÁ HMOTNOST

Maximální objemová hmotnost zkoušených směsí je stanovena dle kapitoly 9.1.3 a výsledky jsou zobrazeny v tabulce 10.1.7 a 10.1.8. Maximální objemová hmotnost těles je použita při vyhodnocení mezerovitosti navržených směsí.

Tabulka 10.1.7 – Maximální objemová hmotnost 1. návrhu směsi BBTM 8A 45/80-65

Stanovení maximální objemové hmotnosti směsi BBTM 8A 45/80-65 – 1. návrh		
Označení pyknometru	I	II
Druh rozpouštědla	voda	trichlor
Prázdny pyknometr - m1 [g]	379	384,2
Pyknometr a vzorek - m2 [g]	884,7	943,3
Pyknometr, vzorek a rozpouštědlo - m3 [g]	1342,9	1580,4
Objem pyknometru – Vp [ml]	658,349	658,008
Hustota rozpouštědla ρ_w [kg/m ³]	997,1	1454
Teplota temperování [°C]	25	25
Max. objemová hmotnost pmv [kg/m ³]	2543,553	2543,243

Tabulka 10.1.8 – Maximální objemová hmotnost 2. návrhu směsi BBTM 8A 45/80-65

Stanovení maximální objemové hmotnosti směsi BBTM 8A 45/80-65 – 2. návrh		
Označení pyknometru	I	II
Druh rozpouštědla	voda	trichlor
Prázdný pyknometr - m1 [g]	379	384,2
Pyknometr a vzorek - m2 [g]	965,7	966,3
Pyknometr, vzorek a rozpouštědlo - m3 [g]	1389,9	1587,9
Objem pyknometru – Vp [ml]	658,349	658,008
Hustota rozpouštědla ρ_w [kg/m ³]	997,1	1454
Teplota temperování [°C]	25	25
Max. objemová hmotnost ρ_{mv} [kg/m ³]	2518,942	2525,405

10.1.6. MEZEROVITOST

Mezerovitost na zkušebních tělesech pro směs BBTM 8A 45/80-65 je zjištěna z objemové hmotnosti z vážení ve vodě a maximální objemové hmotnosti nezhuťné směsi.

Dle požadavků pro tuto směs dle ČSN EN 13108-2 [12] je minimální mezerovitost V_{\min} 3,0 % a maximální mezerovitost V_{\max} 6,0 %. V případě kontrolních zkoušek je V_{\min} 2,0 % a V_{\max} 7,0 %.

V případě **prvního návrhu**, kdy bylo použito dle ČSN EN 13108-2 minimální množství pojiva **5,4** je mezerovitost při použití pyknometru s **vodou** a při počítání s **objemovou hmotností zjištěnou vážením ve vodě** po dosazení do vzorce:

$$V_m = \frac{\rho_m - \rho_b}{\rho_m} * 100 \frac{2543,553 - 2369,500}{2543,553} * 100 = \mathbf{6,843\%}$$

V případě použití pyknometru s **trichlorethylenem** je mezerovitost po dosazení do vzorce:

$$V_m = \frac{\rho_m - \rho_b}{\rho_m} * 100 \frac{2543,243 - 2369,500}{2543,243} * 100 = \mathbf{6,832\%}$$

V obou případech je mezerovitost větší než požadovaná $V_{\max} = 6,0\%$, proto bylo nutné přistoupit ke změně návrhu směsi.

V novém, **druhém návrhu** směsi, byla ponechána stejná křivka zrnitosti, ale bylo zvýšeno dávkování pojiva na **6%**. V případě použití pyknometru s **vodou** a po dosažení do vzorce je mezerovitost:

$$V_m = \frac{\rho_m - \rho_b}{\rho_m} * 100 \frac{2518,942 - 2383,358}{2518,942} * 100 = \mathbf{5,383 \%}$$

V případě použití pyknometru s **trichlorethylenem** je mezerovitost po dosažení do vzorce:

$$V_m = \frac{\rho_m - \rho_b}{\rho_m} * 100 \frac{2525,405 - 2383,358}{2525,405} * 100 = \mathbf{5,625 \%}$$

Druhý návrh směsi vyhovuje maximální mezerovitosti $V_{max} = 6,0 \%$, pro další zkoušky a ověřování požadavků na směs BBTM 8A je použita směs s obsahem asfaltového pojiva 6%.

10.1.7. STANOVENÍ NAVÁŽEK A MNOŽSTVÍ POJIVA NA MARSHALLOVA TĚLESA PRO ZKOUŠKU ODOLNOSTI VŮČI VODĚ (ITSR)

Na zkoušku odolnosti vůči vodě je použit druhý návrh BBTM 8A 45/80-65 který má obsah asfaltového pojiva 6% a splňuje požadavky ČSN EN 13108-2 [12] na maximální mezerovitost $V_{max} = 6,0 \%$.

Z důvodu nižšího počtu rázů (2x25) při hutnění je snížena navážka na jedno Marshallovo těleso o 50 g. U zkoušky ITSR není normou stanovena požadovaná výška těles, avšak je vhodné se i u tohoto návrhu přiblížit výšce $63,5 \text{ mm} \pm 2,5 \text{ mm}$.

V Tabulce 10.1.9 je vypočítáno hmotnostní množství pojiva a kameniva při navážce na jedno Marshallovo těleso.

Tabulka 10.1.9 – Podíl asfaltového pojiva na zkoušku ITSR směsi BBTM 8A 45/80-65

	BBTM 8A - 2.návrh
Celková hmotnost [g]	1150
Podíl asfaltového pojiva [%]	6
Množství pojiva [g]	69
Hmotnost kameniva	1081

V následující Tabulce 10.1.10 jsou dle procentuálního podílu jednotlivých frakcí kameniv vypočítány hmotnosti navážek jednotlivých kameniv.

Tabulka 10.1.10 – Navážky kameniva na zkoušku ITSR směsi BBTM 8A 45/80-65

Kamenivo	Procentuální podíl [%]	BBTM 8A - 2.návrh
		Hmotnostní podíl [g]
Moučka	5	54,05
Sloupno 0/4	41	443,21
Žumberk 4/8	54	583,74
celkem	100	1081

Bylo vyrobeno sedm Marshallových těles, z nich se dle objemových hmotností a vizuálního posouzení vybere šest nejvhodnějších pro zkoušku odolnosti vůči vodě. Výroba zkušebních těles proběhla dle postupu v kapitole 6.

10.1.8. ROZMĚRY A HMOTNOSTI MARSHALLOVÝCH TĚLES

Rozměry a hmotnosti těles (Obrázek 10.1) jsou uvedeny v Tabulce 10.1.11, ze zjištěných rozměrů byla vypočítána objemová hmotnost. Z těles bylo vybráno šest nejvhodnějších s odpovídajícími objemovými hmotnostmi a v rovnoměrném poměru rozděleno na mokré a suché vzorky. Stanovení rozměrů a hmotností je provedeno dle kapitoly 9.1.1.

Tabulka 10.1.11 – Rozměry a hmotnosti na zkoušku ITSR směsi BBTM 8A 45/80-65

Rozměry, hmotnosti a objemové hmotnosti směsi BBTM 8A 45/80-65 pro ITSR					
označení	rozměry		hmotnost suchá [g]	objemová hmotnost $\rho_{b,dim}$ (z rozměrů)	použití
	h [mm]	d [mm]			
8A1	63,25	101,633	1135,8	2213,497898	mokrý
8A2	63,225	102,067	1138,1	2200,056533	mokrý
8A3	63,925	101,717	1131,3	2177,874901	suchý
8A4	63,375	102,083	1143,1	2203,772126	suchý
8A5	62	101,733	1144,7	2271,347393	suchý
8A6	61,5	102,117	1143,7	2270,669174	vyřazen
8A7	62,1	102,033	1145,2	2255,35914	mokrý

Tělesa 8A1, 8A2 a 8A7 byla temperována po dobu 70 hodin při teplotě 40 °C, tělesa 8A3, 8A4 a 8A5 byla ponechána v laboratorní teplotě + 20 °C, těleso 8A6 bylo vyřazeno.



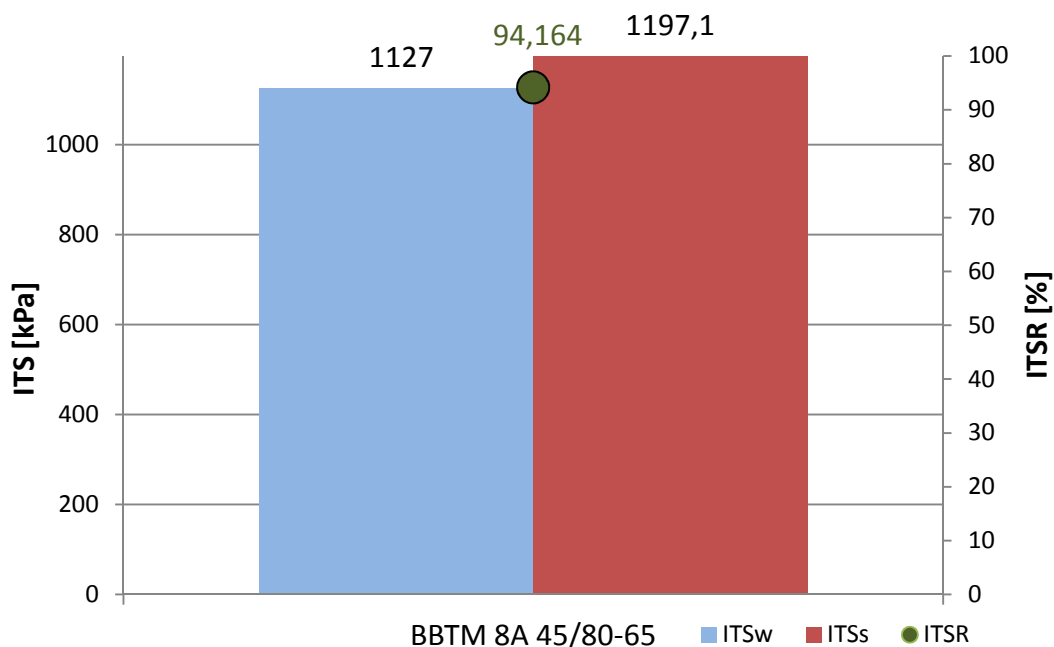
Obrázek 10.1 – Marshallova tělesa směsi BBTM 8A 45/80-65 pro zkoušku ITSr

10.1.9. ODOLNOST VŮČI VODĚ (ITSr)

Odolnost vůči vodě zkoušených těles je stanovena dle kapitoly 9.1.5 a výsledky jsou zobrazeny v tabulce. Minimální kategorie poměru pevnosti v příčném tahu ITSr dle ČSN EN 13108-2 (odstavec 5.5 – Tabulka 6) [12] odpovídá kategorii $ITSr_{NR}$ = bez požadavků. Národní příloha normy ČSN EN 13108-2 [12] uvádí požadavek ITSr 80 % pro BBTM 8 S, BBTM 11 S a BBTM 8 (bez označení) a 70 % pro BBTM 8 +, BBTM 11 + a BBTM 11 (bez označení). Ostatní směsi jsou bez požadavku. Vyhodnocení je provedeno v tabulce 10.1.12 a znázorněno na Grafu 10.1.2.

Tabulka 10.1.12 – Odolnost vůči vodě směsi BBTM 8A 45/80-65

Odolnost vůči vodě směsi BBTM 8A 45/80-65						
označení	použití	pevnost v příčném tahu ITS		odolnost vůči vodě ITSR		
		zatížení P [kN]	přetvoření [mm]	ITS [MPa]	prům ITS	ITSR [%]
8A1	mokrý	11,47	2,61	1,135918	1,127	94,164
8A2	mokrý	10,88	1,83	1,073337		
8A7	mokrý	11,67	2,1	1,172512		
8A3	suchý	11,67	2,19	1,142584	1,197	
8A4	suchý	11,51	2,19	1,1326158		
8A5	suchý	13,04	2,38	1,316142		
8A6	vyřazen					



Graf 10.1.2 – Poměr pevnosti v příčném tahu směsi BBTM 8A 45/80-65

Hodnota ITSR pro směs BBTM 8A 45/80-65 je 94,164 % a je vyšší než minimální požadavek národní přílohy normy ČSN EN 13108-2 [12].

10.1.10. STANOVENÍ NAVÁŽEK A MNOŽSTVÍ POJIVA PRO DESKY

Stanovení navážek kameniva a pojiva a výroba desek lamelovým zhutňovačem je provedeno dle kapitoly 8.

V Tabulce 10.1.13 je vypočítáno hmotnostní množství pojiva a kameniva při navážce na jednu desku. Celková navážka je vypočítána z průměrné objemové hmotnosti z vážení Marshallových těles z 2. návrhu s obsahem pojiva 6%.

Tabulka 10.1.13 – Podíl asfaltového pojiva na desky směsi BBTM 8A 45/80-65

	Navážka
Celková hmotnost [g]	7773
Podíl asfaltového pojiva [%]	6
Množství pojiva [g]	466
Hmotnost kameniva	7307

V následující Tabulce 10.1.14 jsou dle procentuálního podílu jednotlivých frakcí kameniv vypočítány hmotnosti navážek jednotlivých kameniv na jednu desku.

Tabulka 10.1.14 – Navážky kameniva na desky směsi BBTM 8A 45/80-65

		Navážka
Kamenivo	Procentuální podíl [%]	Hmotnostní podíl [g]
Moučka	5	365
Sloupno 0/4	41	2996
Žumberk 4/8	54	3946
celkem	100	7307

Pro zkoušku pojezdu kolem na směsi BBTM 8A 45/80-65 byly vyrobeny dvě desky.

10.1.11. ROZMĚRY, HMOTNOSTI A MÍRA ZHUTNĚNÍ DESEK

V následující tabulce 10.1.15 jsou rozměry a hmotnosti vyrobených desek. Stanovení rozměrů a hmotností je provedeno dle kapitoly 9.1.1.

Tabulka 10.1.15 – Rozměry a hmotnosti desek směsi BBTM 8A 45/80-65

Rozměry a hmotnosti desek směsi BBTM 8A 45/80-65						
označení	h výška [mm]	s šířka [mm]	d délka [mm]	m₁ suchá [g]	m₂ ve vodě [g]	m₃ nasycená [g]
KUB 8A1	40,175	260,675	321,5	7761	4550	7819
KUB 8A2	40,15	261,2	321,5	7784	4583	7834

V tabulce 10.1.16 jsou vypočítány objemové hmotnosti a míra zhutnění vyrobených desek. Stanovení rozměrů a hmotností je provedeno dle kapitoly 9.1.1.

Tabulka 10.1.16 – Objemové hmotnosti a míra zhutnění směsi BBTM 8A 45/80-65

Stanovení objemové hmotnosti směsi BBTM 8A 45/80-65				
označení	$\rho_{b,dim}$ z rozměrů [kg/m³]	$\rho_{b,SSD}$ z vážení [kg/m³]	žádaná obj. hmotnost [kg/m³]	míra zhutnění [%]
KUB 8A1	2234,48	2369,260	2383,358	100,6
KUB 8A2	2308,08	2407,480	2383,358	99,0

Pro zkoušku pojezdu kolem je stanovena míra zhutnění maximálně o 1 % rozdílná, než je žádaná objemová hmotnost. Obě vyrobené desky směsi BBTM 8A 45/80-65 mají míru zhutnění od 99 % do 101 %.

10.1.12. ODOLNOST PROTI VZNIKU TRVALÝCH DEFORMACÍ

Na zhutněných deskách o tloušťce 40 mm je provedena zkouška odolnosti vůči vzniku trvalých deformací popsaná v odstavci 8.2.1. V následujících tabulce 10.1.17 je zaznamenán průběh měření hloubky vyjeté koleje a v Tabulce 10.1.18 jsou vyhodnoceny výsledky zkoušky pojezdu kolem. Výsledné deformace jsou poté vyneseny do Grafu 10.1.3.

Tabulka 10.1.17 – Naměřené hloubky vyjeté koleje směsi BBTM 8A 45/80-65

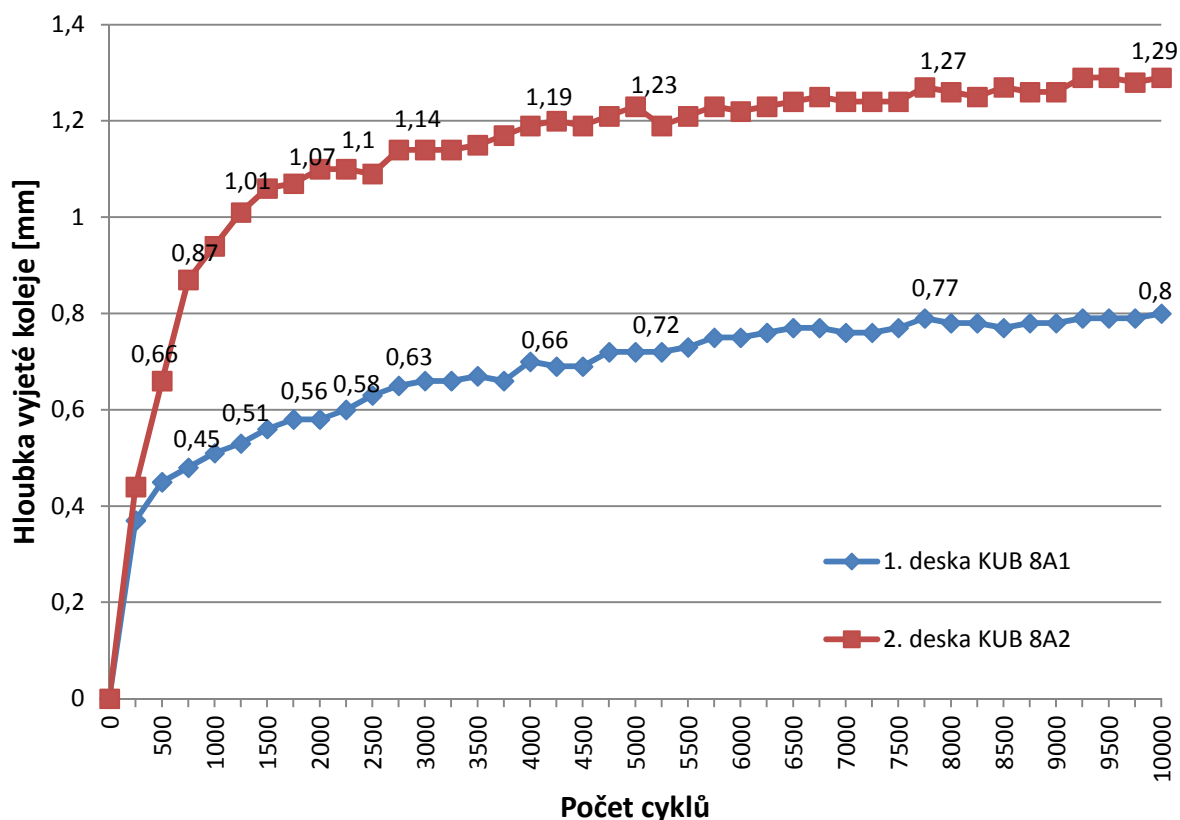
BBTM 8A 45/80-65			1. deska KUB 8A1	2. deska KUB 8A2	1. deska KUB 8A1	2. deska KUB 8A2
počet cyklů	čas	teplota	hloubka 1 odečet z přístroje	hloubka 2 odečet z přístroje	hloubka 1 přepočítaná	hloubka 2 přepočítaná
0	8:19:00	48,7	3,29	-2,21	0	0
250	8:28:52	49,9	3,66	-1,77	0,37	0,44
500	8:38:44	49,9	3,74	-1,55	0,45	0,66
750	8:48:36	50	3,77	-1,34	0,48	0,87
1000	8:58:28	49,9	3,8	-1,27	0,51	0,94
1250	9:08:20	50	3,82	-1,2	0,53	1,01
1500	9:18:12	49,9	3,85	-1,15	0,56	1,06
1750	9:28:04	50	3,87	-1,14	0,58	1,07
2000	9:37:56	50,1	3,87	-1,11	0,58	1,1
2250	9:47:48	50,1	3,89	-1,11	0,6	1,1
2500	9:57:40	50	3,92	-1,12	0,63	1,09
2750	10:07:32	50	3,94	-1,07	0,65	1,14
3000	10:17:24	50,1	3,95	-1,07	0,66	1,14
3250	10:27:16	50,1	3,95	-1,07	0,66	1,14
3500	10:37:08	50,1	3,96	-1,06	0,67	1,15
3750	10:47:00	50,1	3,95	-1,04	0,66	1,17
4000	10:56:52	50,1	3,99	-1,02	0,7	1,19
4250	11:06:44	50,1	3,98	-1,01	0,69	1,2

4500	11:16:36	50,1	3,98	-1,02	0,69	1,19
4750	11:26:28	50,1	4,01	-1	0,72	1,21
5000	11:36:20	50,1	4,01	-0,98	0,72	1,23
5250	11:46:12	50,1	4,01	-1,02	0,72	1,19
5500	11:56:04	50,1	4,02	-1	0,73	1,21
5750	12:05:56	50,1	4,04	-0,98	0,75	1,23
6000	12:15:48	50,1	4,04	-0,99	0,75	1,22
6250	12:25:40	50,1	4,05	-0,98	0,76	1,23
6500	12:35:32	50,1	4,06	-0,97	0,77	1,24
6750	12:45:24	50,1	4,06	-0,96	0,77	1,25
7000	12:55:16	50,1	4,05	-0,97	0,76	1,24
7250	13:05:08	50,1	4,05	-0,97	0,76	1,24
7500	13:15:00	50,1	4,06	-0,97	0,77	1,24
7750	13:24:52	50,1	4,08	-0,94	0,79	1,27
8000	13:34:44	50,1	4,07	-0,95	0,78	1,26
8250	13:44:36	50,1	4,07	-0,96	0,78	1,25
8500	13:54:28	50,1	4,06	-0,94	0,77	1,27
8750	14:04:20	50,1	4,07	-0,95	0,78	1,26
9000	14:14:12	50,1	4,07	-0,95	0,78	1,26
9250	14:24:04	50,1	4,08	-0,92	0,79	1,29
9500	14:33:56	50,1	4,08	-0,92	0,79	1,29
9750	14:43:48	50,1	4,08	-0,93	0,79	1,28
10000	14:53:40	50,1	4,09	-0,92	0,8	1,29

**Tabulka 10.1.18 – Vyhodnocení výsledků zkoušky odolnosti proti vzniku trvalých deformací
na směsi BBTM 8A 45/80-65**

	Označení, jednotka	KUB 8A1	KUB 8A2	Průměr
Přírůstek hloubky vyjeté koleje za 1 000 zatěžovacích cyklů	WTS_{AIR} [mm/10 ³ cyklů]	0,016	0,012	0,014
Hloubka vyjeté koleje při 10 000 zatěžovacích cyklech	RD_{AIR} [mm]	0,80	1,29	1,045
Poměrná hloubka vyjeté koleje při 10 000 zatěžovacích cyklech	PRD_{AIR} [%]	2,0	3,2	2,6

Průběh hloubky vyjeté koleje



Graf 10.1.3 – Porovnání průběhu hloubky vyjeté koleje na deskách BBTM 8A 45/80-65

Pro směsi asfaltového koberce velmi tenkého není dle ČSN EN 13108-2 definován požadavek na hloubku vyjeté koleje. Dle této normy patří směs BBTM do kategorie maximální poměrné hloubky P_5 , což je nejvyšší kategorie.

Při porovnání s asfaltovým betonem (AC) dle ČSN EN 13108-1 [15] kapitoly 5.2.6 Tabulky 8 a 9 – Odolnost proti trvalé deformaci, jsou nejvyšší kategorie, maximální přírůstek hloubky vyjeté koleje ($WTS_{AIR0,03}=0,03$ mm/h) a maximální poměrná hloubka vyjeté koleje ($PRD_{AIR1,0}=1,0$ %). Z hlediska přírůstku hloubky vyjeté koleje je směs BBTM 8A 54/80-65 ($WTS_{AIR}=0,014$ mm/h) odolnější než nejvyšší kategorie asfaltového betonu. Z hlediska poměrné hloubky ($PRD_{AIR}=2,6$ %) by však tato směs spadala do nižších kategorií.

10.2. SMĚS BBTM 8B 45/80-65

10.2.1. NÁVRH ČÁRY ZRNITOSTI

Čára zrnitosti byla navržena v programu, kde se snažíme navrhnout změnami procentuálního zastoupení frakcí kameniva čáru zrnitosti v zadaných mezích dle normy ČSN

EN 13108-2 [12]. V následující tabulce 10.2.1 je výsledné procentuální rozložení jednotlivých frakcí.

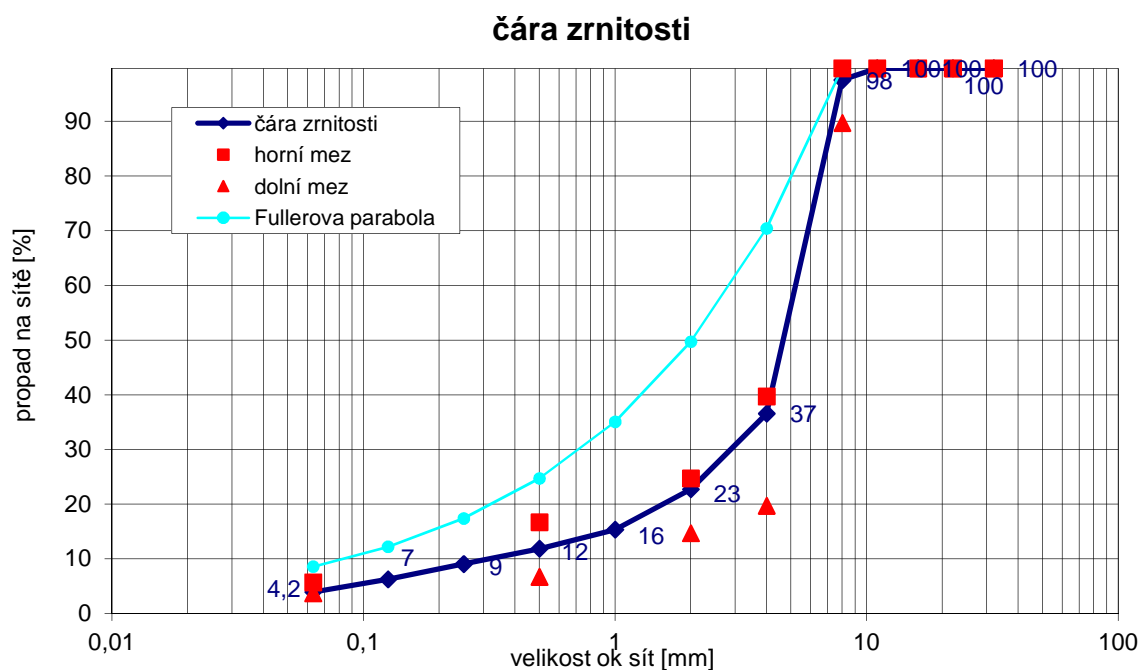
Tabulka 10.2.1 – Skladba kameniva směsi BBTM 8B 45/80-65

Kamenivo	Žumberk 4/8	Sloupno 0/4	Moučka
Složení	65 %	35 %	0 %

V tabulce 10.2.2 jsou zadané meze a výsledná čára zrnitosti, kterou se podařilo umístit do mezí a nepřekračuje ani horní ani dolní mez uvedenou v požadavcích pro danou směs. Čára zrnitosti je vyznačena v grafu 10.2.1.

Tabulka 10.2.2 – Normové meze směsi BBTM 8B 45/80-65

	d.mez	BBTM 8B 13108-2	h.mez	meze	fuller
11	100	100,0	100	OK	-
8	90	97,9	100	OK	100,0
4	20	36,9	40	OK	70,7
2	15	23,0	25	OK	50,0
1		15,7		bez meze	35,4
0,5	7	12,2	17	OK	25,0
0,25		9,4		bez meze	17,7
0,125		6,6		bez meze	12,5
0,063	4	4,2	6	OK	8,9



Graf 10.2.1 – Čára zrnitosti směsi BBTM 8B 45/80-65

10.2.2. STANOVENÍ NAVÁŽEK A MNOŽSTVÍ POJIVA NA MARSHALLOVA TĚLESA PRO KONTROLU NÁVRHU SMĚSI

V případě návrhu směsi BBTM 8B 45/80-65 nebylo použito minimální množství pojiva 5,2 % dané v požadavcích na směr dle ČSN EN 13108-2 [12]. Ze zkušeností s návrhem BBTM 8A 45/80-65 bylo jako optimální množství pojiva navrženo 5,5%.

Provedení navážek a výroba Marshallových těles proběhla dle kapitoly 6.

V Tabulce 10.2.3 je vypočítána navážka na jedno Marshallovo těleso. Jelikož v případě prvních tří Marshallových těles byla výška těles příliš velká, byla vyrobena další dvě tělesa, na která byla vypočítána navážka tak, aby byla přibližná výška $63,5 \text{ mm} \pm 2,5 \text{ mm}$ dle ČSN EN 12697-30 kapitola 5 [8].

Tabulka 10.2.3 – Podíl asfaltového pojiva směsi BBTM 8B 45/80-65

	BBTM 8B - 1.navážka	BBTM 8B - 2.navážka
Celková hmotnost [g]	1200	1120
Podíl asfaltového pojiva [%]	5,5	5,5
Množství pojiva [g]	66	61,6
Hmotnost kameniva	1134	1058,4

V následující Tabulce 10.2.4 jsou dle procentuálního podílu jednotlivých frakcí kameniv vypočítány hmotnosti navážek jednotlivých kameniv.

Tabulka 10.2.4 – Navážky kameniva směsi BBTM 8B 45/80-65

		BBTM 8B - 1.navážka	BBTM 8B - 2.navážka
Kamenivo	Procentuální podíl [%]	Hmotnostní podíl [g]	Hmotnostní podíl [g]
Moučka	0	0	0
Sloupno 0/4	35	396,9	370,44
Žumberk 4/8	65	737,1	687,96
Celkem	100	1134	1058,4

Nejdříve byla vyrobena tři Marshallova tělesa s hmotnostními podíly dle 1. navážky a připravena směs pro zkoušku maximální objemové hmotnosti. Poté byla vyrobena dvě Marshallova tělesa s nižší navážkou kameniva a pojiva.

10.2.3. ROZMĚRY A HMOTNOSTI MARSHALLOVÝCH TĚLES

V následující Tabulce 10.2.5 jsou rozměry a hmotnosti vyrobených Marshallových těles. Stanovení rozměrů a hmotností je provedeno dle kapitoly 9.1.1.

Tabulka 10.2.5 – Rozměry a hmotnosti Marshallových těles směsi BBTM 8B 45/80-65

Rozměry a hmotnosti směsi BBTM 8B 45/80-65						
navážka	označení	h výška [mm]	d průměr [mm]	m ₁ suchá [g]	m ₂ ve vodě [g]	m ₃ nasycená [g]
1.	KUB 8B1	66,525	102,050	1181,5	723	1201,9
	KUB 8B2	70,025	101,700	1233,7	766	1257,2
	KUB 8B3	68,475	102,067	1184,4	740	1215,3
	průměr	68,342	101,939	1199,867	743	1224,8
2.	KUB 8B4	63,500	101,683	1102,9	636	1124,8
	KUB 8B5	63,225	102,067	1119,3	642,5	1138,5
	průměr	63,363	101,875	1111,1	639,25	1131,65

U prvních tří těles z 1. navážky došlo pravděpodobně k chybě při vážení ve vodě, navíc mají vyšší než požadovanou výšku dle ČSN EN 12697-30 kapitoly 5 [8]. Díky velké výšce také pravděpodobně nedošlo k dostatečnému zhutnění, což by znamenalo i vyšší mezerovitost směsi. Proto v dalších výpočtech bylo použito pouze těleso KUB 8B4, KUB 8B5 a průměr těchto dvou těles.

10.2.4. OBJEMOVÉ HMOTNOSTI TĚLES

Z hmotností a rozměrů Marshallových těles jsou vypočítány objemové hmotnosti dle kapitoly 9.1.2. Objemové hmotnosti v Tabulce 10.2.6 jsou poté použity pro zjištění mezerovitosti směsi.

Tabulka 10.2.6 – Objemové hmotnosti Marshallových těles směsi BBTM 8B 45/80-65

Stanovení objemové hmotnosti směsi BBTM 8B 45/80-65					
navážka	označení	$\rho_{b,dim}$ z rozměrů [kg/m ³]	průměrná $\rho_{b,dim}$ z rozměrů [kg/m ³]	$\rho_{b,SSD}$ z vážení [kg/m ³]	průměrná $\rho_{b,SSD}$ z vážení [kg/m ³]
1.	KUB 8B1	2171,366	2151,403	2459,958	2482,984
	KUB 8B2	2168,826		2504,321	
	KUB 8B3	2114,018		2484,673	
2.	KUB 8B4	2138,814	2151,264	2249,799	2249,954
	KUB 8B5	2163,714		2250,109	

Z objemové hmotnosti zjištěné vážením je patrné, že pravděpodobně došlo k chybě při vážení, objemová hmotnost zjištěná z rozměrů je však u všech těles velmi podobná.

Objemová hmotnost z vážení ve vodě je větší než objemová hmotnost z rozměrů z důvodu vysoké mezerovitosti směsi, proto u této směsi používáme do výpočtu objemovou hmotnost zjištěnou z rozměrů.

10.2.5. MAXIMÁLNÍ OBJEMOVÁ HMOTNOST

Maximální objemová hmotnost zkoušených směsí je stanovena dle kapitoly 9.1.3 a výsledky jsou zobrazeny v tabulce 10.2.7. Maximální objemová hmotnost těles je použita při vyhodnocení mezerovitosti navržených směsí.

Tabulka 10.2.7 – Maximální objemová hmotnost směsi BBTM 8B 45/80-65

Stanovení maximální objemové hmotnosti směsi BBTM 8B 45/80-65		
Označení pyknometru	I	II
Druh rozpouštědla	voda	trichlor
Prázdný pyknometr - m1 [g]	379	384,2
Pyknometr a vzorek - m2 [g]	932,7	930,5
Pyknometr, vzorek a rozpouštědlo - m3 [g]	1371,8	1574
Objem pyknometru – Vp [ml]	658,349	658,008
Hustota rozpouštědla ρ_w [kg/m³]	997,1	1454
Teplota temperování [°C]	25	25
Max. objemová hmotnost pmv [kg/m³]	2540,236	2535,790

10.2.6. MEZEROVITOST

Mezerovitost na zkušebních tělesech pro směs BBTM 8B 45/80-65 je zjištěna z objemové hmotnosti z rozměrů Marshallových těles a maximální objemové hmotnosti nezhuštěné směsi.

Dle požadavků pro tuto směs dle ČSN EN 13108-2 [12] je minimální mezerovitost V_{\min} 11,0 % a maximální mezerovitost V_{\max} 15,0 %. V případě kontrolních zkoušek je V_{\min} 10,0 % a V_{\max} 16,0 %.

V případě návrhu směsi BBTM 8B 45/80-65 kdy bylo použito množství pojiva ve směsi 5,5% (minimální množství pojiva dle ČSN EN 13108-2 [12] je 5,2%) je mezerovitost při použití pyknometru s **vodou** a při počítání s **objemovou hmotností zjištěnou z rozměrů** po dosažení do vzorce:

$$V_m = \frac{\rho_m - \rho_b}{\rho_m} * 100 \frac{2540,236 - 2151,264}{2540,236} * 100 = 15,312 \%$$

V případě použití pyknometru s **trichlorethylenem** je mezerovitost po dosažení do vzorce:

$$V_m = \frac{\rho_m - \rho_b}{\rho_m} * 100 \frac{2535,790 - 2151,264}{2535,790} * 100 = 15,164 \%$$

V obou případech mezerovitost lehce překračuje požadovanou $V_{max} = 15,0 \%$, avšak po vizuálním posouzení těles z druhé navážky bylo rozhodnuto, že zvýšení obsahu pojiva v tomto laboratorním návrhu na získání zkušeností s touto směsí není nutné a v dalším posouzení bude použita stejná směs BBTM 8B 45/80-65 s množstvím pojiva 5,5%.

10.2.7. STANOVENÍ NAVÁŽEK A MNOŽSTVÍ POJIVA NA MARSHALLOVA TĚLESA PRO ZKOUŠKU ODOLNOSTI VŮČI VODĚ (ITSR)

Z důvodu nižšího počtu rázů (2x25) při hutnění je snížena navážka na jedno Marshallovo těleso o 50 g oproti druhé navážce. U zkoušky ITSR není normou stanovena požadovaná výška těles, avšak je vhodné se i u tohoto návrhu přiblížit výšce $63,5 \text{ mm} \pm 2,5 \text{ mm}$.

V Tabulce 10.2.8 je vypočítáno hmotnostní množství pojiva a kameniva při navážce na jedno Marshallovo těleso.

Tabulka 10.2.8 – Podíl asfaltového pojiva na zkoušku ITSR směsi BBTM 8B 45/80-65

BBTM 8B 45/80-65	
Celková hmotnost [g]	1070
Podíl asfaltového pojiva [%]	5,5
Množství pojiva [g]	58,9
Hmotnost kameniva	1011,1

V následující Tabulce 10.2.9 jsou dle procentuálního podílu jednotlivých frakcí kameniv vypočítány hmotnosti navážek jednotlivých kameniv.

Tabulka 10.2.9 – Navážky kameniva na zkoušku ITSR směsi BBTM 8B 45/80-65

BBTM 8B 45/80-65		
Kamenivo	Procentuální podíl [%]	Hmotnostní podíl [g]
Moučka	0	0
Sloupno 0/4	35	353,9
Žumberk 4/8	65	657,2
Celkem	100	1011,1

Bylo vyrobeno sedm Marshallových těles, z nich se dle objemových hmotností a vizuálního posouzení vybere šest nejvhodnějších pro zkoušku odolnosti vůči vodě. Výroba zkušebních těles proběhla dle postupu v kapitole 7.

10.2.8. ROZMĚRY A HMOTNOSTI MARSHALLOVÝCH TĚLES

Rozměry a hmotnosti těles (Obrázek 10.2) jsou uvedeny v Tabulce 10.2.10, ze zjištěných rozměrů byla vypočítána objemová hmotnost. Z těles bylo vybráno šest nejvhodnějších s odpovídajícími objemovými hmotnostmi a v rovnoměrném poměru rozděleno na mokré a suché vzorky. Stanovení rozměrů a hmotností je provedeno dle kapitoly 9.1.1.

Tabulka 10.2.10 – Rozměry a hmotnosti na zkoušku ITSR směsi BBTM 8B 45/80-65

Rozměry, hmotnosti a objemové hmotnosti směsi BBTM 8B 45/80-65 pro ITSR					
označení	rozměry		hmotnost suchá [g]	objemová hmotnost $\rho_{b,dim}$ (z rozměrů)	použití
	h [mm]	d [mm]			
8B1	63,175	102,05	1063,6	2058,340307	mokrý
8B2	61,65	102,05	1059,8	2101,720376	suchý
8B3	61,525	102,1167	1055,2	2094,112547	mokrý
8B4	62	101,7667	1064,1	2110,035554	mokrý
8B5	61	102,0667	1064,2	2132,23798	vyřazen
8B6	61,45	101,6833	1059,7	2123,594621	suchý
8B7	62,7	102,1	1062,2	2069,175801	suchý

Tělesa 8B1, 8B3 a 8B4 byla temperována po dobu 70 hodin při teplotě 40 °C, tělesa 8B2, 8B6 a 8B7 byla ponechána v laboratorní teplotě + 20 °C, těleso 8B5 bylo vyřazeno.



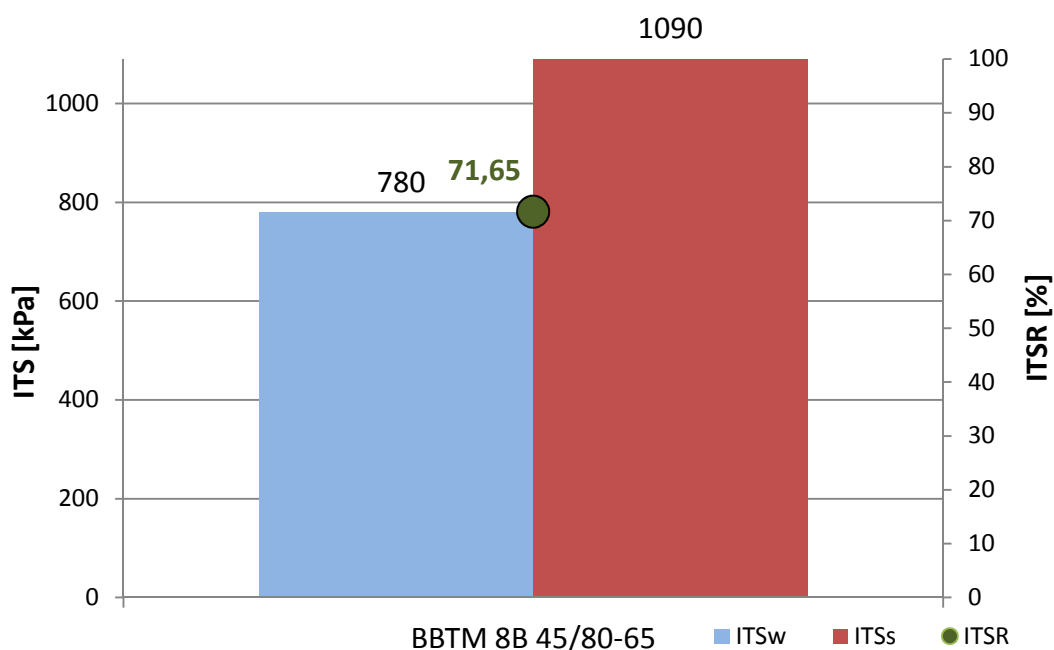
Obrázek 10.2 - Marshallova tělesa směsi BBTM 8B 45/80-65 pro zkoušku ITSR

10.2.9. ODOLNOST VŮČI VODĚ (ITSR)

Odolnost vůči vodě zkoušených těles je stanovena dle kapitoly 9.1.5 a výsledky jsou zobrazeny v tabulce 10.2.11. Minimální kategorie poměru pevnosti v příčném tahu ITSR dle ČSN EN 13108-2 (odstavec 5.5 – Tabulka 6) [12] odpovídá kategorii $ITSR_{NR}$ = bez požadavků. Národní příloha normy ČSN EN 13108-2 uvádí požadavek ITSR 80 % pro BBTM 8 S, BBTM 11 S a BBTM 8 (bez označení) a 70 % pro BBTM 8 +, BBTM 11 + a BBTM 11 (bez označení). Ostatní směsi jsou bez požadavku. Vyhodnocení je provedeno v tabulce 10.2.11 a znázorněno na Grafu 10.2.2.

Tabulka 10.2.11 – Odolnost vůči vodě směsi BBTM 8B 45/80-65

Odolnost vůči vodě směsi BBTM 8B 45/80-65						
označení	použití	pevnost v příčném tahu ITS		odolnost vůči vodě ITSR		
		zatížení P [kN]	přetvoření [mm]	ITS [MPa]	prům ITS	ITSR [%]
8B1	mokrý	6,929	1,95	0,684215	0,78	71,65
8B3	mokrý	8,043	1,82	0,814986		
8B4	mokrý	8,367	2,41	0,844214		
8B2	suchý	10,53	1,88	1,065522	1,09	
8B6	suchý	11,12	2,08	1,1329565		
8B7	suchý	10,78	1,98	1,0720267		
8B5	vyřazen					



Graf 10.2.2 – Poměr pevnosti v příčném tahu směsi BBTM 8B 45/80-65

Hodnota ITSR pro směs BBTM 8B 45/80-65 je 71,65 % a je vyšší než minimální požadavek (70% pro směs BBTM 8 +) národní přílohy normy ČSN EN 13108-2 [12].

10.2.10. STANOVENÍ NAVÁŽEK A MNOŽSTVÍ POJIVA PRO DESKY

Stanovení navážek kameniva a pojiva a výroba desek lamelovým zhutňovačem je provedeno dle kapitoly 8.

V Tabulce 10.2.12 je vypočítáno hmotnostní množství pojiva a kameniva při navážce na jednu desku. Celková navážka je vypočítána z průměrné objemové hmotnosti z rozměrů Marshallových těles.

Tabulka 10.2.12 – Podíl asfaltového pojiva na desky směsi BBTM 8B 45/80-65

	Navážka
Celková hmotnost [g]	7016
Podíl asfaltového pojiva [%]	5,5
Množství pojiva [g]	386
Hmotnost kameniva	6630

V následující Tabulce 10.2.13 jsou dle procentuálního podílu jednotlivých frakcí kameniv vypočítány hmotnosti navážek jednotlivých kameniv na jednu desku.

Tabulka 10.2.13 – Navážky kameniva na desky směsi BBTM 8B 45/80-65

		Navážka
Kamenivo	Procentuální podíl [%]	Hmotnostní podíl [g]
Moučka	5	0
Sloupno 0/4	41	2321
Žumberk 4/8	54	4310
Celkem	100	6630

Pro zkoušku pojezdu kolem na směsi BBTM 8B 45/80-65 byly vyrobeny dvě desky.

10.2.11. ROZMĚRY, HMOTNOSTI A MÍRA ZHUTNĚNÍ DESEK

V následující tabulce 10.2.14 jsou rozměry a hmotnosti vyrobených desek. Stanovení rozměrů a hmotností je provedeno dle kapitoly 9.1.1.

Tabulka 10.2.14 – Rozměry a hmotnosti desek směsi BBTM 8B 45/80-65

Rozměry a hmotnosti desek směsi BBTM 8B 45/80-65						
označení	h výška [mm]	s šířka [mm]	d délka [mm]	m₁ suchá [g]	m₂ ve vodě [g]	m₃ nasycená [g]
KUB 8B1	39,95	260,475	321,25	7032	4100	7224
KUB 8B2	39,95	260,775	321,625	7023	4085	7213

V tabulce 10.2.15 jsou vypočítány objemové hmotnosti a míra zhutnění vyrobených desek.

Tabulka 10.2.15 – Objemové hmotnosti a míra zhutnění směsi BBTM 8B 45/80-65

Stanovení objemové hmotnosti směsi BBTM 8B 45/80-65				
označení	$\rho_{b,dim}$ z rozměrů [kg/m ³]	$\rho_{b,SSD}$ z vážení [kg/m ³]	žádaná obj. hmotnost [kg/m ³]	míra zhutnění [%]
KUB 8B1	2103,55	2244,43	2249,95	99,75
KUB 8B2	2095,99	2238,69	2249,95	99,50

Pro zkoušku pojezdu kolem je stanovena míra zhutnění maximálně o 1 % rozdílná, než je žádaná objemová hmotnost. Obě vyrobené desky směsi BBTM 8A 45/80-65 mají míru zhutnění od 99 % do 101 %.

10.2.12. ODOLNOST PROTI VZNIKU TRVALÝCH DEFORMACÍ

Na zhutněných deskách o tloušťce 40 mm je provedena zkouška odolnosti vůči vzniku trvalých deformací popsána v odstavci 9.2.1. V následujících tabulce 10.2.16 je zaznamenán průběh měření hloubky vyjeté koleje a v Tabulce 10.2.17 jsou vyhodnoceny výsledky zkoušky pojezdu kolem. Výsledné deformace jsou poté vyneseny do Grafu 10.2.3.

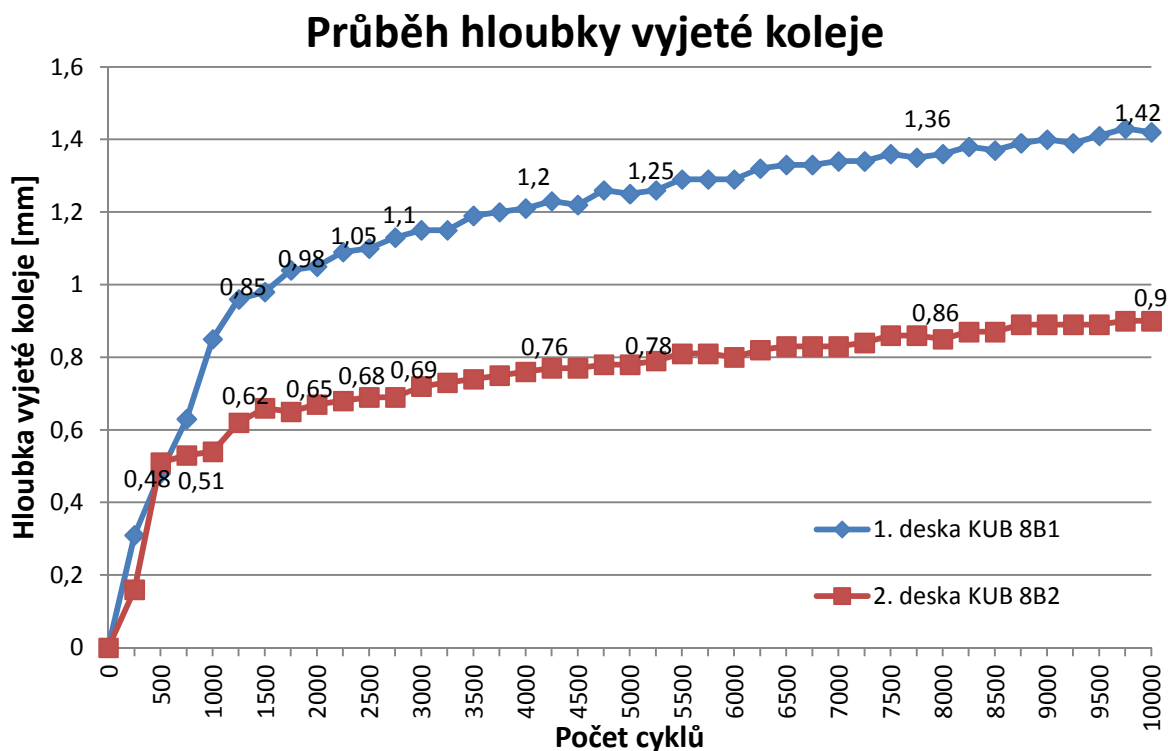
Tabulka 10.2.16 – Naměřené hloubky vyjeté koleje směsi BBTM 8B 45/80-65

BBTM 8B 45/80-65			1. deska KUB 8B1	2. deska KUB 8B2	1. deska KUB 8B1	2. deska KUB 8B2
počet cyklů	čas	teplota	hloubka 1 odečet z přístroje	hloubka 2 odečet z přístroje	hloubka 1 přepočítaná	hloubka 2 přepočítaná
0	8:19:00	48,7	3,48	-1,7	0	0
250	8:28:52	49,9	3,79	-1,54	0,31	0,16
500	8:38:44	49,9	3,96	-1,19	0,48	0,51
750	8:48:36	50	4,11	-1,17	0,63	0,53
1000	8:58:28	49,9	4,33	-1,16	0,85	0,54
1250	9:08:20	50	4,44	-1,08	0,96	0,62
1500	9:18:12	49,9	4,46	-1,04	0,98	0,66
1750	9:28:04	50	4,52	-1,05	1,04	0,65
2000	9:37:56	50,1	4,53	-1,03	1,05	0,67
2250	9:47:48	50,1	4,57	-1,02	1,09	0,68
2500	9:57:40	50	4,58	-1,01	1,1	0,69
2750	10:07:32	50	4,61	-1,01	1,13	0,69
3000	10:17:24	50,1	4,63	-0,98	1,15	0,72
3250	10:27:16	50,1	4,63	-0,97	1,15	0,73
3500	10:37:08	50,1	4,67	-0,96	1,19	0,74
3750	10:47:00	50,1	4,68	-0,95	1,2	0,75
4000	10:56:52	50,1	4,69	-0,94	1,21	0,76
4250	11:06:44	50,1	4,71	-0,93	1,23	0,77

4500	11:16:36	50,1	4,7	-0,93	1,22	0,77
4750	11:26:28	50,1	4,74	-0,92	1,26	0,78
5000	11:36:20	50,1	4,73	-0,92	1,25	0,78
5250	11:46:12	50,1	4,74	-0,91	1,26	0,79
5500	11:56:04	50,1	4,77	-0,89	1,29	0,81
5750	12:05:56	50,1	4,77	-0,89	1,29	0,81
6000	12:15:48	50,1	4,77	-0,9	1,29	0,8
6250	12:25:40	50,1	4,8	-0,88	1,32	0,82
6500	12:35:32	50,1	4,81	-0,87	1,33	0,83
6750	12:45:24	50,1	4,81	-0,87	1,33	0,83
7000	12:55:16	50,1	4,82	-0,87	1,34	0,83
7250	13:05:08	50,1	4,82	-0,86	1,34	0,84
7500	13:15:00	50,1	4,84	-0,84	1,36	0,86
7750	13:24:52	50,1	4,83	-0,84	1,35	0,86
8000	13:34:44	50,1	4,84	-0,85	1,36	0,85
8250	13:44:36	50,1	4,86	-0,83	1,38	0,87
8500	13:54:28	50,1	4,85	-0,83	1,37	0,87
8750	14:04:20	50,1	4,87	-0,81	1,39	0,89
9000	14:14:12	50,1	4,88	-0,81	1,4	0,89
9250	14:24:04	50,1	4,87	-0,81	1,39	0,89
9500	14:33:56	50,1	4,89	-0,81	1,41	0,89
9750	14:43:48	50,1	4,91	-0,8	1,43	0,9
10000	14:53:40	50,1	4,9	-0,8	1,42	0,9

**Tabulka 10.2.17 – Vyhodnocení výsledků zkoušky odolnosti proti vzniku trvalých deformací
na směsi BBTM 8B 45/80-65**

	Označení, jednotka	KUB 8B1	KUB 8B2	Průměr
Přírůstek hloubky vyjeté koleje za 1 000 zatěžovacích cyklů	WTS_{AIR} [mm/10 ³ cyklů]	0,034	0,024	0,029
Hloubka vyjeté koleje při 10 000 zatěžovacích cyklech	RD_{AIR} [mm]	1,42	0,9	1,16
Poměrná hloubka vyjeté koleje při 10 000 zatěžovacích cyklech	PRD_{AIR} [%]	3,55	2,25	2,9



Graf 10.2.3 – Porovnání průběhu hloubky vyjeté koleje na deskách BBTM 8B 45/80-65

Pro směsi asfaltového koberce velmi tenkého není dle ČSN EN 13108-2 [12] definován požadavek na hloubku vyjeté koleje. Dle této normy patří směs BBTM do kategorie maximální poměrné hloubky P_5 , což je nejvyšší kategorie.

Při porovnání s asfaltovým betonem (AC) dle ČSN EN 13108-1 [15] kapitoly 5.2.6 Tabulky 8 a 9 – Odolnost proti trvalé deformaci, jsou nejvyšší kategorie, maximální přírůstek hloubky vyjeté koleje ($WTS_{AIR0,03}=0,03$ mm/h) a maximální poměrná hloubka vyjeté koleje ($PRD_{AIR1,0}=1,0$ %). Z hlediska přírůstku hloubky vyjeté koleje je směs BBTM 8B 54/80-65 ($WTS_{AIR}=0,029$ mm/h) srovnatelná s nejvyšší kategorií asfaltového betonu. Z hlediska poměrné hloubky ($PRD_{AIR}=2,9$ %) by však tato směs spadala do nižších kategorií.

10.3. SMĚS BBTM 4 50/70

10.3.1. NÁVRH ČÁRY ZRNITOSTI

Čára zrnitosti byla navržena v programu, kde se snažíme navrhnout změnami procentuálního zastoupení frakcí kameniva čáru zrnitosti v zadaných mezích dle normy ČSN EN 13108-2 [12].

V následující tabulce 10.3.1 je výsledné procentuální rozložení jednotlivých frakcí u směsi BBTM 4 50/70 na horní mezi zrnitosti.

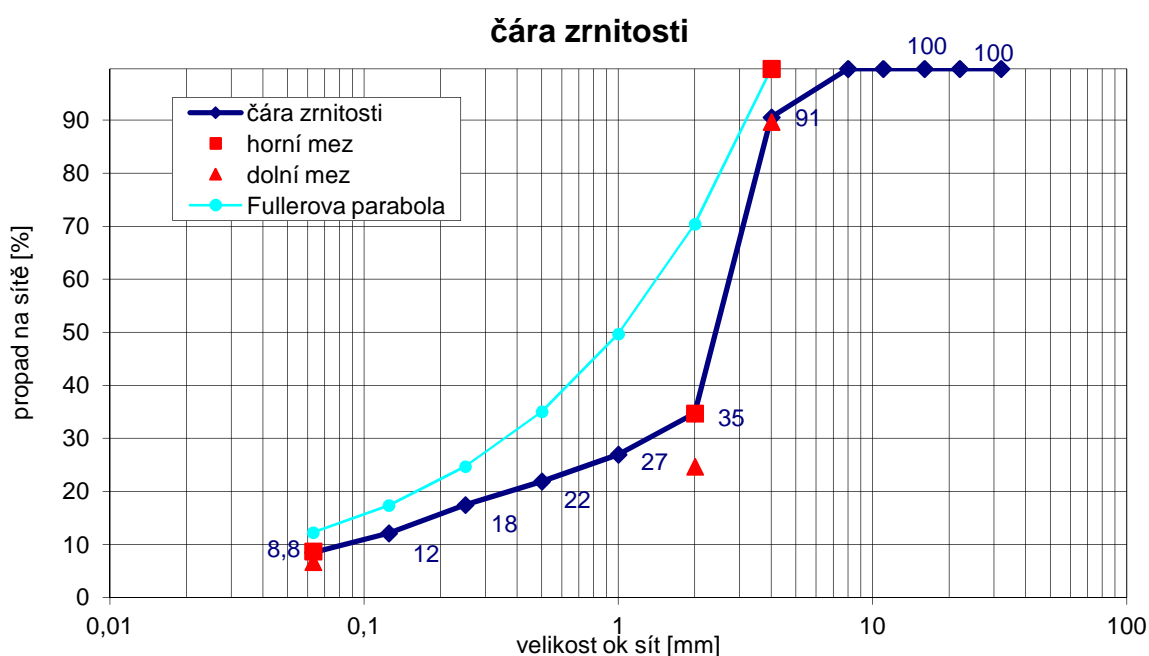
Tabulka 10.3.1 – Skladba kameniva směsi BBTM 4 50/70 na horní mezi

Kamenivo	Luleč 2/4	Luleč 0/4	moučka Mokrá
Složení	56,5 %	35 %	8,5 %

V tabulce 10.3.2 jsou zadané meze a výsledná čára zrnitosti, kterou se podařilo umístit co nejbližě horní mezi zrnitosti uvedené v požadavcích pro danou směs. Čára zrnitosti je vyznačena v grafu 10.3.1.

Tabulka 10.3.2 – Normové meze směsi BBTM 4 50/70 na horní mezi

	d.mez	BBTM 4 13108-2	h.mez	meze	fuller
8		100,0		bez meze	-
4	90	90,9	100	OK	100,0
2	25	35,1	35	NAD	70,7
1		27,3		bez meze	50,0
0,5		22,2		bez meze	35,4
0,25		17,8		bez meze	25,0
0,125		12,4		bez meze	17,7
0,063	7	8,8	9	OK	12,5



Graf 10.3.1 – Čára zrnitosti směsi BBTM 4 50/70 na horní mezi

V následující tabulce 10.3.3 je výsledné procentuální rozložení jednotlivých frakcí u směsi BBTM 4 50/70 na dolní mezi zrnitosti.

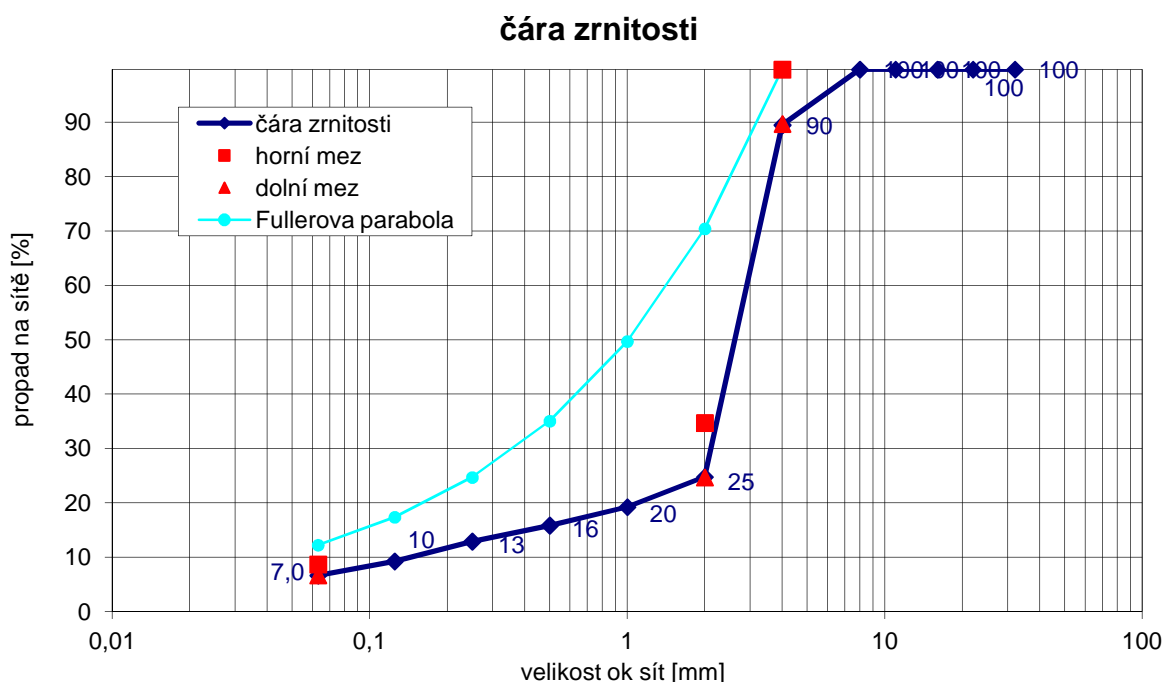
Tabulka 10.3.3 – Skladba kameniva směsi BBTM 4 50/70 na dolní mezi

Kamenivo	Luleč 2/4	Luleč 0/4	moučka Mokrá
Skladba	70,5 %	23 %	6,5 %

V tabulce 10.3.4 jsou zadané meze a výsledná čára zrnitosti, kterou se podařilo umístit co nejbližě dolní mezi zrnitosti uvedené v požadavcích pro danou směs. Čára zrnitosti je vyznačena v grafu 10.3.2.

Tabulka 10.3.4 – Normové meze směsi BBTM 4 50/70 na dolní mezi

	d.mez	BBTM 4 13108-2	h.mez	meze	fuller
8		100,0		bez meze	-
4	90	89,8	100	POD	100,0
2	25	25,1	35	OK	70,7
1		19,5		bez meze	50,0
0,5		16,2		bez meze	35,4
0,25		13,2		bez meze	25,0
0,125		9,6		bez meze	17,7
0,063	7	7,0	9	POD	12,5



Graf 10.3.2 – Čára zrnitosti směsi BBTM 4 50/70 na dolní mezi

10.3.2. STANOVENÍ NAVÁŽEK A MNOŽSTVÍ POJIVA NA MARSHALLOVA TĚLESA PRO KONTROLU NÁVRHU SMĚSI

V případě návrhu směsi BBTM 4 50/70 kopírujícím horní mez zrnitosti bylo použito 7 % asfaltového pojiva. V případě návrhu směsi BBTM 4 50/70 kopírujícím dolní mez zrnitosti bylo použito 6 % asfaltového pojiva. Dle požadavků na směs v ČSN EN 13108-2 [12] je minimální množství pojiva 5,4%.

Provedení navážek a výroba Marshallových těles proběhla dle kapitoly 7. V Tabulce 10.3.5 je vypočítána navážka na jedno Marshallovo těleso pro každý z návrhů návrhy.

Tabulka 10.3.5 – Podíl asfaltového pojiva směsi BBTM 4 50/70

	BBTM 4 – horní mez	BBTM 4 – dolní mez
Celková hmotnost [g]	1150	1180
Podíl asfaltového pojiva [%]	7	6
Množství pojiva [g]	80,5	70,8
Hmotnost kameniva	1069,5	1109,2

V následující Tabulce 10.3.6 jsou dle procentuálního podílu jednotlivých frakcí kameniv vypočítány hmotnosti navážek jednotlivých kameniv.

Tabulka 10.3.6 – Navážky kameniva směsi BBTM 4 50/70

Kamenivo	BBTM 4 navážka na horní mez		BBTM 4 navážka na dolní mez	
	Procentuální podíl [%]	Hmotnostní podíl [g]	Procentuální podíl [%]	Hmotnostní podíl [g]
Moučka Mokrá	8,5	90,9	6,5	72,1
Luleč 0/4	35	374,3	23	255,1
Luleč 2/4	56,5	604,3	70,5	782,0
Celkem	100	1069,5	100	1109,2

Pro každý z návrhů byla vyrobena dvě Marshallova tělesa.

10.3.3. ROZMĚRY A HMOTNOSTI MARSHALLOVÝCH TĚLES

V následujících tabulkách jsou rozměry a hmotnosti vyrobených Marshallových těles. Stanovení rozměrů a hmotností je provedeno dle kapitoly 9.1.1.

Tabulka 10.3.7 – Rozměry a hmotnosti Marshallových těles směsi BBTM 4 50/70

Rozměry a hmotnosti směsi BBTM 4 50/70						
navážka	označení	h výška [mm]	d průměr [mm]	m ₁ suchá [g]	m ₂ ve vodě [g]	m ₃ nasycená [g]
BBTM4 horní mez	KUB 4H1	64,000	101,717	1140,500	632,700	1143,500
	KUB 4H2	63,950	102,167	1144,900	635,500	1148,900
	průměr	63,975	101,942	1142,700	634,100	1146,200
BBTM 4 dolní mez	KUB 4D1	69,775	102,083	1168,900	643,900	1195,900
	KUB 4D2	69,325	102,100	1154,100	639,200	1187,500
	průměr	69,550	102,092	1161,500	641,550	1191,700

Marshallova tělesa vyrobená z návrhu pro dolní mez zrnitosti směsi BBTM 4 50/70 mají vyšší než požadovanou výšku 63,5 mm ± 2,5 dle ČSN EN 12697-30 kapitoly 5 [8]. Díky větší výšce také pravděpodobně nedošlo k dostatečnému zhutnění, což by znamenalo i nepatrně vyšší mezerovitost směsi. V tomto laboratorním návrhu pro ověření okrajových podmínek návrhu směsi BBTM 4 však tuto skutečnost zanedbáme a návrh směsi použijeme i do dalších zkoušek.

10.3.4. OBJEMOVÉ HMOTNOSTI TĚLES

Z hmotností a rozměrů Marshallových těles jsou vypočítány objemové hmotnosti dle kapitoly 9.1.2. Objemové hmotnosti v Tabulce 10.3.8 jsou poté použity pro zjištění mezerovitosti směsi.

Tabulka 10.3.8 – Objemové hmotnosti Marshallových těles směsi BBTM 4 50/70

Stanovení objemové hmotnosti směsi BBTM 4 50/70					
navážka	označení	$\rho_{b,dim}$ z rozměrů [kg/m ³]	průměrná $\rho_{b,dim}$ z rozměrů [kg/m ³]	$\rho_{b,SSD}$ z vážení [kg/m ³]	průměrná $\rho_{b,SSD}$ z vážení [kg/m ³]
BBTM4 horní mez	KUB 4H1	2193,013	2188,421	2226,297	2224,933
	KUB 4H2	2183,829		2223,568	
BBTM 4 dolní mez	KUB 4D1	2046,812	2040,081	2111,432	2105,098
	KUB 4D2	2033,350		2098,765	

10.3.5. MAXIMÁLNÍ OBJEMOVÁ HMOTNOST

Maximální objemová hmotnost zkoušených směsí je stanovena dle kapitoly 9.1.3 a výsledky jsou zobrazeny v tabulkách 10.3.9 a 10.3.10. Maximální objemová hmotnost těles je použita při vyhodnocení mezerovitosti navržených směsí.

Tabulka 10.3.9 – Maximální objemová hmotnost směsi BBTM 4 50/70 na horní mezi

Stanovení maximální objemové hmotnosti směsi BBTM 4 50/70 na horní mezi		
Označení pyknometru	I	II
Druh rozpouštědla	voda	trichlor
Prázdný pyknometr - m1 [g]	379	384,2
Pyknometr a vzorek - m2 [g]	904,6	890,4
Pyknometr, vzorek a rozpouštědlo - m3 [g]	1341,9	1540,3
Objem pyknometru – Vp [ml]	658,349	658,008
Hustota rozpouštědla ρ_w [kg/m ³]	997,1	1454
Teplota temperování [°C]	25	25
Max. objemová hmotnost ρ_{mv} [kg/m³]	2391,513	2398,664

Tabulka 10.3.10 – Maximální objemová hmotnost směsi BBTM 4 50/70 na dolní mezi

Stanovení maximální objemové hmotnosti směsi BBTM 4 50/70 na dolní mezi		
Označení pyknometru	I	II
Druh rozpouštědla	voda	trichlor
Prázdný pyknometr - m1 [g]	379	384,2
Pyknometr a vzorek - m2 [g]	900,9	929,1
Pyknometr, vzorek a rozpouštědlo - m3 [g]	1342,4	1560,6
Objem pyknometru – Vp [ml]	658,349	658,008
Hustota rozpouštědla ρ_w [kg/m ³]	997,1	1454
Teplota temperování [°C]	25	25
Max. objemová hmotnost ρ_{mv} [kg/m³]	2421,080	2435,973

10.3.6. MEZEROVITOST

Mezerovitost na zkušebních tělesech pro směs BBTM 4 50/70 je zjištěna z objemové hmotnosti z vážení Marshallových těles a maximální objemové hmotnosti nezhuťné směsi.

Dle požadavků pro tuto směs dle ČSN EN 13108-2 [12] je minimální mezerovitost $V_{\min}=7,0$ % a maximální mezerovitost $V_{\max}=10,0$ %. V případě kontrolních zkoušek je $V_{\min}=6,0$ % a $V_{\max}=11,0$ %.

V případě návrhu směsi **BBTM 4 50/70 na horní mezi zrnitosti** je mezerovitost při použití pyknometru s **vodou** a při počítání s **objemovou hmotností zjištěnou z vážení Marshallových těles** po dosažení do vzorce:

$$V_m = \frac{\rho_m - \rho_b}{\rho_m} * 100 \frac{2391,513 - 2224,933}{2391,513} * 100 = \mathbf{6,966 \%}$$

V případě použití pyknometru s **trichlorethylenem** je mezerovitost po dosažení do vzorce:

$$V_m = \frac{\rho_m - \rho_b}{\rho_m} * 100 \frac{2398,664 - 2224,933}{2398,664} * 100 = \mathbf{7,243 \%}$$

V případě návrhu směsi **BBTM 4 50/70 na dolní mezi zrnitosti** je mezerovitost při použití pyknometru s **vodou** a při počítání s **objemovou hmotností zjištěnou z vážení Marshallových těles** po dosažení do vzorce:

$$V_m = \frac{\rho_m - \rho_b}{\rho_m} * 100 \frac{2421,080 - 2105,098}{2421,080} * 100 = \mathbf{13,051 \%}$$

V případě použití pyknometru s **trichlorethylenem** je mezerovitost po dosažení do vzorce:

$$V_m = \frac{\rho_m - \rho_b}{\rho_m} * 100 \frac{2435,973 - 2105,098}{2435,973} * 100 = \mathbf{13,583 \%}$$

Návrh směsi BBTM 4 50/70 na horní mezi zrnitosti odpovídá požadovaným normovým hodnotám. Při použití nižších frakcí kameniva, s kterými má návrh uzavřenější křivku zrnitosti je mezerovitost na úrovni minimální mezerovitosti dané normou ČSN EN 13108-2 [12] $V_{\min}=7,0\%$.

Návrh otevřenější směsi BBTM 4 50/70 na dolní mezi zrnitosti na kterou bylo použito více kameniva nejvyšší frakce 2/4 má výrazně vyšší mezerovitost než je maximální požadovaná $V_{\max}=10,0 \%$. V dalším návrhu by bylo možné zvýšit obsah pojiva ve směsi, avšak

z vizuálního hodnocení při výrobě Marshallových těles a samotných zhutněných Marshallových těles bylo patrné, že všechna zrna byla dostatečně obalena a směs byla měkká a lepkavá a zvýšení podílu asfaltu by nemělo příliš velký vliv. Proto je v dalších zkouškách použita tato směs, jak byla navržena.

10.3.7. STANOVENÍ NAVÁŽEK A MNOŽSTVÍ POJIVA NA MARSHALLOVA TĚLESA PRO ZKOUŠKU ODOLNOSTI VŮČI VODĚ (ITSR)

Z důvodu nižšího počtu rázů (2x25) při hutnění je snížena navážka na jedno Marshallovo těleso o 50 g u směsi na dolní mezi zrnitosti oproti původní navážce. U směsi na horní mezi zrnitosti byla pro zkoušku ITSR vypočtena navážka 1050 g. U zkoušky ITSR není normou stanovena požadovaná výška těles, avšak je vhodné se i u tohoto návrhu přiblížit výšce 63,5 mm ± 2,5 mm.

V Tabulce 10.3.11 je vypočítáno hmotnostní množství pojiva a kameniva při navážce na jedno Marshallovo těleso.

Tabulka 10.3.11 – Podíl asfaltového pojiva na ITSR směsi BBTM 4 50/70

	BBTM 4 horní mez	BBTM 4 dolní mez
Celková hmotnost [g]	1100	1050
Podíl asfaltového pojiva [%]	7	6
Množství pojiva [g]	77	63
Hmotnost kameniva	1023	987

V následující Tabulce 10.3.12 jsou dle procentuálního podílu jednotlivých frakcí kameniv vypočítány hmotnosti navážek jednotlivých kameniv.

Tabulka 10.3.12 – Navážky kameniva na ITSR směsi BBTM 4 50/70

Kamenivo	BBTM 4 navážka na horní mez		BBTM 4 navážka na dolní mez	
	Procentuální podíl [%]	Hmotnostní podíl [g]	Procentuální podíl [%]	Hmotnostní podíl [g]
Moučka Mokrá	8,5	87	6,5	64
Luleč 0/4	35	358	23	227
Luleč 2/4	56,5	578	70,5	696
Celkem	100	1023	100	987

Z každého návrhu bylo vyrobeno sedm Marshallových těles, z nich se dle objemových hmotností a vizuálního posouzení vybralo šest nejvhodnějších pro zkoušku odolnosti vůči vodě. Výroba zkušebních těles proběhla dle postupu v kapitole 8.

10.3.8. ROZMĚRY A HMOTNOSTI MARSHALLOVÝCH TĚLES

Rozměry a hmotnosti těles (Obrázek 10.3 a 10.4) jsou uvedeny v Tabulkách 10.3.13 a 10.3.14, ze zjištěných rozměrů byla vypočítána objemová hmotnost. Z těles bylo vybráno šest nejvhodnějších s odpovídajícími objemovými hmotnostmi a v rovnoměrném poměru rozděleno na mokré a suché vzorky. Stanovení rozměrů a hmotností je provedeno dle kapitoly 9.1.1.

Tabulka 10.3.13 – Rozměry a hmotnosti na ITSR směsi BBTM 4 50/70 na horní mezi

Rozměry, hmotnosti a objemové hmotnosti směsi BBTM 4 50/70 na horní mezi pro ITSR					
označení	rozměry		hmotnost suchá [g]	objemová hmotnost $\rho_{b,dim}$ (z rozměrů)	použití
	h [mm]	d [mm]			
4H1	63,7	101,7166667	1094,8	2115,052909	mokrý
4H2	63,225	102,0833333	1098,1	2122,039613	suchý
4H3	63,1	102,1333333	1094,1	2116,424425	mokrý
4H4	62,9	101,7166667	1090,9	2134,323154	mokrý
4H5	62,85	102,0833333	1096,8	2132,173754	vyřazen
4H6	63,225	102,1333333	1094,4	2112,819286	suchý
4H7	63,025	101,7666667	1093	2132,093897	suchý

Tělesa 4H1, 4H3 a 4H4 byla temperována po dobu 70 hodin při teplotě 40 °C, tělesa 4H2, 4H6 a 4H7 byla ponechána v laboratorní teplotě + 20 °C, těleso 4H5 bylo vyřazeno.



Obrázek 10.3 - Marshallova tělesa směsi BBTM 4 50/70 na horní mezi zrnitosti pro zkoušku ITSR

Tabulka 10.3.14 – Rozměry a hmotnosti na ITSR směsi BBTM 4 50/70 na dolní mezi

Rozměry, hmotnosti a objemové hmotnosti směsi BBTM 4 50/70 na dolní mezi pro ITSR					
označení	rozměry		hmotnost suchá [g]	objemová hmotnost $\rho_{b,dim}$ (z rozměrů)	použití
	h [mm]	d [mm]			
4D1	65	102,1833333	1049,8	1969,442016	vyřazen
4D2	64,55	101,7333333	1047,8	1996,943222	suchý
4D3	64,275	102,0666667	1047,7	1992,219166	mokry
4D4	64,425	102,1166667	1045,6	1981,654811	suchý
4D5	64,35	101,7666667	1047,8	2001,837693	mokry
4D6	63,75	102,15	1047,7	2005,349765	suchý
4D7	64,175	102,0833333	1048,4	1996,00474	mokry

Tělesa 4D3, 4D5 a 4D7 byla temperována po dobu 70 hodin při teplotě 40 °C, tělesa 4D2, 4D4 a 4D6 byla ponechána v laboratorní teplotě + 20 °C, těleso 4D1 bylo vyřazeno.



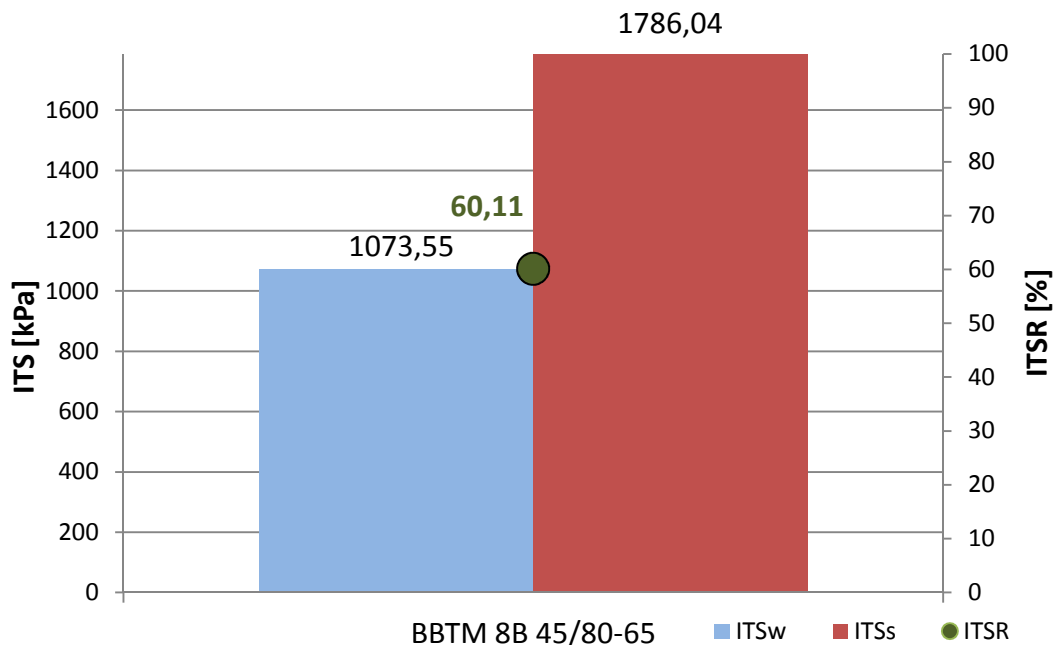
**Obrázek 10.4 - Marshallova tělesa směsi BBTM 4 50/70 na dolní mezi zrnitosti pro zkoušku
ITSR**

10.3.9. ODOLNOST VŮČI VODĚ (ITSR)

Odolnost vůči vodě zkoušených těles je stanovena dle kapitoly 9.1.5 a výsledky jsou zobrazeny v tabulkách. Minimální kategorie poměru pevnosti v příčném tahu ITSR dle ČSN EN 13108-2 (odstavec 5.5 – Tabulka 6) [12] odpovídá kategorii $ITSR_{NR}$ = bez požadavků. Národní příloha normy ČSN EN 13108-2 uvádí požadavek ITSR 80 % pro BBTM 8 S, BBTM 11 S a BBTM 8 (bez označení) a 70 % pro BBTM 8 +, BBTM 11 + a BBTM 11 (bez označení). Ostatní směsi jsou bez požadavku. Vyhodnocení je provedeno v tabulce 10.3.15 a 10.3.16 a znázorněno na Grafu 10.3.2 a 10.3.3.

Tabulka 10.3.15 – Odolnost vůči vodě směsi BBTM 4 50/70 na horní mezi

Odolnost vůči vodě směsi BBTM 4 50/70 na horní mezi						
označení	použití	pevnost v příčném tahu ITS		odolnost vůči vodě ITSR		
		zatížení P [kN]	přetvoření [mm]	ITS [MPa]	prům ITS	ITSR [%]
4H1	mokrý	9,837	1,94	0,96652	1,07355	60,11
4H3	mokrý	10,52	1,72	1,03920		
4H4	mokrý	12,21	2,34	1,21493		
4H2	suchý	16,54	2,23	1,63144	1,78604	
4H6	suchý	18,43	1,99	1,81698		
4H7	suchý	19,24	2,36	1,90971		
4H5	vyřazen					

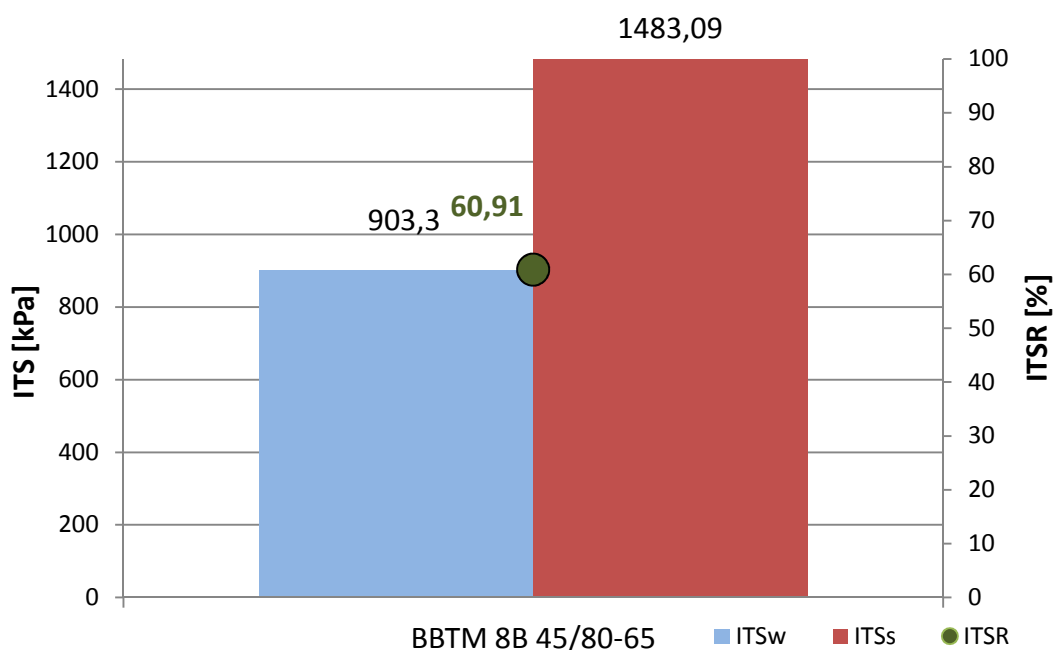


Graf 10.3.3 – Poměr pevnosti v příčném tahu směsi BBTM 4 50/70 na horní mezi

Hodnota ITSR pro směs BBTM 4 50/70 na horní mezi zrnitosti je 60,11 %, minimální požadavek není stanoven, avšak hodnota je zřetelně nižší než u směsi s vyšší frakcí kameniva (např. 70% pro směs BBTM 8 +) dle národní přílohy normy ČSN EN 13108-2 [12].

Tabulka 10.3.16 – Odolnost vůči vodě směsi BBTM 4 50/70 na dolní mezi

Odolnost vůči vodě směsi BBTM 4 50/70 na dolní mezi						
		pevnost v příčném tahu ITS		odolnost vůči vodě ITSR		
označení	použití	zatížení P [kN]	přetvoření [mm]	ITS [MPa]	prům ITS	ITSR [%]
4D7	mokrý	9,912	1,09	0,96321	0,90330	60,91
4D5	mokrý	9,844	1,24	0,95697		
4D3	mokrý	8,138	1,05	0,78972		
4D2	suchý	14,55	2,36	1,41053	1,48309	
4D4	suchý	14,42	1,94	1,39539		
4D6	suchý	16,81	1,96	1,64335		
4D1	vyřazen			0		



Graf 10.3.4 – Poměr pevnosti v příčném tahu směsi BBTM 4 50/70 na dolní mezi

Hodnota ITSR pro směs BBTM 4 50/70 na dolní mezi zrnitosti je 60,91 %, minimální požadavek není stanoven, avšak hodnota je opět znatelně nižší než u směsí s vyšší frakcí kameniva (např. 70% pro směs BBTM 8 +) dle národní přílohy normy ČSN EN 13108-2 [12].

10.3.10. STANOVENÍ NAVÁŽEK A MNOŽSTVÍ POJIVA PRO DESKY

Stanovení navážek kameniva a pojiva a výroba desek lamelovým zhutňovačem je provedeno dle kapitoly 8. Deska ze směsi BBTM 4 na dolní mezi zrnitosti byla zhutněna

pomocí nového zhutňovače desek laboratoře Pozemních komunikací VUT v Brně. Stanovení navážek a příprava směsi před hutněním je stejná jako u lamelového zhutňovače.

V Tabulce 10.3.17 je vypočítáno hmotnostní množství pojiva a kameniva při navážce na jednu desku. Celková navážka je vypočítána z průměrné objemové hmotnosti z vážení Marshallových těles.

Tabulka 10.3.17 – Podíl asfaltového pojiva na desky směsi BBTM 4 50/70

BBTM 4 50/70	Na horní mezi	Na dolní mezi
	Navážka	Navážka
Celková hmotnost [g]	7263	6865,33
Podíl asfaltového pojiva [%]	7	6
Množství pojiva [g]	508	412
Hmotnost kameniva	6755	6453

V následujících Tabulkách 10.3.18 a 10.3.19 jsou dle procentuálního podílu jednotlivých frakcí kameniv vypočítány hmotnosti navážek jednotlivých kameniv na jednu desku.

Tabulka 10.3.18 – Navážky kameniva na desky směsi BBTM 4 50/70 na horní mezi

BBTM 4 50/70 na horní mezi		Navážka
Kamenivo	Procentuální podíl [%]	Hmotnostní podíl [g]
Moučka Mokrá	8,5	574
Luleč 0/4	35	2364
Luleč 2/4	56,5	3816
Celkem	100	6755

Tabulka 10.3.19 – Navážky kameniva na desky směsi BBTM 4 50/70 na dolní mezi

BBTM 4 50/70 na dolní mezi		Navážka
Kamenivo	Procentuální podíl [%]	Hmotnostní podíl [g]
Moučka Mokrá	6,5	419
Luleč 0/4	23	1484
Luleč 2/4	70,5	4550
Celkem	100	6453

10.3.11. ROZMĚRY, HMOTNOSTI A MÍRA ZHUTNĚNÍ DESEK

V následující tabulce 10.3.20 jsou rozměry a hmotnosti vyrobených desek. Stanovení rozměrů a hmotností je provedeno dle kapitoly 9.1.1.

U desky KUB 4D směsi BBTM 4 50/70 na dolní mezi zrnitosti, hutněné zkušebně na novém zhutňovači došlo k nalepení části zrn obaleného kameniva na plech, přes který byla deska hutněna, což mělo za následek hrubou strukturu spodní části desky. Přichycení části směsi na desku mohlo být způsobeno:

- velkou mezerovitostí směsi
- lepivostí směsi, která je způsobena velkým množstvím asfaltu z důvodu snahy o snížení mezerovitosti
- nevhodným systémem hutnění, kdy se při každém pojezdu v teplém stavu plech od desky nadzvedává a lepí se na něj část směsi, na rozdíl od lamelového zhutňovače, u kterého je tomu zabráněno vloženými lamelami. Po vyjetí hutnicí hlavy z formy se plech ohne a měkká mezerovitá směs se na něj ještě teplá nalepí.

Porušení této desky znemožnilo zjištění rozměrů a objemové hmotnosti z rozměrů desky, objemová hmotnost zjištěná z vážení však mohla být spočtena. Pro další použití pro zkoušku odolnosti vůči trvalým deformacím byla deska vyspravena a urovnána sádrou aby při pojezdu kolem ve vyjížděči po horní neporušené straně desky nedocházelo k nežádoucím průhybům z důvodu nepravidelných mezer mezi formou a deskou dle Obrázku 10.5.



Obrázek 10.5 Opravení spodní části desky KUB 4D pro použití pro zkoušku odolnosti vůči trvalým deformacím

Tabulka 10.3.20 – Rozměry a hmotnosti desek směsi BBTM 8B 45/80-65

Rozměry a hmotnosti desek směsi BBTM 8B 45/80-65							
návrh	označení	h výška [mm]	s šířka [mm]	d délka [mm]	m ₁ suchá [g]	m ₂ ve vodě [g]	m ₃ nasycená [g]
na horní mezi	KUB 4H	39,925	260,675	321,65	7267	4054	7316
na dolní mezi	KUB 4D	-	-	-	6780	3827	7008

V tabulce 10.3.21 jsou vypočítány objemové hmotnosti a míra zhutnění vyrobených desek.

Tabulka 10.3.21 – Objemové hmotnosti a míra zhutnění směsi BBTM 4 50/70

Stanovení objemové hmotnosti směsi BBTM 4 50/70					
návrh	označení	$\rho_{b,dim}$ z rozměrů [kg/m ³]	$\rho_{b,SSD}$ z vážení [kg/m ³]	žádaná obj. hmotnost [kg/m ³]	míra zhutnění [%]
na horní mezi	KUB 4H	2170,84	2221,31	2224,93	100,16
na dolní mezi	KUB 4D	-	2125,22	2105,10	99,05

Pro zkoušku pojezdu kolem je stanovena míra zhutnění maximálně o 1 % rozdílná, než je žádaná objemová hmotnost. Obě vyrobené desky směsi BBTM 4 50/70 mají míru zhutnění od 99 % do 101 %. I deska zhutněná na novém zhutňovači laboratoře Pozemních komunikací VUT v Brně byla dostatečně zhutněna a to na 99,05 % proto byla také použita pro zkoušku odolnosti vůči trvalým deformacím.

10.3.12. ODOLNOST PROTI VZNIKU TRVALÝCH DEFORMACÍ

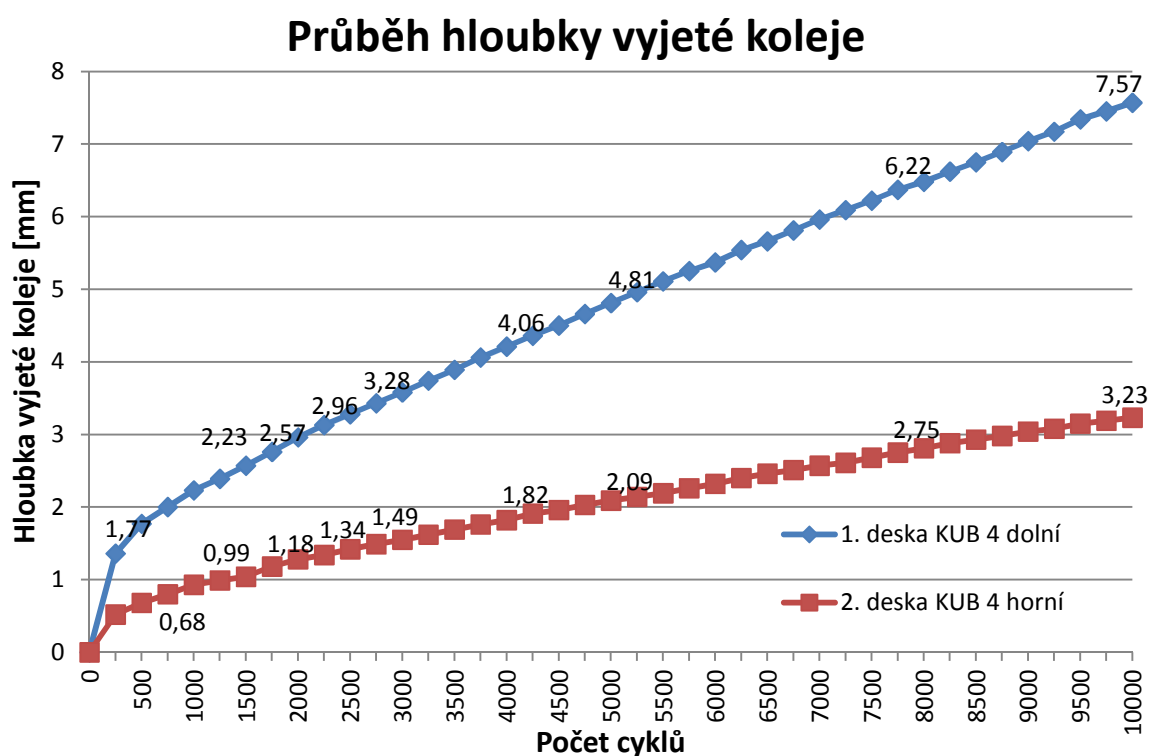
Na zhutněných deskách o tloušťce 40 mm je provedena zkouška odolnosti vůči vzniku trvalých deformací popsána v odstavci 9.2.1. V následujících tabulce 10.3.22 je zaznamenán průběh měření hloubky vyjeté koleje a v Tabulce 10.3.23 jsou vyhodnoceny výsledky zkoušky pojezdu kolem. Výsledné deformace jsou poté vyneseny do Grafu 10.3.3.

Tabulka 10.3.22 – Naměřené hloubky vyjeté koleje směsi BBTM 4 50/70

BBTM 8B 45/80-65			1. deska KUB 4D	2. deska KUB 4H	1. deska KUB 4D	2. deska KUB 4H
počet cyklů	čas	teplota	hloubka 1 odečet z přístroje	hloubka 2 odečet z přístroje	hloubka 1 přepočítaná	hloubka 2 přepočítaná
0	7:58:00	49,4	1,7	-1,35	0	0
250	8:07:52	49,9	3,06	-0,83	1,36	0,52
500	8:17:44	50,1	3,47	-0,67	1,77	0,68
750	8:27:36	50	3,7	-0,55	2	0,8
1000	8:37:28	50	3,93	-0,42	2,23	0,93
1250	8:47:20	50	4,09	-0,36	2,39	0,99
1500	8:57:12	50	4,27	-0,31	2,57	1,04
1750	9:07:04	50,1	4,46	-0,17	2,76	1,18
2000	9:16:56	50,1	4,66	-0,07	2,96	1,28
2250	9:26:48	50	4,83	-0,01	3,13	1,34
2500	9:36:40	50	4,98	0,07	3,28	1,42
2750	9:46:32	50	5,13	0,14	3,43	1,49
3000	9:56:24	50	5,28	0,2	3,58	1,55
3250	10:06:16	50	5,44	0,27	3,74	1,62
3500	10:16:08	50	5,59	0,34	3,89	1,69
3750	10:26:00	50,1	5,76	0,41	4,06	1,76
4000	10:35:52	50,2	5,91	0,47	4,21	1,82
4250	10:45:44	50,1	6,06	0,56	4,36	1,91
4500	10:55:36	50,2	6,2	0,61	4,5	1,96
4750	11:05:28	50,1	6,36	0,68	4,66	2,03
5000	11:15:20	50,1	6,51	0,74	4,81	2,09
5250	11:25:12	50,1	6,66	0,79	4,96	2,14
5500	11:35:04	50,1	6,81	0,84	5,11	2,19
5750	11:44:56	50,1	6,95	0,91	5,25	2,26
6000	11:54:48	50,1	7,07	0,97	5,37	2,32
6250	12:04:40	50,1	7,24	1,05	5,54	2,4
6500	12:14:32	50,1	7,36	1,11	5,66	2,46
6750	12:24:24	50,1	7,51	1,16	5,81	2,51
7000	12:34:16	50,2	7,66	1,22	5,96	2,57
7250	12:44:08	50,2	7,79	1,26	6,09	2,61
7500	12:54:00	50,2	7,92	1,33	6,22	2,68
7750	13:03:52	50,1	8,07	1,4	6,37	2,75
8000	13:13:44	50,2	8,18	1,46	6,48	2,81
8250	13:23:36	50,1	8,32	1,53	6,62	2,88
8500	13:33:28	50,1	8,45	1,58	6,75	2,93
8750	13:43:20	50,2	8,59	1,63	6,89	2,98
9000	13:53:12	50,1	8,74	1,69	7,04	3,04
9250	14:03:04	50	8,87	1,73	7,17	3,08
9500	14:12:56	50,2	9,04	1,8	7,34	3,15
9750	14:22:48	50,1	9,15	1,84	7,45	3,19
10000	14:32:40	50,2	9,27	1,88	7,57	3,23

Tabulka 10.3.23 – Vyhodnocení výsledků zkoušky odolnosti proti vzniku trvalých deformací na směsi BBTM 4 50/70

	Označení, jednotka	KUB 4D	KUB 4H
Průměrný přírůstek hloubky vyjeté koleje za 1 000 zatěžovacích cyklů	WTS_{AIR} [mm/10 ³ cyklů]	0,552	0,228
Průměrná hloubka vyjeté koleje při 10 000 zatěžovacích cyklech	RD_{AIR} [mm]	7,57	3,23
Průměrná poměrná hloubka vyjeté koleje při 10 000 zatěžovacích cyklech	PRD_{AIR} [%]	18,93	8,08



Graf 10.3.5 – Porovnání průběhu hloubky vyjeté koleje na deskách BBTM 4 50/70

Pro směsi asfaltového koberce velmi tenkého není dle ČSN EN 13108-2 [12] definován požadavek na hloubku vyjeté koleje. Dle této normy patří směs BBTM do kategorie maximální poměrné hloubky P_5 , což je nejvyšší kategorie.

Při porovnání s asfaltovým betonem (AC) dle ČSN EN 13108-1 [15] kapitoly 5.2.6 Tabulky 8 a 9 – Odolnost proti trvalé deformaci, jsou nejvyšší kategorie, maximální přírůstek hloubky vyjeté koleje ($WTS_{AIR0,03}=0,03$ mm/h) a maximální poměrná hloubka vyjeté koleje ($PRD_{AIR1,0}=1,0$ mm). Ani u jednoho návrhu směsi BBTM 4 50/70 kopírujících okrajové podmínky zrnitosti směsi nebylo dosaženo hodnot, které by byly srovnatelné s asfaltovým betonem. U velmi mezerovité směsi BBTM 4 50/70 na dolní mezi zrnitosti byla deformace

tak velká, že došlo až k „přelití“ okrajů formy jak je patrné z Obrázku 10.6. Velká deformace obou desek je vidět na Obrázku 10.7.



Obrázek 10.6 - Deska směsi BBTM 4 50/70 na dolní mezi zrnitosti ve formě po zkoušce vyjždění kolem



Obrázek 10.7 – Desky po zkoušce odolnosti vůči trvalým deformacím (vlevo – deska ze směsi BBTM 4 50/70 na horní mezi zrnitosti, vpravo – deska ze směsi BBTM 4 50/70 na dolní mezi zrnitosti)

11. SOUHRN VÝSLEDKŮ

V následující kapitole bude proveden souhrn výsledků a naměřených hodnot z návrhu jednotlivých směsí. V tabulce 11.1 jsou shrnuty výsledky návrhů jednotlivých směsí a výsledky požadovaných zkoušek dle ČSN EN 13108-2 [12] prováděných na Marshallových tělesech. Soubor všech vyrobených Marshallových těles je zobrazen na Obrázku 11.1.

U směsi BBTM 8A 45/80-65 se po úpravě prvního návrhu a zvýšení obsahu asfaltového pojiva z 5,4 % na 6 % podařilo dosáhnout požadované mezerovitosti dle národní přílohy této normy. Na této směsi byla poté provedena zkouška odolnosti vůči vodě, která s hodnotou 94,164 % která je výrazně vyšší než minimální hodnota 70 % pro směsi BBTM 8+ a 80 % pro směsi BBTM 8S. Z prvního návrhu této směsi je patrné zjištění, že při použití minimálního obsahu pojiva tato směs požadovaných hodnot nedosahuje.

V případě návrhu směsi BBTM 8B 45/80-65 bylo rovnou ze zkušenosti s první směsí použito vyšší (5,5 %) než minimální množství pojiva (5,2 %). Mezerovitost mírně přesáhla 15 % hranici. Hranici 16 % při kontrolních zkouškách splňuje. Po vizuálním posouzení těles bylo usouzeno, že další zvyšování obsahu pojiva nemá význam. Snížení mezerovitosti by bylo možné dosáhnout použitím dalších přísad. Proto byly vyrobeny další tělesa pro zkoušku odolnosti vůči vodě. Odolnost vůči vodě (ITSR) u této směsi dosáhla hodnoty 71,653 % což je nepatrně výš než minimální hodnota 70 % z národní přílohy normy ČSN EN 13108-2 pro návrh směsi BBTM 8+.

Úkolem návrhu směsi BBTM 4 50/70 byla snaha ověřit okrajové podmínky zrnitosti zadané v normě. U návrhu na horní mezi zrnitosti bylo dosaženo požadované mezerovitosti 7,0 – 10,0 % avšak u návrhu na dolní okraji mezi zrnitosti tuto podmínku nebylo možné při dodržení zadaných podmínek splnit. U obou návrhů této směsi byla provedena zkouška odolnosti vůči vodě, která však není požadována a minimální hodnoty nejsou v normě obsaženy. U obou návrhů odolnost vůči vodě lehce převyšovala 60 %.

Tabulka 11.1 – Souhrn výsledků návrhů a zkoušek na Marshallových tělesech

Směs	BBTM 8A	BBTM 8B	BBTM 4 na dolní mezi zrnitosti	BBTM 4 na horní mezi zrnitosti
Použité frakce kameniva	4/8, 0/4, moučka	4/8, 0/4	2/4, 0/4, moučka	2/4, 0/4, moučka
Použité pojivo	Starfalt PmB 45/80-65	Starfalt PmB 45/80-65	TOTAL 50/70	TOTAL 50/70
Obsah pojiva [%]	6	5,5	6	7
Objemová hmotnost z rozměrů $\rho_{b,dim}$ [kg/m ³]	2307,109	2151,264	2040,081	2188,421
Objemová hmotnost z vážení $\rho_{b,SSD}$ [kg/m ³]	2383,358	2249,954	2105,098	2224,933
Maximální objemová hmotnost s použitím vody ρ_{mv} [kg/m ³]	2518,942	2540,236	2421,080	2391,413
Maximální objemová hmotnost s použitím trichloretylenu ρ_{mv} [kg/m ³]	2525,405	2535,790	2435,973	2398,664
Mezerovitost s použitím vody V_m [%]	5,383	15,312	13,051	6,966
Mezerovitost s použitím trichloretylenu V_m [%]	5,625	15,164	13,583	7,243
Požadovaná mezerovitost V_m [%]	3,0 – 6,0	11,0 – 15,0	7,0 – 10,0	7,0 – 10,0
Pevnost v příčném tahu ITS [MPa] suchých těles	1,197	1,090	1,483	1,786
Pevnost v příčném tahu ITS [MPa] mokrých těles	1,127	0,781	0,903	1,0736
Odolnost vůči vodě ITSR [%]	94,164	71,653	60,907	60,108
Minimální odolnost vůči vodě ITSR [%]	80	70	-	-



Obrázek 11.1 – Soubor všech vyrobených Marshallových těles

Jelikož se v případě směsí asfaltového koberce velmi tenkého jedná o směsi používané do obrusných vrstev vozovek, byla u všech návrhů směsí provedena také zkouška odolnosti vůči trvalým deformacím, jejíž souhrn výsledků je proveden v Tabulce 11.2. Všechny desky použité pro tuto zkoušku jsou zobrazené na Obrázku 11.2.

U směsí s největším zrnem frakce kameniva 8 mm BBTM 8A 45/80-65 a BBTM 8B 45/80-65 byly hodnoty přírůstku hloubky vyjeté koleje srovnatelné s nejvyšší třídou asfaltového betonu (AC), v případě průměrné poměrné hloubky vyjeté koleje při 10 000 zatěžovacích cyklech byli hodnoty mírně horší.

U směsí BBTM 4 s největším zrnem frakce kameniva 4 mm došlo k velkým nežádoucím deformacím, které nelze srovnávat s požadavky na asfaltové směsi z asfaltového betonu.

Tabulka 11.2 – Souhrn výsledků zkoušek prováděných na deskách

Směs	BBTM 8A	BBTM 8B	BBTM 4 na dolní mezi zrnitosti	BBTM 4 na horní mezi zrnitosti
Míra zhutnění desek [%]	100,60 99,00	99,75 99,50	99,05	100,16
Průměrný přírůstek hloubky vyjeté koleje za 1 000 zatěžovacích cyklů WTS_{AIR} [mm/10 ³ cyklů]	0,014	0,029	0,552	0,228
Průměrná hloubka vyjeté koleje při 10 000 zatěžovacích cyklech RD_{AIR} [mm]	1,045	1,160	7,570	3,230
Průměrná poměrná hloubka vyjeté koleje při 10 000 zatěžovacích cyklech PRD_{AIR} [%]	2,60	2,90	18,93	8,08



Obrázek 11.2 – Desky použité pro zkoušku odolnosti vůči trvalým deformacím

12. ZÁVĚR

Předmětem této diplomové práce byl návrh směsí asfaltového koberce velmi tenkého, jehož použití je v dnešní době při návrzích konstrukcí vozovek velmi výhodné. Asfaltový koberec velmi tenký je navrhován v tloušťkách od 20 do 30 mm, čímž výrazně snižuje náklady na množství použité směsi. Použití asfaltového koberce velmi tenkého je možné do všech vrstev vozovky, zejména do obrusné vrstvy, kde tvoří hlavní kontaktní plochu mezi pojíždějícími vozidly a vozovkou, z toho důvodu je nutné dbát také na jeho parametry jako je drsnost, odolnost proti vodě, hlučnost a odolnost vůči trvalým deformacím.

Diplomová práce se zabývala návrhem tří směsí asfaltového koberce velmi tenkého, a to směsi BBTM 8A 45/80-65, BBTM 8B 45/80-65 a BBTM 4 50/70.

Předmětem návrhu směsí o maximální velikosti zrna kameniva 8 mm bylo ověření požadavků normy ČSN EN 13108-2 [12] a její národní přílohy stanovující minimální požadavky na směs, jako je zrnitost kameniva ve směsi, minimální obsah pojiva, minimální mezerovitost, maximální mezerovitost a minimální poměr pevnosti v příčném tahu ITSR.

Při laboratorním návrhu směsi BBTM 8A 45/80-65 bylo zjištěno, že při použití minimálního množství pojiva dosáhneme vyšších mezerovitostí, než jsou normou požadované, proto je nutné navýšit množství pojiva. V případě použití dalších přísad, případně modifikovanějšího pojiva by bylo možné dosáhnout zadané mezerovitosti i při použití minimálního množství pojiva. Proto se tento požadavek normy na minimální množství pojiva zdá jako oprávněný. Po navýšení obsahu pojiva a následné výrobě dalších zkušebních těles směs splnila požadované hodnoty na mezerovitost a byla vyrobena další tělesa pro zkoušku odolnosti vůči vodě, která s výsledkem 94,164 %, výrazně překračujícím minimální hodnotu a ukazuje na kvalitu a použitelnost dané směsi do obrusných vrstev vozovek.

U návrhu směsi BBTM 8B 45/80-65 s otevřenější křivkou zrnitosti, tedy vyšším procentuálním zastoupením kameniva vyšších frakcí již nebylo navrhováno minimální množství pojiva, ale bylo odhadnuto z předchozích zkušeností s návrhy těchto směsí optimální množství asfaltového pojiva nepatrně vyšší. Pro tento návrh bylo vyrobeno pět Marshallových těles, která sloužila k ověření objemových hmotností a mezerovitosti ze zjištěné maximální objemové hmotnosti pomocí pyknometrů. Mezerovitost této směsi mírně překročila požadovanou hranici. Při použití dalších přísad, případně jiného pojiva

(modifikovaného či nemodifikovaného) a kameniva (s jiným tvarovým indexem) by však neměl být problém se do této hranice vejít. I u tohoto návrhu byla provedena zkouška pevnosti v příčném tahu mokrých a suchých Marshallových těles a poměr těchto pevností (ITSR – odolnost vůči vodě). Odolnost této směsi splňuje minimální požadavek 70 % (označení směsi BBTM 8 +) dle národní přílohy normy ČSN EN 13108-2 avšak nesplňuje minimální požadavek 80 % pro směsi se zvýšenou odolností vůči vodě (označení směsi BBTM 8 S). U této směsi by bylo vhodné provést další laboratorní návrhy pro ověření požadavků normy.

Předmětem návrhu směsi BBTM 4 50/70 bylo ověření kvalitativních požadavků v nové revizi normy, která nově zavádí směsi asfaltového koberce velmi tenkého s nejvyšší frakcí kameniva 4 mm. Výroba a minimální požadavky na tyto směsi vychází ze stávající směsi BBTM 5A s největším zrnem frakce kameniva 5 mm. Návrh směsi byl rozdělen do dvou směsí, kopírujících minimální a maximální požadavky na křivku zrnitosti použitého kameniva. Návrhem bylo zjištěno, že při kopírování horní hranice křivky zrnitosti a tedy při použití většího podílu kameniva nižších frakcí dosahuje návrh mezerovitosti srovnatelné s minimální mezerovostí pro tento návrh. Pro návrh na dolní hranici křivky zrnitosti, který používá větší podíl kameniva vyšších frakcí je však zrnitost daleko vyšší než maximální požadovaná, proto by bylo vhodné se tímto návrhem dále zabývat a případně upravit normové požadavky ať už na mezerovitost či na spodní hranici křivky zrnitosti.

V návrhu směsi BBTM 4 50/70 byla také provedena zkouška odolnosti vůči vodě, jejíž minimální hodnotu však norma nespécifikuje. Po provedení zkoušek pevnosti v příčném tahu byla spočtena na obou návrzích (kopírujících horní i dolní mez křivky zrnitosti) hodnota lehce převyšující 60 %. Odolnost vůči vodě by bylo možné zvýšit použitím dalších přísad, případně použitím jiného (modifikovaného) pojiva a vhodnějšího kameniva.

Z důvodu používání asfaltových koberců velmi tenkých zejména do obrusných vrstev vozovek byla na všech navrhovaných směsích také provedena zkouška odolnosti vůči trvalým deformacím, kterou norma ČSN EN 13108-2 [12] nepožaduje. Zkouška odolnosti proti trvalým deformacím byla prováděna na deskách tloušťky 40 mm dle postupu v ČSN EN 12697-22 [5]. Asfaltový koberec velmi tenký se však navrhuje v tloušťkách 20 mm až 30 mm proto je možné, že vyšší tloušťka desky v laboratorním návrhu může způsobit zkreslení výsledků na těchto směsích. V případě směsí s maximální velikostí zrna 8 mm (BBTM 8A 45/80-65 a BBTM 8B 45/80-65) bylo dosaženo srovnatelných hodnot a asfaltovým betonem

(AC) [15]. Proto můžeme konstatovat, že použití těchto směsí do obrusných vrstev vozovek je velmi výhodné. V případě nové směsi BBTM 4 je však trvalá deformace velmi velká a proto by tato směs nebyla pro použití do obrusných vrstev vozovek vhodná. Je však možné, že v případě změny metody zkoušky odolnosti proti trvalým deformacím na těchto směsích by směs takové deformace nevykazovala. Tyto směsi by bylo vhodné zkoušet na deskách o nižší tloušťce, případně ve spolupůsobení s další vrstvou.

V diplomové práci byly zpracovány zkušenosti s návrhem asfaltových směsí velmi tenkých. U směsí BBTM 8A a mezerovitější BBTM 8B bylo ověřeno, že i v nižších tloušťkách jsou schopny splnit požadavky pro obrusné vrstvy stejně jako asfaltový beton AC. U směsí BBTM 4 by bylo vhodné získání dalších, zejména praktických zkušeností.

Jak už stávající zkušenosti ukázaly [19], při možném použití dalších modifikací těchto směsí (použití pryžového granulátu jako přísady), se z těchto směsí může stát cenově velmi výhodná a funkční součást vozovek pozemních komunikací, zejména obrusných vrstev nových komunikací a při opravách stávajících komunikací, zajišťujících zvýšenou odolnost proti vzniku trvalých deformací, odolnost proti únavovým a mrazovým trhlinám, dostatečné protismykové vlastnosti a snížení dopravního hluku.

13. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. **ČSN EN 12697-5.** *Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka. Stanovení maximální objemové hmotnosti.* Brno: ČNI, Prosinec 2007.
2. **ČSN EN 12697-8.** *Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka. Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí.* Brno: ČNI, Květen 2004.
3. **ČSN EN 12697-10.** *Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka. Zhutnitelnost.* Brno: ČNI, Březen 2003.
4. **ČSN EN 12697-12.** *Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka. Stanovení odolnosti zkušebního tělesa vůči vodě.* Brno: ČNI, Únor 2009.
5. **ČSN EN 12697-22.** *Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka. Zkouška pojíždění kolem.* Brno: ČNI, Prosinec 2007.
6. **ČSN EN 12697-23.** *Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka. Stanovení pevnosti v příčném tahu.* Brno: ČNI, Březen 2005.
7. **ČSN EN 12697-29.** *Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka. Stanovení rozměrů asfaltových zkušebních těles.* Brno: ČNI, Červenec 2003.
8. **ČSN EN 12697-30.** *Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka. Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem.* Brno: ČNI, Prosinec 2007.
9. **ČSN EN 12697-33.** *Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka. Příprava zkušebních těles zhutňovačem desek.* Brno: ČNI, Prosinec 2007.
10. **ČSN EN 12697-34.** *Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka. Marshallova zkouška.* Brno: ČNI, Prosinec 2007.

11. **ČSN EN 12697-35.** *Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka. Laboratorní výroba směsi.* Brno: ČNI, Prosinec 2007.
12. **ČSN EN 13108-2.** *Asfaltové směsi - Specifikace pro materiály. Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy.* Brno: ČNI, Únor 2008.
13. **ČSN EN 933 - 1.** *Zkoušení geometrických vlastností kameniva. Stanovení zrnitosti - Sítový rozbor.* Brno: ČNI, Červen 1998.
14. **ČSN EN 12697-6.** *Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka. Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa.* Brno: ČNI, Prosinec 2007.
15. **ČSN EN 13108-1.** *Asfaltové směsi - Specifikace pro materiály. Asfaltový beton.* Brno: ČNI, Březen 2001.
16. **TP 170.** *Navrhování vozovek pozemních komunikací. [autor knihy] VUT v Brně. 2010.*
17. **TP 148.** *Hutněné asfaltové vrstvy s pojivem modifikovaným pryžovým granulátem z pneumatik, Předběžné technické podmínky Ministerstva dopravy, březen 2009*
18. *Very thin surfacing: a beneficial and cost effective alternative to traditional surfacing materials for flexible pavements* [online]. 2008 [cit. 2012-05-25]. Dostupné z: <http://www.civil.uminho.pt/ismarti/08ICTI/papers/P131.pdf>
19. KUDRNA, J.; URBANEC, K.; DAŠEK, O.; COUFALÍK, P.; KACHTÍK, J. *Nové technologie údržby a oprav asfaltových vozovek se zaměřují na úsporu materiálu a snížení hluku. Silnice a železnice, 2013, roč. 8, č. 4, s. 74-79. ISSN: 1801- 822X.*
20. KAŠKA, Z. *Posouzení asfaltového koberce drenážního a tenkého s asfaltem modifikovaným přísadou TecRoad : diplomová práce.* Brno, 2011. 111 s. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav pozemních komunikací. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. JAN KUDRNA, CSc.
21. HOTAŘ, Petr. *Návrh a posouzení asfaltové směsi asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem.* Brno, 2012. 47 s. *Bakalářská práce.* Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce prof. Ing. Jan Kudrna, CSc.

22. **ČSN EN 12697-38.** *Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka. Všeobecné zařízení a kalibrace.* Praha: ČNI, Červenec 2005.
23. **TP 87.** *Navrhování údržby a opravy netuhých vozovek, Technické podmínky Ministerstva dopravy,* 2010.
24. **TP 147.** *Užití asfaltových membrán a geosyntetik v konstrukci vozovky, Technické podmínky Ministerstva dopravy,* 2010.
25. **ČSN 73 6177.** *Měření a hodnocení protismykových vlastností povrchů vozovek,* 2009.
26. **ČSN 73 6175.** *Měření a hodnocení nerovnosti povrchů vozovek,* 2009.
27. **ISO/CD 11819-2.** *Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 2: The close-proximity method,* 2000.

14. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 3.1 – Pokládka ohrusné vrstvy BBTM 5A, CRmBs použitím 2 finišerů a 4 válců.....	19
Obrázek 3.2 – Graf z měření protismykových vlastností povrchu vozovky	20
Obrázek 3.3 – Ekvivalentní hladiny akustického tlaku povrchů.....	21
Obrázek 5.1 – Použitá kameniva (zleva: moučka, Sloupno 0/4, Žumberk 4/8)	26
Obrázek 5.2 – Použitá kameniva (zleva: Luleč 2/4, Luleč 0/4, moučka Mokrá).....	28
Obrázek 5.3 – Asfaltové pojivo TOTAL Styrelf 50/70	30
Obrázek 5.4 – Asfaltové pojivo OMV Starfalt PmB 45/80-65	30
Obrázek 6.1 – Vibrační stroj pro síťový rozbor.....	32
Obrázek 7.1 – Provedení navážek kameniva.....	35
Obrázek 7.2 – Laboratorní sušárna	36
Obrázek 7.3 – Míchací nádoba s pojivem a kamenivem na váze.....	37
Obrázek 7.4 – Miska pro temperování na teplotu hutnění.....	38
Obrázek 7.5 – Podložka, forma, nástavec a trychtýř pro výrobu Marshallových těles	38
Obrázek 7.6 – Sestavená forma připravená na plnění asfaltovou směsí.....	39
Obrázky 7.7 – Marshallův zhutňovač	40
Obrázek 7.8 – Ventilátor pro urychlení vychladnutí směsi	41
Obrázek 7.9 – Hydraulický lis pro vytlačování Marshallových těles z formy	42
Obrázek 7.10 – Popsané Marshallovo těleso	42
Obrázek 8.1 – Nádoba na míchání směsi s kamenivem.....	44
Obrázek 8.2 – Míchání směsi laboratorní míchačkou	45
Obrázek 8.3 – Lamelový zhutňovač.....	47
Obrázek 8.4 – Urovnání směsi ve zhutňovači desek	48
Obrázek 8.5 – Vložení lamel	48
Obrázek 8.6 – Hutnění desky	49
Obrázek 8.7 – Popsání desky.....	49
Obrázek 8.8 – Zhutňovač desek s řídicím panelem.....	50
Obrázek 8.9 - Hutnění desky	51
Obrázek 9.1 – Měření rozměrů u desky	53
Obrázek 9.2 – Vážení desky ve vodě	54
Obrázek 9.3 – Pyknometr s nástavcem	55

Obrázek 9.4 – Vakuový přístroj	56
Obrázek 9.5 – Naplněné pyknometry před zvážením (vlevo s trichlorethylenem, vpravo s vodou)	57
Obrázek 9.6 – Vodní lázeň na temperování mokrých těles na teplotu 40 °C	59
Obrázek 9.7 – Komora na ochlazení těles na teplotu 15 °C	60
Obrázek 9.8 – Zkušební lis	60
Obrázek 9.9 – Usazení tělesa do zkušebního lisu	61
Obrázek 9.10 – Zkušební těleso po zkoušce pevnosti v příčném tahu ITS	62
Obrázek 9.11 – Přístroj pro zatěžovací zkoušku pojíždění kolem	63
Obrázek 9.12 Deska upnutá do formy po zkoušce vyjíždění kolem	64
Obrázek 9.13 Vyjetá kolej na desce po zkoušce odolnosti vůči trvalým deformacím	65
Obrázek 10.1 – Marshallova tělesa směsi BBTM 8A 45/80-65 pro zkoušku ITSR	73
Obrázek 10.2 - Marshallova tělesa směsi BBTM 8B 45/80-65 pro zkoušku ITSR	85
Obrázek 10.3 - Marshallova tělesa směsi BBTM 4 50/70 na horní mezi zrnitosti pro zkoušku ITSR	99
Obrázek 10.4 - Marshallova tělesa směsi BBTM 4 50/70 na dolní mezi zrnitosti pro zkoušku ITSR	100
Obrázek 10.5 Opravení spodní části desky KUB 4D pro použití pro zkoušku odolnosti vůči trvalým deformacím	104
Obrázek 10.6 - Deska směsi BBTM 4 50/70 na dolní mezi zrnitosti ve formě po zkoušce vyjíždění kolem	108
Obrázek 10.7 – Desky po zkoušce odolnosti vůči trvalým deformacím (vlevo – deska ze směsi BBTM 4 50/70 na horní mezi zrnitosti, vpravo – deska ze směsi BBTM 4 50/70 na dolní mezi zrnitosti)	109
Obrázek 11.1 – Soubor všech vyrobených Marshallových těles	112
Obrázek 11.2 – Desky použité pro zkoušku odolnosti vůči trvalým deformacím	113

15. SEZNAM TABULEK

Tabulka 5.1.1 – Použitá kameniva.....	25
Tabulka 5.1.2 – Síťový rozbor frakce 4/8	26
Tabulka 5.1.3 – Síťový rozbor frakce 0/4	26
Tabulka 5.1.4 – Síťový rozbor vápencové moučky.....	26
Tabulka 5.1.5 – Použitá kameniva.....	27
Tabulka 5.1.6 – Síťový rozbor frakce 2/4	28
Tabulka 5.1.7 – Síťový rozbor frakce 0/4	28
Tabulka 5.1.8 – Síťový rozbor vápencové moučky.....	28
Tabulka 5.2.1 – Použitá pojiva.....	29
Tabulka 10.1.1 – Skladba kameniva směsi BBTM 8A 45/80-65	66
Tabulka 10.1.2 – Normové meze směsi BBTM 8A 45/80-65.....	66
Tabulka 10.1.3 – Podíl asfaltového pojiva směsi BBTM 8A 45/80-65.....	68
Tabulka 10.1.4 – Navážky kameniva směsi BBTM 8A 45/80-65.....	68
Tabulka 10.1.5 – Rozměry a hmotnosti Marshallových těles směsi BBTM 8A 45/80-65	68
Tabulka 10.1.6 – Objemové hmotnosti Marshallových těles směsi BBTM 8A 45/80-65.....	69
Tabulka 10.1.7 – Maximální objemová hmotnost 1. návrhu směsi BBTM 8A 45/80-65	69
Tabulka 10.1.8 – Maximální objemová hmotnost 2. návrhu směsi BBTM 8A 45/80-65	70
Tabulka 10.1.9 – Podíl asfaltového pojiva na zkoušku ITSr směsi BBTM 8A 45/80-65.....	71
Tabulka 10.1.10 – Navážky kameniva na zkoušku ITSr směsi BBTM 8A 45/80-65.....	72
Tabulka 10.1.11 – Rozměry a hmotnosti na zkoušku ITSr směsi BBTM 8A 45/80-65.....	72
Tabulka 10.1.12 – Odolnost vůči vodě směsi BBTM 8A 45/80-65	74
Tabulka 10.1.13 – Podíl asfaltového pojiva na desky směsi BBTM 8A 45/80-65.....	75
Tabulka 10.1.14 – Navážky kameniva na desky směsi BBTM 8A 45/80-65	75
Tabulka 10.1.15 – Rozměry a hmotnosti desek směsi BBTM 8A 45/80-65	75
Tabulka 10.1.16 – Objemové hmotnosti a míra zhutnění směsi BBTM 8A 45/80-65.....	76
Tabulka 10.1.17 – Naměřené hloubky vyjeté koleje směsi BBTM 8A 45/80-65	76
Tabulka 10.1.18 – Vyhodnocení výsledků zkoušky odolnosti proti vzniku trvalých deformací na směsi BBTM 8A 45/80-65	77
Tabulka 10.2.1 – Skladba kameniva směsi BBTM 8B 45/80-65	79
Tabulka 10.2.2 – Normové meze směsi BBTM 8B 45/80-65.....	79

Tabulka 10.2.3 – Podíl asfaltového pojiva směsi BBTM 8B 45/80-65	80
Tabulka 10.2.4 – Navážky kameniva směsi BBTM 8B 45/80-65.....	80
Tabulka 10.2.5 – Rozměry a hmotnosti Marshallových těles směsi BBTM 8B 45/80-65.....	81
Tabulka 10.2.6 – Objemové hmotnosti Marshallových těles směsi BBTM 8B 45/80-65.....	81
Tabulka 10.2.7 – Maximální objemová hmotnost směsi BBTM 8B 45/80-65.....	82
Tabulka 10.2.8 – Podíl asfaltového pojiva na zkoušku ITSR směsi BBTM 8B 45/80-65	83
Tabulka 10.2.9 – Navážky kameniva na zkoušku ITSR směsi BBTM 8B 45/80-65.....	84
Tabulka 10.2.10 – Rozměry a hmotnosti na zkoušku ITSR směsi BBTM 8B 45/80-65	84
Tabulka 10.2.11 – Odolnost vůči vodě směsi BBTM 8B 45/80-65	86
Tabulka 10.2.12 – Podíl asfaltového pojiva na desky směsi BBTM 8B 45/80-65.....	87
Tabulka 10.2.13 – Navážky kameniva na desky směsi BBTM 8B 45/80-65.....	87
Tabulka 10.2.14 – Rozměry a hmotnosti desek směsi BBTM 8B 45/80-65	87
Tabulka 10.2.15 – Objemové hmotnosti a míra zhutnění směsi BBTM 8B 45/80-65.....	88
Tabulka 10.2.16 – Naměřené hloubky vyjeté koleje směsi BBTM 8B 45/80-65	88
Tabulka 10.2.17 – Vyhodnocení výsledků zkoušky odolnosti proti vzniku trvalých deformací na směsi BBTM 8B 45/80-65	89
Tabulka 10.3.1 – Skladba kameniva směsi BBTM 4 50/70 na horní mezi.....	91
Tabulka 10.3.2 – Normové meze směsi BBTM 4 50/70 na horní mezi	91
Tabulka 10.3.3 – Skladba kameniva směsi BBTM 4 50/70 na dolní mezi	92
Tabulka 10.3.4 – Normové meze směsi BBTM 4 50/70 na dolní mezi.....	92
Tabulka 10.3.5 – Podíl asfaltového pojiva směsi BBTM 4 50/70	93
Tabulka 10.3.6 – Navážky kameniva směsi BBTM 4 50/70	93
Tabulka 10.3.7 – Rozměry a hmotnosti Marshallových těles směsi BBTM 4 50/70	94
Tabulka 10.3.8 – Objemové hmotnosti Marshallových těles směsi BBTM 4 50/70	94
Tabulka 10.3.9 – Maximální objemová hmotnost směsi BBTM 4 50/70 na horní mezi	95
Tabulka 10.3.10 – Maximální objemová hmotnost směsi BBTM 4 50/70 na dolní mezi.....	95
Tabulka 10.3.11 – Podíl asfaltového pojiva na ITSR směsi BBTM 4 50/70.....	97
Tabulka 10.3.12 – Navážky kameniva na ITSR směsi BBTM 4 50/70	98
Tabulka 10.3.13 – Rozměry a hmotnosti na ITSR směsi BBTM 4 50/70 na horní mezi	98
Tabulka 10.3.14 – Rozměry a hmotnosti na ITSR směsi BBTM 4 50/70 na dolní mezi.....	99
Tabulka 10.3.15 – Odolnost vůči vodě směsi BBTM 4 50/70 na horní mezi.....	101
Tabulka 10.3.16 – Odolnost vůči vodě směsi BBTM 4 50/70 na dolní mezi	102

Tabulka 10.3.17 – Podíl asfaltového pojiva na desky směsi BBTM 4 50/70	103
Tabulka 10.3.18 – Navážky kameniva na desky směsi BBTM 4 50/70 na horní mezi.....	103
Tabulka 10.3.19 – Navážky kameniva na desky směsi BBTM 4 50/70 na dolní mezi	103
Tabulka 10.3.20 – Rozměry a hmotnosti desek směsi BBTM 8B 45/80-65	105
Tabulka 10.3.21 – Objemové hmotnosti a míra zhutnění směsi BBTM 4 50/70	105
Tabulka 10.3.22 – Naměřené hloubky vyjeté koleje směsi BBTM 4 50/70.....	106
Tabulka 10.3.23 – Vyhodnocení výsledků zkoušky odolnosti proti vzniku trvalých deformací na směsi BBTM 4 50/70.....	107
Tabulka 11.1 – Souhrn výsledků návrhů a zkoušek na Marshallových tělesech.....	111
Tabulka 11.2 – Souhrn výsledků zkoušek prováděných na deskách.....	113

16. SEZNAM GRAFŮ

Graf 5.1.1 – Čáry zrnitostí použitých kameniv	27
Graf 5.1.2 – Čáry zrnitostí použitých kameniv	29
Graf 10.1.1 – Čára zrnitosti směsi BBTM 8A 45/80-65.....	67
Graf 10.1.2 – Poměr pevnosti v příčném tahu směsi BBTM 8A 45/80-65	74
Graf 10.1.3 – Porovnání průběhu hloubky vyjeté koleje na deskách BBTM 8A 45/80-65.....	78
Graf 10.2.1 – Čára zrnitosti směsi BBTM 8B 45/80-65.....	79
Graf 10.2.2 – Poměr pevnosti v příčném tahu směsi BBTM 8B 45/80-65	86
Graf 10.2.3 – Porovnání průběhu hloubky vyjeté koleje na deskách BBTM 8B 45/80-65.....	90
Graf 10.3.1 – Čára zrnitosti směsi BBTM 4 50/70 na horní mezi	91
Graf 10.3.2 – Čára zrnitosti směsi BBTM 4 50/70 na dolní mezi.....	92
Graf 10.3.2 – Poměr pevnosti v příčném tahu směsi BBTM 4 50/70 na horní mezi.....	101
Graf 10.3.2 – Poměr pevnosti v příčném tahu směsi BBTM 4 50/70 na dolní mezi	102
Graf 10.3.3 – Porovnání průběhu hloubky vyjeté koleje na deskách BBTM 4 50/70	107