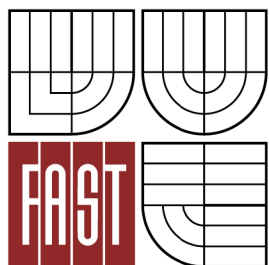




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

NÁVRH A POSOUZENÍ ASFALTOVÉ SMĚSI ASFALTEM MODIFIKOVANÝM PRYŽOVÝM GRANULÁTEM

DESIGN AND EVALUATION OF ASPHALT RUBBER MIXTURE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Petr Hotař

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. JAN KUDRNA, CSc.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Petr Hotař
Název	Návrh a posouzení asfaltové směsi asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem
Vedoucí bakalářské práce	prof. Ing. Jan Kudrna, CSc.
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2011
Datum odevzdání bakalářské práce	25. 5. 2012
V Brně dne 30. 11. 2011	

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

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

Podklady a literatura

TP 148 Hutněné asfaltové vrstvy s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem z pneumatik

ČSN EN 13108-1

ČSN EN 13108-2

ČSN EN 13108-20

Příslušné normy řady ČSN EN 12697

Zásady pro vypracování

V práci bude navržena směs asfaltového betonu pro velmi tenké vrstvy s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem se zrnitostí kameniva do 4 mm (BBTM B 5 s CRmB) včetně provedení počáteční zkoušky typu. Budou stanoveny mezerovitosti směsi na třech sadách zkušebních těles a na výsledné směsi bude určena odolnost vůči účinkům vody a vůči vzniku trvalých deformací. Pro vyhodnocení výsledků zkoušek je třeba prostudovat dostupnou literaturu. Práce bude obsahovat popis a rozdělení technologie zpracovávající pryžový granulát v asfaltových směsích.

Předepsané přílohy

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací

1. Zadání bakalářské práce
2. Popis a rozdělení technologie zpracovávající pryžový granulát v asfaltových směsích
3. Metodika řešení bakalářské práce
4. Představení zkušebních metod
5. Výsledky měření
6. Závěr

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

Abstrakt

Cílem bakalářské práce je navržení asfaltového betonu pro velmi tenké vrstvy s použitím asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem a provedení zkoušek podle normy ČSN EN 13108-2 a TP 148. Práce vychází z prostudované literatury a respektuje vlastnosti asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem. Shrnuty a vyhodnoceny jsou i předpokládané vlastnosti velmi tenkých koberců.

Klíčová slova

Směs, asfalt, pryžový granulát, pojivo, asfalt modifikovaný pryžovým granulátem, asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy

Abstract

The aim of bachelor thesis is to design the asphalt concrete for very thin layers using asphalt rubber and to perform laboratory tests according to ČSN EN 13108-2 and TP 148. The work is based on the literature review and respects properties of asphalt rubber. The expected properties of asphalt concretes for very thin layers are summarized and evaluated.

Keywords

Bituminous mixture, bitumen, crumb rubber, binder, asphalt rubber, asphalt concrete for very thin layers

Bibliografická citace VŠKP

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..

Prohlášení:

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

V Brně dne 25.5.2012

.....
podpis autora

Touto cestou bych rád poděkovat prof. Ing. Janu Kudrnovi CSc., Ing. Ondřeji Daškovi, dále pak všem zaměstnancům školní laboratoře VUT FAST a firmy Consultest s. r. o. v Brně za ochotu, pomoc a cenné rady při zpracovávání této bakalářské práce.

Obsah:

1. Úvod.....	10
1.1. Využití a význam granulátu ve stavebnictví	11
1.2. Výhody a nevýhody asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem ...	12
2. Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy.....	13
2.1. Definice, zkratky	13
2.2. Použití směsi BBTM	14
2.3. Kamenivo.....	14
2.4. Filer.....	14
2.5. Asfalt.....	14
2.6. Pryžový granulát.....	15
2.6.1. Výroba pryžového granulátu	15
2.7. Asfalt modifikovaný pryžovým granulátem.....	16
2.7.1. Výroba asfaltové směsi s CRmB	17
2.8. Doprava a pokládka směsi s CRmB	18
3. Metodika řešení	20
4. Návrh a příprava asfaltové směsi	22
4.1. Kamenivo.....	22
4.2. Pojivo.....	23
4.2.1. Stanovení penetrace	23
4.2.2. Stanovení bodu měknutí	24
4.2.3. Dynamická viskozita	24
4.2.4. Hodnota penetrace a pružné regenerace – resilience.....	25
4.3. Návrh čáry zrnitosti směsi BBTM.....	26
4.4. Zhotovení směsi.....	27
4.5. Stanovení fyzikálně mechanických vlastností.....	28
4.6. Objemové hmotnosti jednotlivých směsí	28
4.7. Maximální objemová hmotnost.....	29

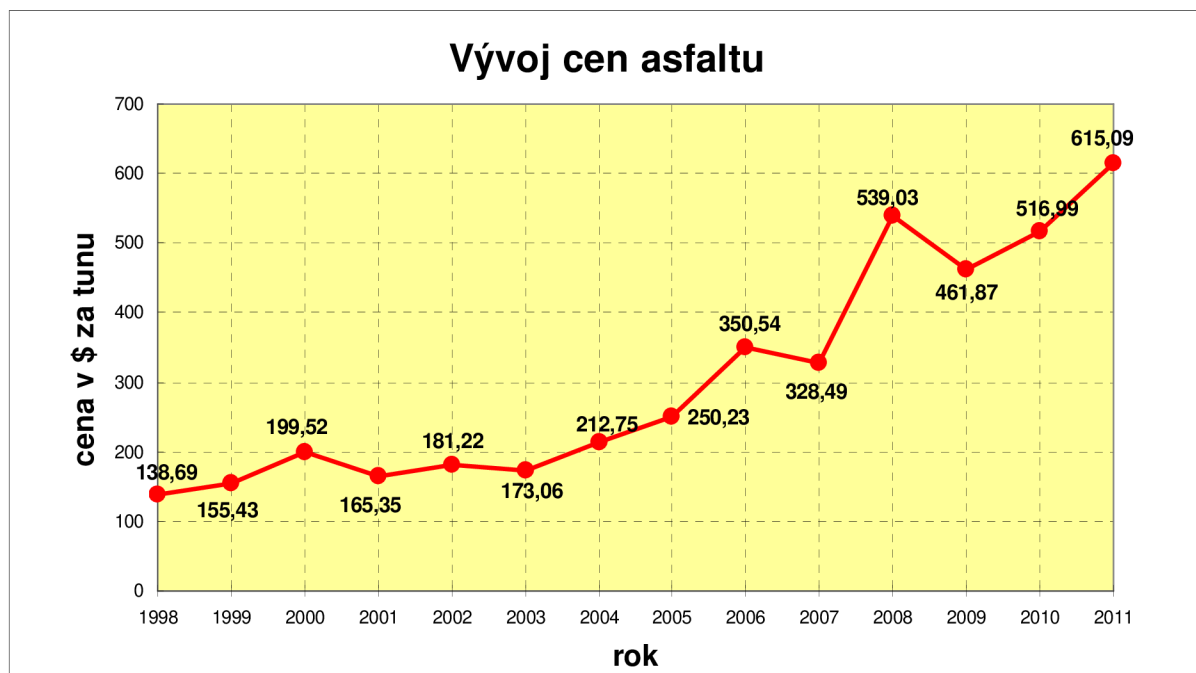
4.8.	Ztráta částic zkušebního tělesa	31
4.9.	Stanovení mezerovitosti směsi	32
4.10.	Mezerovitost směsi kameniva (VMA), stupeň vyplnění mezer pojivem (VFB)	33
4.11.	Odolnost proti účinkům vody	34
4.12.	Zkouška pojíždění kolem	37
4.13.	Pokládka zkušebního úseku	40
5.	Závěr	42
6.	Seznam použité literatury	43
7.	Seznam použitých zkratk a symbolů	45
8.	Seznam grafů	46
9.	Seznam tabulek	46
10.	Seznam obrázků	47

1. Úvod

Z důvodů několika násobného zvýšení cen asfaltu v posledních letech, které je dobře vidět v následujícím grafu a narůstající zátěži na dopravních komunikacích, jsou čím dál větší nároky na efektivnost a životnost asfaltových směsí. Z tohoto důvodu je potřeba vyvíjet nové druhy asfaltových směsí.

Zlepšování asfaltových směsí se v dnešní době běžně provádí použitím polymerem modifikovaných asfaltů. Jinou možností je přidání drcené pryže z ojetých pneumatik do silničního asfaltu. Podle některých literatur (převážně z Kalifornie) dovoluje tato technologie provádění tenkých obrusných vrstev při zachování srovnatelné životnosti. Důvodem je vyšší odolnost proti únavě, stárnutí, trvalým deformacím a trhlinám. Z hlediska dlouhodobého jsou náklady na údržbu a opravy nižší a je rovněž možné opětovné využití asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem (stejně jako v případě vrstev s běžnými pojivy). Mezerovité typy směsí oproti obvyklým obrusným vrstvám zřetelně snižují hladinu akustického tlaku hluku a zabraňují vytváření vodní clony za automobily při dešti.

V neposlední řadě výhodou modifikovaného asfaltu pryžovým granulátem je ekologická spotřeba ojetých pneumatik, které se jinak musí složitě spalovat nebo ukládat na skládky.



Graf č. 1 Vývoj ceny asfaltu na Americké burze [20]

1.1. Využití a význam granulátu ve stavebnictví

Využití pryžového granulátu z pneumatik v pozemním stavitelství není úplně nový objev. V minulosti se pryžový granulát přidával do asfaltových směsí za pomoci technologie Rubit (viz. kapitola 2.6.1). Hmoty vzniklé tímto procesem ale neměly požadované mechanické a fyzikální vlastnosti. Granulát se rovněž využívá v materiálech určených k tlumení hluku a vibrací v železniční, tramvajové i automobilové dopravě. Používá se při výstavbě klidových pěších zón, do různých rohoží a izolací, zkrátka tam, kde je zapotřebí snížit dopad (doskok) nebo jen zpříjemnit chůzi nebo omezit vliv hlukových emisí.

Výhody vyplývající z používání pryžového granulátu z ojetých pneumatik v dopravním stavitelství můžeme rozdělit do několika kategorií: zlepšení vlastností asfaltů, nižší ekologické zatížení životního prostředí a šetření s přírodními zdroji. Důvod je zřejmý. Když pneumatiky uložíme na skládku, tak narušují její stabilitu, zvyšují riziko požáru se vznikem toxických plynů, riziko průsaku toxických látek a jsou těžko biodegradovatelné. Na výrobu pneumatik se používá 60 až 70 % z celkové spotřeby kaučuku. Využitím tohoto gumového odpadu je možné ušetřit asi 2 tuny ropy na výrobu 1 tuny gumových výrobků.

V současné době se také odpadní pneumatiky v ČR spotřebovávají energeticky jako palivo. Spalování pneumatik se běžně využívá v cementářských rotačních pecích, které jsou většinou vybaveny zařízením umožňujícím spalovat celé pneumatiky. Pneumatika je zdrojem velmi cenné energie, její výhřevnost je srovnatelná s běžnými fosilními palivy, což je dáno vysokým podílem uhlovodíků. Na druhou stranu podle zákona o odpadech č. 185/2001 Sb. v § 9a, který jasně doporučuje postup při nakládáním s odpady, vyplývá, že nejvhodnější je předcházení vzniku odpadů, dále příprava k opětovnému použití a recyklace a až na další pozici se řadí jiná vhodná využití (například energetické). Díky tomu je současný trend zpracování odpadních pneumatik jako materiálu, ať už jde o jejich protektorování, výrobu pryžového regenerátu nebo granulátu.

Při rozšíření využívání ojetých pneumatik by také mohlo nastat jejich zlevnění, protože podle zákona 185/2001 Sb., ve znění pozdějších předpisů, v § 38 stanovuje povinnost zpětného odběru některých výrobků, mezi něž patří i pneumatiky, kterou mají výrobci nebo dovozci. Konečný spotřebitel za tuto službu platí recyklační poplatek, který se připočítává k ceně výrobku. V případě možnosti prodeje ojetých pneumatik za účelem jejich dalšího zpracování by se mohlo stát, že tento recyklační poplatek by nebyli nuceni platit. [23] [24] [25]

1.2. Výhody a nevýhody asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem

Přidáním granulátu do asfaltu nastává absorpce kaučuku olejové složky asfaltu částicemi kaučuku, dochází ke vzájemné interakci a zlepšení vlastností pojiva: vyšší tuhosti za vyšších teplot (asfalt se za horka méně roztéká) a vyšší pružnosti za teplot nízkých (v mrazu nevznikají trhliny). Hrubší frakce granulátu zvyšují elasticitu směsi, což přispívá k rozrušování vrstvy ledu v zimním období. Dalším účinkem pryžového granulátu je zdrsnění povrchu vozovky, což zvyšuje adhezi s pneumatikami projíždějících vozidel (výborná vlastnost zvláště za deště), kromě toho se za autem při dešti tvoří mnohem menší vodní clona. Zároveň se snižuje hlučnost při odvalování pneumatik projíždějících vozidel.

K úskalím modifikovaného asfaltu pryžovým granulátem patří vyšší pracnost, energetická a organizační náročnost při výrobě. Pro zabudování pryžového granulátu do asfaltu je nezbytné použít v obalovnách přídatné míchací zařízení. Takto modifikovaný asfalt a asfaltové směsi jsou více „lepivé“ a tím pádem obtížněji zpracovatelné a hutnitelné, což je ale možné řešit mírně vyšší teplotou pokládky, odlišným složením kameniva a vyšším dávkováním pojiva.

Nicméně výhody směsí vytvořených z asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem převažují nad nevýhodami a úspory nad vyšší pracností. Nezanedbatelným přínosem je i to, že při použití směsí s obsahem pryže by se na jeden kilometr silnice dalo při čtyřcentimetrové obrusné vrstvě položeného modifikovaného asfaltu pryží ekologicky recyklovat až osm tisíc pneumatik. To by také znamenalo, že při roční výrobě jednoho milionu tun těchto směsí by každý rok zmizelo ze skládek 25 tisíc tun starých pneumatik. [23] [26]

2. Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy

Asfaltová směs pro velmi tenké vrstvy byla vyvinuta ve Francii na začátku devadesátých let. Hlavní výhodou směsi je malá spotřeba materiálu, čímž se snižují náklady a zároveň šetří životní prostředí. Úspora financí těchto směsí, při současných cenách je asi o 11 % nižší, než při použití alternativní směsi ACO tloušťky 40 mm. Díky nižší tloušťce jsou tyto asfaltové betony také ekonomičtější při jejich frézování a obnovách. [22]

Použitím asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem mají tyto koberce vysoký obsah středně zrného kameniva a vytváří pravidelnou texturu povrchu, která umožní snižovat maximální velikost zrn kameniva na 4 mm až 8 mm. Snížení velikosti zrn a příznivý účinek obsaženého pryžového granulátu zaručuje dobré protismykové vlastnosti. Použitý vyšší obsah pojiva omezuje stárnutí a prodlužuje trvanlivost a odolnost vrstev vůči dopravnímu zatížení. Nezanedbatelnou výhodou je také rychlejší pokládka a výstavba. Směs má díky své makrotextuře velmi dobré povrchové vlastnosti a dokáže snížit hladinu hluku od dopravy až o 3 dB. [27]

2.1. Definice, zkratky

Asfalt modifikovaný pryžovým granulátem, (označení CRmB) – směs kameniva zrnitosti asfaltového betonu nebo asfaltového betonu pro velmi tenké vrstvy, asfaltového koberce mastixového, drenážního nebo otevřeného, která je stmelená CRmB

Pryžový granulát – odpadní pryž z pneumatik zbavená příměsí kordu a upravená mechanicky granulováním nebo mletím, popř. kalandrováním [19]

BBTM - označení asfaltového betonu pro velmi tenké vrstvy, pochází z francouzského

Béton bitumineux très mince.

písmeno D – velikost oka nejhrubší frakce použitého kameniva v mm

písmena A, B, C – písmena pro rozšíření jsou za písmenem D udávají druh zrnitosti asfaltové směsi BBTM. [14]

Příklad: BBTM 8 A – Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy s maximální velikostí zrna použitého kameniva 8 mm třídy A.

Asfaltová směs s CRmB (označení směs s CRmB) – hutněná směs kameniva zrnitosti asfaltového betonu nebo koberce tenkého nebo drenážního s pojivem CRmB. [19]

2.2. Použití směsi BBTM

Asfaltová směs asfaltového koberce velmi tenkého se používá do obrusných vrstev netuhých a nebo 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. [19]

2.3. Kamenivo

Kamenivo použité pro výrobu směsi BBTM musí vyhovovat požadavkům uvedených v ČSN EN 13108-1 [1] a ČSN EN 13043. Pro úseky vozovek se zvýšenými požadavky na protismykové vlastnosti obrusné vrstvy se doporučuje kamenivo splňující ohladitelnost PSV nejméně 56. [14]

V této práci byla upravena čára zrnitosti podle nově schvalovaných TP 148 podle tabulky P1 na 0/5 mm.

2.4. Filer

Z drobného kameniva lze vyčlenit takzvaný filer. To je kamenivo, u kterého jeho podstatná část (minimálně 70 %) tvoří obsah jemných částic, které propadnou sítím 0,064 mm. Filer vzniká dvěma způsoby, jako odpadní produkt při úpravě (drcení a třídění) kameniva tj. filer směsný a filer přídatný vyráběný úmyslně například z vápence. Do tohoto specifického druhu kameniva zahrnujeme i materiály, jako jsou cement a vápenný hydrát. Stejně jako kamenivo musí filer vyhovovat ČSN EN 13043. [28]

2.5. Asfalt

Na výrobu směsi BBTM B je vhodné použít asfalt modifikovaný pryžovým granulátem, protože směsi na výrobu velmi tenkých koberců mají přerušenu čáru zrnitosti a vyšší

mezerovitost (7 % až 15 %), navíc přísada pryžového granulátu omezí vznikající hluk od odvalující se pneumatiky. Pro směs se použije silniční asfalt odpovídající normě ČSN EN 12591. Množství přidaného asfaltu je vyšší než u běžných směsí ACO a to minimálně 7,0 %. Pro klimatické poměry v ČR odpovídají silniční asfalty 50/70, popřípadě 70/100.

2.6. Pryžový granulát

Pryžový granulát lze získat několika způsoby, nejčastější je metoda vícenásobného mletí za normální teploty, dále získání granulátu kryogenní metodou nebo nově ozónovým rozkladem. Pro směsi s CRmB se nejčastěji používá granulát se zrnitostí do 1,0 mm nebo do 2,0 mm.

Granulát používaný pro výrobu CRmB má mít stálou objemovou hmotnost ($\pm 60 \text{ kg} \times \text{m}^{-3}$), vlhkost nižší než 0,75 %, obsah částic oceli nižší než 0,01 %, vláken méně než 0,5 % a jiné znečištění (písek, sklo, dřevo apod.) smí být nejvýše 0,25 %. K zabránění slepování granulátu se ovšem připouští použití mastku v množství nejvýše 4 %. [19]

2.6.1. Výroba pryžového granulátu

- Metoda vícenásobného mletí za normální teploty: Pneumatiky se nejprve rozřežou na díly cca 60 x 60 mm. U velkých pneumatik se vyndají ocelová lana, aby nedocházelo k rychlému opotřebení drtičů. Následně se mechanicky rozdrť v drtičkách. Drcení se provádí několikrát na různých drtičkách k získání požadované velikosti zrn, po té se separací odstraní textilní části a zbylá ocel. Za posledním drtičem je osazen vibrační třídič, který rozděluje granulát na jednotlivé frakce a větší zrna vrací zpět na opětovné zpracování. Obvyklá kapacita této technologie je 1-2 tuny drti za hodinu. Granulát vzniklý tímto způsobem má bohatě členěný povrch.

Pro úpravu vlastností zrn granulátu je možné na konec výrobní linky zařadit tzv. kalandr, což je zařízení obsahující dva hladké ocelové válce s různou úhlovou rychlostí rotace. Zrna granulátu procházejí úzkou štěrbinou mezi těmito válci, čímž jsou zrna povrchově upravena (kalandrována). [22] [25]

- Kryogenní metoda: Při této metodě se pneumatiky nejdříve zmrazí kapalným dusíkem přibližně na teplotu $-80 \text{ }^\circ\text{C}$. Při této teplotě se stanou natolik křehké, že lze poměrně snadno rozsekat sekacím strojem. Výhodou tohoto způsobu provádění je rychlejší a čistější získávání velmi jemné frakce s malým měrným povrchem. Na 1 kg

pneumatik je průměrná spotřeba dusíku 0,6 kg. Nevýhodou kryogenní metody je její finanční náročnost. [29]

- Ozonovým rozkladem: Při této metodě pneumatiky procházejí vysoce koncentrovanou ozonovou atmosférou. V této atmosféře dochází k rozpadu na pryžovou drť poté z pneumatiky zůstává jen kovová kostra. V této metodě je nutné zajistit, aby na určitý objem pryže působila přesná dávka ozonu, proto jsou pneumatiky tříděny podle objemu a druhu. Granulát vyrobený ozonovým rozkladem se do asfaltových směsí nepoužívá. [25]



Obr. č.1 Detail drtiče [30]



Obr. č. 2 Třídící síto [30]

2.7. Asfalt modifikovaný pryžovým granulátem

Do Evropy přišla technologie přidávání pryžového granulátu z USA, kde silniční materiály s přídavkem pryžového granulátu vznikly již na konci třetího desetiletí 20. století. Ze začátku byly používány jako spojovací nátěry a membrány.

První použití pryžového granulátu v silničním stavitelství se datuje do padesátých let 20. století, kdy se tento materiál stejně jako v USA použil v pojivech pro nátěry. V dalších letech došlo k realizacím směsí s pryžovým granulátem (asfaltový beton a lité asfalt), zálevky a pružných membrán mezi vrstvy vozovky. Další využívání granulované pryže přišlo na přelomu 21. století, kdy se začal přidávat granulát frakce 0/4 mm přímo do míchačky obalovny, ale tento způsob přípravy směsí se neosvědčil a přestal se využívat.

Dnešní způsoby zpracování pryžového granulátu se začaly prosazovat až od roku 2006. Jedná se o výrobu asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem v míchacím zařízení na obalovně takzvaný mokrý proces. Dále pak výroba CRmB přímo v rafinérii. Díky tomu jednotlivé ropné společnosti vyvíjejí vlastní pojiva. [31]

2.7.1. Výroba asfaltové směsi s CRmB

K vytvoření asfaltové směsi se dá použít několik metod:

1. Suchý proces (Rubit): Starší metoda založená na přidání granulátu zrnitosti 0/4 spolu s kamenivem přímo do míchacího zařízení. K dosažení potřebné homogenity je nutné prodloužit dobu míchání. Směsi vzniklé tímto procesem nedosahovaly požadovaných vlastností.
2. Mokrý proces (Crumb Rubber modified Bitumen, CRmB): Je to nejrozšířenější způsob výroby asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem. V zásadě lze technologii přidavku pryžového granulátu do asfaltu rozdělit na kontinuální výrobu neskladovatelného pojiva na obalovně (continuous blend) a výrobu pojiva v rafinérii s přísadami omezujícími usazování pryžového granulátu s omezenou dobou zpracovatelnosti (terminal blend). Podle platných TP 148 se CRmB rozděluje do tří tříd skladovatelnosti.

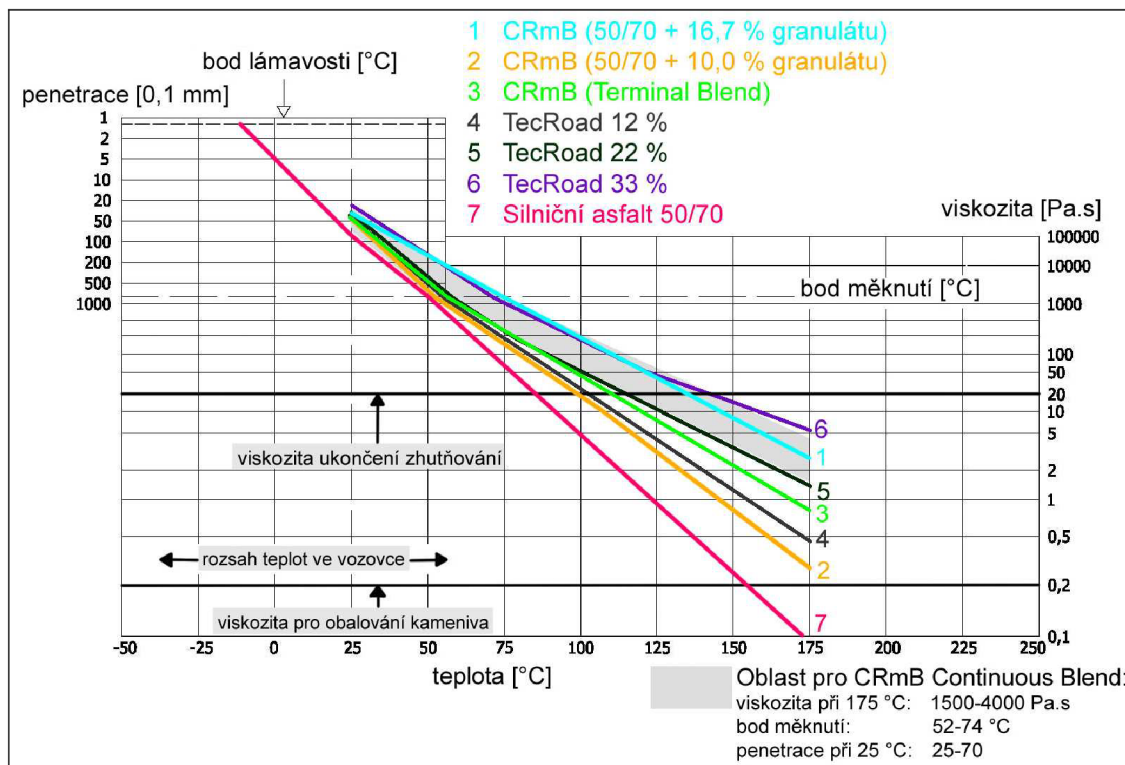
„Continuous blend“ (kontinuální výroba). Při této výrobě se asfalt mísí s pryžovým granulátem až v obalovně pomocí speciálního zařízení. Do asfaltového pojiva se postupně vmíchává pryžový granulát, jehož množství tvoří 15 % až 25 % hmotnosti pojiva. Pryžový granulát se mísí za horka se silničním asfaltem, proces míšení trvá 45 až 90 minut a probíhá za teploty 170 °C až 185 °C. Následně se pojivo převede do reakční nádrže za stálého míchání. Tím se díky absorpci olejové složky asfaltu kaučukem výrazně mění vlastnosti pojiva, snižuje se penetrace a zvyšuje se bod měknutí. Pojivo vyrobené kontinuální metodou je v TP 148 označeno jako pojivo, u kterého se skladovatelnost neposuzuje.

„Terminal blend“ je pojivo vytvořené přímo v rafinérii, které se vyrábí modifikací asfaltu jemnozrnným pryžovým granulátem. Používá se menší množství jemného pryžového granulátu 5 % až 15 % spolu s chemickými přísadami, které udržují jemné částice pryže rozptýlené v celém objemu pojiva. Tyto pojiva jsou následně skladována, proto podle TP 148 se tento typ CRmB posuzuje na skladovatelnost upravenou metodikou zkoušení. Z tohoto důvodu je nutné dodržet předepsanou dobu transportu a skladování, vhodné je CRmB na obalovně promíchat.

3. Poslední způsob přidání granulátu do směsi je poměrně nový a využívá výhod mokrého i suchého procesu. Technologie TecRoad spočívá ve vytvoření asfaltového koncentrátu

obsahujícího pryž. Z vytvořeného koncentrátu se chemickou cestou vytvoří sypký materiál dodávaný v plastových pytlích. U výroby způsobem TecRoad je možné přísadu dávkovat zároveň s kamenivem jako u technologie Rubit a zároveň dosahovat stejných vlastností jako u mokrého procesu, protože většina pryžového granulátu už reagovala při výrobě koncentrátu.

Srovnání výše uvedených metod znázorňuje následující graf, který popisuje hodnocení pojiv dynamickou viskozitou s jednotkou Pa.s v závislosti na teplotě, hodnotami bodu měknutí a penetrace. [25]



Graf č. 2 Vlastnosti jednotlivých asfaltů modifikovaných pryžovým granulátem [25]

2.8. Doprava a pokládka směsi s CRmB

Dopravu směsí s obsahem pryžového granulátu znepříjemňuje její lepivost. Proti této vlastnosti je vhodné úložný prostor vozidel přepravujících tuto směs nejprve ošetřit separačními prostředky s výjimkou petroleje, nafty, benzínu nebo jiných rozpouštědel. Směs by také při přepravě měla být chráněna proti ochlazení a znečištění z okolí.

Před samotnou pokládkou směsí s CRmB je nutné provést spojovací postřik z modifikované kationaktivní emulze v množství $0,25 \text{ kg/m}^2$ až $0,40 \text{ kg/m}^2$ zbytkového asfaltu v závislosti na mezerovitosti podkladu. U vrstev s mezerovitostí větší jak 7% je potřeba zvýšit toto množství od $0,45 \text{ kg/m}^2$ až $0,60 \text{ kg/m}^2$. Obrusné vrstvy, které mají

mezerovitost větší než 10% a leží na ložní vrstvě s mezerovitostí větší než 6% se musí opatřit postřiky podle Technických podmínek TP 147.

Pokud se pokládka provádí na starou asfaltovou vrstvu, musí být nejprve opraveny všechny výtluky vysprávkou z asfaltového betonu a utěsněny všechny trhliny. Povrch musí být dokonale očištěn od uvolněného materiálu a nečistot. Nerovnosti na stávajícím podkladu, které jsou větší než 20mm u ložných vrstev a 10 mm u obrusných, se musí odstranit buď frézováním nebo vyrovnávací vrstvou.

Teplota 24 hodin před pokládkou by neměla klesnout pod 6 °C a při samotné pokládce pod 10 °C, pro pokládání ložné nebo podkladní vrstvy jsou minimální teploty 3 °C a 6 °C. Pokládka směsí s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem se provádí finišery. Zvláště u směsí BBTM B je vhodné pokládku provádět v celé šířce úseku dvěma finišery jedoucimi za sebou s co nejmenší vzájemnou vzdáleností. Ruční rozprostírání směsi je nutné omezit na minimum s tím, že plocha musí být pečlivě upravena hrábly.

Směsi s CRmB se nejčastěji hutní statickým účinkem válců a jejich sestavami , které zajistí dostatečné zhutnění vrstvy. Použití vibračních válců není vyloučeno, ale je možné je použít pouze tehdy, pokud je vrstva vyšší než 35 mm. Hutnění vibračními válci se provádí pouze v první fázi a to maximálně třemi pojezdy. Dohutňování se provádí do teploty 60 °C. Dobře provedené zhutnění je zárukou dlouhé trvanlivosti úseku. [19]

3. Metodika řešení

Do dnešní doby jsou asfaltové betony pro velmi tenké vrstvy (BBTM) na našem území velmi málo rozšířené. V platných TP 148 z roku 2009 jsou definovány požadavky pouze pro BBTM s maximální velikostí zrna kameniva do 8 mm a 11 mm. V národní příloze ČSN EN 13108-2 jsou v tabulce NA.5.1 mimo jiné uvedeny požadavky na směsi BBTM 5 A a BBTM 5B. Nově revidované TP 148 upřesňují a upravují požadavky normy ČSN EN 13108-2. na směsi BBTM 5 A a BBTM 5 B, které obsahují nízkoviskózní nebo vysokoviskózní asfalt modifikovaný pryžovým granulátem (CRmB).

Toto nové znění technických podmínek je schváleno v rámci připomínkového řízení v ČR, ale prozatím není v platnosti, protože předpis čeká na notifikaci Evropskou komisí. Návrhové složení směsi bylo zvoleno na základě požadavků národní přílohy ČSN EN 13108-2 , nově revidovaných TP 148 a na základě zkušeností vedoucího práce.

Pro návrh směsi byly zvoleny tři sady zkušebních těles s obsahu asfaltu 7,7 % 8,2 % a 8,7 % z celkové hmotnosti směsi. Jako pojivo byl vybrán silniční asfalt výrobce OMV gradace 50/70 s 16 % pryžového granulátu výrobce Kovosteel se zrnitostí 0/0,7 mm z celkové hmotnosti asfaltu. Čára zrnitosti kameniva byla pro všechny sady zkušebních těles stejná, byla navrhována dle síťového rozboru jednotlivých frakcí kameniv tak, aby splňovala požadavky normy ČSN EN 13108-2 a nově schválených TP 148, na základě navržené čáry zrnitosti bylo vypočteno výsledné dávkování směsi.

Pro každou sadu směsi byla vytvořena 3 Marshallova tělesa podle ČSN EN 12697-30 [11]. Z těchto tří sad těles byly zjištěny objemové hmotnosti podle ČSN EN 12697-6 a následně maximální objemové hmotnosti podle ČSN EN 12697-5. Maximální objemová hmotnost byla společně s objemovou hmotností použita ke zjištění mezerovitosti směsi.

Bohužel výsledky těchto zkoušek nebyly zcela průkazné a jednoznačné. Proto byla pro následující postup zvolena zkouška zjištění ztráty částic zkušebního těla podle ČSN EN 12697-17 i přes to, že tento postup je přednostně určen spíše pro směsi asfaltových koberců drenážních.

Po zhodnocení výsledků všech zkoušek, byla vybraná pro další měření směs s obsahem pojiva 7,7 % (dolní sada). Bylo vytvořeno 6 nových Marshallových těles dle výše uvedené normy a byla provedena zkouška na zjištění odolnosti vůči působení vody podle ČSN EN 12697-12. Jako poslední byla na směsi provedena zkouška pojíždění kolem dle ČSN EN 12697-22 (malé zkušební zařízení, na suchu). Výsledky zkoušek budou uvedeny v následujícím textu, vzájemně srovnány a okomentovány.

4. Návrh a příprava asfaltové směsi

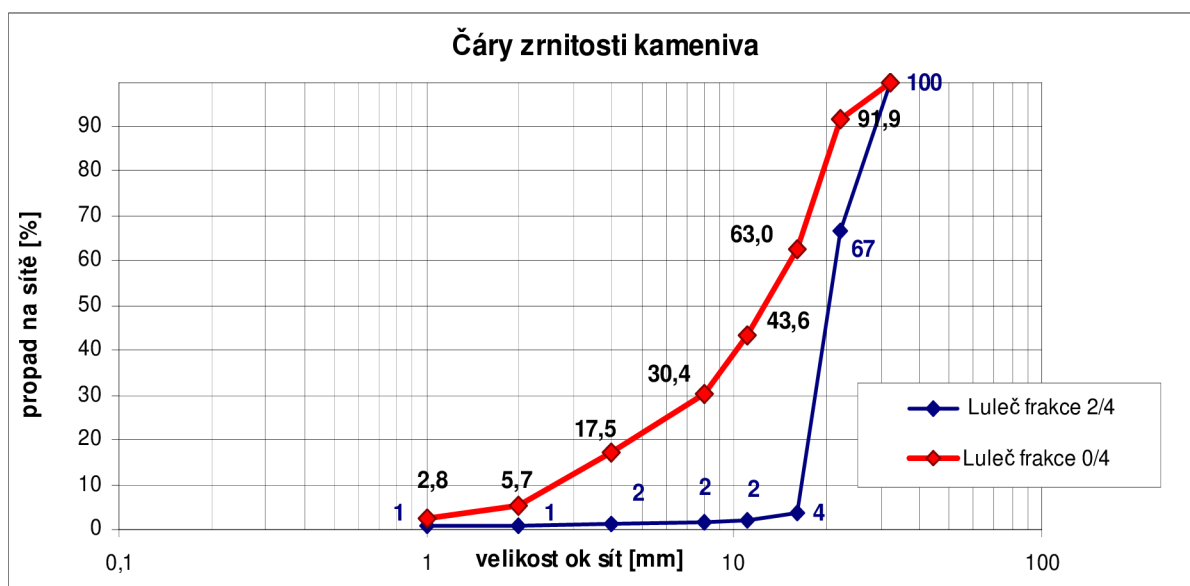
Pro přípravu asfaltové směsi byl jako pojivo zvolen asfalt modifikovaný pryžovým granulátem s obsahem pryžového granulátu 16 % granulátu. Byly vytvořeny 3 sady po 3 kusech Marshallových těles s různým obsahem pojiva, na nichž se stanovila mezerovitost, objemová hmotnost, zrnitost, ztráta částic. Podle těchto výsledků byla stanovena optimální směs s obsahem 7,7 % asfaltu. Z této směsi bylo vytvořeno dalších 6 těles, které sloužily k určení odolnosti vůči vodě. Dále pak byly vytvořeny zkušební desky na zjištění odolnosti proti trvalým deformacím.

4.1. Kamenivo

Kostru kameniva byla složena ze dvou frakcí a to 0-4 mm a 2-4 mm z lomu Luleč a vápencové moučky z lomu Mokrá. Na těchto frakcích byl již předem proveden síťový rozbor a vytvořeny čáry zrnitosti jednotlivých frakcí podle ČSN EN 12697-2 . [2]

Frakce	2-4	0-4	Filer
Lokalita	Luleč 2-4 3.2011	Luleč 0-4 4.2011	vápencová moučka Mokrá 4.2011
11	100,0	100,0	100,0
8	100,0	100,0	100,0
4	66,9	91,9	100,0
2	4,2	63,0	100,0
1	2,4	43,6	100,0
0,5	1,9	30,4	100,0
0,25	1,6	17,5	99,9
0,125	1,3	5,7	98,8
0,063	1,0	2,8	97,6

Tabulka č. 1 Síťový rozbor jednotlivých frakcí



Graf č. 3 Čáry zrnitosti kameniva

4.2. Pojivo

Jako pojivo pro směs byl zvolen asfalt od výrobce OMV gradace 50/70 s přidavkem granulátu výrobce Kovosteel frakce 0/0,7 mm s dávkováním 16,0 % granulátu z hmotnosti asfaltu, tj. 13,8 % z hmotnosti CRmB. Asfalt modifikovaný pryžovým granulátem byl už předem namíchán v laboratoři. Před samotným přidáním do směsi byl CRmB rozeřhán v sušárně na teplotu 170 °C. Potom byl CRmB rozmíchán, aby došlo k rovnoměrnému rozptýlení granulátu a bylo přidáno 0,2 % aditiva TEGO Addibit L 300 z hmotnosti asfaltu na zlepšení odolnosti proti účinkům vody.

Na asfaltu modifikovaném pryžovým granulátem byly před zhotovením asfaltové směsi provedeny následující zkoušky:

4.2.1. Stanovení penetrace

Stanovení penetrace jehlou bylo provedeno dle ČSN EN 1426 [15] a TP 148. Ke zjištění konzistence vzorku byla měřena konečná hodnota penetrace jehly do vzorku, který byl v nádobě o hloubce 35 mm a průměru 55 mm. Zatláčování jehly se provádělo pod zatížením 100 g a po dobu trvání 5 s. Teplota zkoušky byla 25 °C. Výsledek penetrace byl vyjádřen jako aritmetický průměr naměřených hodnot s maximální odchylkou 0,2 mm od nejnižší a nejvyšší penetrace. Průměr zjištěných penetračních jednotek byl 39 p.j.

4.2.2. Stanovení bodu měknutí

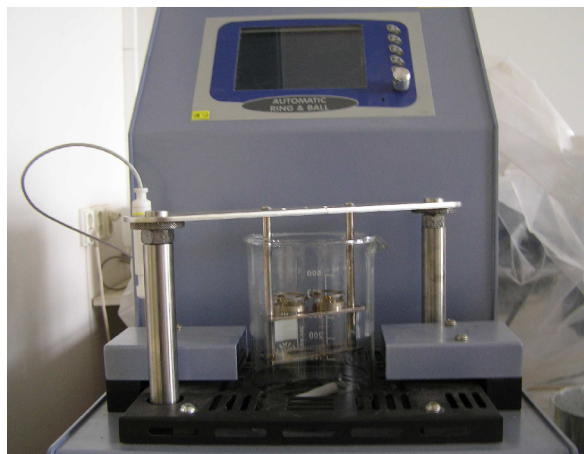
Určení bodu měknutí CRmB bylo provedeno dle ČSN EN 1427 [16] Metoda kroužek kulička. Sestavil se přístroj s kroužky naplněnými vzorky, tyto vzorky se spolu s kovovými kuličkami vložily do lázně. Vodní lázeň se připravila z odvzdušněné destilované vody o počáteční teplotě $5\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$. Pomocí kleští se kuličky umístily do svých středících zařízení.

Kapalina v lázni se následně míchala a ze spodu zahřívala tak, že teplota stoupala rychlostí 5 °C za minutu. Plynulost nárůstu teploty je důležitá k zajištění reprodukovatelnosti výsledků. U každého kroužku a kuličky se zaznamenala konečná teplota v okamžiku, kdy se asfalt obklopující kuličku dotkl základní desky měřicího přístroje. Jelikož rozdíl teplot nebyl vyšší než 2 °C , nebylo nutné zkoušku opakovat.

Výsledný průměr bodů měknutí CRmB byl $59,9\text{ °C}$.



Obr. č. 3 Zkouška penetrace



Obr. č. 4 Přístroj na zjištění bodu měknutí

4.2.3. Dynamická viskozita

Stanovení dynamické viskozity pojiv rotačním vřetenovým viskozimetrem podle ČSN EN 13302 [17]. K získání dynamické viskozity CRmB byl využit analogickým viskozimetrem RION. Před samotným měřením tímto přístrojem se pojivo nalilo do nádoby, která se nechala vytemperovat na teplotu 175 °C v sušárně. Do takto připravené nádoby se následně vložil rotor přístroje a po dobu 30s se nechala hodnota ustálit. U zkoušky se zaznamenávala viskozita, smyková rychlost a teplota. Z aritmetického průměru zjištěných hodnot vyšla dynamická viskozita o hodnotě $1,7\text{ Pa}\cdot\text{s}$.



Obr. č. 5 Viskozimetr RION

4.2.4. Hodnota penetrace a pružné regenerace – resilience

Zkušební metoda pro stanovení penetrace a pružné regenerace – resilience se provedla podle ČSN EN 13880-3 [18]. Pro tuto zkoušky byl zhotoven zkušební vzorek v nádobce o výšce 45 mm a vnitřním průměrem 70 mm. Vzorek se vytemperoval ve vodní lázni na teplotu 25 °C. Po vyjmutí se kulička penetračního nástavce nastavila do kontaktu s povrchem, následně se zatížila 75 ±0,1 g po dobu 5 s. Po této době se odečetla počáteční penetrace P, pak se opět uvolnila aretace penetrometru a nástavec s kuličkou se zatlačil o 10 mm. Přístroj se vynuloval a uvolnil na dobu dalších 20 s a zaznamenala se konečná hodnota penetrace F.

Resilience se spočítala ze vztahu:

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

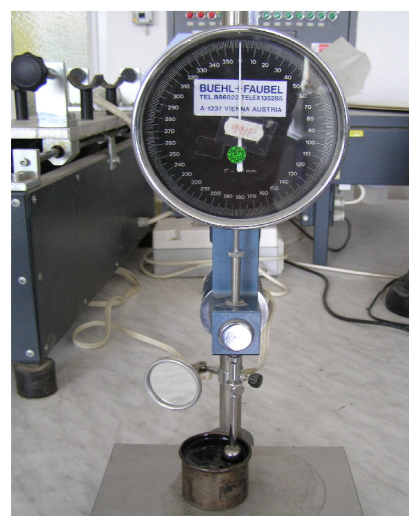
Kde R je resilience v procentech (%)

P..... počáteční penetrace kuličky v mm

F..... konečná penetrace v milimetrech (mm)

Vzorek	Počáteční penetrace (mm)	Konečná penetrace (mm)	Resilience (%)
1	6	82	24
2	6	81	25
3	6	82	24
průměr			24%

Tab. č. 2 Resilience



Obr. č. 6 Penetrometr

4.3. Návrh čáry zrnitosti směsi BBTM

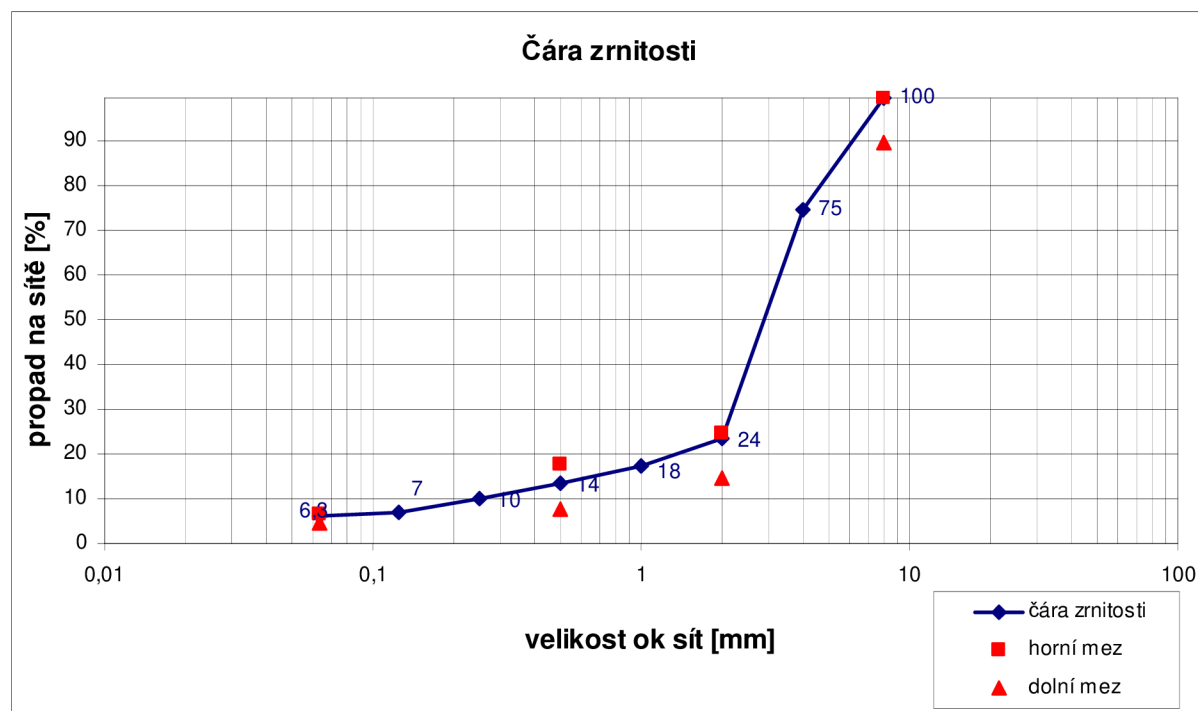
Čára zrnitosti pro směs BBTM (Béton bitumineux trés mince) byla stanovena na základě síťového rozboru provedeného na frakcích kameniva 0-4 mm a 0-2 mm z lomu Luleč a vápencové moučky z lomu Mokrá. V době přípravy směsi ještě nebylo vydáno TP 148, ve kterém jsou uvedeny požadavky na složení směsi BBTM B 5.

frakce	podíly v %	podíly	Hmotnosti (kg)
filer	5,0	0,050	49,1
0-4	25,0	0,250	245,5
2-4	70,0	0,700	687,4

Tab. č. 3 Skladba kameniva

Kamenivo frakce	Propad sítím									Lokalita
	11	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063	
2-4	100	100	66,9	4,2	2,4	1,9	1,6	1,3	1,0	Luleč 2-4 3.2011
0-4	100	100	91,9	63,0	43,6	30,4	17,5	5,7	2,8	Luleč 0-4 4.2011
Filer	100	100	100	100	100	100	99,9	98,8	97,6	vápencová moučka Mokrá 4.2011
Hor. mez	100	100		25		18			7	
návrh	100	100	74,8	23,7	17,6	13,9	10,5	7,3	6,3	
Dol. mez	100	90		15		8			5	

Tab. č. 4 Procentuální propad jednotlivých frakcí



Graf č. 4 Čára zrnitosti směsi

4.4. Zhotovení směsi

Příprava směsí se začala vysušením kameniva v laboratorní sušárně při teplotě 150 °C podle normy ČSN EN 12697-35 [13]. Následně se kamenivo po ochlazení na laboratorní teplotu navážilo dle navrženého dávkování jednotlivých frakcí (viz tabulka č. 3). Po navážení se kamenivo promíchalo a dalo nahřát na teplotu 175 °C. Rozehřál se předem připravený CRmB s přísádkem aditiva a pojivo se vždy promíchalo. Následně se tyto složky ručně míchaly do té doby, než došlo k dokonalému obalení kameniva. Namíchaná směs se nechala nahřát na referenční teplotu 155 °C.

Tímto způsobem byly vytvořeny tři sady po 3 Marshallových tělesech o obsahu pojiva 7,7 %; 8,2 % a 8,7 % z celkové hmotnosti směsi. Směs byla co nejrychleji přesypána do zahřátých forem a následně zhutněna 50 údery z každé strany v Marshallově pěchu. Po vychladnutí byla Marshallova tělesa vytlačena hydraulickým lisem a označena.



Obr. č. 7 Dávkování pojiva



Obr. č. 9 Hotové sady těles



Obr. č. 8 Marshallův pěch

4.5. Stanovení fyzikálně mechanických vlastností

Fyzikálně mechanické vlastnosti byly zjišťovány na 9 Mashallových tělesech vytvořených ze silničního asfaltu gradace 50/70 s přídatkem 16 % pryžového granulátu 0/0,7 mm.

4.6. Objemové hmotnosti jednotlivých směsí

Zkouška byla provedena dvěma způsoby dle ČSN EN 12697-6 [4]. Jako první způsob bylo zvoleno získání objemových hmotností pomocí rozměrů - postup D. Rozměry jednotlivých těles se zjistily pomocí zjištění rozměrů posuvným měřidlem dle ČSN EN 12697-29 [10]. Výška i průměr těles byly stanoveny s přesností $\pm 0,1$ mm ze čtyř měření. Dále byly suché vzorky zváženy s přesností 0,1 g. Výsledná objemová hmotnost těles vycházela s přesností ± 1 kg/m³.

Druhý způsob stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušební tělesa byl stanoven postupem B - nasycený suchý povrch, protože tělesa byla povrchově uzavřená a s menším objemem pórů než 15 %. K této metodě bylo nutné zjistit hmotnost vzorků ve vodě, a hmotnost těles nasycených a povrchově osušených. Hmotnosti byly určovány s přesností na 0,1 g.

Vztah pro výpočet metodou D – objemová hmotnost podle rozměrů:

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

Kde $\rho_{b,dim}$ objemová hmotnost tělesa podle rozměrů, v kg/m³

m_1hmotnost suchého tělesa, v g

hvýška zkušební tělesa, v mm

dprůměr tělesa, v mm

Zkušební těleso	1. Výška (mm)	2. Průměr (mm)	3. Hmotnost m (g)	Obj. hmotnost $\rho_{(b,dim)}$ (kg/m ³)	Průměr
1. 7,7%	62,3	102,1	1042,3	2044	2055
2. 7,7%	63,2	101,8	1060,6	2063	
3. 7,7%	63,0	102,0	1059,2	2059	
4. 8,2%	63,5	101,9	1052,3	2033	2054
5. 8,2%	63,2	101,7	1050,5	2047	
6. 8,2%	62,7	102,0	1065,3	2080	
7. 8,7%	62,3	101,9	1052,0	2072	2091
8. 8,7%	62,5	101,6	1063,8	2101	
9. 8,7%	62,1	101,8	1062,0	2102	

Tab. č. 5 Objemové hmotnosti podle rozměrů

Hodnoty získány touto metodou nebyly brány jako průkazné. K získání špatných výsledků zřejmě došlo velkými odchylkami při měření. Zejména pak u vzorků 1. a 2. směsi 8,2%.

Vztah pro výpočet metodou B – nasycený suchý povrch:

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

Kde ρ_{bssd} Objemová hmotnost SSD, v kg/m^3

m_1hmotnost suchého tělesa, v g

m_2hmotnost tělesa ve vodě, v g

m_3hmotnost tělesa nasyceného vodou a povrchově osušeného, v g

ρ_whustota vody při zkušební teplotě s přesností na $0,1 \text{ kg/m}^3$

Zkušební těleso	1. Suché (g)	2. Pod vodou (g)	3. Vlhké (g)	Obj. hmotnost $\rho(\text{bssd})$ (kg/m ³)	Průměr (kg/m ³)
1. 7,7%	1042,3	558,7	1055,6	2092	2110
2. 7,7%	1060,6	568,8	1069,4	2113	
3. 7,7%	1059,2	579,0	1076,0	2125	
4. 8,2%	1052,3	562,6	1061,3	2104	2120
5. 8,2%	1050,5	566,6	1060,8	2119	
6. 8,2%	1065,3	575,3	1072,5	2136	
7. 8,7%	1052,0	566,6	1059,8	2127	2145
8. 8,7%	1063,8	577,4	574,2	2153	
9. 8,7%	1062,0	1070,0	1065,3	2156	

Tab. č. 6 Objemové hmotnosti směsí

4.7. Maximální objemová hmotnost

Tyto objemové hmotnosti byly zjištěny podle normy ČSN 12697-5 [3]. Stanovení maximální objemové hmotnosti volumetrickým postupem.

Z každé sady byl vybrán jeden vzorek se střední objemovou hmotností. Tyto vzorky byly následně rozděleny na malé částice a shluky, které nesměly být větší než 6 mm. Vzorky nebylo možné důkladně rozdělit ručně, proto se nechaly zahřát na misce v sušárně při teplotě 100 °C do doby, než bylo rozdělení možné.

Následně se rozrušená a temperovaná směs na okolní teplotu naplnila do předem zváženého pyknometru (m_1) o známém objemu. Poté se stanovila jeho hmotnost i s nástavcem (m_2). Pyknometr se naplnil rozpouštědlem tak, aby byl celý vzorek pod jeho hladinou.

Bylo použito průmyslové rozpouštědlo trichlorethylenu C_2HCl_3 z důvodu vysoké lepivosti CRmB. Rozrušená směs se nechala 3 hodiny rozpouštět. Pyknometr se následně nechal vytemperovat ve vodní lázni na teplotu $25\text{ }^\circ\text{C} \pm 0,2\text{ }^\circ\text{C}$ i s rozpouštědlem. Po dosažení požadované teploty se pyknometr doplnit po danou rysku, vyndal z vodní lázně, osušil a ihned byla zjištěna jeho hmotnost (m_3).



Obr. č. 10 Ruční rozrušení



Obr. č. 11 Naplněný pyknometr

Objemové hmotnosti byly stanoveny podle vztahu:

$$\rho_{mw} = \frac{m_2 - m_1}{1000 \times V_p - (m_3 - m_2) \div \rho_w}$$

Kde ρ_{mw} objemová hmotnost asfaltové směsi v kg/m^3 stanovená s přesností 1 kg/m^3

m_1hmotnost pyknometru a nástavce v g

m_2hmotnost pyknometru, nástavce, a zkušební vzorku v g

m_3hmotnost pyknometru, nástavce, a zkušební vzorku a rozpouštědla v g

V_pobjem pyknometru ke značce nástavce v m^3

ρ_whustota rozpouštědla při zkušební teplotě v kg/m^3 s přesností $0,1\text{ kg/m}^3$

Obsah pojiva ve směsi	7,70%	8,20%	8,70%
Pyknometr prázdný m_1 (g)	II 694,7	IV 690,7	V 693,0
Pyknometr+vzorek m_2 (g)	1525,2	1577,8	1465,7
Pyknometr+vzorek+voda (rozp.) m_3 (g)	2927,0	2954,1	2909,1
Objem pyknometru V_p (ml)	1314,9	1322,7	1323,0
Hustota vody (rozp.) ρ_w (kg/m ³)	1446,0	1446,0	1446,0
Teplota temperace (°C)	25,0	25,0	25,0
Navážka asf.směsi (g)	830,5	887,1	772,7
Maximální objemová hmotnost ρ_{mv} (kg/m³)	2 404	2 392	2 379

Tab. č. 7 Maximální objemové hmotnosti

4.8. Ztráta částic zkušebního tělesa

Zkouška byla provedena za účelem ověření výběru nejvhodnější směsi a to podle ČSN EN 12697-17 Ztráta částic zkušebního tělesa asfaltového koberce drenážního [7]. Zbylých šest Marshallových těles zhutněných 2x50 údery, bylo samostatně (bez ocelových koulí) vkládáno do otlukového bubnu. Buben se otáčel rychlostí 30-33 otáček za minutu. Každý vzorek takto absolvoval 300 otáček. Po vyjmutí se vzorek očistil a zbavil volných částí. Zjistila se nová hmotnost vzorku po zkoušce w_2 . Původní hmotnost w_1 byla zjištěna při předchozích zkouškách. Vzorky nesměly ztratit více jak 15% své hmotnosti.

Zkouška měla být provedena na minimálně 5 tělesech, pro nedostatek materiálu byla použita pouze 2 tělesa z každé sady.

Výpočet ztráty částic:

$$PL = 100 \times \frac{(w_1 - w_2)}{w_1}$$

Kde PLhodnota ztráty částic v procentech (%)

W_1počáteční hmotnost zkušebního tělesa v gramech (g)

W_2 konečná hmotnost zkušebního vzorku v gramech (g)

Výsledek zkoušky je uveden jako průměrná hodnota dvou jednotlivých hodnot, zaokrouhlených na 1 %.

Zkušební těleso	1. Suché W_1 (g)	2. W_2 (g)	$PL_{,i}$ (%)	Průměr PL
2. 7,7%	1060,6	1008,3	4,93	5,21
3. 7,7%	1059,2	1001,1	5,49	
5. 8,2%	1050,5	1003,4	4,48	4,10
6. 8,2%	1065,3	1025,8	3,71	
8. 8,7%	1063,8	1039,8	2,26	2,77
9. 8,7%	1062,0	1027,1	3,29	

Tab. č. 8 Ztráty částic zkušebního tělesa



Obr. č. 12 Vzorek po zkoušce



Obr. č. 13 Otlukový buben Los Angeles

4.9. Stanovení mezerovitosti směsi

Mezerovitost zhuštěné směsi byla stanovena podle ČSN EN 12697-8 Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí [5]. Mezerovitost je objem mezer ve zkušebním tělese asfaltové směsi vyjádřený v % celkového objemu zkušebního tělesa. Mezerovitost se vypočítá pomocí maximální objemové hmotnosti a objemové hmotnosti zkušebního tělesa.

Výpočetní vzorec:

$$V_m = \frac{(\rho_m - \rho_b)}{\rho_m} \times 100\% (v/v)$$

Kde V_m je mezerovitost směsi s přesností % (v/v)

ρ_m maximální objemová hmotnost směsi v (kg/m³)

ρ_b objemová hmotnost zkušební tělesa v (kg/m³)

BBTM B4	7,7	8,2	8,7
max objm.hm. (kg/m ³)	2404	2392	2379
objm.hm. z rozměrů (kg/m ³)	2055	2054	2091
objm.hm. z hmotností (kg/m ³)	2110	2120	2145
mezerovitost z rozměrů (%)	14,5	14,1	12,1
mezerovitost z hmotností (%)	12,2	11,4	9,8

Tab. č. 9 Mezerovitost směsi

4.10. Mezerovitost směsi kameniva (VMA), stupeň vyplnění mezer pojivem (VFB)

VMA - objem mezer mezi kamenivem ve ztuhlé asfaltové směsi, který zahrnuje objem mezer vyplněných vzduchem a objem asfaltového pojiva ve zkušebním tělese, vyjádřený jako procento objemu celkového objemu tělesa. Ke zvýšení přesnosti se zřizuje konstanta nasákavosti kameniva, aby nebyla zjištěna větší mezerovitost.

$$VMA = V_m + B \times \rho_{b,dim} / \rho_B \% (v/v)$$

Kde VMA je mezerovitost směsi kameniva v % s přesností 0,1 %,

V_m mezerovitost zkušební tělesa s přesností 0,1 %,

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

$\rho_{b,dim}$ objemová hmotnost zkušební tělesa v kg/m³;

ρ_B objemová hmotnost pojiva v kg/m³.

VFB – stupeň vyplnění mezer ve směsi kameniva pojivem v %. Vypočítá se s přesností 0,1% (v/v) podle následujícího vztahu:

$$VFB = ((B \times \rho_{b,dim} / \rho_B) / VMA) \times 100\% (v/v)$$

Kde VFB..... je stupeň vyplnění mezer ve směsi kameniva pojivem s přesností 0,1 %,

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

$\rho_{b,dim}$ objemová hmotnost zkušebního tělesa v kg/m³;

ρ_B objemová hmotnost pojiva v kg/m³.

VMA..... mezerovitost směsi kameniva s přesností 0,1 %

BBTM B4	V _m (%)	$\rho_{b,ssd}$ (kg/m ³)	ρ_b (kg/m ³)	$\rho_{b,dim}$ (kg/m ³)*	B (%)	VMA* (%)	VFB* (%)	VMA (%)	VFB (%)
7,7	12,2	2110	1040	2055	7,7	27,4	55,5	27,8	56,1
8,2	11,4	2120	1040	2054	8,2	27,6	58,7	28,1	59,5
8,7	9,8	2145	1040	2091	8,7	27,3	64,1	27,7	64,7

* Hodnoty získané pouze z rozměrů

Tab. č. 10 Výsledné VMA a VFB

4.11. Odolnost proti účinkům vody

Zkoušky byly provedeny dle ČSN EN 12697 – 12 Stanovení odolnosti zkušebního tělesa vůči vodě, podle metody A. [6]

Pro tuto zkoušku bylo vytvořeno 6 Mashallových těles obsahu pojiva 7,7 %. Hutněny byly 2x25 údery rázovým zhutňovačem. U těles byly zjištěny rozměry a hmotnosti následně podle ČSN 12697-6 byly vypočteny objemové hmotnosti. Zkušební tělesa se rozdělila do dvou skupin, které měly stejné průměrné výšky a průměrnou objemovou hmotnost. Rozdíl výšek nesměl být větší než 5 mm a rozdíl objemových hmotností maximálně 15 kg/m³.

Suchá skupina zkušebních těles se uložila na vodorovný povrch při laboratorní teplotě (20±5) °C. Mokrý zkušební tělesa se uložila na perforovanou vložku do vakuové komory. Komora se naplnila destilovanou vodou o teplotě (20±5) °C tak, aby tělesa byla minimálně 20 mm pod hladinou vody. Tlak v komoře se snižoval posupně během 10 minut, aby nedošlo k porušení těles rozpínajícím vzduchem. Konečná (absolutní) hodnota podtlaku měla hodnotu (67±3) milibaru. Vakuum se udržovalo po dobu (30±5) minut. Po nasáknutí vodou byla

tato tělesa vložena do termostaticky regulované vodní lázně o teplotě (40 ± 1) °C na dobu (68-72) hodin. Tělesa byla opět uložena minimálně 20 mm pod vodní hladinu.

Před samotným zjištěním odolnosti v tahu se tělesa nechala vytemperovat na zkušební teplotu (15 ± 2) °C. Suché vzorky byly z tohoto důvodu vloženy do termostaticky regulované sušárny a mokré vzorky do vodní lázně o výše uvedené teplotě.

Stanovení pevnosti v tahu bylo provedeno do 1 minuty po vyjmutí zkušební tělesa z lázně, dle normy ČSN 12697-23 [9]. Před stanovením pevnosti v příčném tahu se mokré vzorky osušily. Zkušební tělesa byla v lisu zatěžována tak, aby byl namáhán jejich průměr. Stlačování tělesa probíhá konstantně rychlostí 50 ± 2 mm za minutu až do porušení tělesa. Hodnoty maximálního dosaženého zatížení se zaznamenaly a pro každé těleso byla vypočítána pevnost v příčném tahu ITS podle tohoto vzorce:

$$ITS = \frac{2P}{\pi DL}$$

Kde *ITS*..... je pevnost v příčném tahu, v MPa, zaokrouhlená na tři platné číslice,

P..... maximální zatížení, v N, zaokrouhlené na celá čísla,

D..... průměr zkušební tělesa, v milimetrech, na jedno desetinné místo;

H..... výška zkušební tělesa, v milimetrech, na jedno desetinné místo.

Z vypočtených pevností se vypočítá odolnost proti působení vody, která je vyjádřena jako pevnostní poměr *ITSR*. Tento poměr je stanoven dle následujícího vztahu:

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

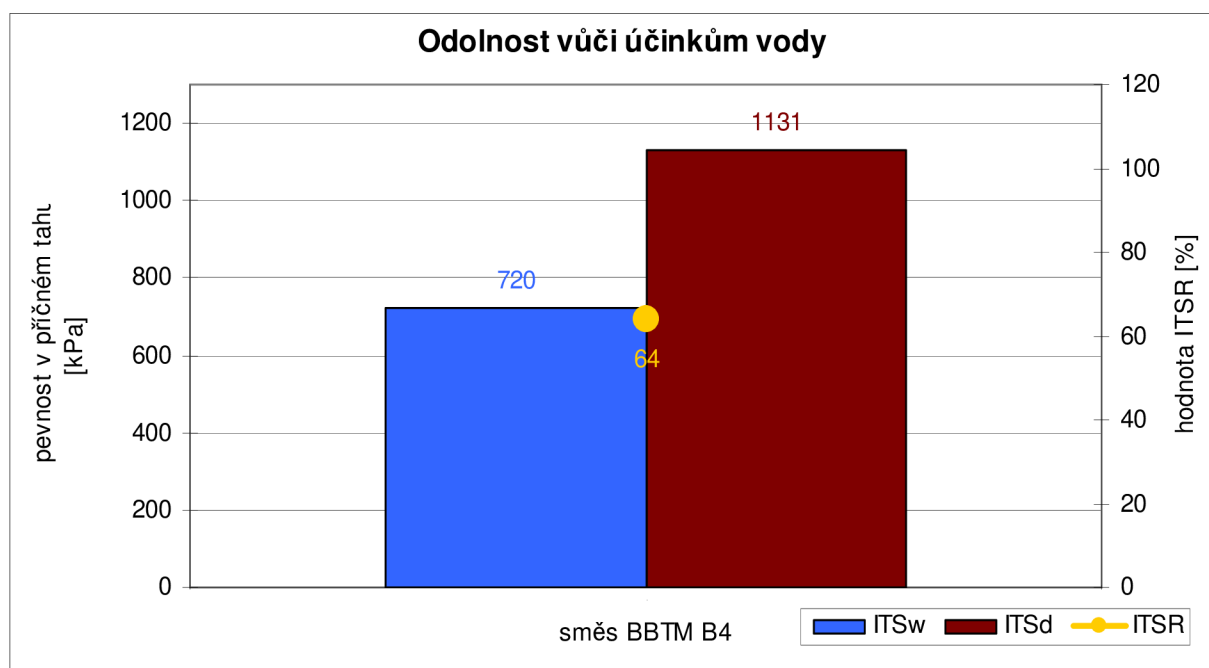
Kde *ITSR*..... je poměr pevnosti v příčném tahu, v procentech

ITS_w..... průměrná pevnost v příčném tahu skupiny „mokrých“ zkušebních těles,
v kPa zaokrouhlený na tři celá čísla.

ITS_d..... průměrná pevnost v příčném tahu skupiny „suchých“ zkušebních těles,
v kPa zaokrouhlený na tři celá čísla.

Ozn. těles	Skupina	Délka	Průměr	Hmotnost suchá	Objemová hmotnost	Síla P	ITS	ITSR
---	---	(mm)	(mm)	(g)	(kg/m ³)	(kN)	(kPa)	(%)
2	suchý	64,9	102,1	1053,7	1983	11,90	1143,3	63,7
3	suchý	65,2	102,1	1046,5	1960	11,75	1123,7	
4	suchý	65,1	102,2	1049,0	1964	11,77	1126,2	
Průměr		65,1	102,1	1049,7	1969	11,81	1131,1	
1	mokrý	65,7	102,0	1042,6	1942	6,51	618,4	
5	mokrý	65,2	101,8	1050,2	1979	8,36	801,8	
6	mokrý	65,8	101,9	1054,1	1964	7,80	740,6	
Průměr		65,6	101,9	1049,0	1962	7,56	720,3	

Tab. č. 11 Výsledky ITS a ITSR

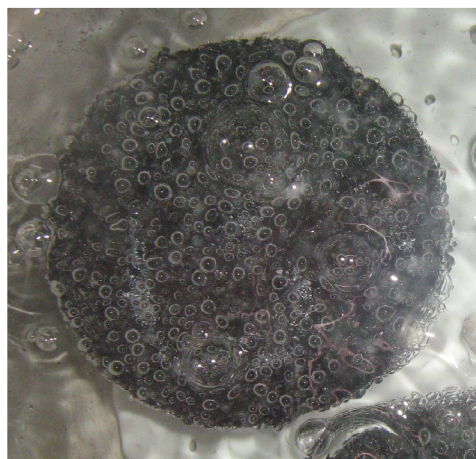


Graf č. 5 Odolnost účinkům proti vodě

Ve stávající normě ČSN EN 13108-2 [14] je uvedena požadovaná hodnota pouze pro asfaltové betony pro velmi tenké vrstvy o maximální zrnitosti kameniva od 8 mm. Pro BBTM B8 je minimálně stanovené ITSR 70 % .



Obr. č. 14 Vakuová komora



Obr. č. 15 Vzorek ve vakuu



Obr. č. 16 Zatěžovací lis s tělesem

4.12. Zkouška pojíždění kolem

K této zkoušce bylo potřeba vyrobit tělesa podle ČSN 12697-33 Příprava zkušebních těles zkušňovačem desek. [12] Tloušťka desky byla zvolena 30 mm a z tohoto rozměru byly stanoveny hodnoty jednotlivých navážek. Pro přípravu desky byla vybrána směs s obsahem pojiva 7,7 % (dolní sada).

Složky	podíly v %	podíly	hmotnosti (g)
moučka	5,0	0,050	254
0-4	25,0	0,250	1269
2-4	70,0	0,700	3554
suma kameniva	100,0	1,000	5077
OMV 50/70 + 16%	7,7	0,077	424
		Suma	5500

Tab. č. 12 Hodnoty navážek na desku

Směs byla míchána při teplotě 170 °C a teplota hutnění byla 155 °C. Zhutnění se provedlo metodou užívající lamely zatlačované válcem. Lamely uložené vertikálně do formy byly pojížděny ocelovým válcem. Rychlost pohybu formy pod válcem měla hodnotu (250±100) mm/s. Válec se snižoval rychlostí 1 mm/s za pojezd. Zatížení bylo konstantní, počet pojezdů se pohyboval mezi 10 a 30 k dosažení úplného zhutnění.

Po vychladnutí byl zkušební vzorek změřen posuvným měřidlem a byly zjištěny jeho hmotnosti podle ČSN EN 12697-6 jako u předchozích Mashallových těles. Následně pomocí výše uvedeného vztahu pro výpočet hmotnosti pomocí suchého povrchu (SSD) byla určena objemová hmotnost $\rho_{b,ssd}$. Dále pro kontrolu se zjistila objemová hmotnost pomocí rozměrů dle vztahu:

$$\rho_{b,dim} = \frac{m_1}{h \times l \times w} \times 10^6$$

Kde $\rho_{b,dim}$ je objemová hmotnost zkušebního tělesa podle rozměrů, v kg/m³

m_1 hmotnost suchého tělesa, v g

h výška zkušebního tělesa, v mm;

l průměr tělesa, v mm.

Pomocí suchého povrch SSD:

$$m_1 = 5200 \text{ g}$$

$$m_2 = 2866 \text{ g}$$

$$m_3 = 5314 \text{ g}$$

$$\rho_{mv} = \mathbf{2118 \text{ kg/m}^3}$$

Pomocí rozměrů:

$$m_1 = 5200 \text{ g}$$

$$l = 0,2609 \text{ m}$$

$$\text{š} = 0,3219 \text{ m}$$

$$v = 0,0311 \text{ m}$$

$$\rho_{b,dim} = \mathbf{1996,9 \text{ kg/m}^3}$$



Obr. č. 17 Hutnící válec

Obr. č. 18 Forma se zkušební deskou

Po zjištění objemové hmotnosti byla na zkušebním tělese provedena zkouška pojížděním kolem podle ČSN EN 12697-22 [8]. Zkušební těleso se vložilo do ocelové formy a přikrylo se folií, aby nedocházelo k případnému přilepování materiálu ke zkušebnímu kolu. Takto připravené formy se vložily do přístroje. V uzavřené temperovací komoře se nastavila zkušební teplota na 50 °C.

Zkušební zařízení se uvedlo do pohybu, rychlost jednoho cyklu (pohyb tam i zpět) byla (2,5±2) s. Délka dráhy (700 ± 5) mm a velikost valivého zatížení působícího ve středu zkušebního tělesa činila (10 000±100) N. Na tělese se provedlo 10 000 cyklů, hodnoty deformace a teplota byly snímány automaticky po 250 cyklech.

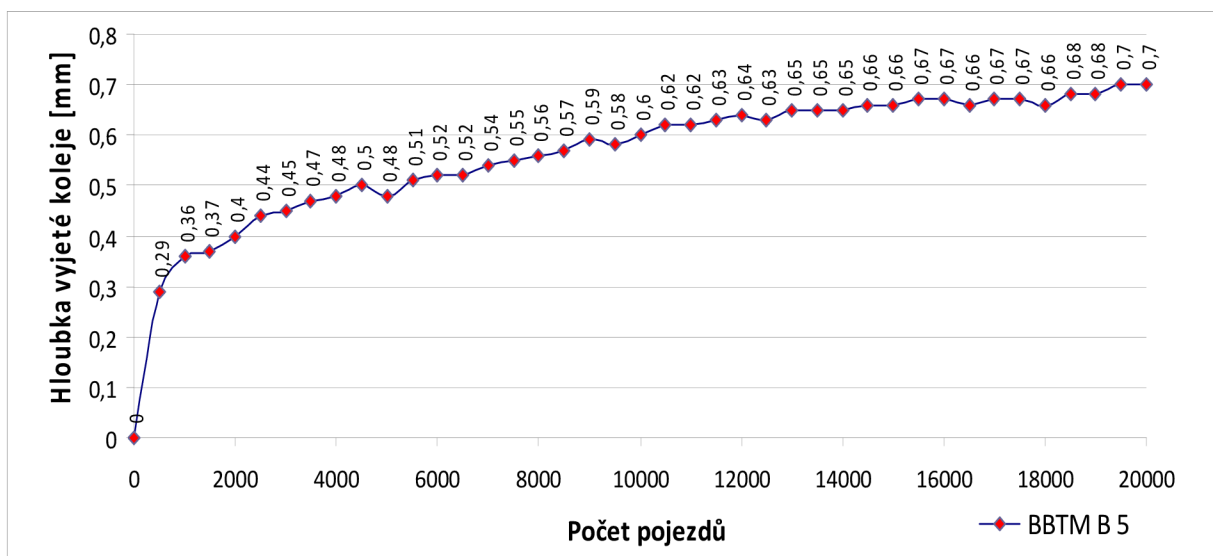
Z těchto hodnot byl vyjádřen přírůstek hloubky vyjeté koleje na vzduchu vyjádřený v mm/10³ zatěžovacích cyklů takto:

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

Kde WTR_{AIR} je přírůstek hloubky vyjeté koleje, v mm/10³ zatěžovacích cyklů

$d_{10\,000}, d_{5\,000}$ hloubka vyjeté koleje po 5000 a 10 000 cyklech v mm.

$$WTS_{AIR} = 0,02 \text{ mm}/10^3$$



Graf č. 6 Zkouška pojíždění kolem

Také byla stanovena průměrná poměrná hloubka vyjeté koleje PRD_{AIR} na vzduchu, to je hloubka vyjeté koleje v našem případě po 10 000 zatěžovacích cyklech (20 000 pojezdů) s přesností ± 0,1 %. Naše zkušební těleso mělo $PRD_{AIR} = 0,7$ mm.



Obr. č. 19 Pojždění kolem

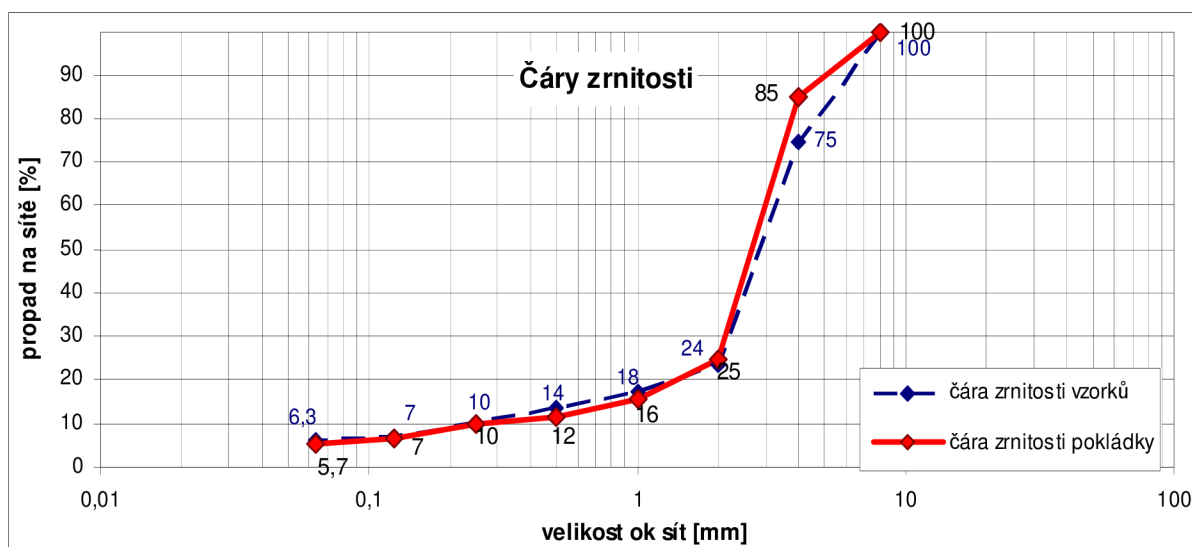


Obr. č. 20 výsledná vyjetá kolej

4.13. Pokládka zkušebního úseku

Posledního srpna 2011 byla provedena pokládka zkušebního úseku vrstvy BBTM B5 v areálu obalovny ležící v Jihlavské průmyslové zóně ve Hruškových Dvorech.

Při návržení zkušební směsi na pokládku se vycházelo z výsledků této bakalářské práce, i když některé hodnoty byly upraveny. Na zkušební úsek se použila směs s obsahem 7,7 % silničního asfaltu OMV 50/70 s přídavkem 18,9 % pryžového granulátu Montstav 0/1 mm. Kostra kameniva byla změněna jen nepatrně (viz. následující graf) a také se změnil původ kameniva: moučka Mokrá, Rančířov 0/4 mm a Vicenovice 2/4 mm. K namíchání asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem bylo použito míchací zařízení G Asphalt.



Graf č. 7 Srovnání čáry zrnitosti kameniva směsi vyrobené pro BP a pro pokusnou pokládku

Vrstva BBTM B 5 byla položena v tloušťce 30 mm. Pokládka se položila na stávající vrstvu z ACL 16 opatřenou spojovacím postříkem. Celkem se zhotovilo 370 m² úpravy vozovky. Výsledná mezerovitost vrstvy stanovená na vývrtech dle ČSN EN 12697-8 (objemová hmotnost z rozměrů po odříznutí vrstvy kotoučovou pilou) byla 14,9 %.



Obr. č. 21 Hutnění zkušebního úseku



Obr. č. 22 Povrch vozovky z BBTM 5B

5. Závěr

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout směs asfaltového betonu pro velmi tenké vrstvy s asfaltem modifikovaným gumovým granulátem a s největší frakcí kameniva 0/5 mm. Zatím pro tuto směs nebyla v České republice přesně stanovena doporučená zrnitost kameniva ani dávkování pojiva a potřebné výsledné vlastnosti. Z tohoto důvodu byly výsledky měření této práce součástí podkladu pro vytvoření revize TP 148.

Jako výsledné optimální dávkování pojiva bylo stanoveno 7,7 % CRmB z celkové hmotnosti směsi. Vyšší obsah pojiva by způsobil příliš malou mezerovitost, která podle ČSN EN 13108-2 má být v rozmezí 11 % - 15 %. U směsi se zjistila velmi dobrá odolnost proti vyjíždění kolejí. Naopak nevýhodou těchto směsí je nižší odolnost proti působení vody stanovená zkouškou podle ČSN EN 12697-12. Hodnoty ITSR podle ČSN EN 13108-2 Tab. 5,1 musí být pro BBTM 8B minimálně 70 %, čemuž směs BBTM 5B nevyhověla o 6 %.

Směsi obsahující pryžový granulát v laboratoři většinou nedosahují uspokojivých odolností vůči účinku vody při vyjádření poměrem ITSR. Pro směsi s vyšší tloušťkou asfaltového filmu (jako mají směsi SMA a směsi s CRmB) a vyšší mezerovitostí je hodnota ITSR neprůkazná. Proto byl z revidovaných TP 148 vypuštěn požadavek na hodnotu ITSR, obdobně jako u směsí SMA v harmonizované normě ČSN EN 13108-5.

Na ostatní požadavky požadované výše zmíněnou normou směs vyhoví. Dle zjištěných vlastností, obzvláště dostatečné odolnosti vůči vzniku trvalých deformací, bude tato směs vhodná jako obrusná vrstva na velmi zatížené komunikace a pro směsi určené pro opravy vozovek silnic nižších tříd. Bylo by ovšem důležité zjistit, jak se bude směs chovat při nízkých teplotách (např. použitím zkoušky nízkoteplotních charakteristik). Výhodou této směsi je také možnost provedení úpravy v tenčí vrstvě, v rozmezí pouze 20 mm až 35 mm.

Tyto výsledky mohou také sloužit jako podklad pro další práci s touto směsí. Dále by mohlo být zajímavé stanovení hlučnosti a odolnosti proti smyku a sledování stavu a případně vzniku a vývoje poruch na vytvořeném zkušebním úseku v areálu obalovny v Hruškových Dvorech. Tato měření a sledování poslouží k určení vhodnosti použití těchto směsí v praxi.

6. Seznam použité literatury

- [1] ČSN EN 13108-1 Asfaltový beton
- [2] ČSN EN 12697-2 Zrnitost
- [3] ČSN EN 12697-5 Stanovení maximální objemové hmotnosti
- [4] ČSN EN 12697-6 Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušební tělesa
- [5] ČSN EN 12697-8 Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí
- [6] ČSN EN 12697-12 Stanovení odolnosti zkušební tělesa vůči vodě
- [7] ČSN EN 12697-17 Ztráta částic zkušební tělesa asfaltového koberce drenážního
- [8] ČSN EN 12697-22 Zkouška pojížděním kolem
- [9] ČSN EN 13697-23 Stanovení pevnosti v příčném tahu
- [10] ČSN EN 12697-29 Stanovení rozměrů zkušebních těles asfaltové směsi
- [11] ČSN EN 12697-30 Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem
- [12] ČSN EN 12697-33 Příprava zkušebních těles zhutňovačem desek
- [13] ČSN EN 12697-35 Laboratorní výroba směsí
- [14] ČSN EN 13108-2 Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy
- [15] ČSN EN 1426 Stanovení penetrace jehlou
- [16] ČSN EN 1427 Metoda kroužek kulička
- [17] ČSN EN 13302 Stanovení dynamické viskozity asfaltových pojiv rotačním vřetenovým viskozimetrem
- [18] ČSN EN 13302-3 Zkušební metoda pro stanovení penetrace a pružné regenerace (resilience)
- [19] TP 148 - Hutněné asfaltové vrstvy s pojivem modifikovaným pryžovým granulátem z pneumatik, březen 2009
- [20] The Asphalt Pavement Association of West Virginia. *Price Index Archives* [online]. 2011 [cit. 2012-05-25].
Dostupné z: <http://www.asphaltwv.com/PriceIndexArchives.html#1989>
- [21] RPG Recycling, s.r.o. *Gumoasfalt* [online]. 2010 [cit. 2012-05-25]. Dostupné z: <http://www.rpgrecycling.cz/produkty/gumoasfalt/>
- [22] *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>

- [23] *Journal lafarge cement* [online]. 2009 [cit. 2012-05-25]. Dostupné z:
http://www.lafarge.cz/2009_02.pdf
- [24] *Odpady* [online]. 2009 [cit. 2012-05-25]. Dostupné z: http://odpady.ihned.cz/c4-10005080-20893750-E00000_detail-gumovy-granulat-z-pneumatik autor Ing. Agáta Radvanská, PhD
- [25] prof. Ing. Jan Kudrna, Ing. Ondřej Dašek *Možnosti uplatnění odpadní pryže z ojetých pneumatik při modifikaci asfaltů*, Brno 2010, VUT v Brně
- [26] , Ing. Ondřej Dašek *Směsi obrusných vrstev vozovek s pojivem upraveným gumovým granulátem z ojetých pneumatik*. [online]. 2008 [cit. 2012-05-25]. Dostupné z:
http://www.fce.vutbr.cz/veda/juniorstav2008_sekce/pdf/2_3/Dasek_Ondrej_CL.pdf
- [27] *Drenážní koberec PA 8* [online]. 2009 [cit. 2012-05-25]. Dostupné z:
http://www.stavebnivyrobekroku.cz/db_binary_file/plans/1470.pdf
- [28] *Kamenivo* [online]. 2007 [cit. 2012-05-25]. Dostupné z:
<http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/kamenivo.html>
- [29] Bc. Koníčková, Hana. *Využití odpadní pryžové drti z pneumatik jako plniva do geopolymeru*. [online]. 2010 [cit. 2012-05-25]. Dostupné z:
http://dspace.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/14289/kon%C3%AD%C4%8Dkov%C3%A1_2010_dp.pdf?sequence=1
- [30] Zařízení pro ekologii. *PlasticPortal.eu* [online]. 2009 [cit. 2012-05-25]. Dostupné z:
<http://www.plasticportal.sk/sk/zarizeni-pro-ekologii-%E2%80%93-drtice-od-firmy-odes-sro/c/19>
- [31] Ing. Ondřej Dašek, Ing. Zdeněk Hegr, *Zhodnocení směsí s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem*, Brno 2011, VUT v Brně

7. Seznam použitých zkratk a symbolů

ACO	–	Asfaltový beton pro obrusné vrstvy
ACL	–	Asfaltový beton pro ložní vrstvy
BBTM	–	Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy
BP	–	Bakalářská práce
CRmB	–	Asfalt modifikovaný pryžovým granulátem
ČSN	–	Česká technická norma
ČSN EN	–	Česká technická norma, která zavádí do soustavy českých norem evropskou normou
PSV	–	Ohladitelnost (polished stone values)
SMA	–	Asfaltový koberec mastixový
TP	–	Technické podmínky

Ostatní zkratky a symboly jsou pro snazší přehlednost vysvětleny přímo v textu.

8. Seznam grafů

Graf č. 1	Vývoj ceny asfaltu na Americké burze	10
Graf č. 2	Vlastnosti jednotlivých asfaltů modifikovaných pryžovým granulátem	18
Graf č. 3	Čáry zrnitosti kameniva	23
Graf č. 4	Čára zrnitosti směsi	26
Graf č. 5	Odolnost účinkům proti vodě	36
Graf č. 6	Zkouška pojíždění kolem	39
Graf č. 7	Srovnání čáry zrnitosti kameniva směsi vyrobené pro BP a pro pokusnou pokládku	40

9. Seznam tabulek

Tab. č. 1	Sítový rozbor jednotlivých frakcí	22
Tab. č. 2	Resilience	25
Tab. č. 3	Skladba kameniva	26
Tab. č. 4	Procentuální propad jednotlivých frakcí	26
Tab. č. 5	Objemové hmotnosti podle rozměrů	28
Tab. č. 6	Objemové hmotnosti směsí	29
Tab. č. 7	Maximální objemové hmotnosti	31
Tab. č. 8	Ztráty částic zkušebního tělesa	32
Tab. č. 9	Mezerovitost směsi	33
Tab. č. 10	Výsledné VMA a VFB	34
Tab. č. 11	Výsledky ITS a ITSR	36
Tab. č. 12	Hodnoty navážek na desku	37

10. Seznam obrázků

Obr. č.1	Detail drtiče	16
Obr. č. 2	Třídící síto	16
Obr. č. 3	Zkouška penetrace	24
Obr. č. 4	Přístroj na zjištění bodu měknutí	24
Obr. č. 5	Viskozimetr RION	25
Obr. č. 6	Penetnometr	25
Obr. č. 7	Dávkování pojiva	27
Obr. č. 8	Marshallův pěch	27
Obr. č. 9	Hotové sady těles	27
Obr. č. 10	Ruční rozrušení	30
Obr. č. 11	Naplněný pyknometr	30
Obr. č. 12	Vzorek po zkoušce	32
Obr. č. 13	Otlukový buben Los Angeles	32
Obr. č. 14	Vakuová komora	37
Obr. č. 15	Vzorek ve vakuu	37
Obr. č. 16	Zatěžovací lis s tělesem	37
Obr. č. 17	Hutnící válec	38
Obr. č. 18	Forma se zkušební deskou	38
Obr. č. 19	Pojíždění kolem	40
Obr. č. 20	Výsledná vyjetá kolej	40
Obr. č. 21	Hutnění zkušebního úseku	41
Obr. č. 22	Povrch vozovky z BBTM 5B	41