



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

INOVATIVNÍ ASFALTOVÉ SMĚSI PRO OBRUSNÉ VRSTVY S POUŽITÍM VYŠŠÍHO MNOŽSTVÍ R-MATERIÁLU

INNOVATIVE ASPHALT MIXTURES FOR WEARING COURSE WITH A HIGHER CONTENT
OF RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Karel Spies

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PAVEL ŠPERKA

BRNO 2021



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Karel Spies
Název	Inovativní asfaltové směsi pro obrusné vrstvy s použitím vyššího množství R-materiálu
Vedoucí práce	Ing. Pavel Šperka
Datum zadání	31. 3. 2020
Datum odevzdání	15. 1. 2021

V Brně dne 31. 3. 2020

doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Vedoucí ústavu

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

PODKLADY A LITERATURA

Předané vzorky asfaltů, kameniva a R-materiálu

Normy řady ČSN EN 13108

Zkušební normy řady ČSN EN 12697

TP 148 Hutněné asfaltové vrstvy s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem

Sborníky z konferencí AV 2017 a AV 2019

Vybrané bakalářské, diplomové a disertační práce z předchozích let týkající se dané problematiky

Odborné publikace věnující se dané problematice

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Diplomová práce se bude zabývat inovativními asfaltovými směsmi pro obrusné vrstvy vozovek s vyšším obsahem R-materiálu a použitím různých druhů asfaltů (např. asfalt modifikovaný pryžovým granulátem a měkčí asfalty vyšší gradace).

V úvodní teoretické části práce student provede rešerši dostupné české a zahraniční odborné literatury, která se zabývá danou problematikou a současným stavem používání R-materiálu v asfaltových směsích.

V praktické části práce student navrhne a připraví asfaltové směsi s vyšším obsahem R-materiálu. Pomocí vhodně zvolených zkušebních metod posoudí přínos použití různých asfaltů na vlastnosti těchto směsí. Cílem práce bude vzájemně porovnat vlastnosti navržených směsí a posoudit vhodnost směsí pro možné uplatnění v reálné praxi.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

Ing. Pavel Šperka

Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá návrhem dvou asfaltových směsí pro obrusnou vrstvu s obsahem 35 % R-materiálu. Ve směsích je použito měkké asfaltové pojivo modifikované pryžovým granulátem (CRMB), respektive samotné měkké pojivo gradace 70/100. Práce ověřuje vliv pryžového granulátu jako modifikátoru na vlastnosti asfaltové směsi s R-materiálem. Současně se práce zabývá možností využití vyšších množství R-materiálu pouze v kombinaci s měkčím asfaltem bez použití oživovacích přísad. Vlastnosti asfaltových pojiv a směsí jsou ověřovány pomocí vhodných funkčních zkoušek. Dále jsou navržené směsi a jejich výsledky porovnány z různých hledisek. Zároveň se práce v teoretické části zabývá dávkováním R-materiálu do asfaltové směsi a popisuje nakládání a použití R-materiálu v České republice a v zahraničí.

KLÍČOVÁ SLOVA

R-materiál, asfaltová směs, asfalt modifikovaný pryžovým granulátem (CRMB), měkký silniční asfalt, odolnost vůči vodě, poměr pevností v příčném tahu (ITSR), modul tuhosti, zkouška pojíždění kolem, odolnost vůči nízkým teplotám, odolnost vůči únavě

ABSTRACT

This master's thesis deals with the design of two asphalt mixtures for a wearing course containing 35 % R-material. The asphalt mixtures use a soft bitumen modified with crumb rubber (CRMB) or the unmodified soft binder itself with a penetration grade of 70/100. The work verifies the effect of crumb rubber as a bitumen modifier on the properties of the asphalt mixture with reclaimed asphalt pavement (RAP). At the same time, the work deals with the possibility of using higher amounts of reclaimed asphalt pavement only in combination with a softer bitumen without the use of rejuvenating additives. The properties of asphalt binders and mixtures are verified using suitable functional tests. Furthermore, the proposed mixtures and their results are compared from various perspectives. At the same time, the thesis in the theoretical part deals with the dosing of a reclaimed asphalt pavement into the asphalt mixture and describes the handling and use of reclaimed asphalt pavement in the Czech Republic and abroad.

KEYWORDS

Reclaimed Asphalt Pavement (RAP), Asphalt Mixture, Crumb Rubber Modified Bitumen (CRMB), Soft Bitumen, Water Sensitivity, Indirect Tensile Strength Ratio (ITSR), Stiffness, Wheel Tracking, Low Temperature Cracking and Properties, Resistance to Fatigue

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Karel Spies *Inovativní asfaltové směsi pro obrusné vrstvy s použitím vyššího množství R-materiálu*. Brno, 2020. 81 s., 31 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce Ing. Pavel Šperka

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Inovativní asfaltové směsi pro ohrusné vrstvy s použitím vyššího množství R-materiálu* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 14. 01. 2020

Bc. Karel Spies

autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Inovativní asfaltové směsi pro ohrusné vrstvy s použitím vyššího množství R-materiálu* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 14. 01. 2020

Bc. Karel Spies

autor práce

Obsah

ÚVOD.....	10
CÍLE PRÁCE.....	11
TEORETICKÁ ČÁST	12
1 NÁVAZNOST NA BAKALÁŘSKOU PRÁCI.....	12
1.1 VLASTNOSTI SMĚSI BP 50.....	12
1.2 ZKUŠEBNÍ ÚSEK.....	13
2 POUŽITÍ R-MATERIÁLU.....	15
2.1 AKTUÁLNÍ SITUACE R-MATERIÁLU V ČR	15
2.1.1 DÁVKOVANÉ MNOŽSTVÍ.....	16
2.1.2 USKLADNĚNÍ A TŘÍDĚNÍ R-MATERIÁLU.....	17
2.1.3 ZAŘÍZENÍ PRO OHŘEV R-MATERIÁLU	18
3 DÁVKOVÁNÍ R-MATERIÁLU.....	21
4 PŘÍKLADY ÚSEKŮ S VYŠŠÍM OBSAHEM R-MATERIÁLU.....	23
4.1 ÚSEKY S R-MATERIÁLEM V ČESKU.....	23
4.2 ÚSEKY S R-MATERIÁLEM V NĚMECKU	24
PRAKTICKÁ ČÁST	26
5 MATERIÁLY K VÝROBĚ ASFALTOVÝCH SMĚSÍ.....	26
5.1 KAMENIVO	26
5.1.1 SÍTOVÝ ROZBOR KAMENIVA.....	27
5.2 R-MATERIÁL.....	27
5.3 ASFALT	28
5.3.1 ASFALT 70/100 MODIFIKOVANÝ PRYŽOVÝM GRANULÁTEM.....	28
5.3.2 NEMODIFIKOVANÝ ASFALT 70/100.....	29
5.3.3 ASFALT ZÍSKANÝ Z R-MATERIÁLU.....	29
5.4 PRYŽOVÝ GRANULÁT.....	29
6 ZKOUŠKY A CHARAKTERISTIKY ASFALTOVÝCH POJIV	30
6.1 HUSTOTA	30
6.1.1 70/100 CRMB.....	31
6.1.2 70/100	31
6.1.3 POJIVO Z R-MATERIÁLU	31
6.1.4 70/100 CRMB + POJIVO Z R-MATERIÁLU.....	31
6.1.5 70/100 + POJIVO Z R-MATERIÁLU	31
6.2 PENETRACE.....	31
6.3 BOD MĚKNUTÍ METODOU KROUŽEK A KULIČKA.....	32
6.4 VSKOZITA	33
6.5 SOUHRNNÁ TABULKA CHARAKTERISTICKÝCH VLASTNOSTÍ ASFALTOVÝCH POJIV	33

7	ZKUŠEBNÍ POSTUPY PRO TESTOVÁNÍ ASFALTOVÝCH SMĚSÍ.....	34
7.1	STANOVENÍ ODOLNOSTI ZKUŠEBNÍHO TĚLESA VŮČI VODĚ.....	34
7.2	VYSTAVENÍ ZKUŠEBNÍHO TĚLESA ZMRAZOVACÍM CYKLŮM A CHRL.....	35
7.3	ZKOUŠKA POJÍŽDĚNÍ KOLEM.....	36
7.4	ZKOUŠKA ODOLNOSTI ASFALTOVÉ SMĚSI VŮČI NÍZKÝM TEPLOTÁM.....	37
7.5	STANOVENÍ MODULŮ TUHOSTI ASFALTOVÉ SMĚSI.....	38
7.6	STANOVENÍ ÚNAVY ASFALTOVÉ SMĚSI.....	38
	NÁVRH ASFALTOVÝCH SMĚSÍ	40
8	SMĚS 1 – DP 35	40
8.1	NÁVRH ČÁRY ZRNITOSTI.....	40
8.2	NÁVRH MNOŽSTVÍ POJIVA.....	41
8.3	PŘÍPRAVA SMĚSI.....	42
8.4	VLASTNOSTI ASFALTOVÉ SMĚSI.....	43
8.5	VÝSLEDKY PROVEDENÝCH FUNKČNÍCH ZKOUŠEK.....	44
8.5.1	ZKOUŠKA ODOLNOSTI TĚLESA VŮČI VODĚ.....	44
8.5.2	VYSTAVENÍ TĚLESA ZMRAZOVACÍM CYKLŮM A CHRL.....	45
8.5.3	ZKOUŠKA POJÍŽDĚNÍ KOLEM.....	46
8.5.4	ZKOUŠKA ODOLNOSTI ASFALTOVÉ SMĚSI VŮČI NÍZKÝM TEPLOTÁM	47
8.5.5	STANOVENÍ MODULŮ TUHOSTI.....	47
8.5.6	STANOVENÍ ÚNAVY ASFALTOVÉ SMĚSI.....	49
9	SMĚS 2 – DP 35 BG.....	50
9.1	NÁVRH ČÁRY ZRNITOSTI.....	50
9.2	NÁVRH MNOŽSTVÍ POJIVA.....	51
9.3	PŘÍPRAVA SMĚSI.....	52
9.4	VLASTNOSTI ASFALTOVÉ SMĚSI.....	52
9.5	VÝSLEDKY PROVEDENÝCH ZKOUŠEK.....	53
9.5.1	ZKOUŠKA ODOLNOSTI TĚLESA VŮČI VODĚ.....	53
9.5.2	VYSTAVENÍ TĚLESA ZMRAZOVACÍM CYKLŮM A CHRL.....	54
9.5.3	ZKOUŠKA POJÍŽDĚNÍ KOLEM.....	55
9.5.4	ZKOUŠKA ODOLNOSTI ASFALTOVÉ SMĚSI VŮČI NÍZKÝM TEPLOTÁM	56
9.5.5	STANOVENÍ MODULŮ TUHOSTI.....	56
9.5.6	STANOVENÍ ÚNAVY ASFALTOVÉ SMĚSI.....	58
10	POROVNÁNÍ VLASTNOSTÍ ASFALTOVÝCH SMĚSÍ	59
11	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ ASFALTOVÝCH SMĚSÍ.....	61
11.1	ORIENTAČNÍ CENY HMOT	61
11.1.1	CENA ASFALTU.....	61
11.1.2	CENA PRYŽOVÉHO GRANULÁTU.....	61
11.1.3	CENA R-MATERIÁLU.....	62

11.1.4	CENA KAMENIVA.....	62
11.1.5	VÝSLEDNÁ CENA SMĚSÍ.....	62
11.2	CENA STROJŮ A INVESTIC.....	63
11.3	OSTATNÍ VLIVY.....	64
12	SHRnutí.....	67
13	CELKOVÉ ZHODNOCENÍ A ZÁVĚR.....	70
	PODĚKOVÁNÍ.....	71
	SEZNAM CITOVANÉ A POUŽITÉ LITERATURY.....	72
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	77
	SEZNAM TABULEK.....	78
	SEZNAM GRAFŮ.....	79
	NÁZVOSLOVÍ A POUŽITÉ ZKRATKY.....	80
	SEZNAM PŘÍLOH.....	81
	PŘÍLOHY.....	82

ÚVOD

Tato práce vznikla s ohledem na čím dál větší nutnost používat obnovitelné zdroje a recyklované materiály ve všech odvětvích a sférách lidského života. Totéž se týká i stavebních materiálů pro stavby vozovek, z nichž tzv. R-materiál dosud v našich končinách nenalezl plnohodnotné využití a většinou jako odpad uložený na skládkách enormně zatěžuje životní prostředí. Je neúnosné, aby tento stav pokračoval do nekonečna, a proto se nabízí myšlenka dalšího smysluplného využití tohoto materiálu v podstatně vyšší míře než doposud. Už v bakalářské práci jsem se této problematice věnoval, a vzhledem k její závažnosti jsem považoval za vhodné a přínosné tuto myšlenku dále rozvíjet.

Obsahem této práce tedy plyně navazuji na svoji předchozí bakalářskou práci s názvem „Asfaltová směs pro obrusné vrstvy se zvýšeným obsahem R-materiálu“ [1]. Stejně jako bakalářská práce se i tato práce zabývá návrhem asfaltové směsi s vyšším obsahem R-materiálu a s asfaltovými pojivy méně využívanými v České republice. V této práci jsou navrženy dvě směsi, které jsou v dalších kapitolách podrobně rozebrány a na závěr vzájemně porovnány. Dále se práce zabývá podrobením směsí převážně funkčním zkouškám a v úplném závěru se zaměřuje také na posouzení a celkové zhodnocení.

Na rozdíl od bakalářské práce byly před návrhem obou směsí provedeny základní zkoušky asfaltových pojiv, a to jak extrahovaných z R-materiálu, tak pojiv dodaných od výrobce a jejich kombinací. Provedeny byly zkoušky penetrace jehlou, bodu měknutí metodou kroužek a kulička, a viskozity. Tyto zkoušky byly provedeny také na zpětně extrahovaném asfaltovém pojivu u jedné vybrané směsi.

Jak již bylo zmíněno v prvním odstavci, diplomová práce se zabývá dvěma asfaltovými směsmi. Jako první byla vyrobena směs navazující na diplomovou práci. Jedná se o směs s 35 % R-materiálu a s asfaltem gradace 70/100 modifikovaným pryžovým granulátem. Tato směs bude dále zmiňována pod názvem „DP 35“. Druhá navržená směs obsahuje stejné množství R-materiálu jako směs 35, ale na rozdíl od ní obsahuje nemodifikované asfaltové pojivo gradace 70/100. Tato směs bude dále v textu označována pracovním označením jako „DP 35 BG“.

V závěru se práce zabývá celkovým zhodnocením obou navržených směsí a předpokladů z bakalářské práce. Zároveň porovnává směsi 35 a 35 BG mezi sebou, se směsí navrženou v bakalářské práci (BP 50), či s běžně používanou směsí ACO 11+. Tuto směs by mohly v blízké budoucnosti směsi s vyšším obsahem R-materiálu doplnit.

CÍLE PRÁCE

Stejně tak, jako v bakalářské práci, i v diplomové práci jsem se rozhodl, že se budu dále podrobněji zabývat směsmi s vyšším obsahem R-materiálu. Po úspěšném obhájení bakalářské práce jsem si dal další cíl, a to navrhnout a vytvořit obdobnou asfaltovou směs s R-materiálem, avšak ještě s lepšími parametry. A to nejen parametry fyzikálními jako např. tuhost, odolnost vůči nízkým teplotám apod., ale také parametry způsobu, složitosti či ceny výroby. Abych tyto parametry ověřil, rozhodl jsem se vytvořit 2 asfaltové směsi pro obrusnou vrstvu s navzájem si odpovídajícími vlastnostmi, ale lišící se svým složením. Vlastnosti a charakteristiky těchto směsí budou vzájemně porovnány a bude vybrána jedna směs, kterou zvolím jako neoptimálnější. Na té pak provedu další podrobnější zkoušky.

Cílem je tedy nejen vytvořit asfaltové směsi pro obrusnou vrstvu obsahující R-materiál, ale také porovnat jejich ekonomickou a ekologickou stránku výroby a míru složitosti výroby vybrané asfaltové směsi v České republice.

Dalším cílem práce bude zpracování stručného zhodnocení a porovnání aktuální situace používání R-materiálu u nás i v zahraničí.

Zároveň jsem měl v úmyslu, stejně jako v bakalářské práci, zajistit položení krátkého zkušebního úseku, na kterém bych mohl sledovat chování a vývoj navržené směsi v čase. Bohužel, aktuální epidemiologická situace v České republice mi neumožnila výrobu většího množství asfaltových směsí a následné zhotovení tohoto zkušebního úseku. Doufám tedy, že se tato předsevzetí podaří realizovat v rámci dalšího plánovaného výzkumu.

TEORETICKÁ ČÁST

1 NÁVAZNOST NA BAKALÁŘSKOU PRÁCI

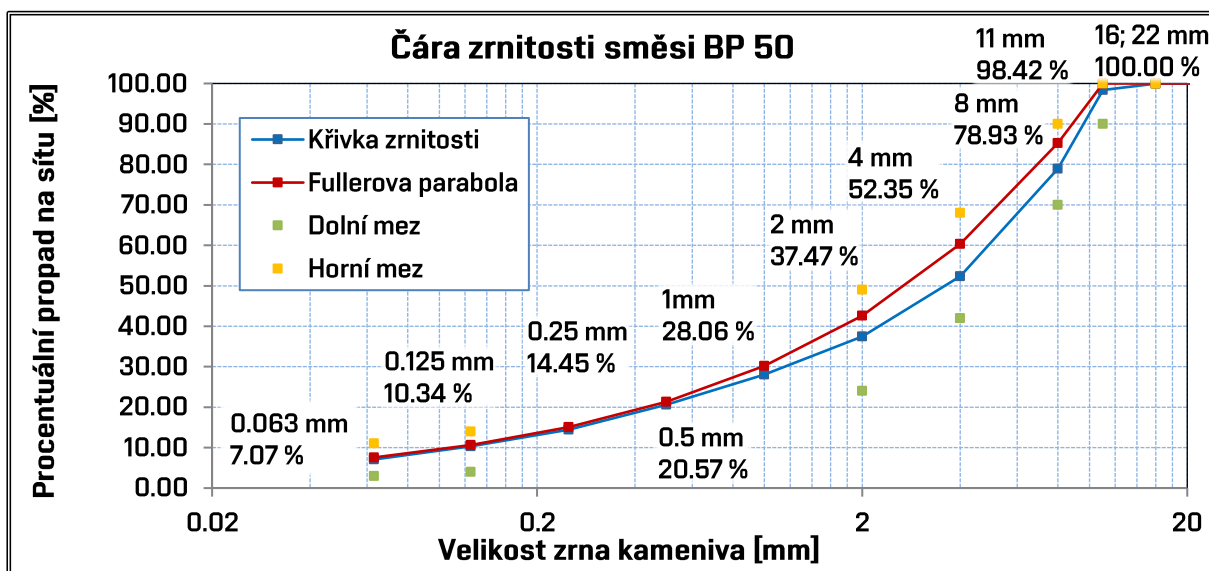
1.1 VLASTNOSTI SMĚSI BP 50

V bakalářské práci s názvem „Asfaltová směs pro obrusné vrstvy se zvýšeným obsahem R-materiálu“ byla navržena asfaltová směs pro obrusnou vrstvu, obsahující asfaltové pojivo gradace 70/100 modifikované pryžovým granulátem (CRMB) a zároveň byla tato směs tvořena s podílem 50 % R-materiálu. Tato receptura byla navržena s úmyslem použít dávkování vyššího množství R-materiálu a zjistit vlastnosti takto navržené směsi.

Výsledky této práce byly poměrně uspokojivé, a proto bylo rozhodnuto, ověřit vliv nižšího množství R-materiálu a použití modifikovaného pojiva na vlastnosti těchto směsí. Stručné shrnutí výsledků směsi navržené v bakalářské práci, tzv. „BP 50“ jsou uvedeny níže v tabulce č. 1 a čára zrnitosti je uvedena v grafu č. 1.

Vlastnost asfaltové směsi	Hodnota vlastnosti asfaltové směsi	
Mezerovitost	Vm = 3,3 %	
Stupeň vyplnění mezer	VFB = 82,7 %	
Obsah pojiva	B = 6,5 %	
Poměr pevností v příčném tahu	ITSR = 92 %	
Modul tuhosti	E ≈ 12 870 MPa	
Odolnost vůči únavě	$\epsilon_6 = 129 \cdot 10^{-6}$	
Odolnost vůči nízkým teplotám	T ≈ -14.2 °C	R+ ≈ 3,58 MPa
Pojíždění kolem	WTS _{air} ≈ 0,05	PRD _{air} ≈ 4,40

Tabulka č. 1: Charakteristiky směsi BP 50



Graf č. 1: Čára zrnitosti směsi BP 50

1.2 ZKUŠEBNÍ ÚSEK

Součástí bakalářské práce bylo rovněž zhotovení mini-zkušebního úseku za účelem pozorování chování této směsi nejen v laboratorních podmínkách, ale také v reálném provozu. Protože se jednalo o výrobu menšího množství směsi v laboratorních podmínkách, byla jako varianta mini-zkušebního úseku zvolena vysprávka výtlučku v jízdní stopě na křižovatce ulic Šumavská a Veverí. Díky jejímu umístění je vysprávka zatěžována nejen běžným zatížením od přejíždějících vozidel, ale také torzními a brzdými silami vznikajícími při jejich zatáčení a brzdění.

Tato vysprávka byla položena dne 11. 04. 2019. Při pokládce bylo slunečné počasí, teplota vzduchu 14 °C, byla dodržena minimální teplota hutnění směsi 90 °C a na vysušený podklad byl aplikován spojovací postřik kationaktivní emulzí.

Vysprávku však lze posuzovat pouze vizuálně – např. ztráta hmoty, trhliny či deformace, protože z finančních, časových a dalších provozních důvodů nedošlo k zabudování vhodných senzorů. I přesto lze poměrně přesně sledovat vývoj chování navržené asfaltové směsi. Ve stejnou dobu byl také opraven vedlejší výtluček stejným způsobem, avšak běžnou směsí pro obrusnou vrstvu ACO 11. Díky tomu je možné porovnávat směs navrženou v BP s vyšším obsahem R-materiálu s běžnou směsí ACO 11, která nebyla nikterak modifikována a neobsahovala R-materiál. Lze konstatovat, že po cca roce a půl nenastaly na vysprávce žádné výrazné změny, či poruchy.

Obrázek č. 1 až 4 dokumentuje mini-zkušební úsek se směsí BP 50 a jeho proměnu v čase.



Obrázek č. 1: Vysprávka –
po pokládce, 18. 04. 2019



Obrázek č. 2: Vysprávka – po 1 měsíci,
14. 05. 2019.



Obrázek č. 3: Vysprávka – po 1 roce,
27. 05. 2020



Obrázek č. 4: Vysprávka – aktuální stav,
16. 12. 2020

2 POUŽITÍ R-MATERIÁLU

V České republice v současné době rozlišujeme tři základní možnosti nakládání s R-materiálem.

První, a zároveň nejméně vhodnou možností, je považování asfaltového recyklátu za odpad. Naštěstí, tato situace se změnila v roce 2019, kdy vyšla v platnost *Vyhláška č. 130/2019 Sb. o kritériích, při jejichž splnění je asfaltová směs vedlejším produktem nebo přestává být odpadem* [2]. Tato vyhláška zavádí pojem „znovupoužitá asfaltová směs“, tzv. ZAS, a dělí ji do čtyř kategorií – ZAS-T1 až ZAS-T4 – podle množství obsažených polyaromatických uhlovodíků, tzv. PAU. Tato vyhláška tedy sice nově nepovažuje všechny asfaltový recyklát jako odpad, bohužel stále nedostatečně řeší problematiku typu a původu asfaltu – např. nerozlišuje rozdíl mezi směsí získanou z asfaltových krytových vrstev, jako např. SMA, AC či PA a směsí stmelenu asfaltem v podobě penetračního makadamu. Vyhláška by se tedy měla více zaměřit i na jiné, často důležitější ukazatele a nespoléhat se pouze na jeden parametr jímž je obsah PAU. Právě zjišťování obsahu PAU často způsobuje navýšení investic stavebních firem na výstavbu, a tím je spíše odrazuje od využívání asfaltových recyklátů v nových směsích ve větší míře.

Druhým způsobem využití R-materiálu je možnost jeho použití do nestmelených podkladních vrstev, popř. jako zásypy nezpevněných krajnic. Oba tyto případy mají své klady (využití recyklovaných materiálů místo nedostatkového přírodního kameniva) a zápory (vyšší dotvarování vrstvy a následná tvorba trvalých deformací), avšak převažuje hledisko, že R-materiál je příliš kvalitní surovinou pro toto použití. [3]

Tímto se dostáváme ke třetímu, ale zato nejdůležitějšímu způsobu zpracování R-materiálu. Tím je využití ZAS kategorie 1, 2 resp. 3 jako částí nově vyrobené asfaltové směsi. Takto získaná ZAS má obvykle relativně horší parametry, např. tvrdší pojivo či vyšší obsah jemných částic. Proto je o to důležitější při jeho použití důsledně a pravidelně kontrolovat jeho vlastnosti a nejlépe ho i třídít do kategorií, nejen podle obsahu PAU. Právě o obecném nakládání s R-materiálem v ČR pojednává následující kapitola 2.1.

2.1 AKTUÁLNÍ SITUACE R-MATERIÁLU V ČR

Tato práce je orientována převážně prakticky, a proto zde nebudou uvedeny dlouhé výčty veškerých norem, předpisů a vyhlášek nebo popisy možných postupů dávkování R-materiálu a vývoje cen, jak tomu bylo v mé bakalářské práci. Místo toho je zde spíše zmíněn pohled na aktuální problematiku použití R-materiálu v České republice.

2.1.1 DÁVKOVANÉ MNOŽSTVÍ

Z hlediska množství dávkování R-materiálu do asfaltových směsí se nacházíme ve stejném bodě jako před dvěma lety. V tabulce č. 2 je uvedeno maximální normové množství R-materiálu, umožněné dávkovat podle typu směsi, a to jak aktuální, tak očekávané v revizi normy. [4]

Obrusné vrstvy			Ložní vrstvy			Podkladní vrstvy		
Druh směsi	R-materiál [%]		Druh směsi	R-materiál [%]		Druh směsi	R-materiál [%]	
	Nyní	Nově		Nyní	Nově		Nyní	Nově
ACO 8	25	35	ACL 16 S	30/15 ¹⁾²⁾	40	ACP 16 S	50 ¹⁾	60
ACO 8 CH	25	35	ACL 16 +	30 ¹⁾	50	ACP 16 +	60	70
ACO 11 S	-	x ⁵⁾	ACL 16	40	50	ACP 22 S	50 ¹⁾	60
ACO 11 +	-	30	ACL 22 S	30/15 ¹⁾²⁾	40	ACP 22 +	60	70
ACO 11	25	35	ACL 22 +	30 ¹⁾	50			
ACO 16 S	-	x ⁵⁾	ACL 22	40	50			
ACO 16 +	-	30						
ACO 16	25	35						

¹⁾ Množství přidávaného R-materiálu při výrobě asfaltových směsí z modifikovaných asfaltů upravuje poznámka uvedená v základní normě ČSN EN 13108-1:2008 *Asfaltový beton, článek 5.3.1.1*. Na základě národních zkušeností je však možné použít i jiných limitních hodnot uvedených v této tabulce.

²⁾ Při výrobě asfaltových směsí z nemodifikovaných asfaltů je možné použít R-materiál v množství do 30 %, v případě použití modifikovaných asfaltů v množství do 15 %. Použitý R-materiál musí být získán z krytů vozovek.

³⁾ R-materiál za studena lze přidávat bez jeho další úpravy do směsí se silničním asfaltem v množství max. 15 %. Při vyšších množstvích dávkování R-materiálu jak 15 % (obrusné, ložní, podkladní vrstvy) je nutno vypočítat potřebné množství dávkování asfaltu měkkí gradace nebo rejuvenátoru tak, aby bylo dosaženo výsledné deklarované gradace pojiva podle tabulky 4.1. Množství a druh dávkovaného rejuvenátoru se uvádí ve zkoušce typu (ITT). Objednatel má za povinnost se přesvědčit přímo na obalovně o druhu a dávkování rejuvenátorů do asfaltových směsí. Přidávání R-materiálu metodou po částech za studena (použití variátoru) lze za výše uvedených podmínek použít pouze pro výrobu asfaltových směsí do podkladní vrstvy.

⁴⁾ Do směsí pro ložní, podkladní a vyrovnávací vrstvy, do kterých se přidává modifikované asfaltové pojivo, lze přidávat max. 15 % R-materiálu. Pokud se vyrábí asfaltová směs pro obrusné vrstvy, do které se přidává modifikovaný asfalt, není možné do směsi přidávat R-materiál se silničním asfaltem (v případě modifikovaných pojiv v R-materiálu platí omezené dávkování na max. 15 %).

⁵⁾ Tyto směsi nejsou v revizi normy uvažovány.

Tabulka č. 2: Nejvyšší přípustný obsah R-materiálu ve směsi – stávající a plánovaný stav ^{3) 4)} [4]

Jako příklad porovnání dané situace v ČR a ve světě lze uvést například výstavbu úseku 100% recyklované komunikace, francouzské dálnice A10 mezi městy Pons a Saint-Aubin. Jedná se tak o velký pokrok v problematice využití recyklovaných materiálů. Dle vyjádření stavební společnosti se tyto materiály používají dnes na 50 až 60 % opravovaných komunikací.

Úsek dálnice byl mimo jiné postaven pomocí nové mobilní kontinuální obalovny, zobrazené na obrázku č. 5, která dokáže zpracovat na místě až 100 % vytěženého R-materiálu. Využitím kontinuální obalovny narozdíl od šaržové, která je nejrozšířenějším typem obalovny u nás, odpadá problém s klasifikací R-materiálu, popsany v dalším odstavci. [5][6]



Obrázek č. 5: Kontinuální obalovna na výrobu asfaltové směsi se 100 % R-materiálu [7]

2.1.2 USKLADNĚNÍ A TŘÍDĚNÍ R-MATERIÁLU

Dalším problémem, se kterým se při použití R-materiálu potýkáme, je jeho uskladnění a třídění. R-materiál se získává frézováním jednotlivých vrstev komunikace nebo bouráním celých asfaltových ker. Tento materiál je poté převezen na skládku, která je obvykle součástí obalovny. Zde je postupně R-materiál podrcen na potřebné frakce a opětovně uskladněn. Pozitivním jevem posledních let je začátek využívání zastřešených skládek takto roztřídněného R-materiálu. Příklad takové skládky na obalovně v Rajhradcích je uveden na obrázku č. 6.



Obrázek č. 6: Zastřešená skládka R-materiálu na obalovně asfaltových směsí

Méně pozitivní je však kvalita, přesněji roztřídění podrceného R-materiálu jinak než dle velikosti zrna. Stále totiž není rozlišován R-materiál získaný z vrstev typu asfaltový beton (AC) s plynulou čarou zrnitosti, vrstev s přerušenou čarou zrnitosti a s vyšším obsahem pojiva, jako

např. asfaltový koberec mastixový (SMA) či drenážní koberec (PA) a ostatních asfaltových směsí jakými jsou například litý asfalt (MA), směsi s vysokým modulem tuhosti (VMT) či penetrační makadam (PM). To má za následek proměnlivé vlastnosti jednotlivých šarží R-materiálu a je tudíž velmi obtížné navrhnout asfaltovou směs ve větším množství se stejnými parametry.

Nabízí se minimálně tři možnosti řešení tohoto problému. První z nich je třídění R-materiálu po frakcích dle směsi, resp. skupiny směsí, ze kterých byl získán. Toto řešení však naráží na zatím nedostatečnou vybavenost skládek krytými prostory pro uskladnění recyklátu, a dále pak na způsob získávání. Záleží, zdali je získaný R-materiál frézován po vrstvách nebo těžen v krách. V tomto případě by například skladba vozovky s obrusnou vrstvou z SMA a ložní a podkladní vrstvou z AC, byla těžce roztříditelná.

Druhou možností by mohla být hromadná homogenizace. Došlo by tak ke sjednocení více druhů R-materiálu do jedné stejnorodé směsi. Tato myšlenka je však v současné době nereálná, neboť klade obrovské nároky na zařízení, logistiku a skladovací prostory.

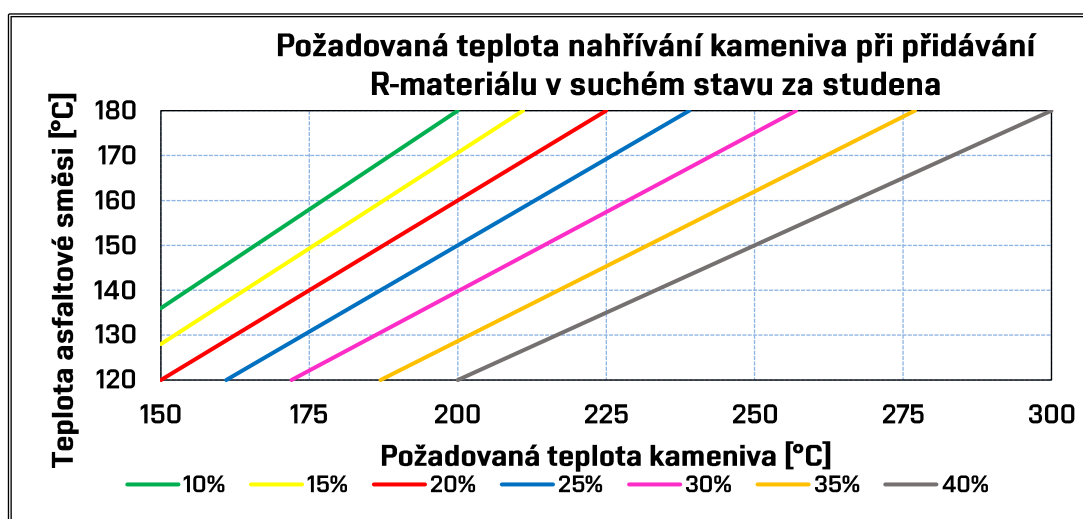
Třetí, z mého pohledu nejelegantnější variantou, je výše zmíněné užití kontinuální obalovny in situ. Toto řešení zajistí konstantní¹ parametry použitého R-materiálu a jeho téměř okamžité zpracování bez nutnosti převozu k uskladnění na vzdálené skládce. Nevýhodou může být vyšší investice do tohoto zařízení a četnost jeho využití, která se projeví spíše na komunikacích vyšší třídy. Na druhou stranu dochází k ušetření financí za odvoz materiálu a skládkování materiálu.

2.1.3 ZAŘÍZENÍ PRO OHŘEV R-MATERIÁLU

Asi nejdůležitějším prvkem při řešení dávkování R-materiálu do nových asfaltových směsí je problematika jeho ohřevu. Při hmotnosti dávkovaného R-materiálu do 20 %, respektive 25 % celkové hmotnosti směsi lze přidávat nepředehřátý R-materiál přímo do míchačky asfaltových směsí. Tato metoda má však mnohá úskalí. Zaprvé dochází k nadměrnému zahřívání kameniva za účelem dosažení požadované teploty výsledné směsi, k čemuž je potřeba vysoký výkon hořáků. Tyto teploty mohou při styku s chladným R-materiálem poškodit tenký asfaltový film na povrchu zrn R-materiálu a uměle tak zestárnout a zhoršit parametry daného pojiva. Zároveň může dojít k nedokonalému spojení jednotlivých složek mezi sebou, což může vést ke zhoršeným vlastnostem výsledné směsi. Dalším problémem této metody je styk často vlhkého recyklátu (dnes již postupně zlepšení v podobě zavádění krytých skládek) s rozpálenými zrny kameniva,

¹ Konstantními parametry jsou myšlena parametry původní zestárlé položené asfaltové směsi bez uvažování oprav v podobě zálivek, vysprávek, nátěrů apod.

kteří způsobí okamžitou přeměnu vody na vodní páru. Z tohoto důvodu musí obalovna zajistit účinné odvětrávání během tohoto procesu. Požadované teploty kameniva při přidání studeného R-materiálu a korekce teploty kameniva vzhledem k vlhkosti R-materiálu jsou uvedeny v grafu č. 2 a tabulce č. 3. [8][9] Například při 35% podílu R-materiálu dávkovaného do směsi za studena a teplotě míchání směsi 160 °C by bylo nutné podle grafu č. 2 nahřát kamenivo až na cca 240 °C. V případě předeřtání R-materiálu v paralelním bubnu na teplotu 135 °C je potřeba nahřát kamenivo pouze na cca 175 °C. To znamená snížení teploty ohřevu kameniva o 65 °C a z toho plynoucí úspora potřebné energie. Tímto lze jasně dokumentovat důležitost použití paralelního bubnu.



Graf č. 2: Požadovaná teplota nahřívání kameniva při přidávání R-materiálu v suchém stavu za studena [8]

Podíl R-materiálu v % hm.	Vlhkost R-materiálu v %					
	1	2	3	4	5	6
	Korekce teploty v °C					
10	4	8	12	16	20	24
15	6	12	18	24	30	36
20	8	16	24	32	40	48
25	10	20	30	40	50	60
30	12	24	-	-	-	-
35	14	28	-	-	-	-
40	16	32	-	-	-	-

Tabulka č. 3: Korekce teploty kameniva v závislosti na obsahu vody v R-materiálu [8]

V současné době je i přes velké nevýhody metoda dávkování R-materiálu za studena v ČR upřednostňována. Vzhledem k zatím neaktuální revizi normy, která by měla za cíl zvýšit množství používaného R-materiálu v asfaltových směsích, nemají obalovny důvod investovat do pořízení modernějších technologií.

Právě díky modernější technologii v podobě separátního zařízení pro ohřev R-materiálu, tzv. paralelního bubnu, je možné do asfaltových směsí přidávat až 80 % R-materiálu. Ten je před smícháním s kamenivem a pojivem v míchačce obalovny přehřát v bubnu na teplotu cca 135 °C. Díky samostatnému nahřívání R-materiálu není nutné přehřívát kamenivo na vysoké teploty a dochází také ke snížení rizika nedostatečného spojení jednotlivých složek. [9]

Aktuálně se v České republice nachází dle dostupných informací pouze 5 obaloven asfaltových směsí z celkového počtu 106, které jsou vybaveny paralelním bubnem. I přes takto nízké číslo je však vidět pozitivní trend do budoucna, protože zrovna v době zpracování této práce je budována nová obalovna s paralelním bubnem v Žabčicích u Brna, jakožto první svého typu na jižní Moravě. [10]

Na obrázku č. 7 je k vidění německá obalovna, která byla modernizována za účelem zpracování R-materiálu, s typickou polohou paralelního bubnu umístěného v horní části míchací věže. [11]



Obrázek č. 7: Obalovna asfaltových směsí s paralelním bubnem [11]

3 DÁVKOVÁNÍ R-MATERIÁLU

Tato kapitola se zabývá úpravou navážky jednotlivých frakcí kameniva při návrhu asfaltové směsi s obsahem R-materiálu. Při obvyklém návrhu směsi bez obsahu R-materiálu se vychází z čáry zrnitosti, která se přizpůsobuje požadovanému tvaru úpravou množství jednotlivých frakcí kameniva. Tento postup je zcela v pořádku do situace, než je ve směsi použit R-materiál. Postup návrhu, podle kterého byla spočtena jednotlivá množství složek potřebných k přípravě asfaltové směsi, je písemně i graficky popsán v následujících odstavcích.

Tabulka č. 4 uvádí procentuální dávkování jednotlivých frakcí kameniva ve směsi, kde výsledná suma musí dát dohromady 100 %. Při návrhu směsi s R-materiálem se přidává do této tabulky další řádek s jeho požadovaným množstvím, kterým je v ukázkovém příkladě 38 %. Toto množství však obsahuje jak kamenivo, tak pojivo obsažené v R-materiálu, zatímco tabulka se týká pouze množství kameniva. Zároveň je nutné vzít v potaz poměr množství pojiva a kameniva v R-materiálu vůči požadovanému poměru. Tato změna je sice při malém obsahu R-materiálu a vzájemnému rozdílu poměrů pojiv zanedbatelná, ale při větších množstvích by bylo vhodné se na ni zaměřit.

Jak je uvedeno v ukázkovém příkladu v tabulce č. 5, reálné množství R-materiálu tak při požadovaném výsledném množství pojiva 5,5 % a množství pojiva v R-materiálu 7,0 % bude původní nesprávná hodnota 38,0 % (=hmotnost R-materiálu) upravena na necelých 37,4 % (=hmotnost kameniva v R-materiálu). Původní navržené hodnoty dodávaných frakcí kameniva je tak potřeba upravit, a to buď rovným dílem nebo např. změnou dávkování pouze některé frakce dle požadavků na čáru zrnitosti.

	Množství frakce [%]	Navážka kameniva na 100 kg směsi [g]
Filler	12.700	12001.500
0/4	8.600	8127.000
4/8	34.300	32413.500
8/11	6.400	6048.000
R-mat	38.000	35910.000
Celkem	100.000	94 500.000

Tabulka č. 4: Původní rozdělení

	Množství frakce [%]	Navážka kameniva na 100 kg směsi [g]
Filler	12.824	12118.224
0/4	8.684	8206.042
4/8	34.634	32728.747
8/11	6.461	6106.822
R-mat	37.397	35340.000
Celkem	100.000	94499.835

Tabulka č. 5: Nové rozdělení

Hmotnost pojiva z R-materiálu pak je 2,66 kg na 100 kg směsi a dodaného pojiva 2,84 kg na 100 kg směsi, tzn. celkem 5,5 kg pojiva na 100 kg směsi (5,5 %). Rozdíl v čísle u celkové navážky v tabulce č. 5 je způsoben nedostatečnou kapacitou výpočetního softwaru.

Tato úprava množství jednotlivých frakcí, resp. čáry zrnitosti byla provedena při návrhu druhé směsi, u které došlo ke změně množství dávkovaného pojiva. Při návrhu nové čáry zrnitosti asfaltové směsi, bez jakékoliv návaznosti na původní směsi, je vhodné nejprve určit právě hodnotu množství kameniva v R-materiálu, a poté zvolit procentuální poměr zbývajících frakcí.

Procentuální rozdíly hodnot množství R-materiálu mezi běžným výpočtem a přesným výpočtem v závislosti na množství dávkovaného R-materiálu ve směsi a rozdílu dávkovaného pojiva vůči pojivu v R-materiálu jsou uvedeny v tabulce č. 6. V praxi to znamená, že při použití např. 30% podílu R-materiálu s obsahem pojiva 6,5 % ve směsi pro podkladní vrstvy s výsledným požadovaným množstvím asfaltového pojiva 4,5 % je rozdíl v dávkování R-materiálu cca 0,64 %. Navážky kameniva je tedy nutné navrhnout adekvátně k tomuto obsahu R-materiálu.

Rozdíl dávkování R-materiálu mezi běžně používanou a navrženou metodou [%]							
Množství R-materiálu [%]	Rozdíl dávkovaného pojiva ve směsi vůči pojivu v R-materiálu [%]						
	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
0	0	0	0	0	0	0	0
5	-0.159	-0.106	-0.053	0	+0.053	+0.106	+0.159
10	-0.318	-0.212	-0.106	0	+0.106	+0.212	+0.318
15	-0.478	-0.318	-0.159	0	+0.159	+0.318	+0.478
20	-0.637	-0.425	-0.212	0	+0.212	+0.425	+0.637
25	-0.796	-0.531	-0.265	0	+0.265	+0.531	+0.796
30	-0.955	-0.637	-0.318	0	+0.318	+0.637	+0.955
35	-1.115	-0.743	-0.372	0	+0.372	+0.743	+1.115
40	-1.274	-0.849	-0.425	0	+0.425	+0.849	+1.274
45	-1.433	-0.955	-0.478	0	+0.478	+0.955	+1.433
50	-1.592	-1.062	-0.531	0	+0.531	+1.062	+1.592
55	-1.752	-1.168	-0.584	0	+0.584	+1.168	+1.752
60	-1.911	-1.274	-0.637	0	+0.637	+1.274	+1.911
65	-2.070	-1.380	-0.690	0	+0.690	+1.380	+2.070
70	-2.229	-1.486	-0.743	0	+0.743	+1.486	+2.229
75	-2.389	-1.592	-0.796	0	+0.796	+1.592	+2.389
80	-2.548	-1.699	-0.849	0	+0.849	+1.699	+2.548

Tabulka č. 6: Rozdíl v dávkování R-materiálu mezi běžně používanou a navrženou metodou

4 PŘÍKLADY ÚSEKŮ S VYŠŠÍM OBSAHEM R-MATERIÁLU

Tato kapitola se zabývá popisem zkušebních úseků, na kterých byly pokládány vrstvy s R-materiálem, a to jak na území České republiky, tak ve Spolkové republice Německo. Na těchto úsecích jsou použity směsi s vyšším obsahem R-materiálu (převážně pro obrusnou vrstvu), a s různými typy pojiv, popř. s obsahem oživovacích přísad. Celkem se jedná o dva zkušební úseky v Čechách a čtyři úseky ve spolkové zemi Bádensko-Württembersko. Stručný popis použitých technologií a naměřených parametrů na daných místech je uveden v podkapitolách 4.1 a 4.2.

4.1 ÚSEKY S R-MATERIÁLEM V ČESKU

Jako příklad použití vyššího množství R-materiálu v České republice mohou sloužit úseky na silnici II/208 Krásno – Bečov km 5,791 – 7,291 a silnici II/212 Horní Pochlovice – Kaceřov km 26,113 – 27,713. Na těchto úsecích byly položeny krytové vrstvy z asfaltového betonu pro ložní a obrusnou vrstvu, s maximálním obsahem R-materiálu ve směsi 50 % (obrusná vrstva) a 60 % (ložní vrstva). Asfaltový beton pro obrusnou vrstvu byl položen v obou případech v tloušťce 40 mm – směs ACO 11 S v rámci prvního úseku a směs ACO 11 + ve druhém úseku. Obě vrstvy obsahovaly nemodifikované pojivo gradace 50/70 a oživovací přísadu. Součástí těchto projektů bylo také sledování teplot asfaltové směsi od výroby na obalovně až po samotnou pokládku, mimo jiné za účelem prodloužit maximální dobu pokládky. [12]

Parametry použitého R-materiálu a položené směsi včetně množství dávkovaných oživovacích přísad jsou převzaty z práce Ing. Markéty Čumíčkové a jsou uvedeny v tabulce č. 7. Hodnoty v závorkách značí procentuální obsah přísady na množství pojiva v R-materiálu, respektive v případě R-mat množství pojiva obsaženého v R-materiálu. [13] Naměřené hodnoty po prvním roce užívání komunikace vykazují snížení hodnoty penetrace a zvýšení bodu měknutí pojiva, které mohou být zapříčiněny ztvrdnutím oživovací přísady v kombinaci s působením klimatických vlivů na danou vrstvu.

Přísada	Sylvaroad RP1000 (4,38 %)			Storflux (6,50 %)			R-mat (5,42 %)
	Podzim 2017	Jaro 2018	Podzim 2018	Podzim 2017	Jaro 2018	Podzim 2018	
Penetrace [0,1 mm]	38	36	24	43	45	33	31
Bod měknutí [°C]	54,4	55,5	61,1	54,7	54,0	58,1	58,1

Tabulka č. 7: Vlastnosti pojiva v R-materiálu a v asfaltové směsi pokusného úseku

4.2 ÚSEKY S R-MATERIÁLEM V NĚMECKU

Pro tuto práci byly vybrány ukázky výsledků čtyřech zkušebních úseků, přičemž minimálně jeden lze porovnat s navrženými směsmi v rámci této diplomové práce. Jedná se o úsek silnice L 181 na obchvatu obce Tannheim a úsek silnice L 1221 Steinenkirch – Böhmenkirch, na kterých proběhla tzv. technologie „Maximální recyklace 90“, a dále úseky L1125 Vaihingen/Enz a L 1147 Schorndorf – Oberberken, zhotovené technologií „Maximální recyklace 50/70“. [14]

Obrusné vrstvy prvních dvou pokusných úseků byly tvořeny z 85 % ± 3 % R-materiálem a z 15 % ± 3 % dodaným kamenivem frakce 8/11. Obě směsi vyhovují většinou zjišťovaných parametrů „Doplňujícím technickým smluvním podmínkám a směrnícím pro stavbu konstrukcí dopravních ploch z asfaltových směsí“ (ZTV Asphalt-StB 07) [15], vyjma mezerovitosti. Vysoká mezerovitost však byla zapříčiněna nevhodným zhutněním, přičemž míra zhutnění dosahuje mezi 95,9 % a 96,1 % a částečně tak nesplňuje výše uvedené směrnice. [14]

Na těchto úsecích se po čtyřech, resp. pěti letech objevily četné mrazové trhliny v obrusné vrstvě a nadměrná makrotextura povrchu. Obojí bylo způsobeno zkřehnutím pojiva i oživovací přísady Storbit Plus. I přesto tato směs vykazovala dostatečnou odolnost proti porušení za nízkých teplot podle „Směrnic pro navrhování konstrukcí vozovek dopravních ploch“ [16]. Obě vrstvy, ložní i podkladní, zhotovené rovněž technologií „Maximální recyklace 90“ nejevily žádné poruchy a splňovaly veškeré parametry požadované německými předpisy pro stavbu vozovek. [14]

Třetí úsek L1125 Vaihingen/Enz obsahoval v obrusné vrstvě 40 % R-materiálu (s množstvím obsaženého pojiva 2,3 % hmotnosti) a dodávané modifikované pojivo 40/80-50 RC v dávkování 3,8 %. Označení výsledného pojiva, které tvořilo 6,1 % hmotnosti směsi, pak bylo 25/55-55. Poslední úsek L1147 Schorndorf – Oberberken, který je porovnatelný s konceptem směsí navržených v této práci, tvoří nemodifikovaný asfalt gradace 70/100 v kombinaci s obsahem 47 % R-materiálu ve směsi. Celkový obsah pojiva této směsi je 6,0 % hmotnosti. Údaje stanovené ze zkoušek typu u obou směsí jsou uvedeny v tabulce č. 8. Hodnoty v závorkách jsou laboratorně zjištěné ze vzorků odebraných na položené směsi. [14]

Úsek	Obsah R-mat [%]	Pojivo v R-mat [%]	Dodané pojivo [%]	Celkový obsah pojiva [%]	Mezerovitost směsi [%]	Bod měknutí [°C]	Míra zhutnění [%]
L1125	40	2,3	3,8	6,1	1,0 až 1,3	59,9 (62,8)	100,9
L1147	47	2,6	3,4	6,0	2,9 až 3,0	53,9 (57,9)	99,7

Tabulka č. 8: Parametry obrusných vrstev zkušebních úseků L1125 a L1147 v Německu [14]

Stejně jako u prvních dvou úseků, i na těchto úsecích byly obě směsi úspěšně podrobeny zkoušce nízkoteplotních vlastností s řízeným poklesem teploty dle evropské normy EN 12697-46 [17]. V tabulce č. 9 je zobrazen výsledek z jednoosé zkoušky tahem směsi z úseku L1147. [14]

Protokol o zkoušce č.	Průměrná teplota při porušení série vzorků [°C]	Napětí při porušení T = -10 °C [MPa]	Pevnost v tahu při teplotě T = -10 °C [% _o]
K-53746-1	-22,2	2,65	0,28

Tabulka č. 9: Výsledky asfaltové směsi z jednoosé zkoušky tahem v úseku L1147 [14]

Hlavním výsledkem výše uvedených projektů, stejně jako nosným tématem této diplomové práce, je možnost navrhování komunikací právě s vysokým obsahem R-materiálu. Konkrétně se jedná o možnost použití R-materiálu do obrusné vrstvy v maximálním množství 50 % hmotnosti směsi na německých komunikacích II. a III. třídy, a to do třídy dopravního zatížení Bk 10 (veškeré komunikace vyjma dálnic, rychlostních silnic a vysoce-zatěžovaných průmyslových komunikací). Podmínkou je použití buď polymerem modifikovaného asfaltu nebo silničních asfaltů gradace 50/70 a 70/100 dle „Technických dodacích podmínek pro asfaltové směsi pro výstavbu konstrukcí dopravních ploch“ [18]. [14]

Důležitým aspektem použití metody maximální recyklace je využití vysoce kvalitního R-materiálu, jeho homogenita, správné skladování a třídění. K získání této kvality R-materiálu může posloužit například georadarové měření před provedením frézování, které dokáže určit přibližné tloušťky vrstev a jednotlivé homogenní úseky. [14]

PRAKTICKÁ ČÁST

5 MATERIÁLY K VÝROBĚ ASFALTOVÝCH SMĚSÍ

Materiály pro výrobu všech směsí byly odebrány buď na obalovně asfaltových směsí nebo byly dodány společnostmi zabývajícími se jejich výrobou. Materiály použité na výrobu asfaltových směsí jsou podrobněji popsány v následujících kapitolách 5.1 až 5.4.

5.1 KAMENIVO

Pro výrobu asfaltových směsí v rámci této diplomové práce bylo použito kamenivo z lomu Luleč v Jihomoravském kraji. Z geologického hlediska se v daném lomu těží droba – sedimentární hornina. Kamenivo samotné bylo odebráno v rámci přípravy diplomové práce na obalovně asfaltových směsí v Rajhradcích u Brna. Kamenivo je na obalovně uskladněno v otevřených skládkách, vyjma frakce 0/4, která je krytá pod střechou.

Dle dokumentů obalovny kamenivo splňuje evropskou normu *ČSN EN 13043 Kamenivo pro asfaltové směsi a povrchové vrstvy pozemních komunikací, letištních a jiných dopravních ploch* [19].



Obrázek č. 8: Odběr kameniva na obalovně



Obrázek č. 9: Skladování odebraného kameniva a R-materiálu

5.1.1 SÍTOVÝ ROZBOR KAMENIVA

Na odebraném kamenivu byla provedena homogenizace, kvartace a poté došlo k roztřídění kameniva pomocí sítového rozboru. Pro návrh asfaltových směsí byly použity následující frakce kameniva: 0/4, 4/8, 8/11 a vápencová moučka – filler. Toto kamenivo tvořilo u každé směsi vždy zhruba 65 % celkové hmotnosti kameniva. Zbývajících 35 % kameniva bylo získáno z R-materiálu. Pro dosažení přesných výsledků bylo před síťovým rozbořem provedeno vymytí nejjemnějších částic menších frakcí, tak jak vyžaduje norma.

U každé frakce byly provedeny vždy nejméně dva síťové rozborů. Pro návrh směsi jsou použity zprůměrované hodnoty jednotlivých síťových rozborů pro každou frakci. Přesný postup provedení síťového rozboru je popsán v ČSN EN 933-1 *Zkoušení vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Síťový rozbor* [20].

V tabulce č. 10 jsou uvedeny propady na sítích jednotlivých frakcí získané ze síťových rozborů. Podrobné síťové rozborů jednotlivých frakcí jsou v příloze č. 1 této práce. Zároveň tabulka č. 10 udává i propad kameniva získaného po vyextrahování pojiva z R-materiálu. Více informací o použitém R-materiálu je zmíněno v kapitole 5.2 v dalším odstavci.

Frakce\Síto	11	8	4	2	1	0.5	0.25	0.125	0.063
8/11	87.15	19.12	1.74	1.30	1.22	1.18	1.09	0.92	0.61
4/8	100.00	96.53	14.24	1.04	0.65	0.58	0.52	0.45	0.35
0/4	100.00	100.00	97.31	79.01	58.23	43.52	27.05	10.75	3.01
Filler	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.86	99.63	95.85	76.42
R-materiál	99.03	94.41	75.40	60.42	46.12	32.74	21.33	14.98	11.07

Tabulka č. 10: Propady frakcí kameniva na sítích

5.2 R-MATERIÁL

Pro výrobu asfaltových směsí byl použit R-materiál taktéž odebraný na obalovně v Rajhradcích. Vzhledem k prozatím nedostatečně specifikované situaci týkající se nakládání s R-materiálem v ČR, jak je pojednáváno již v kapitole 2 této práce, byl dostupný pouze R-materiál frakce 0/8 a ne frakce 0/11. Ten obsahuje vyšší množství jemných částic, a proto je použito při návrhu čar zrnitosti nižší množství filleru, než je obvyklé. Tato problematika je rozebrána podrobněji v kapitolách 8.1 a 9.1.

Na odebraném R-materiálu bylo provedeno několik extrakcí pro zjištění obsahu asfaltového pojiva. Po zprůměrování hodnot množství extrahovaného asfaltového pojiva a odborného posouzení výsledků bylo vyhodnoceno, že uvažované množství pojiva v R-materiálu je 5,6 % celkové hmotnosti. Extrakce číslo 1 byla vyřazena z průměru z důvodu příliš odlišné hodnoty a byla brána pouze jako rozhodovací faktor při zaokrouhlení průměru z extrakcí 2 a 3. Ze zjištěné hodnoty obsahu pojiva lze usuzovat, že použitý R-materiál je pravděpodobně původem směs typu asfaltový beton (AC), jejíž minimální obsah rozpustného pojiva se pohybuje mezi 5 až 6 % hmotnosti směsi. [21] Podrobné výsledky z jednotlivých extrakcí jsou uvedeny v příloze č. 3 této práce.

Průměrný podíl asfaltu ze 2 vybraných extrakcí [%]	5.56		
Podíl asfaltu z extrakcí [%]	6.13	5.59	5.52
Číslo extrakce	1	2	3

Tabulka č. 11: Extrakce asfaltového pojiva z R-materiálu

5.3 ASFALT

Pro výrobu asfaltových směsí bylo použito jak modifikované, tak nemodifikované asfaltové pojivo gradace 70/100. Asfaltové pojivo bylo získáno od firmy TOTAL, s firemním označením AZALT, a jedná se o běžné pojivo používané při výstavbě, opravách a údržbách pozemních komunikací.

Druhým typem použitého pojiva bylo u všech navržených směsí pojivo obsažené v R-materiálu. Množství pojiva v R-materiálu bylo zjištěno pomocí extrakce a následné destilace.

Zkoušky a parametry všech použitých asfaltových pojiv jsou obsaženy v kapitole 6, popř. podkapitolách 5.3 a 5.4.

5.3.1 ASFALT 70/100 MODIFIKOVANÝ PRYŽOVÝM GRANULÁTEM

Jelikož první navrhovaná směs plynule navazuje na směs vyrobenou v bakalářské práci, bylo nutné použít i odpovídající modifikované pojivo. Bohužel nebylo možné kvůli stárnutí pojiva a dalším vlivům použít stejné pojivo jako v bakalářské práci. Za tímto účelem byl nově namíchán asfalt stejné gradace jako v bakalářské práci – 70/100 (AZALT) se stejným modifikátorem.

Jako modifikátor byl použit pryžový granulát o maximální velikosti zrna 1 mm. Celkový obsah pryžového granulátu ve směsi byl 16 %. Příprava asfaltu modifikovaného tímto pryžovým granulátem proběhla v laboratorním míchacím zařízení s ohřevem tzv. mokrým procesem, při kterém dochází k vmíchání pryžového granulátu do nemodifikovaného pojiva. Proces míchání pojiva s pryžovým granulátem probíhá po dobu 1 hodiny při teplotě 185 °C.

5.3.2 NEMODIFIKOVANÝ ASFALT 70/100

Při přípravě druhé asfaltové směsi bylo použito nemodifikované asfaltové pojivo gradace 70/100, dodané přímo od výrobce. Na obrázcích č. 10 a č. 11 jsou zobrazena použitá asfaltová pojiva.



Obrázek č. 10: Asfalt 70/100 CRMB



Obrázek č. 11: Asfalt 70/100

5.3.3 ASFALT ZÍSKANÝ Z R-MATERIÁLU



Obrázek č. 12: Destilační zařízení

Na R-materiálu byly provedeny 3 extrakce a následné destilace za účelem zjištění množství obsaženého pojiva, jak již bylo uvedeno v kapitole 5.2. Při návrhu směsi byla uvažována průměrná hodnota obsaženého pojiva na 5,60 % hmotnosti R-materiálu.

Pro ověření správnosti dávkovaného množství pojiva v navržené směsi a analogicky i množství pojiva v R-materiálu byly provedeny po přípravě směsi DP 35 BG její kontrolní zpětné extrakce. Výsledky těchto extrakcí jsou uvedeny v příloze č. 3 této práce. Na obrázku č. 12 je zobrazeno destilační zařízení použité pro získání vyextrahovaného asfaltového pojiva z R-materiálu.

5.4 PRYŽOVÝ GRANULÁT

Na výrobu modifikovaného asfaltového pojiva byl použit pryžový granulát se zrnitostí 0/1 mm. Použitý granulát byl vyroben z ojetých pneumatik vozidel metodou vícenásobného mechanického mletí za běžné teploty. Sypná objemová hmotnost použitého granulátu je zhruba 400 kg/m³. Hustota pryže se pohybuje mezi 1150 až 1350 kg/m³. [22]

6 ZKOUŠKY A CHARAKTERISTIKY ASFALTOVÝCH POJIV

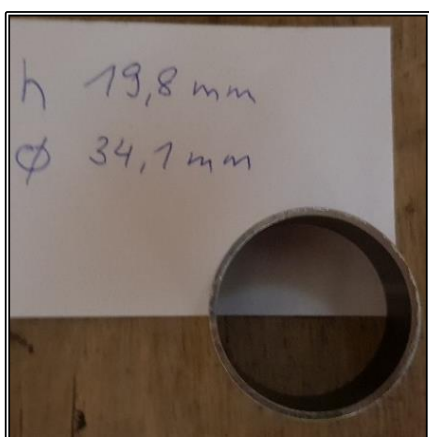
V této kapitole jsou uvedeny charakteristiky pojiv a výsledky provedených zkoušek na asfaltových pojivech. Většina zkoušek byla provedena na všech asfaltových pojivech a jejich kombinacích, a to za účelem ověření vlastností asfaltů v jednotlivých směsích. Jedná se o asfalty:

- asfalt 70/100,
- asfalt 70/100 CRMB,
- asfalt z R-materiálu,
- asfalt 70/100 + asfalt z R-materiálu,
- asfalt 70/100 CRMB + asfalt z R-materiálu.

Některé zkoušky však byly provedeny pouze na pojivu z vybrané směsi, a proto nejsou uvedeny ve všech podkapitolách.

U směsi DP 35 BG byly navíc provedeny zpětné extrakce pojiva ze zhutněných Marshallových těles, pro získání vlastností tohoto pojiva i po jeho použití ve směsi. Obsah pojiva zjištěný z takto provedených zpětných extrakcí je průměrně 5,67 %. Tato hodnota dokazuje správnost dávkování jak dodávaného pojiva při návrhu směsi DP 35 BG, tak i zjištěný obsah pojiva v R-materiálu. U směsi DP 35 se zpětná extrakce neprováděla, protože extrahované asfaltové pojivo modifikované pryžovým granulátem by bylo po extrakci rozděleno na dvě samostatné složky – granulát a nemodifikovaný asfalt. Takto získaný asfalt by pak vykazoval odlišné parametry než modifikovaný asfalt použitý v asfaltové směsi DP 35.

6.1 HUSTOTA



Obrázek č. 13: Kroužek na určení hustoty asfaltového pojiva

Hustota asfaltových pojiv byla určena vlastní metodou, a to pomocí nerezového kroužku o vnitřním průměru 34,1 mm, výšce 19,8 mm a hmotnosti 25,6 g. Do kroužku byl vlit známý objem zahřátého asfaltového pojiva vypočítaný z rozměrů a po vychladnutí byla stanovena jeho hustota jako poměr hmotnosti a objemu. Při výpočtu bylo uvažováno asfaltové pojivo jako kompaktní hmota bez vzduchových mezer.

Tato zkouška se běžně neprovádí a obvykle je uvažována průměrná hodnota hustoty asfaltového pojiva – 1020 kg/m³.

6.1.1 70/100 CRMB

Hustota asfaltového pojiva gradace 70/100 ve směsi DP 35, obsahujícího pryžový granulát, byla stanovena měřením na hodnotu 1042 kg/m³.

6.1.2 70/100

Hustota asfaltového pojiva gradace 70/100 ve směsi DP 35 BG, byla stanovena měřením na hodnotu 1001 kg/m³.

6.1.3 POJIVO Z R-MATERIÁLU

Hustota asfaltového pojiva získaného extrakcí ze směsi R-materiálu, byla stanovena měřením na hodnotu 1040 kg/m³.

6.1.4 70/100 CRMB + POJIVO Z R-MATERIÁLU

Asfaltové pojivo v první navržené směsi – DP 35, která se skládá z modifikovaného pojiva a pojiva obsaženého v R-materiálu má hustotu rovnu 1041 kg/m³. Tato hodnota byla stanovena výpočtem z poměrů množství obsaženého pojiva ve směsi.

V případě první směsi se jednalo o 5,6 % obsaženého pojiva v 35 % dávkovaného R-materiálu, což odpovídá 1,96 % pojiva z R-materiálu ve výsledné směsi a 5,04 % dodaného pojiva s pryžovým granulátem z celkového množství pojiva 7,0 %. Výsledná hustota pak byla stanovena podle výpočtu: $(1,96 * 1040 + 5,04 * 1042) / 7,0$.

6.1.5 70/100 + POJIVO Z R-MATERIÁLU

Asfaltové pojivo v druhé navržené směsi – DP 35 BG, která se skládá z nemodifikovaného pojiva gradace 70/100 a pojiva obsaženého v R-materiálu má hustotu rovnu 1014 kg/m³. Tato hodnota byla stanovena výpočtem z poměrů množství obsaženého pojiva ve směsi. V případě druhé směsi se jednalo o 5,6 % obsaženého pojiva v 35 % dávkovaného R-materiálu, což odpovídá 1,96 % pojiva z R-materiálu ve výsledné směsi a 3,84 % dodaného pojiva gradace 70/100 z celkového množství pojiva 5,8 %. Výsledná hustota pak byla stanovena podle výpočtu: $(1,96 * 1040 + 3,84 * 1001) / 5,8$.

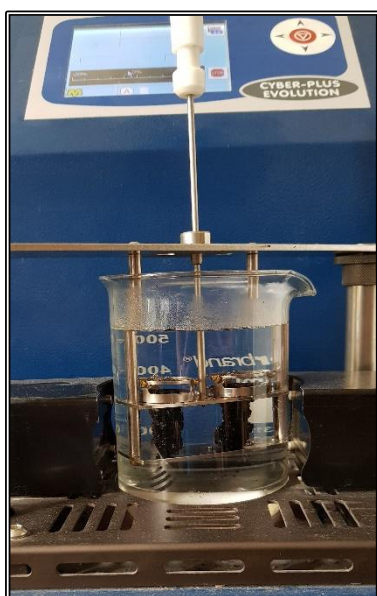
6.2 PENETRACE

U všech použitých asfaltových pojiv byla provedena zkouška penetrace jehlou, vždy pro tři platná měření. Zkouška byla provedena dle ČSN EN 1426 *Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení penetrace jehlou* [23]. Platné naměřené výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 12.

Číslo penetrace	70/100 CRMB	70/100	R-MAT	70/100 CRMB + R-MAT	70/100 + R-MAT	70/100 + R-MAT (extrakce)
1	53,8	86,0	13,5	36,1	45,8	27,6
2	54,7	85,3	14,2	35,1	45,3	28,1
3	54,4	85,5	14,5	34,1	46,4	27,8
Průměr	54,3	85,6	14,1	35,1	45,8	27,8

Tabulka č. 12: Souhrnná tabulka hodnot penetrací [0,1 mm]

6.3 BOD MĚKNUTÍ METODOU KROUŽEK A KULIČKA



Obrázek č. 14: Zkouška stanovení bodu měknutí asfaltu

Zkouška stanovení bodu měknutí metodou kroužek kulička byla provedena na všech typech použitých asfaltových pojiv. Zároveň byl stanoven bod měknutí metodou kroužek kulička i pro extrahované asfaltové pojivo ze směsi DP 35 BG, získané ze zpětné extrakce. Jako zkušební roztok byla použita odkysličená destilovaná voda. Zkouška proběhla ve zkušebním zařízení dle postupu popsaného v normě ČSN EN 1427 *Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení bodu měknutí – Metoda kroužek a kulička* [24]. Na obrázku č. 14 je zobrazen zkušební vzorek asfaltového pojiva gradace 70/100 modifikovaného pryžovým granulátem po zkoušce stanovení bodu měknutí.

Veškeré výsledky této zkoušky jsou uvedeny v souhrnné tabulce bodů měknutí asfaltových pojiv č. 13.

Název	70/100 CRMB		70/100		R-MAT		70/100 CRMB + R-MAT		70/100 + R-MAT		70/100 + R-MAT (extrakce)	
L / P	55,2	55,6	49,0	49,1	67,5	67,6	62,0	62,1	51,6	51,7	58,3	59,0
Průměr	55,4		49,0		67,6		62,1		51,7		58,7	

Tabulka č. 13: Souhrnná tabulka bodů měknutí asfaltových pojiv

6.4 VISKOZITA

Zkouška stanovení dynamické viskozity asfaltového pojiva rotačním vřetenovým viskozimetrem byla provedena pouze u laboratorně namíchaného asfaltového pojiva gradace 70/100 CRMB. Tato zkouška byla provedena z důvodu zjištění dynamické viskozity po přidání modifikátoru. Přidáním pryžového granulátu do asfaltového pojiva dochází k prudkému nárůstu dynamické viskozity vlivem zahuštění pojiva jemnými částicemi. [25]

Naměřená dynamická viskozita asfaltového pojiva modifikovaného pryžovým granulátem při teplotě 175 °C se pohybuje kolem 2,2 kPa/s⁻¹.

6.5 SOUHRNNÁ TABULKA CHARAKTERISTICKÝCH VLASTNOSTÍ ASFALTOVÝCH POJIV

Vzhledem k tématu práce, která se zabývá asfaltovými směsmi nebylo podrobnější zkoušení vlastností asfaltových pojiv, vyjma vlastností uvedených v předchozích kapitolách 6.1 až 6.4, provedeno, jelikož není hlavním obsahem této práce.

Pro přehlednost jsou jednotlivé změřené charakteristiky použitých asfaltových pojiv uvedeny v souhrnné tabulce charakteristik asfaltových pojiv č. 14.

Číslo penetrace	70/100 CRMB	70/100	R-MAT	70/100 CRMB + R-MAT	70/100 + R-MAT	70/100 + R-MAT (extrakce)
Hustota [kg/m ³]	1042	1001	1040	1041	1014	1014
Penetrace [0,1 mm]	54,3	85,6	14,1	35,1	45,8	27,8
Bod měknutí [°C]	55,4	49,0	67,6	62,1	51,7	58,7
Viskozita [kPa/s ⁻¹]	2,2	-	-	-	-	-

Tabulka č. 14 Souhrnná tabulka charakteristik asfaltových pojiv

7 ZKUŠEBNÍ POSTUPY PRO TESTOVÁNÍ ASFALTOVÝCH SMĚSÍ

V následujících podkapitolách jsou stručně popsány metody a postupy použité pro stanovení charakteristik a vlastností navržených asfaltových směsí. Zároveň jsou zde uvedeny vybrané parametry, při kterých zkoušky probíhaly. Na konci jednotlivých odstavců jsou pak zmíněny příslušné normy, podle kterých byly zkoušky provedeny, a které popisují jejich postupy.

Výsledky těchto zkoušek jsou uvedeny v kapitole 8.5, respektive 9.5 a jejich podkapitolách.

7.1 STANOVENÍ ODOLNOSTI ZKUŠEBNÍHO TĚLESA VŮČI VODĚ

Zkouška stanovení odolnosti zkušebního tělesa vůči vodě, jejímž výsledkem je poměr pevností zkušebních těles v příčném tahu ITSR v procentech, byla provedena podle výpočtové metody A.



Obrázek č. 15: Těleso v lisu před zkouškou v příčném tahu ITSR

Na obrázku č. 15 je znázorněno zkušební Marshallovo těleso směsi DP 35 uchycené v přípravku pro vycentrování tělesa ve zkušebním lisu, připravené na zkoušku v příčném tahu.

Pro každou směs byla připravena sada čtyř suchých a čtyř mokrých Marshallových zkušebních těles. U všech těles byla splněna podmínka na podobnou objemovou hmotnost ($\pm 15 \text{ kg/m}^3$) a podobnou výšku ($\pm 5 \text{ mm}$). Všechna tělesa byla hutněna rázovým zhutňovačem předepsaným počtem 25 úderů z každé strany. Pro výpočet poměru pevností ITSR byla volena vždy dvě nejpodobnější tělesa ze suché a mokré sady. Teplota těles ve vodní lázni proběhla v požadovaném časovém intervalu 70 ± 2 hodiny a ihned poté byla provedena měření pevnosti v příčném tahu dle normy *ČSN EN 12697-23 Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 23: Stanovení pevnosti v příčném tahu*. [26]

Podrobný postup zkoušky (metoda A) je popsán v normě *ČSN EN 12697-12 Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 12: Stanovení odolnosti zkušebního tělesa vůči vodě* [27] a v národní poznámce pro Českou republiku, respektive ve výše uvedené normě *ČSN EN 12697-23* [26].

Na obrázcích č. 16 a č. 17 jsou zobrazena porušená zkušební tělesa ze směsi DP 35 BG a směsi DP 35 po provedení zkoušky v příčném tahu.



Obrázek č. 16: Porušená zkušební tělesa směsi DP 35 BG po zkoušce v příčném tahu



Obrázek č. 17: Detail porušeného tělesa ze směsi DP 35 po zkoušce v příčném tahu

7.2 VYSTAVENÍ ZKUŠEBNÍHO TĚLESA ZMRAZOVACÍM CYKLŮM A CHRL

Vzhledem k okolnostem, že v České republice ani v Evropě prozatím neexistuje zkouška zabývající se působením vody v kombinaci se zmrazovacími cykly a chemickými rozmrazovacími látkami na odolnost asfaltových směsí, bylo cílem něco podobného vytvořit. Jako nejvíce vhodná zkouška na získání informací se jevila americká zkouška *AASHTO T 283 Resistance Of Compacted Bituminous Mixtures To Moisture Induced Damage* [28]. Bohužel požadavky výše uvedené americké normy nebylo možné za aktuálních podmínek splnit (těleso průměru 150 mm, zhutněné na mezerovitost 6,5 až 7,5 %, temperovaná sušárna apod.), a proto byla zkouška modifikována. Průběh zkoušky zmrazovacích cyklů je mírně podobný zkoušce ITSR, a proto je i výsledek této zkoušky porovnán s výsledky ze zkoušky v příčném tahu.

Zkouška začíná vakuováním čtyř zkušebních Marshallových těles, zhutněných 2x25 údery, stejně jako při zkoušce ITSR. Vakuování i zmrazovací cykly probíhají v 20% roztoku chloridu sodného, typicky dávkovaného se suchou posypovou solí při zimní údržbě komunikací. Každý zmrazovací cyklus trvá 24 hodin při průměrné teplotě $-18,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a zkušební tělesa jsou při něm namočena celým svým objemem. Po této době jsou tělesa vyjmuta z roztoku a nechána rozmraznout a oschnout při teplotě cca $16\text{ }^{\circ}\text{C}$, opět po dobu 24 hodin. Celý cyklus byl opakován 15x. Po posledním cyklu byla tělesa 2 hodiny temperována při teplotě $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ a ihned poté byla v lisu stanovena jejich pevnost v příčném tahu.

Obě sady zkušebních těles směsí DP 35 i DP 35 BG v 20% roztoku chloridu sodného po provedení desátého zmrazovacího cyklu jsou zobrazeny na obrázku č. 18.



Obrázek č. 18: Zkušební tělesa po provedení desátého zmrazovacího cyklu

7.3 ZKOUŠKA POJÍŽDĚNÍ KOLEM



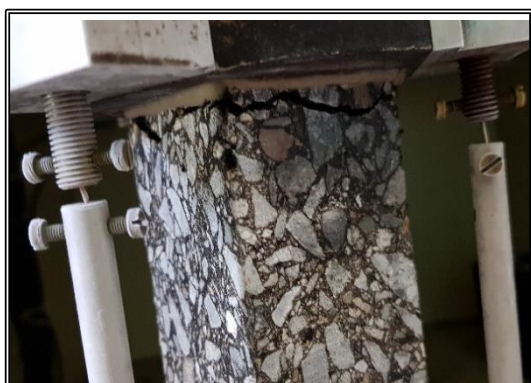
Obrázek č. 19: Zařízení na vyjždění kolejí s uchyceným vzorkem

Zkouška pojíždění kolem byla provedena u obou směsí na dvou zkušebních deskách průměrné výšky cca 41 mm a půdorysných rozměrech 260 mm x 320 mm. Zkušební vzorky byly nejprve temperovány při teplotě 50 °C po dobu šesti hodin a poté byly okamžitě vloženy do zařízení pro vyjždění kolejí. Každý vzorek byl vystaven 10 000 pojezdům zatíženým zkušebním kolem, také při 50 °C, přičemž byly měřeny hloubky vyjeté koleje v přírůstcích po 50 cyklech. Zkušební deska uchycená v zařízení pro vyjždění kolejí po provedení zkoušky je zobrazena na obrázku č. 19.

Z naměřených hodnot byly vypočteny normou požadované hodnoty poměrné hloubky vyjeté koleje na vzduchu po 10 000 cyklech v procentech – tzv. PRD_{AIR} a přírůstek hloubky vyjeté koleje v tisícinách milimetru na 10^3 zatěžovacích cyklů – tzv. WTS_{AIR} pro asfaltové směsi.

Pro dosažení přesných výsledků byly všechny vzorky zatěžovány vždy pouze kolem na levé straně zařízení, protože předchozí měření ukázala (v rámci bakalářské práce) rozdílné výsledky při používání obou zatěžovacích kol současně. Přesný postup zkoušky a vyhodnocení jednotlivých parametrů jsou uvedeny v normě *ČSN EN 12697-22 Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 22: Zkouška pojíždění kolem*. [29]

7.4 ZKOUŠKA ODOLNOSTI ASFALTOVÉ SMĚSI VŮČI NÍZKÝM TEPLOTÁM



Obrázek č. 20: Detail porušení trámce

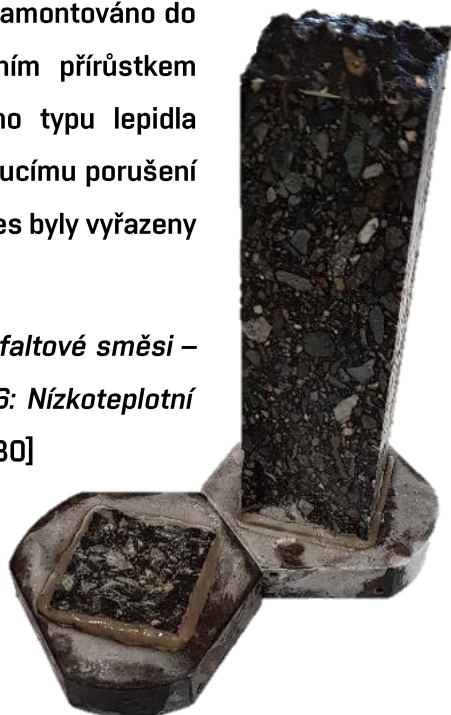
Jednou z nejdůležitějších provedených zkoušek pro obrusnou vrstvu byla zkouška odolnosti vůči nízkým teplotám. Tato zkouška byla provedena u každé směsi na trámcích o rozměrech 50 x 50 x 200 mm. Pro každou směs bylo připraveno pět zkušebních těles. Z každé sady pak byla vybrána minimálně dvě, normou požadovaná, platná měření.

Těleso bylo po přilepení ke zkušebním podložkám namontováno do zařízení Cyklon 40 a pravidelně ochlazováno konstantním přírůstkem záporné teploty za daný čas. Vzhledem k použití nového typu lepidla u některých zkušebních vzorků došlo k občasnému nežádoucímu porušení vzorku v upevnění (lepidle). Výsledky takto poškozených těles byly vyřazeny a nejsou uvedeny v této práci.

Tuto zkoušku popisuje norma *ČSN EN 12697-46 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 46: Nízkoteplotní vlastnosti a tvorba trhlin pomocí jednoosé zkoušky tahem*. [30]

Obrázek č. 20 zobrazuje detail vzorku porušeného trhlinou po jednoosé zkoušce tahem při nízkých teplotách. Na obrázku č. 21 lze vidět porušené plochy zkušebního vzorku po vymontování ze zařízení.

Protokoly z jednotlivých měření jsou uvedeny v příloze č. 9 této práce.



Obrázek č. 21: Porušený vzorek po provedení zkoušky

7.5 STANOVENÍ MODULŮ TUHOSTI ASFALTOVÉ SMĚSI



Obrázek č. 22: Zkušební trapezoid v temperační komoře

Zkouška stanovení modulů tuhosti byla provedena u obou navržených asfaltových směsí na zkušebních tělesech tvaru komolého klínu, tzv. trapezoidu o rozměrech podstav 70x40 mm a 25x40 mm a výšce 250 mm. Počet zkušebních těles se odvíjel od technických, časových a klimatických podmínek při jejich zkoušení. Z důvodu vysokých letních teplot často docházelo k sepnutí tepelné pojistky a tím zastavení měřicího cyklu. U každé směsi tak byly měřeny moduly tuhosti nejvýše při třech hlavních teplotách – 10, 15 a 20 °C a základních frekvencích. Minimálně bylo u každé směsi odzkoušeno 6 těles pro určení modulu tuhosti při základní zkušební teplotě 15 °C a frekvenci 10 Hz.

Postup zkoušky spočívá ve vetknutí tělesa u jeho větší podstavy pomocí vysokopevnostního lepidla ve zkušební temperační komoře, kde je namáháno ohybem za svůj volný konec. Těleso je namáháno při každé kombinaci teploty a frekvence ustáleným sinusovým namáháním po dobu 120 sekund průhybem odpovídajícím přetvoření menšímu než 50 mikrostrain. Doba temperace těles mezi rozdílem teplot byla 4 hodiny. Podrobněji je tato zkouška popsána v normě *ČSN EN 12697-26 Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 26: Tuhost*. [31] Na obrázku č. 22 je zobrazeno zkušební zařízení pro stanovení modulů tuhosti asfaltových směsí.

7.6 STANOVENÍ ÚNAVY ASFALTOVÉ SMĚSI

Zkouška stanovení únavy asfaltové směsi byla stejně jako zkouška modulů tuhosti provedena u obou navržených směsí. I tato zkouška se provádí v totožném zařízení a se shodným typem vzorku jako zkouška pro stanovení modulů tuhosti. Na rozdíl od zkoušení modulů tuhosti asfaltových směsí se při stanovení únavy aplikuje na zkušební těleso větší deformace. Byla použita metoda Strain Control s řízenou deformací. Při započetí zkoušky je zaznamenán počáteční modul tuhosti směsi, a poté je těleso cyklicky namáháno konstantní výchylkou až do okamžiku, kdy dojde k poklesu modulu tuhosti na polovinu jeho počáteční hodnoty. V tuto chvíli je zkouška ukončena a výsledky jsou vyneseny do Wöhlerova únavového diagramu jako závislost počtu cyklů při porušení vzorku na počátečním přetvoření udávaným v microstrainech (odpovídajících počáteční výchylce). Wöhlerův diagram se uvádí v logaritmickém měřítku a pro charakteristiku únavových vlastností asfaltových směsí se zjišťuje hodnota přetvoření odpovídající jednomu milionu cyklů.

Norma ČSN EN 12697-24 *Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 24: Odolnost vůči únavě* [32], popisující zkoušku únavy asfaltových směsí, požaduje minimální počet 18 zkušebních těles, kdy alespoň u 1/3 musí dojít k porušení vzorku pod jeden milion cyklů a nejméně u 1/3 musí dojít k porušení nad 1 milion cyklů. Z důvodů uvedených v kapitole 7.5 nebylo možné stoprocentně splnit podmínku pro celkový minimální počet vzorků, avšak byly dodrženy podmínky počtu těles pro porušení. Vyrobená zkušební tělesa připravená na zkoušku modulů a únavy jsou zobrazena na obrázku č. 23.



Obrázek č. 23: Zkušební tělesa pro zkoušky modulů a únavy

Přestože se únava asfaltové směsi stanovuje obvykle pouze u ložních a podkladních asfaltových vrstev, v rámci diplomové práce byla změřena u obou navržené směsi pro obrusné vrstvy. Z teoretického hlediska dochází k únavě u všech předmětů na Zemi. V případě obrusné vrstvy lze uvažovat únavové chování směsi v příčném řezu v místě styku pneumatiky s vozovkou, jak je zobrazeno na obrázku č. 24. Namáhání vozovky v tomto místě v delším časovém intervalu může vést ke vzniku trvalých deformací, únavových trhlin nebo jejich kombinaci.



Obrázek č. 24: Schéma únavového namáhání obrusné vrstvy

Pro zkoušky stanovení modulů tuhosti a únavy asfaltových směsí bylo využito zařízení Cooper z laboratoře dopravních staveb výzkumného centra AdMaS.

NÁVRH ASFALTOVÝCH SMĚSÍ

V této kapitole jsou popsány návrhové parametry asfaltových směsí, jako například návrh optimálního množství pojiva a čáry zrnitosti, dále pak stručný popis přípravy těchto směsí a v závěru jejich vlastnosti a výsledky. Tato část je rozdělena na dvě kapitoly – kapitolu č. 8, zabývající se směsí DP 35 a kapitolou č. 9, týkající se druhé navržené směsi DP 35 BG.

8 SMĚS 1 – DP 35

Návrh první směsi DP 35 vycházel ze směsi navržené v mé bakalářské práci. Hlavním rozdílem těchto směsí je množství obsaženého R-materiálu. Zatímco ve směsi BP 50 bylo cílem zjistit chování směsi s vysokým obsahem asfaltového recyklátu (50 %) a bez použití oživujících přísad, ve směsi DP 35 je snížen obsah R-materiálu na legislativně připravovanou maximální přípustnou hodnotu 35 % pro směs ACO 11, jak již bylo uvedeno v teoretické části práce. Obě směsi používají asfaltové pojivo gradace 70/100 modifikované pryžovým granulátem.

Aby bylo možno směsi vzájemně porovnat, bylo zapotřebí zvolit co nejpodobnější čáry zrnitosti. Zároveň byl při návrhu směsi kladen důraz na dodržení podobné mezerovitosti, a to za účelem vzájemné porovnatelnosti se směsí BP 50 z bakalářské práce.

8.1 NÁVRH ČÁRY ZRNITOSTI

U směsi DP 35 byla navržena čára zrnitosti stejně jako u směsi BP 50, tak aby ležela pod Fullerovou parabolou, a přitom dosáhla plynulého průběhu křivky. Při návrhu byly splněny požadované meze pro ACO 11+ udávané normou *ČSN 73 6121 Stavba vozovek – Hutněné asfaltové vrstvy – Provádění a kontrola shody* [21] a vzhledem k obsahu pryžového granulátu i meze pro ACO 11 CR připravované normy *ČSN 73 6122 Stavba vozovek – Ostatní asfaltové vrstvy – Provádění a kontrola shody* [33].

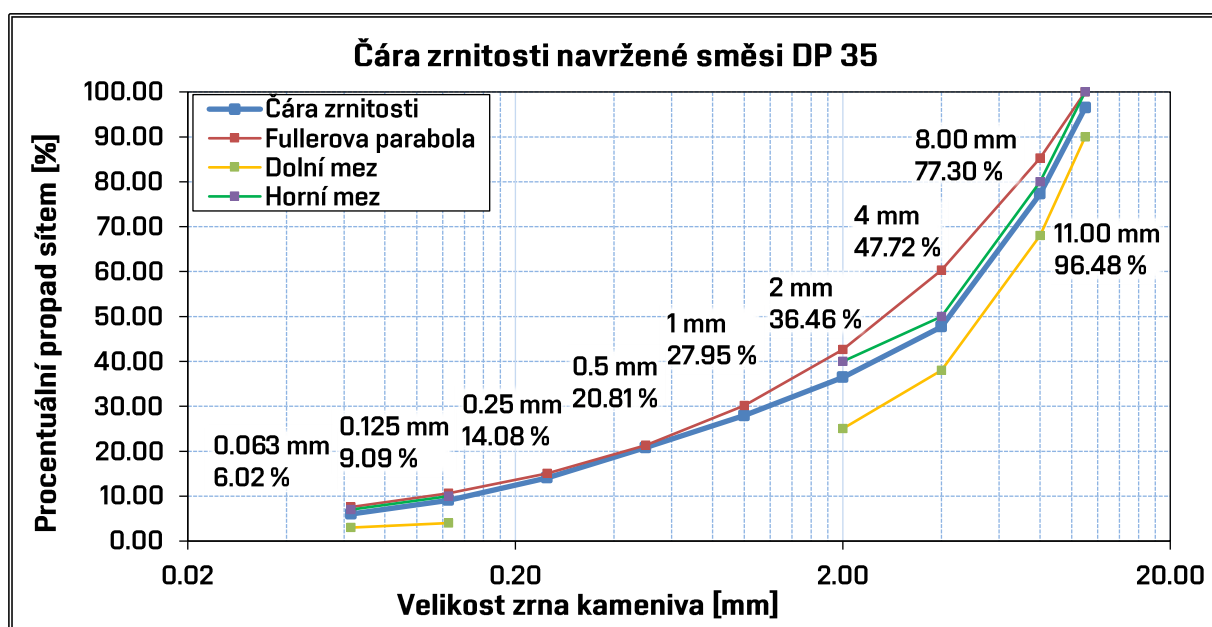
Při návrhu se vycházelo z čáry zrnitosti směsi BP 50, a zároveň byla brána v potaz problematika dávkování maximálního reálného množství R-materiálu. Pro jeho dodržení bylo nutno čáru zrnitosti mírně upravit, jak je podrobně uvedeno v kapitole č. 3. Tato změna čáry zrnitosti se projevila zvláště mezi nově navrženými směsmi, kde by při běžném dávkování R-materiálu nedošlo k její úpravě.

Narozdíl od směsi BP 50 je v navržených směsích DP 35 a DP 35 BG použita nově odebraná frakce kameniva 0/4, jako náhrada frakcí 0/2 a 2/4, které byly spotřebovány v bakalářské práci. Skladba kameniva směsi DP 35 s upraveným množstvím R-materiálu je uvedena v tabulce č. 15. Hodnota množství R-mat platí pouze pro kamenivo obsažené v R-materiálu bez započtení asfaltového pojiva a její hodnota je pouze informativní (neslouží k návrhu směsi).

Skladba kameniva		
	Množství [%]	Průběžný součet
Filler	1,80	1,80
0/4	16,00	17,80
4/8	22,00	39,80
8/11	24,67	64,47
R-mat	35,53	100,00
Celkem	100,00	

Tabulka č. 15: Skladba kameniva směsi DP 35

Navržená čára zrnitosti směsi DP 35 je uvedena v grafu č. 3. Meze pro návrh čáry zrnitosti zobrazené v grafu č. 3 jsou uvedeny v připravované normě pro směsi s pryžovým granulátem a odpovídají mezím směsi typu ACO 11 CR [33]. Směs zároveň splňuje meze i pro ACO 11 + dle [21].



Graf č. 3: Navržená čára zrnitosti směsi DP 35

8.2 NÁVRH MNOŽSTVÍ POJIVA

Vzhledem k obsahu pryžového granulátu v asfaltovém pojivu bylo teoretické množství pojiva stanoveno empiricky po konzultaci s vedoucím práce a nebylo počítáno dle vzorce pro výpočet teoretického optimálního množství pojiva. K tomuto kroku bylo přistoupeno opět z důvodu připodobnění navržené směsi ke směsi BP 50 a k možnosti jejich vzájemného porovnání.

Jako první byla vytvořena směs s 6,5 % celkového množství pojiva. Tato směs sice splňovala normové požadavky [21] na minimální a maximální stupeň vyplnění mezer ($VFB_{min/max}$), avšak mezerovitost se pohybovala kolem 4,4 %. Zároveň se vizuálně jevila nedostatečně obalená,

a proto bylo po konzultaci s vedoucím práce rozhodnuto připravit druhou sadu směsi s vyšším obsahem pojiva, mimo jiné za účelem snížení mezerovitosti.

Druhý návrh obsahoval o 0,5 % asfaltu více a po vizuální kontrole a ověření vlastností připravené směsi bylo množství pojiva 7,0 % zvoleno jako návrhové pro směs DP 35. Naměřené hodnoty popisující vlastnosti navržené asfaltové směsi jsou uvedeny v kapitole 8.4 a v přílohách č. 4 až č. 7 této práce.

8.3 PŘÍPRAVA SMĚSI

Výroba asfaltové směsi probíhala celkem ve čtyřech základních krocích. Jako první bylo provedeno výše uvedené stanovení návrhového množství pojiva a s tím spojené stanovení objemových hmotností na Marshallových tělesech, maximálních objemových hmotnostech asfaltové směsi pomocí pyknometrické metody a stanovení mezerovitosti, respektive stupně vyplnění mezer. U pyknometrické metody bylo použito jako rozpouštědlo tetrachlorethen, a to z důvodu obsahu modifikovaného pojiva ve směsi, u kterého by mohlo vést použití vody k méně přesným výsledkům.

Pyknometry s rozpouštědlem a navrženou směsí DP 35 jsou zobrazeny na obrázku č. 25.



Obrázek č. 25: Pyknometry s rozpouštědlem a navážkou

Přesný postup stanovení objemových hmotností, maximálních objemových hmotností a mezerovitosti je popsán v normách ČSN EN 12697-6 *Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa* [34] a ČSN EN 12697-5 *Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 5: Stanovení maximální objemové hmotnosti* [35], respektive ČSN EN 12697-8 *Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 8: Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí* [36]. Objemová hmotnost byla stanovena normovým Postupem B: Nasyčený suchý povrch (SSD).

Druhým krokem je míchání směsi, a to v nové míchačce asfaltových směsí s ohřevem BITUMIX, zobrazené na obrázku č. 26. Celkem bylo namícháno přes 80 kg směsi DP 35 určené k hutnění zkušebních desek. Proces hutnění pomocí segmentového zhutňovače, simulujícího pojezd hutnicího válce, je třetím krokem při návrhu směsi. Hutnění probíhalo v co nejkratším časovém intervalu po namíchání asfaltové směsi, aby nedocházelo ke stárnutí pojiva vlivem delšího ohřevu směsi při vysoké teplotě. Teploty jednotlivých materiálů při míchání a hutnění jsou uvedeny v tabulce č. 16.



Obrázek č. 26: Míchačka asfaltových směsí

Materiál	Teplota [°C]
Kamenivo	195
Asfaltové pojivo	175
R-materiál	135
Asfaltová směs – míchání	175
Asfaltová směs – hutnění	170

Tabulka č. 16: Teploty míchání a hutnění směsí DP 35

Posledním krokem byla příprava zkušebních vzorků na jednotlivé funkční zkoušky. Jednalo se o desky na zkoušku poježdění kolem, Marshallova tělesa na zkoušku ITSr, popř. zkoušku vystavení těles zmrazovacím cyklům, trapezoidy na zkoušky modulů tuhosti a únavy a trámce na zkoušku odolnosti proti nízkým teplotám. Všechny trapezoidy i trámce byly po vyřezání ze zhutněných desek zabroušeny po stranách na brusce s diamantovým kotoučem pro dosažení požadovaných rozměrů.

8.4 VLASTNOSTI ASFALTOVÉ SMĚSI

Mezi vlastnosti a charakteristiky asfaltové směsi lze zařadit obsah pojiva, objemové hmotnosti, a to jak standardní, tak maximální, mezerovitost a stupeň vyplnění mezer nebo míru zhutnění zkušebních desek. Veškeré tyto údaje jsou pro přehlednost uvedeny v souhrnné tabulce č. 17. Příprava zkušebních vzorků a těles pro zkoušky, jejichž výsledky jsou dále uvedeny, byla v souladu s platnými normami ČSN EN 12 697-30 [37], ČSN EN 12 697-33 [38], ČSN EN 12 697-35 [39].

Vlastnost/Charakteristika směsi	Hodnota/Průměrná hodnota
Obsah celkového pojiva	7,00 %
Obsah pojiva obsaženého v R-materiálu	1,96 %
Obsah dodaného pojiva gradace 70/100	5,04 %
Průměrná objemová hmotnost (Marshallova tělesa)	2339 kg/m ³
Průměrná maximální objemová hmotnost (Pyknometry)	2421 kg/m ³
Průměrná mezerovitost	3,39 %
Průměrný stupeň vyplnění mezer	82,27 %
Průměrná míra zhutnění zkušebních těles	100,11 %

Tabulka č. 17: Souhrnná tabulka charakteristik a vlastností navržené směsi DP 35

8.5 VÝSLEDKY PROVEDENÝCH FUNKČNÍCH ZKOUŠEK

V následující kapitole jsou uvedeny výsledky funkčních zkoušek provedených na asfaltové směsi. Průměrné výsledky jednotlivých zkoušek a jejich zhodnocení je popsáno v následujících podkapitolách 8.5.1 až 8.5.6

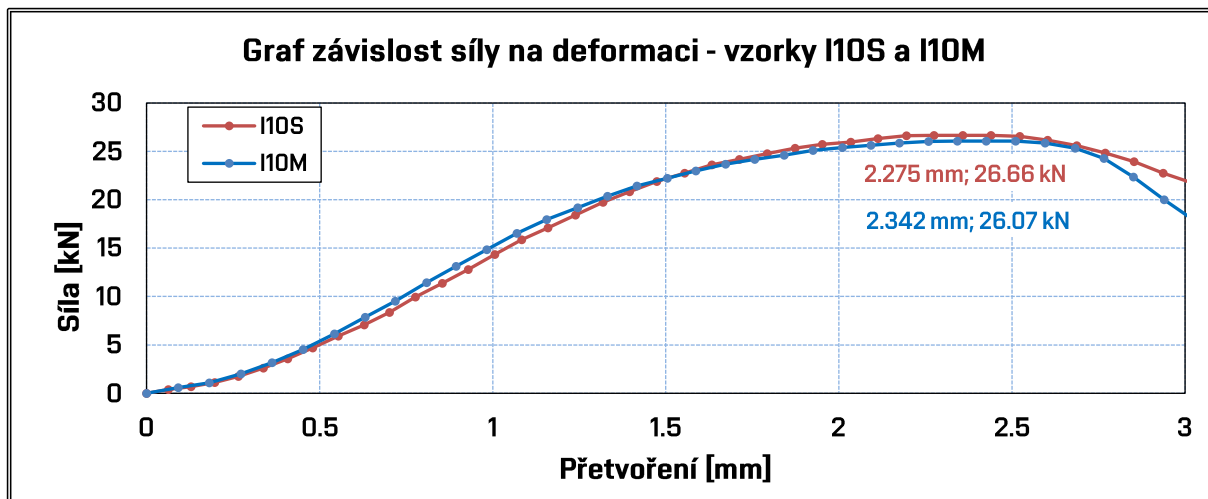
Kompletní výsledky zkoušek jsou podrobně uvedeny v těchto podkapitolách, popř. v přílohách 4 až 6 této práce, obsahujících veškeré naměřené objemové hmotnosti.

8.5.1 ZKOUŠKA ODOLNOSTI TĚLESA VŮČI VODĚ

Poměr maximálních dosažených pevností suchých a mokrých vzorků je zobrazen v tabulce č. 18. Průběh zatěžování jedné charakteristické sady těles v lisu je zobrazen v grafu č. 4. Ostatní naměřené výsledky jsou uvedeny v příloze č. 8. Z měření byla vyřazena sada těles 4 S a 6 M kvůli příliš odlišnému výsledku ITSR.

Označení	Maximální dosažená síla [kN]		Maximální dosažená pevnost [MPa]		ITSR [%]
	Suchá tělesa	Mokrá tělesa	Suchá tělesa	Mokrá tělesa	
3 S + 5 M	29,69	27,93	2,91	2,73	94,07
4 S + 6 M	27,05	26,95	2,63	2,63	99,79
6 S + 9 M	31,59	28,61	3,08	2,79	90,66
10 S + 10 M	26,66	26,07	2,60	2,54	97,79
Průměr	-	-	-	-	94,17

Tabulka č. 18: Výsledky zkoušky odolnosti tělesa vůči vodě směsi DP 35

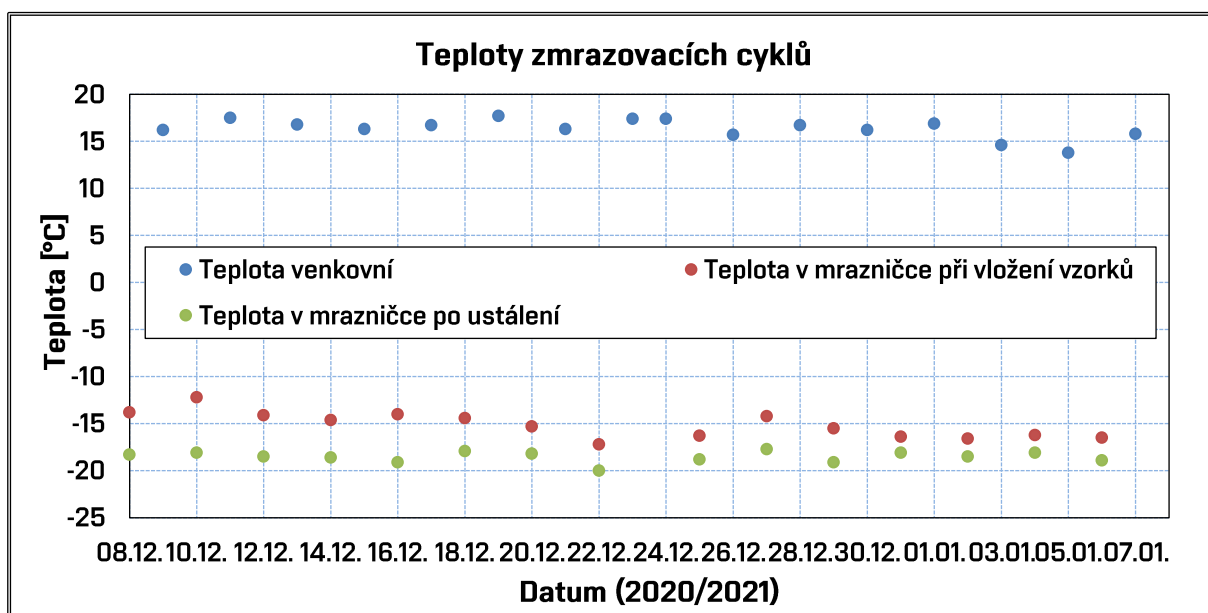


Graf č. 4: Graf závislosti síly na deformaci – vzorky I10 S a I10 M

Z naměřených dat vyplývá, že směs s průměrnou hodnotou ITSR 95,58 % dosahuje minimálních požadovaných hodnot pro ACO 11+ (min. ITSR 70 %) i ACO 11 S (min. ITSR 80 %) dle normy ČSN 73 6121 Stavba vozovek – Hutněné asfaltové vrstvy – Provádění a kontrola shody [21], a dokonce je i velmi překračuje. Z výsledků tedy lze konstatovat, že směs DP 35 plně vyhovuje na zkoušku odolnosti vůči vodě.

8.5.2 VYSTAVENÍ TĚLESA ZMRAZOVACÍM CYKLŮM A CHRL

Teploty naměřené v průběhu zmrazovacích cyklů u těles ze směsi DP 35 jsou uvedeny v grafu č. 5. Hodnoty maximální dosažené síly a pevnosti u těchto těles a poměr pevností zmrazovaných těles vůči odpovídajícím suchým tělesům je uveden v tabulce č. 19.



Graf č. 5: Teploty zmrazovacích cyklů

Označení	Suchá tělesa		Zmrazovaná tělesa		Poměr pevností - zmrazované/suché těleso [%]
	Síla [kN]	Pevnost [MPa]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]	
3 S + 1 Z	29,69	2,91	32,71	3,21	110,52
4 S + 2 Z	27,05	2,63	30,91	3,02	114,8
6 S + 7 Z	31,59	3,08	33,11	3,26	105,74
10 S + 12 Z	26,66	2,60	26,56	2,59	99,57
Průměr	-	-	-	-	107,66

Tabulka č. 19: Výsledky zmrazovaných těles směsi DP 35 po zkoušce ITSR

Z výsledků této doplňkové zkoušky je zjevné, že zmrazovací cykly ani CHRL neměly negativní vliv na pevnosti jednotlivých těles vyrobených v rámci této práce. Zvýšení pevnosti zmrazovaných těles může být způsobeno usazením částic NaCl v pórech vzorků. Na posouzení vlivu zmrazovacích cyklů a CHRL na asfaltové směsi tak bude potřeba provést podrobnější výzkum.

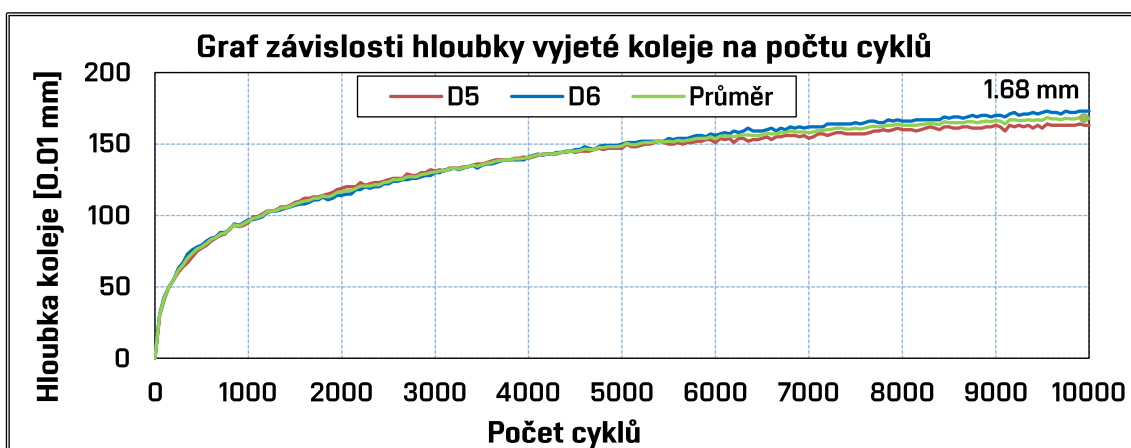
8.5.3 ZKOUŠKA POJÍŽDĚNÍ KOLEM

V tabulce č. 20 jsou uvedeny naměřené hodnoty PRD_{AIR} a WTS_{AIR} na dvou zkušebních deskách a jejich maximální hodnoty požadované normou ČSN 73 6121 [21].

Hodnota	D6	D5	Průměr	Max. hodnota
WTS_{AIR} [mm/10 ³ cyklů]	0,046	0,032	0,039	0,07
PRD_{AIR} [%]	3,695	3,556	3,630	5,0

Tabulka č. 20: Hodnoty WTS_{AIR} a PRD_{AIR} směsi DP 35

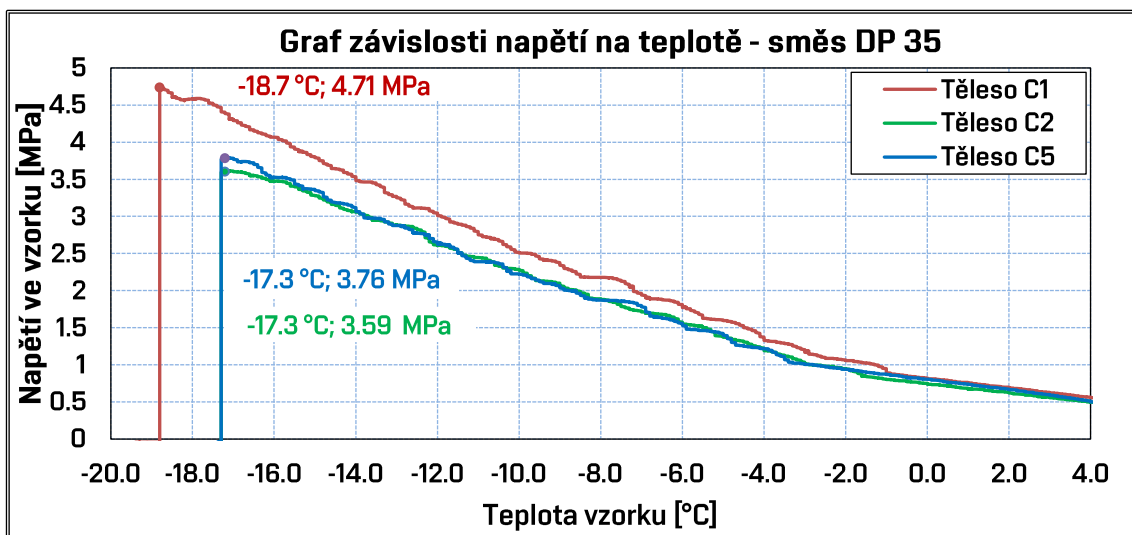
Podle naměřených hodnot z tabulky č. 20 vyhovuje směs na oba normou požadované parametry ze zkoušky pojíždění kolem s vysokou rezervou. V grafu č. 6 je zobrazena závislost hloubky vyjeté koleje na počtu cyklů. Podrobnější data z této zkoušky jsou uvedena v příloze č. 10.



Graf č. 6: Graf závislosti hloubky vyjeté koleje na počtu cyklů směsi DP 35

8.5.4 ZKOUŠKA ODOLNOSTI ASFALTOVÉ SMĚSI VŮČI NÍZKÝM TEPLOTÁM

U zkoušky odolnosti vůči nízkým teplotám bylo měřeno celkem 5 těles, přičemž u dvou z nich došlo k odtržení ve styčné ploše lepidla a podložky, popř. ke kroucení. Tyto vzorky byly vyřazeny a v grafu č. 7 jsou zobrazena pouze platná měření.



Graf č. 7: Graf závislosti napětí vzorku na teplotě vzorku – směs DP 35

Z výše uvedených hodnot vyplývá, že daná směs hůř odolává prudkému poklesu teploty než běžně používané směsi. Průměrná dosažená hodnota teplota při porušení vzorku $-17,7\text{ °C}$ je o něco vyšší než obvyklá teplota u směsí typu asfaltový beton pro obrusnou vrstvu, která se pohybuje okolo $-19\text{ až }-22\text{ °C}$ [40]. Tato zkouška však není vyžadována žádnou normou a při posuzování asfaltových směsí na reálné působení náhlého poklesu teploty, popř. obecně nízkých teplot je nejlepší vždy sledovat chování směsi v přirozených podmínkách.

8.5.5 STANOVENÍ MODULŮ TUHOSTI

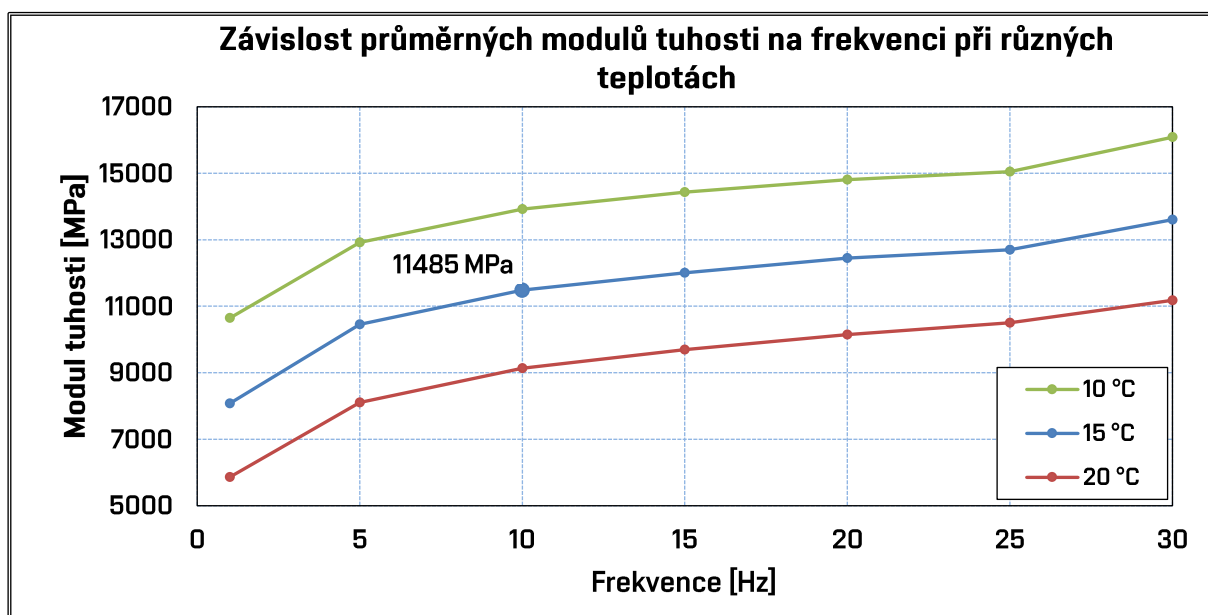
Hodnoty modulů tuhosti asfaltových směsí u dvoubodové zkoušky ohybem jsou posuzovány při teplotě 15 °C a 10 Hz . Naměřené platné výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 21. Zároveň je v grafu č. 8 zobrazena závislost modulů tuhosti na frekvenci při různých teplotách. Z nevhodných klimatických důvodů, popsanych v kapitole 7.5, jsou zobrazeny vždy pouze platné výsledky ze všech provedených měření.

Moduly tuhosti směsi DP 35 měřených při 15 °C a 10 Hz [MPa]						
Označení	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Modul tuhosti	11530	11061	11471	11523	11614	11710

Tabulka č. 21: Moduly tuhosti směsi DP 35

Moduly tuhosti navržené směsi jsou poměrně vysoké a odpovídají tak svojí tuhostí spíše směsem pro podkladní vrstvy s vysokým modulem tuhosti (VMT). Vysoký modul tuhosti je zapříčiněn vyšším obsahem R-materiálu použitého ve směsi v kombinaci s absencí změkčujících přísad – rejuvenátorů.

Veškeré naměřené výsledky modulů tuhosti asfaltové směsi jsou uvedeny v příloze č. 12 této práce.

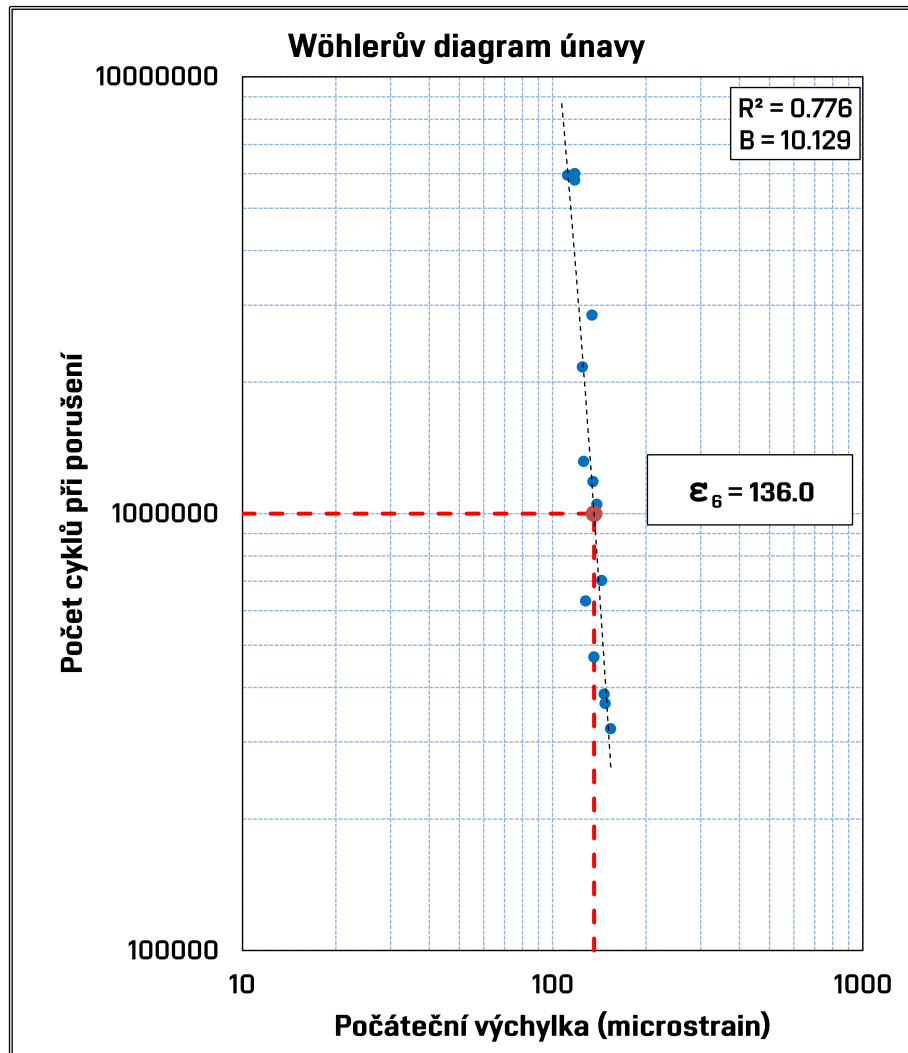


Graf č. 8: Graf závislosti průměrných modulů tuhosti směsi DP 35 na frekvenci při různých teplotách

Průměrný naměřený modul tuhosti 11 484 MPa může způsobit vyšší křehkost směsi při nižších teplotách a její předčasný rozpad. Zároveň však směs splňuje všechny normové požadavky na obrusnou vrstvu a nízkoteplotními vlastnostmi nijak významně nezaostává za obvyklými parametry jiných směsí.

8.5.6 STANOVENÍ ÚNAVY ASFALTOVÉ SMĚSI

Výsledek únavy asfaltové směsi, jakožto hodnoty přetvoření odpovídající milionu cyklů provedené na 14 zkušebních tělesech, je zobrazen ve Wöhlerově diagramu v grafu č. 9.



Graf č. 9: Wöhlerův diagram únavy směsi DP 35

Požadavky na únavu obrusné vrstvy v současné době nevyžaduje žádná česká norma, ale např. v *Dodatku TP 170 Navrhování vozovek pozemních komunikací* [41] v tabulce B.5 jsou uvedeny návrhové charakteristiky únavy asfaltových směsí pro VMP, ACL a ACP, a to 135 resp. 125, 115 a 100. Na druhou stranu *TP 148 Hutněné asfaltové vrstvy s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem z pneumatik* [42] je požadavek na odolnost proti únavě směsí typu AC s obsahem CRMB min. 160, jedná se však o směsi bez obsahu R-materiálu.

Přestože zatím výsledky únavy obrusné vrstvy není s čím porovnávat (vyjma mé bakalářské práce), lze alespoň konstatovat, že výsledná hodnota přetvoření při 1 000 000 cyklů $\epsilon_6 = 136$ se vyrovná návrhovým parametrům únavy směsí VMT s modifikovaným pojivem. Lze tedy očekávat, že do budoucna dojde i na řešení únavy obrusných vrstev.

9 SMĚS 2 – DP 35 BG

Druhá směs – DP 35 BG – byla navržena bez pryžového granulátu. Účelem bylo porovnání obou směsí a ověření funkce a vlivu pryžového granulátu v první směsi na její vlastnosti. Druhá směs je téměř identická se směsí DP 35, obsahuje rovněž 35 % R-materiálu, a byl použit stejný druh kameniva. Rozdílným prvkem je přidávané pojivo gradace 70/100, které v tomto případě nebylo nijak modifikováno.

Aby bylo možné mezi sebou směsi porovnávat, bylo zapotřebí zvolit rovněž co nejpodobnější čáru zrnitosti. Ze stejného důvodu byl při návrhu směsi kladen důraz na dodržení podobné mezerovitosti.

9.1 NÁVRH ČÁRY ZRNITOSTI

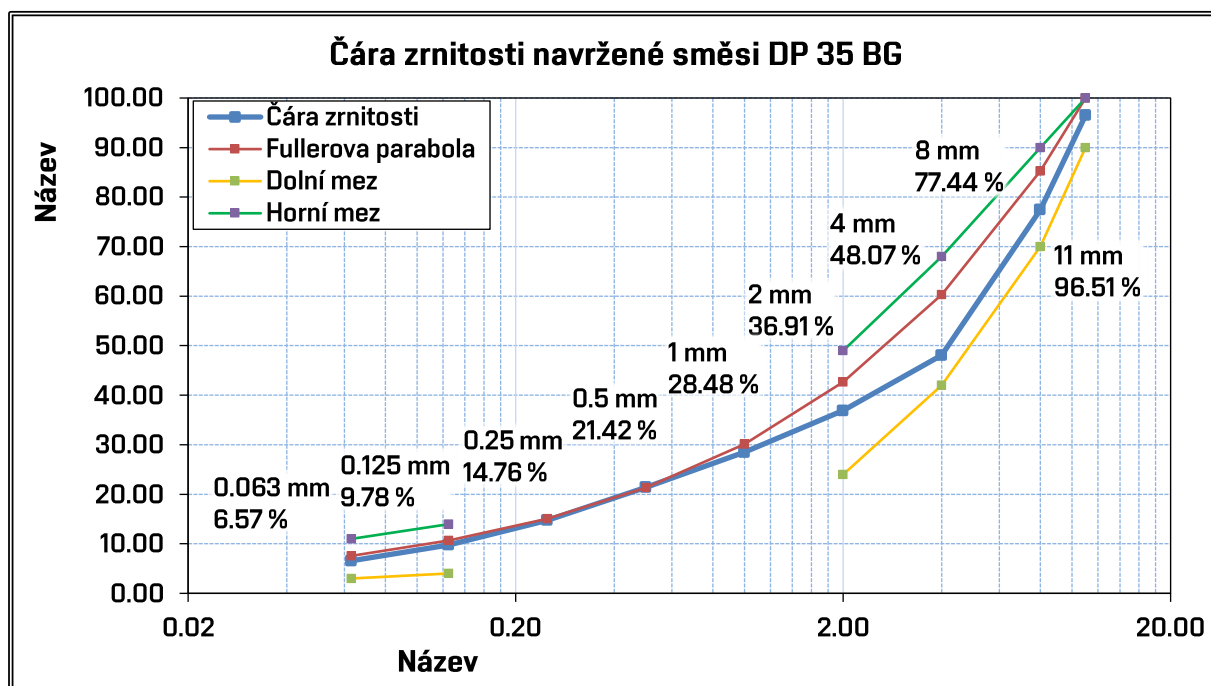
Čára zrnitosti směsi DP 35 BG byla navržena plynulá, obdobně jako u směsi DP 35, avšak s menší úpravou procentuálního zastoupení jednotlivých frakcí kameniva. To bylo zapříčiněno jednak snížením množství asfaltového pojiva a s tím souvisejícím dávkováním R-materiálu, ale také změnou typu pojiva. Nejvíce se tato změna projevila u množství filleru, kterého bylo nutno pro dosažení shodné mezerovitosti s přechodí směsí přidat 1,8 %, kvůli absenci jemných zrn pryžového granulátu obsaženého v směsi DP 35. I zde byly při návrhu splněny požadované meze pro ACO 11 + udávané normou *ČSN 73 6121 Stavba vozovek – Hutněné asfaltové vrstvy – Provádění a kontrola shody* [21].

Skladba kameniva směsi DP 35 BG s upraveným množstvím R-materiálu je uvedena v tabulce č. 22. Hodnota množství R-mat platí pouze pro kamenivo obsažené v R-materiálu bez započtení asfaltového pojiva a její hodnota je pouze informativní (neslouží k návrhu směsi). Obsah filleru 2,6 %, který je nižší než obvykle dávkovaný, je zapříčiněn použitím R-materiálu s vysokým podílem jemných částic.

Skladba kameniva		
	Množství [%]	Průběžný součet
Filler	2,60	2,60
0/4	15,91	18,51
4/8	21,88	40,39
8/11	24,54	64,93
R-mat	35,07	100,00
Celkem	100,00	

Tabulka č. 22: Skladba kameniva směsi DP 35 BG

Navržená čára zrnitosti směsi DP 35 je uvedena v grafu č. 10. Meze pro návrh čáry zrnitosti zobrazené v grafu č. 10 jsou uvedeny ve výše zmíněné normě ČSN 73 6121 [21].



Graf č. 10: Navržená čára zrnitosti směsi DP 35 BG

9.2 NÁVRH MNOŽSTVÍ POJIVA

Množství pojiva bylo stanoveno výpočtem, a to v závislosti na první navržené směsi. Vzhledem k absenci pryžového granulátu v pojivu dochází ke snížení celkového množství dodávaného pojiva úměrně k původnímu obsahu pryžového granulátu ve směsi DP 35. V případě návrhu směsi DP 35 BG jde zhruba o 1,2% redukci množství dodaného pojiva.

Pro ověření množství stanoveného pojiva výše uvedeným výpočtem byly vytvořeny dvě sady těles. Jako první byla vytvořena sada s 6,2 % celkového množství pojiva, odpovídající redukci pouze o 0,8 % oproti směsi DP 35. Mezerovitost této směsi byla stanovena na cca 1,86 % a po optickém posouzení bylo rozhodnuto, že směs obsahuje příliš velké množství pojiva a je zapotřebí ho redukovat.

Druhá sada byla vytvořena s 5,8 % asfaltu, odpovídající vypočtené redukci pojiva o 1,2 %. Po vizuální kontrole a ověření vlastností připravené směsi bylo toto množství pojiva zvoleno jako návrhové pro směs DP 35 BG. Naměřené hodnoty popisující vlastnosti navržené asfaltové směsi jsou uvedeny v kapitole 9.4 a v příloze č. 7 této práce.

9.3 PŘÍPRAVA SMĚSI

Výroba asfaltové směsi DP 35 BG je téměř shodná s výrobou předcházející směsi a její postup je uveden v kapitole 8.3. Jedním ze dvou rozdílů při ověření parametrů směsi bylo použití vody namísto rozpouštědla u pyknometrické metody, jelikož pro nemodifikované pojivo již nebylo nutné používat více nebezpečný tetrachlorethen. Druhým rozdílem pak byly rozlišné teploty míchání a hutnění vůči směsi DP 35. Tyto použité teploty, jsou uvedeny v tabulce č. 23.

Materiál	Teplota [°C]
Kamenivo	175
Asfaltové pojivo	160
R-materiál	135
Asfaltová směs – míchání	160
Asfaltová směs – hutnění	155

Tabulka č. 23: Teploty míchání a hutnění směsi DP 35 BG

9.4 VLASTNOSTI ASFALTOVÉ SMĚSI

Stejně jako u předchozí směsi, jsou i v této kapitole uvedeny vlastnosti a charakteristiky asfaltové směsi jako např. obsah pojiva, objemové hmotnosti, a to jak standardní, tak maximální, mezerovitost a stupeň vyplnění mezer nebo míra zhutnění zkušebních desek. Veškeré tyto údaje jsou pro přehlednost uvedeny v souhrnné tabulce č. 24.

Vlastnost/Charakteristika směsi	Hodnota/Průměrná hodnota
Obsah celkového pojiva	5,80 %
Obsah pojiva obsaženého v R-materiálu	1,96 %
Obsah dodaného pojiva gradace 70/100	3,84 %
Průměrná objemová hmotnost (Marshallova tělesa)	2370 kg/m ³
Průměrná maximální objemová hmotnost (Pyknometry)	2451 kg/m ³
Průměrná mezerovitost	3,29 %
Průměrný stupeň vyplnění mezer	86,05 %
Průměrná míra zhutnění zkušebních těles	100,14 %

Tabulka č. 24: Souhrnná tabulka charakteristik a vlastností směsi DP 35 BG

9.5 VÝSLEDKY PROVEDENÝCH ZKOUŠEK

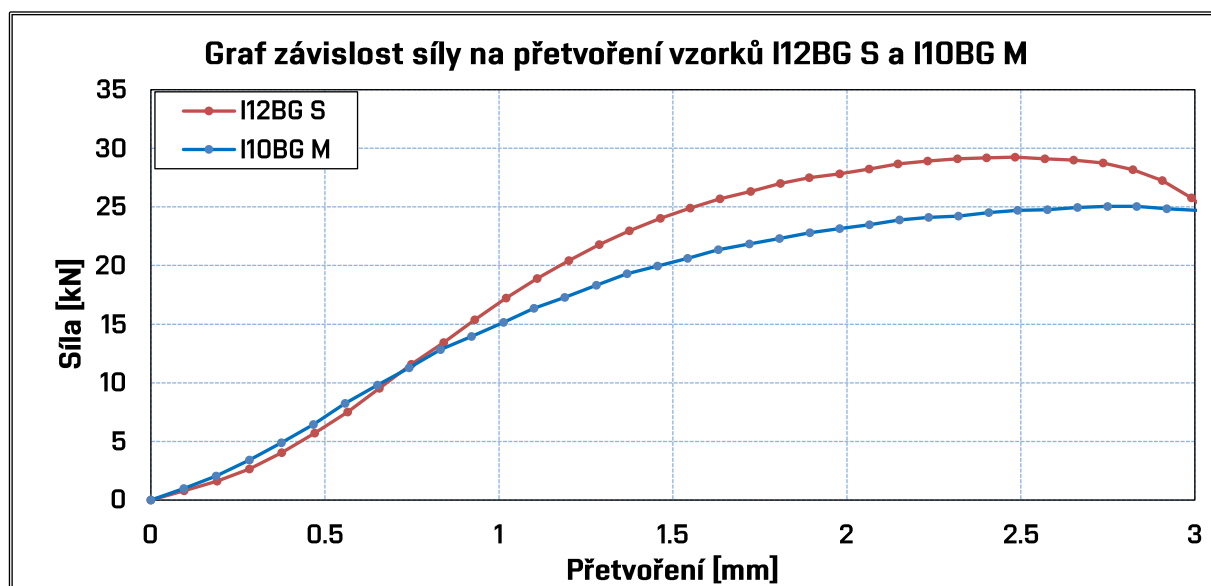
V následující kapitole jsou uvedeny výsledky funkčních zkoušek provedených na asfaltové směsi. Průměrné výsledky jednotlivých zkoušek a jejich zhodnocení je popsáno v následujících podkapitolách 9.5.1 až 9.5.6. Kompletní výsledky zkoušek jsou podrobně uvedeny v těchto podkapitolách, popř. v přílohách 4 až 6 této práce, obsahujících veškeré naměřené objemové hmotnosti.

9.5.1 ZKOUŠKA ODOLNOSTI TĚLESA VŮČI VODĚ

Poměr maximálních pevností u dvojic vzorků je zobrazen v tabulce č.25. Průběh zatěžování jedné charakteristické sady těles v lisu je zobrazen v grafu č. 11. Ostatní naměřené výsledky jsou uvedeny v příloze č. 8.

Označení	Maximální dosažená síla [kN]		Maximální dosažená pevnost [MPa]		ITSR [%]
	Suchá tělesa	Mokrá tělesa	Suchá tělesa	Mokrá tělesa	
3BG S + 4BG M	30,86	24,66	3,02	2,42	80,11
2BG S + 6BG M	30,96	25,54	3,04	2,51	82,62
8BG S + 9BG M	30,42	25,1	2,98	2,46	82,38
12BG S + 10BG M	29,25	25,05	2,86	2,44	85,51
Průměr	-	-	-	-	82,66

Tabulka č. 25: Výsledky zkoušky odolnosti tělesa vůči vodě směsi DP 35 BG

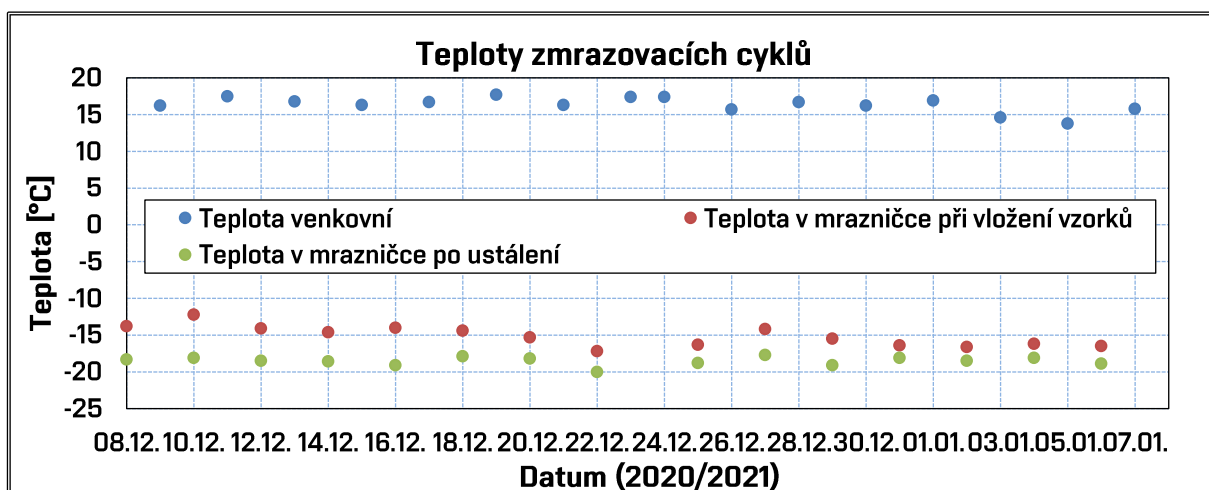


Graf č. 11: Graf závislosti síly na deformaci – vzorky I12BG S a I10BG M

Z naměřených dat vyplývá, že směs s průměrnou hodnotou ITSR 82,66 % dosahuje minimálních požadovaných hodnot pro ACO 11+ (min. ITSR 70 %) i ACO 11 S (min. ITSR 80 %) dle normy ČSN 73 6121 Stavba vozovek – Hutněné asfaltové vrstvy – Provádění a kontrola shody [21]. Tento výsledek je sice o trochu horší než výsledek první směsi, ale stále lze konstatovat, že směs DP 35 BG plně vyhovuje na zkoušku odolnosti vůči vodě.

9.5.2 VYSTAVENÍ TĚLESA ZMRAZOVACÍM CYKLŮM A CHRL

Teploty naměřené v průběhu zmrazovacích cyklů u těles ze směsi DP 35 BG jsou stejné jako u směsi DP 35 a jsou uvedeny v grafu č. 12. Hodnoty maximální dosažené síly a pevnosti u těchto těles a poměr pevností zmrazovaných těles vůči odpovídajícím suchým tělesům je uveden v tabulce č. 26. Naměřené hodnoty pevností jsou cca stejné jako u směsi DP 35, a i zde může být tento výsledek zapříčiněn obsahem krystalů soli nasáknutých do pórů zkušebních těles.



Graf č. 12: Teploty zmrazovacích cyklů

Označení	Suchá tělesa		Zmrazovaná tělesa		Poměr pevností - zmrazované/suché těleso [%]
	Síla [kN]	Pevnost [MPa]	Síla [kN]	Pevnost [MPa]	
3 BG S + 1 BG Z	30,86	3,02	32,42	3,18	105,32
2 BG S + 5 BG Z	30,96	3,04	27,05	2,66	87,42
12 BG S + 7 BG Z	29,25	2,86	31,99	3,13	109,3
8 BG S + 11 BG Z	30,42	2,98	34,47	3,37	113,07
Průměr	-	-	-	-	109,23

Tabulka č. 26: Výsledky zmrazovaných těles směsi DP 35 BG po zkoušce ITSR

Hodnota poměru maximálních pevností těles 2 BG S a 5 BG Z, která činí 87,42 %, nebyla započtena do celkového průměru kvůli příliš odlišnému výsledku.

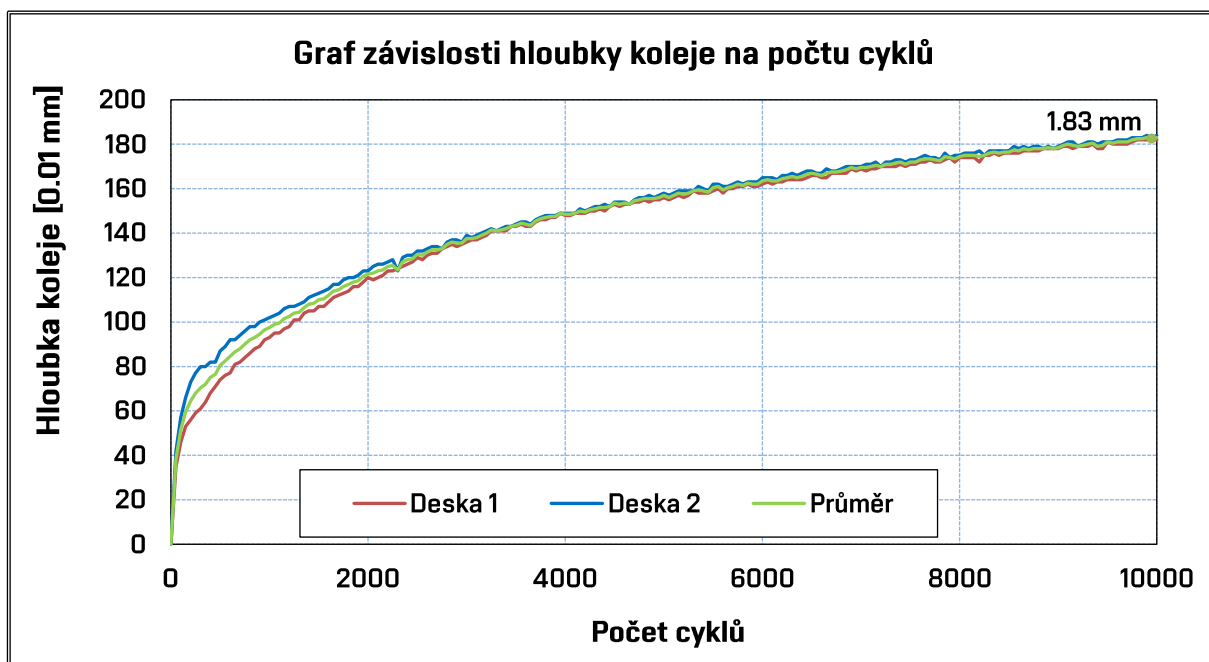
9.5.3 ZKOUŠKA POJÍŽDĚNÍ KOLEM

V tabulce č. 27 jsou uvedeny naměřené hodnoty PRD_{AIR} a WTS_{AIR} na dvou zkušebních deskách a jejich maximální hodnoty požadované normou ČSN 73 6121 [21].

Hodnota	D1-BG	D2-BG	Průměr	Max. hodnota
WTS_{AIR} [mm/10 ³ cyklů]	0,052	0,052	0,052	0,07
PRD_{AIR} [%]	3,813	3,764	3,790	5,0

Tabulka č. 27: Hodnoty WTS_{AIR} a PRD_{AIR} směsi DP 35 BG

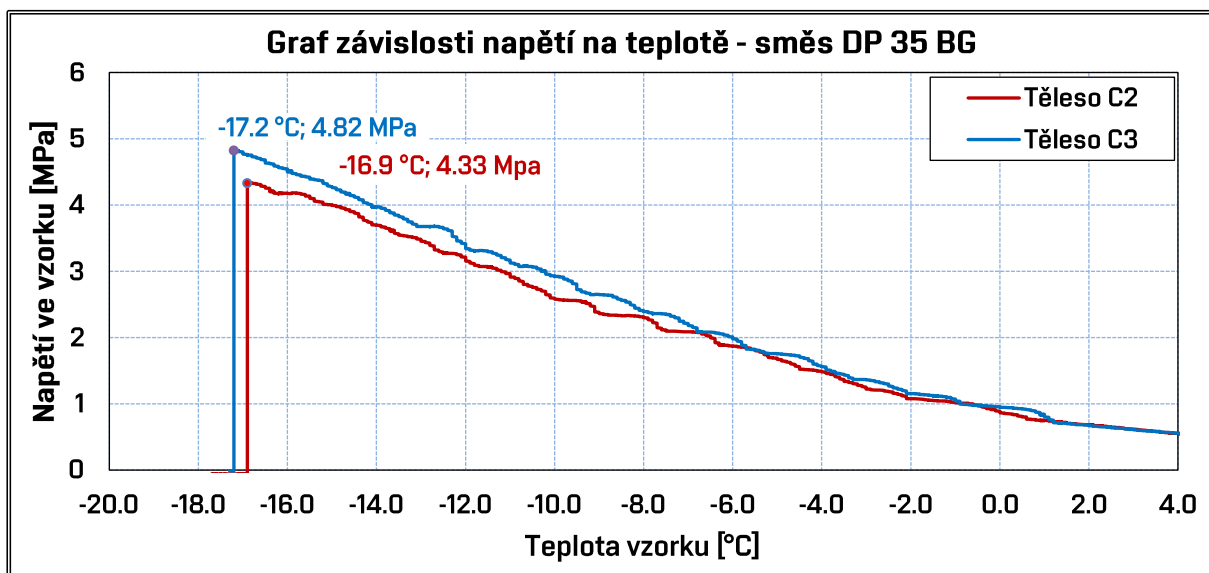
Podle naměřených hodnot z tabulky č. 27 vyhovuje směs na oba normou požadované parametry ze zkoušky pojíždění kolem stále s dostatečnou rezervou. Získané hodnoty jsou opět poněkud horší než u směsi s CRMB, nicméně rozdíl je velmi minimální. V grafu č. 13 je zobrazena závislost hloubky vyjeté koleje na počtu cyklů. Podrobnější data z této zkoušky jsou uvedena v příloze č. 10.



Graf č. 13: Graf závislosti hloubky vyjeté koleje na počtu cyklů směsi DP 35 BG

9.5.4 ZKOUŠKA ODOLNOSTI ASFALTOVÉ SMĚSI VŮČI NÍZKÝM TEPLOTÁM

U zkoušky odolnosti vůči nízkým teplotám bylo měřeno celkem 5 těles, přičemž u tří z nich došlo k odtržení ve styčné ploše lepidla a podložky, popř. ke kroucení. Tyto vzorky byly vyřazeny a v grafu č. 14 jsou zobrazena pouze platná měření.



Graf č. 14: Graf závislosti napětí vzorku na teplotě vzorku – směs DP 35 BG

Z výše uvedených hodnot se dá usoudit, že daná směs hůře odolává prudkému poklesu teploty. Průměrná dosažená hodnota teploty vzorku při porušení byla -17,0 °C. Tedy stejně jako u předchozí směsi cca o 4 °C horší, než je pro směsi ACO 11 obvyklé. Naměřená průměrná teplota je srovnatelná s teplotou u směsi DP 35, která dosáhla v průměru -17,7 °C. Tento rozdíl v teplotách je zapříčiněn právě vyšším obsahem R-materiálu bez přídavku změkčujících přísad. Je však natolik nepatrný, že by neměl bránit reálné výrobě směsi.

9.5.5 STANOVENÍ MODULŮ TUHOSTI

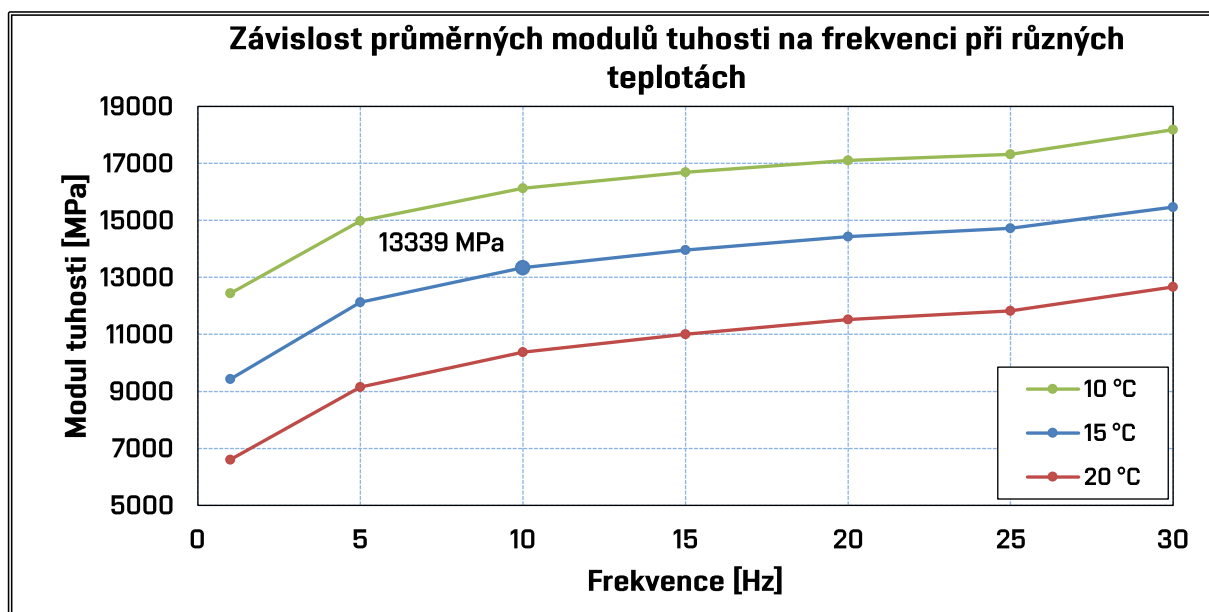
Hodnoty modulů tuhosti asfaltových směsí u dvoubodové zkoušky ohybem jsou posuzovány při teplotě 15 °C a 10 Hz. Naměřené platné výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 28. Zároveň je v grafu č. 15 zobrazena závislost modulů tuhosti na frekvenci při různých teplotách. Z nevhodných klimatických důvodů, popsaných v kapitole 7.5, jsou opět zobrazeny pouze platné hodnoty ze všech provedených měření.

Označení	T3	T4	T5	T6	T15
Modul tuhosti	13023	13864	12950	13518	12237

Tabulka č. 28: Moduly tuhosti směsi DP 35 BG

Naměřené moduly tuhosti opět převyšují běžné hodnoty. Oproti směsi DP 35 vzrostl průměrný modul tuhosti o cca 1600 MPa na 13118 MPa. Vyšší rozdíl v modulech tuhosti jednotlivých směsí může být způsoben nižším obsahem pojiva ve směsi DP 35 BG nebo chybějícím modifikátorem. Norma však nestanovuje maximální hodnoty pro modul tuhosti asfaltových směsí pro obrusné vrstvy, a tak je nutné experimentálně ověřit v přirozených podmínkách, jaký může mít takto vysoký modul tuhosti na vozovku vliv.

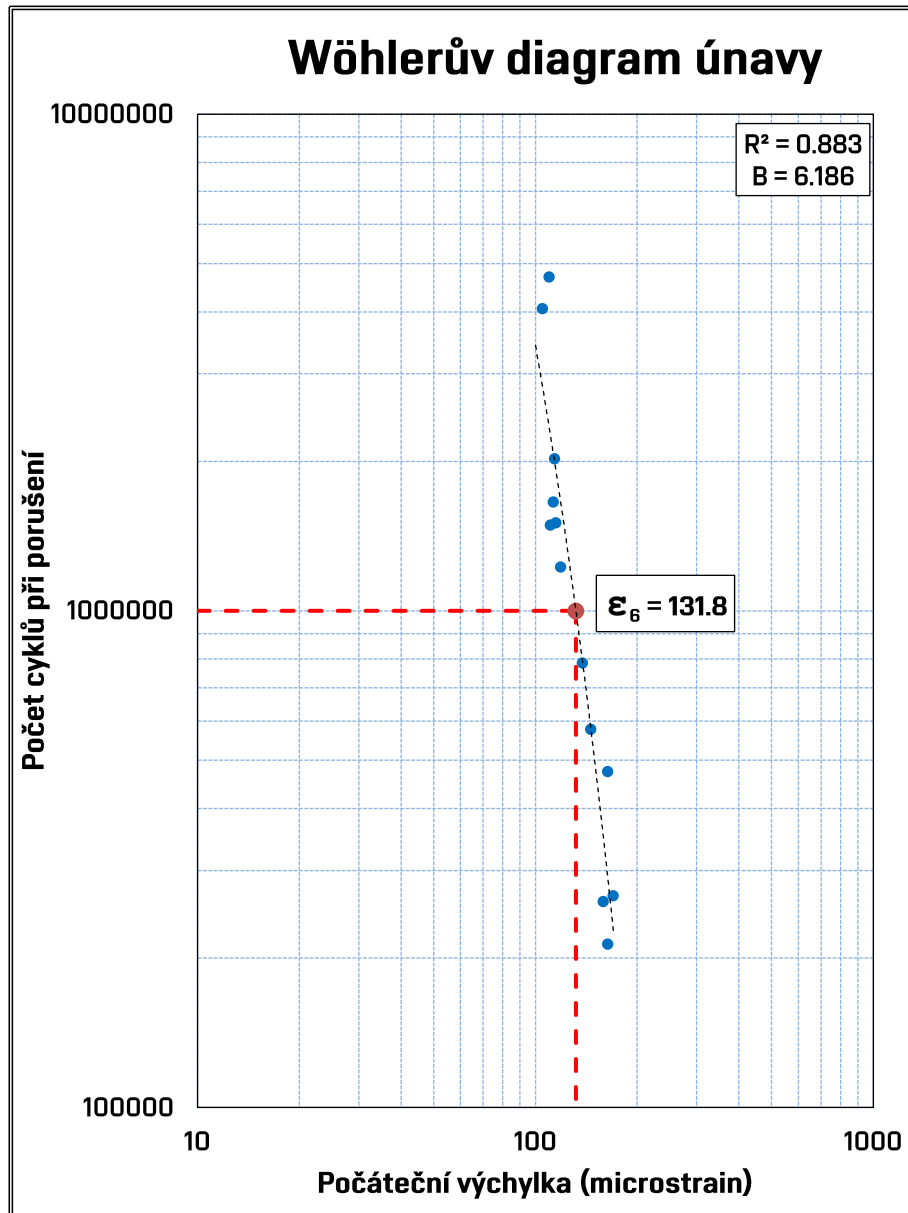
Veškeré naměřené výsledky modulů tuhosti asfaltové směsi jsou uvedeny v příloze č. 12 této práce.



Graf č. 15: Graf závislosti průměrných modulů tuhosti směsi DP 35 BG na frekvenci při různých teplotách

9.5.6 STANOVENÍ ÚNAVY ASFALTOVÉ SMĚSI

Výsledek únavy asfaltové směsi, jakožto hodnoty přetvoření odpovídající milionu cyklů provedené na 13 zkušebních tělesech, je zobrazen ve Wöhlerově diagramu v grafu č. 16.



Graf č. 16: Wöhlerův diagram únavy směsi DP 35 BG

Výsledná zjišťovaná hodnota únavy směsi DP 35 BG ϵ_6 je 131,8 microstrain, a tak je pouze nepatrně nižší než první navržená směs s CRMB. Jak již bylo uvedeno dříve, tato hodnota byla zjištěna pouze pro možný budoucí výzkum a k porovnání se směsí z mé bakalářské práce, přičemž v současné době není vyžadována žádnými předpisy.

10 POROVNÁNÍ VLASTNOSTÍ ASFALTOVÝCH SMĚSÍ

Tato kapitola se zaměřuje na vzájemné porovnání parametrů směsi BP 50, navržené v mé bakalářské práci, směsí DP 35 a DP 35 BG, navržených v této práci a základní směsí ACO 11+. Tyto hodnoty jsou buď přímo převzaty bez úpravy nebo zprůměrované z dílčích měření. Pro parametry směsi ACO 11+ jsou použity hodnoty získané z odborných publikací. [40][43][44] Vlastnosti asfaltů (penetrace, bod měknutí, ...) v tabulce č. 29 jsou uvedeny pro pojiva vyrobená dle kapitoly č. 6.

Jednotlivé parametry porovnávaných směsí jsou uvedeny v souhrnné tabulce č. 18. Zároveň je pod touto tabulkou uvedeno obecné zhodnocení navržených směsí DP 35 a DP 35 BG z hlediska jejich výsledných parametrů. Hodnoty v tabulce č. 29 uvedené v závorkách platí pro zpětně extrahované pojivo.

Vlastnost\Směs	Bakalářská práce	Diplomová práce		Srovnávací směs	Požadavek dle ČSN 73 6121 [21]
	BP 50	DP 35	DP 35 BG	ACO 11+	
Mezerovitost	3,30 %	3,39 %	3,29 %	2,50 %	2,5 až 4,5 %
Stupeň vyplnění mezer	82,66 %	82,27 %	86,05 %	84,57 %	75 až 83 %
Obsah pojiva	6,50 %	7,00 %	5,80 %	5,80 %	min. 5,6 %
Objemová hmotnost	2468 kg/m ³	2339 kg/m ³	2370 kg/m ³	2375 kg/m ³	-
Maximální obj. hmotnost	2552 kg/m ³	2421 kg/m ³	2451 kg/m ³	2435 kg/m ³	-
Penetrace	-	35,1 p.j.	45,8 (27,8) p.j.	-	-
Bod měknutí	-	62,1 °C	51,7 (58,7) °C	-	-
Viskozita	-	2,2 kPa/s ⁻¹	-	-	-
Zkouška\Směs	BP 50	DP 35	DP 35 BG	ACO 11+	Požadavek
ITSR	92,60 %	95,58 %	82,66 %	82,00 %	70 %, 80 %
PRD _{AIR}	4,39 %	3,63 %	3,79 %	2,93 %	5 %
WTS _{AIR} [mm/1000 cykl.]	0,048	0,039	0,052	0,033	0,07
Odolnost vůči nízkým teplotám	-14,2 °C 3,58 MPa	-17,7 °C 4,05 MPa	-17,0 °C 4,58 MPa	-18,6 °C 3,25 MPa	- -
Modul tuhosti	12 870 MPa	11 485 MPa	13 339 MPa	8 706 MPa	-
Únava ϵ_6	129,3*10 ⁻⁶	136,0*10 ⁻⁶	131,8*10 ⁻⁶	-	-

Tabulka č. 29: Souhrnná tabulka porovnání asfaltových směsí

Důležitým parametrem pro porovnání směsí je jejich mezerovitost. Záměrem bylo dosáhnout u každé směsi na mezerovitost kolem 3,3 % a navrhnout u obou směsí co nejpodobnější čáru zrnitosti, což se podařilo.

Při zhodnocení výsledků jednotlivých směsí jako celku, by se dalo konstatovat, že nejlépe dopadla směs DP 35 s 35 % R-materiálu a s pojivem gradace 70/100 modifikovaným pryžovým granulátem. Tato směs dosahuje nejlepší odolnosti vůči nízkým teplotám, působení vody i při vyjíždění kolejí a zároveň splňuje veškeré normové požadavky na její vlastnosti.

Druhá navržená směs DP 35 BG dopadla téměř shodně, a svými výsledky se velmi blíží první navržené směsi s CRMB. Nesplňuje pouze požadavek na maximální stupeň vyplnění mezer, který je však v normě veden pouze jako doporučená hodnota.

V porovnání směsí nejhůře dopadla původní směs z bakalářské práce s nejvyšším obsahem R-materiálu, byť právě díky jejím výsledkům bylo rozhodnuto pokračovat v dalším řešení dané problematiky. Snahou tak je najít cesty, k možnému používání recyklovaných asfaltových vrstev do nových směsí i ve vyšších množstvích, a to jak za použití pouze pojiv vyšší gradace, tak modifikovaných pojiv nebo oživovacích přísad.

Výše uvedené hodnocení je posuzováno pouze z kvalitativního hlediska. Toto hledisko je však mnohdy upozaděno za „nejdůležitějším“ parametrem posuzování při výstavbě komunikací v České republice – cenou. Proto je v kapitole 11 uvedeno zjednodušené cenové zhodnocení navržených směsí.

11 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ ASFALTOVÝCH SMĚSÍ

11.1 ORIENTAČNÍ CENY HMOT

V této podkapitole je stručně vypočtena cena pokládky materiálu pro obrusnou vrstvu silnice kategorie S 9,5 v tloušťce 50 mm a v délce jednoho kilometru při použití obou navržených směsí. Uvedené ceny jsou převzaty z veřejně dostupných ceníků obaloven asfaltových směsí, informací od výrobců, ceníků kamenolomů a dalších organizací. Takto získané ceny jsou zprůměrovány a uvedeny bez DPH. Stejně tak zde nejsou uvedeny slevy poskytnuté na větší odběry materiálu. Výsledná cena se skládá pouze z cen objemů materiálů a nejsou v ní započítávány režie, mzdy, stroje a strojní zařízení určené k pokládce či výrobě.

11.1.1 CENA ASFALTU

V obou asfaltových směsích je použit asfalt gradace 70/100, jehož průměrná cena zjištěná u výrobce je cca 6 800 Kč/t.

U směsi DP 35 s průměrnou objemovou hmotností 2339 kg/m³, objemem zhutněné asfaltové směsi 0,04 m x 8,5 m x 1000 m = 340 m³ a dávkováním 5,04 % dodaného pojiva je potřeba celkem 50,11 t CRMB (na 1 km délky silnice). Při dávkování 16 % pryžového granulátu do asfaltového pojiva je nutno na výrobu směsi pro daný úsek použít 42,09 tun silničního asfaltu gradace 70/100 v hodnotě celkem 286 212 Kč na úsek.

U směsi DP 35 BG s průměrnou objemovou hmotností 2370 kg/m³ stejným objemem směsi a dávkováním 3,84 % dodaného nemodifikovaného pojiva gradace 70/100 dostáváme celkem potřebných 38,68 t tohoto pojiva. Cena asfaltu na stejný úsek je pak 263 024 Kč, tzn. o 8,8 % nižší.

11.1.2 CENA PRYŽOVÉHO GRANULÁTU

Z odborných publikací byla zjištěna cena pryžového granulátu vhodného pro modifikaci asfaltového pojiva ve výši 7 500 Kč/t. [45]

Při použitím dávkování 16 % hmotnosti modifikovaného pojiva je potřebná hmotnost pryžového granulátu 8,02 t. Celková cena granulátu tedy je 60 150 Kč. V součtu ceny granulátu a ceny použitého nemodifikovaného pojiva ve směsi DP 35 se dosáhne částky 346 362 Kč na úsek, oproti potřebným 263 024 Kč u směsi DP 35 BG. Rozdíl v ceně pojiva je téměř 31,7 % na celý úsek.

11.1.3 CENA R-MATERIÁLU

Cena recyklovaného asfaltového materiálu se pohybuje dle různých zdrojů od 130 Kč do 200 Kč za tunu. Vzhledem k tomu, že R-materiál vstupuje do výpočtu ceny směsi jako nejvíce „neznámá“ veličina (s ohledem k frakci, typ a množství obsaženého pojiva, čáru zrnitosti atd.), je ve výpočtu uvažován průměrnou cenou 160 Kč za tunu. [46][47][48]

Při použití 35 % R-materiálu ve směsi o průměrné objemové hmotnosti 2450 kg/m³ se tak jedná o 364,44 t. Při průměrné ceně 160 Kč za tunu je výsledná cena použitého R-materiálu 58 310 Kč na úsek.

11.1.4 CENA KAMENIVA

Kamenivo pro výpočet ceny je shodné s kamenivem použitým v navržených směsích a jeho cena je převzata ze stránek kamenolomu Luleč. Ceny jednotlivých frakcí jsou pro každou směs uvedeny v tabulce č. 30. Při výpočtu je brána průměrná objemová hmotnost uvedená v prohlášení o vlastnostech 2620 kg/m³. V tabulce lze vidět, že cena kameniva pro obě směsi je téměř shodná.

Frakce	Cena [Kč/t]	Množství DP 35 [%]	Množství DP 35 BG [%]	Cena DP 35 [Kč/úsek]	Cena DP 35 BG [Kč/úsek]
Filler	59	1,80	2,60	1183	1708
DK 0/4 P Luleč	220	16,00	15,91	39195	38975
DK 4/8 Luleč	400	22,00	21,88	97988	97454
DK 8/11 Luleč	400	24,67	24,54	109880	109301
			Celkem	248 246	247 438

Tabulka č. 30: Cena kameniva

11.1.5 VÝSLEDNÁ CENA SMĚSÍ

Při započtení pouze ceny materiálu dojdeme k následujícím výsledným cenám za úsek komunikace kategorie S 9,5 o tloušťce 50 mm a délce 1 kilometru.

Cena za materiál směsi DP 35 pro pokrytí výše uvedeného úseku dosáhne částky **652 918 Kč**, což je 76,81 Kč/m² při tloušťce vrstvy 50 mm resp. **656,81 Kč za tunu** asfaltové směsi DP 35 (346 362 Kč za pojivo + 58 310 Kč za R-materiál + 248 246 Kč za kamenivo).

Cena za materiál směsi DP 35 BG pro pokrytí výše uvedeného úseku dosáhne částky **568 772 Kč**, což je 66,91 Kč/m² při tloušťce vrstvy 50 mm resp. **564,68 Kč za tunu** asfaltové směsi DP 35 BG (263 024 Kč za pojivo + 58 310 Kč za R-materiál + 247 438 Kč za kamenivo).

Vzhledem k tomu, že do celkové ceny směsi uváděné obalovnou by bylo nutné dále započítat mzdy, režie a zisk, nelze výše spočtené ceny porovnávat s běžnou cenou směsi na obalovně (cca 1520 Kč/t až 1730 Kč/t). Z tohoto důvodu byl proveden výpočet ceny i pro směs ACO 11 +, zmíněnou v kapitole 10. Ceny materiálů použitých pro výrobu směsi ACO 11 + jsou uvedeny v tabulce č. 31. [49]

Materiál	Množství [%]	Cena [Kč/t]	Cena [Kč/úsek]
Asfalt 50/70	5,8	6600	386 389
Filler	7	59	4169
DK 0/4 P Luleč	39	220	86604
DK 4/8 Luleč	19	400	76713
DK 8/11 Luleč	35	400	141313
		Celkem	695 188

Tabulka č. 31: Cena směsi ACO 11 +

Celková cena za materiál u typické směsi připravované na obalovně asfaltových směsí ACO 11 + je 695 188 Kč za úsek délky 1 km, což je 81,79 Kč/m² při tloušťce vrstvy 50 mm resp. 688,73 Kč za tunu asfaltové směsi.

Z ekonomického zhodnocení jednotlivých směsí tak vyplývá, že směsi s R-materiálem dosahují nižší ceny, než směs bez R-materiálu. Směs DP 35 je výhodnější o zhruba 4,9 % a směs DP 35 BG dokonce o 22,0 % oproti směsi ACO 11+. Stále je však nutno mít na zřeteli, že do výsledných cen vstupují další náklady, které zde nejsou uvedeny a také na velkou proměnlivost cen a kvalitu jednotlivých materiálů v čase. Bez odborného výpočtu rozpočtáře tak nelze stoprocentně určit výhodnost či nevýhodnost dané směsi.

11.2 CENA STROJŮ A INVESTIC

Z hlediska potřebného vybavení pro výrobu navržených směsí jsou důležité dvě základní příslušenství. Jedná se jak o blender (v případě směsi s CRMB), tak o paralelní buben.

Zařízení blender slouží k modifikaci pojiva pryžovým granulátem pro výrobu CRMB mokrým procesem. V zařízení se nejprve smíchá nemodifikované pojivo s drceným pryžovým granulátem při teplotě kolem 180 °C, a po uplynutí doby míchání je možné dávkovat toto pojivo do míchačky obalovny zároveň s kamenivem, respektive kamenivem s R-materiálem.

Pořízení takového zařízení je relativně velmi nákladné, a proto se jich v současné době v České republice nachází pouze velmi málo. V tuto chvíli není pro obalovny v ČR důležité (zajímavé) se touto problematikou zabývat, neboť trvale proměnlivé názory, týkající se směsí

s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem (viz připravovaná norma ČSN 73 6120), je k tomu příliš nemotivují. [45]

Na druhou stranu, téma CRMB a jeho obdob je v zahraničí již delší dobu řešeno, a směsi s jeho obsahem jsou hojně využívány a průběžně zdokonalovány. Důkazem toho mohou být pravidelně pořádané mezinárodní konference, např. RAR2021 (Rubberized Asphalt and Asphalt Rubber), která se bude konat v roce 2021 ve španělské Malaze. Dá se tudíž očekávat, že tento fenomén se časem rozšíří i k nám.

Úplným opakem je dnes však paralelní buben, bez něhož se neobejde žádná nová obalovna. Cena tohoto zařízení je rovněž vysoká, pohybuje se přibližně okolo 35 mil. Kč. Stávající revize normy a s ní předpokládané zvýšení podílu R-materiálu v asfaltových směsích povedou ke stále většímu rozšíření paralelních bubnů. Již dnes lze pozorovat trend, že nové obalovny jsou tímto bubnem často vybaveny.

11.3 OSTATNÍ VLIVY

Mezi prvky ovlivňující vhodnost a použitelnost směsi dnes velmi často řadíme i vliv dané technologie/výrobku na životní prostředí. Při posuzování těchto vlivů rozeznáváme například hlukovou zátěž, obnovitelnost přírodních zdrojů, ekologičnost výroby, trvanlivost a mnohé další.

Z hlediska dopravního hluku je dokázáno, že směs s CRMB má lepší pohlcující účinky hlukových emisí vznikajících na styku pneumatiky a vozovky, oproti směsím s jinými pojivy, a to až o 5 dB. V tomto případě se však obvykle používají kryty s větší mezerovitostí typu PA či SMA NH s takto modifikovaným pojivem. Tyto kryty však oproti krytům typu asfaltový beton vyžadují vyšší nároky na údržbu z důvodu jejich zanášení, a s tím související ztrátou schopnosti pohlcovat hluk. Stále však i po téměř 120 letech (první zmínky o přidávání gumy do asfaltu pocházejí z roku 1902) není problematika gumy, resp. pryžového granulátu v asfaltových směsích sjednocena a v dnešní době se o ní spíše mluví ve spojení s životním prostředím než jako o prvku zvyšujícím kvalitativní parametry komunikací. [50][51][52]

V případě směsí s obsahem R-materiálu lze vyzdvihnout nejen zvyšující se ekonomickou výhodnost směsi s rostoucím obsahem R-materiálu, ale i vyšší úsporu přírodních materiálů. Při využívání vyššího obsahu R-materiálu se však dostáváme k problematice ekologičnosti a trvanlivosti.

Jak již bylo uvedeno dříve v práci, při vyšším množství R-materiálu je nutné směs „změkčit“ či modifikovat, a to buď oživovací přísadou, tzv. rejuvenátorem, pojivem měkčí gradace nebo použitím modifikovaného pojiva. Zařízení blender, sloužící k přípravě CRMB, samo o sobě využívá k namíchání daného pojiva energii, na rozdíl od výroby obvyklých pojiv. Dále se také u této

technologie řeší problematika stárnutí asfaltu, kdy dochází k vystavení asfaltu vysoké teplotě (cca 180 °C) po dobu jedné hodiny z důvodu dostatečného promíchání pojiva s pryžovým granulátem. V případě, že takto vyrobený asfalt není všechn spotřebován při výrobě asfaltové směsi, je nutno použít speciální nádrže na uskladnění z důvodu sedimentace pryžových částic v pojivu. Všechny tyto činnosti generují další potřebu energie, a tím tuto technologii prodražují.

Jinou možností změkčení pojiva při použití R-materiálu do asfaltové směsi je užití rejuvenátoru, polymerem modifikovaného pojiva nebo jejich kombinace. V dnešní době se jedná o nejrozšířenější variantu. Laboratorní výsledky směsí s použitím oživovací přísady jsou poměrně slibné, avšak dosud není plně zjištěn dlouhodobý přínos využití rejuvenátorů v asfaltových vrstvách v reálných podmínkách v průběhu času.



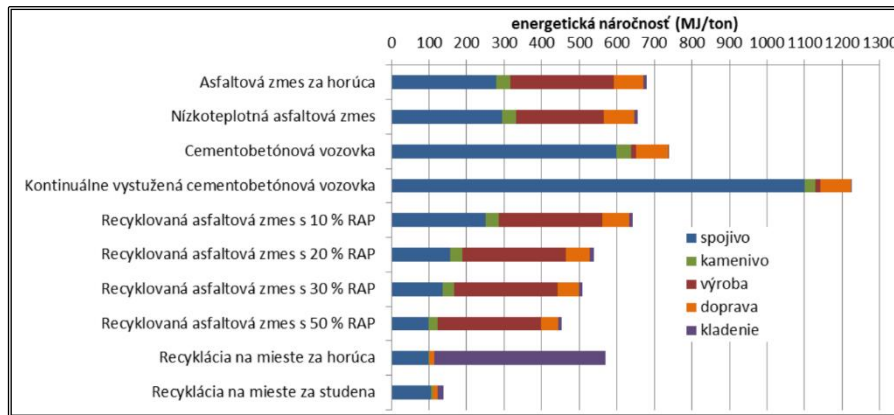
Například na zkušebním úseku komunikace L 1221 mezi městy Steinenkirch a Böhmenkirch, zmíněném v kapitole 4.2, došlo v obrusné vrstvě tvořené z 85 % R-materiálem k tvorbě trhlin vlivem zkřehnutí pojiva a mimo jiné ke ztvrdnutí použité oživovací přísady Storbit Plus. Část této komunikace s poruchami v obrusné vrstvě je zobrazena na obrázku č. 27. [14]

Obrázek č. 27: Vozovka s 85 % R-materiálu a rejuvenátorem Storbit Plus [14]

Vzhledem k tomu, že se tato práce zabývá pouze použitím pojiva CRMB a pojiva měkčí gradace, není zde problematika rejuvenátorů a polymerem modifikovaných asfaltů dále podrobně probírána. Lze však konstatovat, že přidáváním jakýchkoliv dalších složek (vyjma kameniva a asfaltu) do asfaltové směsi rostou náklady na takovou směs. Nemałym problémem, kterému se do budoucna vystavujeme, může být také další recyklace takovéto směsi. Jestliže v dnešní době máme stále problém, při relativně nízkém počtu rozdílných asfaltových směsí a nízkém počtu modifikací, dostatečně třídít a homogenizovat R-materiál pro další využití, co dělat v budoucnu, kdy dojde na recyklaci těchto vozovek, přičemž každá bude mít zcela rozdílné složení?

Do této kapitoly by samozřejmě šly uvést další, již částečně zmíněné vlivy pojící se s použitím R-materiálu ve vozovkách – údržba, složitost přípravy směsi a její pokládka, doprava nebo uskladnění R-materiálu na skládce, zákony a vyhlášky omezující jeho použití a mnohé další. Cílem této práce však není porovnávat veškeré parametry ovlivněné použitím R-materiálu, a proto jsou zde zmíněny pouze v této formě.

Na závěr této kapitoly je na obrázku č. 28 zobrazena energie potřebná při výrobě různých druhů asfaltových směsí, a to jak bez, tak s R-materiálem. V grafu na obrázku č. 28 lze vidět, že energeticky nejnáročnější je cementobetonová vozovka. Je také zajímavé, že recyklované směsi s využitím R-materiálu dosahují nižší energetické náročnosti, než asfaltová směs vyráběná za horka. [53]



Obrázek č. 28: Energetická náročnosť výroby a pokládky vozovkových krytů [53]

12 SHRnutí

V této práci jsem si dal za cíl navrhnout a vyrobit minimálně dvě nové asfaltové směsi, a musím konstatovat, že i přes všechna aktuální opatření jsem tento cíl splnil. Byť jsem původně zamýšlel osobně vyzkoušet i srovnávací směs ACO 11+ dovezenou z obalovny, byl jsem nucen použít naměřené výsledky z již úspěšně obhájených závěrečných prací z minulých dob. Z tohoto důvodu složení směsi ACO 11+, která je uvedena ve srovnání vlastností jednotlivých směsí, zcela přesně neodpovídá složení a vlastnostem aktuálně vyráběných směsí.

Cílem práce bylo pokračovat ve výzkumu s asfaltem gradace 70/100 modifikovaným pryžovým granulátem a navrhnout směs DP 35, která navazuje na moji bakalářskou práci. Snahou bylo snížit modul tuhosti této směsi a také zlepšit její nízkoteplotní vlastnosti, a to pomocí redukce obsahu použitého R-materiálu o 15 % na maximální plánovanou hranici pro ACO 11 – 35 %. Oba zmíněné parametry se změnilo dle očekávání, a navíc byla dosažena vysoká odolnost této směsi proti účinkům vody při zkoušce v příčném tahu – cca 94 %, což nebývá pro směsi s obsahem CRMB typické. Tato směs tedy splnila mé očekávání a zcela vyhověla parametrům pro použití v obrusné vrstvě.

Druhá směs DP 35 BG byla navržena v reakci na první, a to za účelem ověření příznivé či nepříznivé funkce pryžového granulátu v první navržené směsi. Tato směs obsahovala pouze nemodifikované asfaltové pojivo gradace 70/100 a stejný obsah R-materiálu – 35 %. Výsledky této směsi byly velmi zajímavé, neboť stejně jako první, vyhověla i tato navržená směs všem normou [21] požadovaným parametrům, byť v některých sledovaných vlastnostech oproti první směsi s CRMB dopadla nepatrně hůře. Šlo by tedy konstatovat, že jistý pozitivní vliv modifikátoru v podobě pryžového granulátu zde nastává, a nejvíce ho lze pozorovat u zkoušky ITSR, kde je rozdíl mezi směsmi cca 11,5 %. Z naměřených dat vyplývá, že pryžový granulát má kladný vliv i na snížení modulů tuhosti. Měření modulů tuhosti ovšem probíhalo jen v omezeném rozsahu vzhledem k častým poruchám zkušebního zařízení během vysokých letních teplot. Bylo by tedy vhodné provést tato měření znovu, a to na více zkušebních vzorcích. U ostatních zkoumaných parametrů směsí není vliv účinků pryžového granulátu až tak významný a výsledky obou směsí lze považovat v zásadě za shodné.

Zároveň jsem se pokusil stručně přiblížit problematiku aktuální situace R-materiálu v České republice, ať už jde o získávání, skladování nebo používání R-materiálu. Dále jsem krátce popsal možnosti nakládání s R-materiálem a jeho použití ve vozovkách ve vybraných zahraničních státech (Francie a Německo) a porovnal ho s českými zkušenostmi.

Mimo jiné jsem se při návrhu směsí věnoval dávkování R-materiálu, které je v současné době počítáno ne zcela přesně. Proto jsem se pokusil přiblížit tuto problematiku výpočtu týkající se rozdílu množství pojiva dávkovaného do směsi a množství pojiva v R-materiálu. Dále jsem se popsal rozdíly při návrhu směsi s R-materiálem, při kterém dochází k započítávání podílu R-materiálu jako kameniva, přičemž se nebere v potaz hmotnost pojiva obsažená právě v tomto R-materiálu. Tyto rozdíly se především projevují při návrzích směsí s vysokým obsahem R-materiálu a vyšších rozdílech obsahu pojiv dodávaných do směsi a obsažených v R-materiálu. Tuto problematiku jsem uvedl do přehledné tabulky č. 6 v kapitole 3 této práce.

Jedním z dalších cílů bylo porovnat navržené směsi, a to nejen podle kvalitativních parametrů. Proto jsem porovnal z cenového hlediska obě navržené směsi se směsí ACO 11 +, jejíž návrhové parametry jsem převzal z jiných akademických prací [40][43][44], respektive z obalovny asfaltových směsí. V tomto ekonomickém srovnání se nejhůře umístila konvenčně vyráběná směs ACO 11 +, následovaná směsí DP 35 s obsahem pryžového granulátu. Cenový rozdíl mezi těmito směsmi není nijak markantní (cca 4,9 %), a to především z důvodu vyššího množství pojiva, které je nutné přidávat k pryžovému granulátu. Zároveň také cena potřebného vybavení při použití této technologie modifikace je poměrně vysoká. Na rozdíl od toho se druhá navržená směs DP 35 BG vyplatí z hlediska ceny materiálu o více než 22 % oproti směsi ACO 11 +, ale je třeba vybavit obalovnu paralelním bubnem, který je také cenově náročný. V závěru zhodnocení jsem pak uvedl cenu dalšího vybavení nutného pro výrobu těchto směsí a další prvky, které mohou mít či mají vliv na návrh a provádění těchto směsí.

Posledním, ale neuskutečněným cílem bylo vytvoření zkušebního úseku s vybranou směsí, které však přerušila aktuální situace v ČR. I přesto se budu nadále snažit tento cíl dotáhnout do zdárného konce.

Na závěr tohoto shrnutí přikládám na obrázcích č. 29 a č. 30 ukázkou silnice II. třídy, při jejíž opravě by vybraná směs mohla být položena a nahradila by tak běžně používanou směs asfaltového betonu pro obrusné vrstvy ACO 11. Jedná se o úsek silnice II/390 mezi městysem Nedvědice na hranici Jihomoravského kraje a obcí Sejřek v kraji Vysočina. První fotografie zobrazuje stav komunikace v roce 2011, dva roky před pokládkou krytu z ACO 11, která proběhla v roce 2013. Na druhé fotografii je pak zobrazen stav v roce 2018, tzn. pět let po pokládce nové obrusné vrstvy. V příloze č. 13 je pak uveden nabídkový rozpočet této stavby.



Obrázek č. 29: Silnice II/390 před pokládkou nové obrusné vrstvy – foto 2011 [54]



Obrázek č. 30: Silnice II/390 po pokládce nové obrusné vrstvy v roce 2013 – foto 2018 [55]

13 CELKOVÉ ZHODNOCENÍ A ZÁVĚR

V téměř všech předchozích kapitolách této práce bylo uvedeno mnoho výhod či nevýhod při používání zmíněných technologií. Věřím, že i nadále budou vyvíjeny stále inovativnější a kvalitnější druhy vozovek, ať asfaltových, cementobetonových či z jiných materiálů, a to za použití různých příměsí, či bez nich. O výběru vhodných technologií v České republice však zatím rozhoduje pouze jeden hlavní parametr, a tím je jednoznačně cena použité technologie.

Při takovém množství silnic a dálnic jako je v ČR (55 770 km – údaj Ředitelství silnic a dálnic k 1.7.2017), z čehož 87,3 % (48 706 km) tvoří jen silnice II. a III. třídy, je téměř nemožné najít dostatek financí na výstavbu nových, a hlavně na opravy všech stávajících komunikací, po kterých jejich správci již několik desetiletí marně volají. Poměrně velká část z těchto silnic je v havarijním stavu a Správy a údržby silnic (respektive kraje, jakožto vlastníci těchto komunikací), často nemají prostředky na jejich důkladné opravy či údržby. [56] Nejlevnějším a často i jediným řešením je tak „údržba“ těchto komunikací prostřednictvím tryskové metody. A zejména na opravy takovýchto komunikací II. a III. třídy by bylo možné použít navržené směsi s R-materiálem.

Hlavním cílem této práce bylo navrhnout směs, která by pomohla právě komunikacím nižší třídy a menšího dopravního zatížení, jejichž podkladní vrstvy a podloží jsou zatím v celkem dobrém stavu, avšak krytová vrstva je již za svou životností, respektive nesplňuje požadavky na ni kladené.

Jak je zřejmé z předchozího odstavce a zároveň na základě výsledků a zhodnocení v rámci této práce, navržená směs DP 35 BG může představovat zajímavou a inovativní alternativu pro opravy silnic II. a III. třídy. Navržená směs by tak mohla doplnit běžně používanou směs typu ACO 11 (+) pro opravy těchto nižších tříd komunikací. Jednalo by se tak o dostatečně kvalitní opravu komunikace, do doby, než bude potřeba celková rekonstrukce vozovky a výměna všech jejích vrstev. Směs by však bylo vhodné ověřit ještě z hlediska účinků dlouhodobého stárnutí vlivem působení klimatických a jiných vlivů.

V úplném závěru tak uvádím v souhrnné tabulce č. 32 hlavní parametry směsi DP 35 BG.

Pojivo			Směs DP 35 BG										
Hustota [kg/m ³]	Penetrace [0,1 mm]	Bod měknutí [°C]	Obsah pojiva [%]	Obsah R-mat [%]	Objemová hmotnost [kg/m ³]	Max. objemová hmotnost [kg/m ³]	Mezerovitost [%]	ITSR [%]	WTS _{AIR} [mm/10 ³ cyklů]	PRD _{AIR} [%]	Modul tuhosti [MPa]	Únavová charakteristika ϵ_6	Nízko teplotní charakteristiky [°C]
1014	45,8	51,7	5,8	35	2370	2451	3,29	82,7	0,052	3,79	13118	131,8	-17,0

Tabulka č. 32: Souhrnné charakteristiky směsi DP 35 BG

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych zde poděkoval svým rodičům za podporu a cenné rady při psaní této práce, dále pak svému vedoucímu Ing. Pavlu Šperkovi, který při každém problému dokázal přijít s konstruktivním nápadem a samozřejmě celému osazenstvu laboratoře ÚPKO, za trpělivost, vlídnost a za všechny zde strávené krásné chvíle. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat také společnostem TOTAL ČESKÁ REPUBLIKA s.r.o. a JIHOMORAVSKÁ OBALOVNA s.r.o. za poskytnutí materiálů a informací nezbytných k vypracování této práce.

SEZNAM CITOVANÉ A POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Karel Spies Asfaltová směs pro obrusné vrstvy se zvýšeným obsahem R-materiálu. Brno, 2019. 62 s., 14 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce prof. Ing. Jan Kudrna, CSc.
- [2] Vyhláška o kritériích, při jejichž splnění je asfaltová směs vedlejším produktem nebo přestává být odpadem, 2019. In: . Praha: Ministerstvo životního prostředí, Ministerstvem průmyslu a obchodu, ročník 2019, číslo 130.
- [3] ZAJÍČEK, Jan, 2019. Použití recyklovaných materiálů při stavbě vozovek. In: Státní pozemkový úřad [online]. Praha: Státní pozemkový úřad, 21. 05. 2019 [cit. 2020-12-16]. Dostupné z:
https://www.spucr.cz/frontend/webroot/uploads/files/2019/06/recyklace_materialy9264.pdf
- [4] Asfaltové směsi s vysokým obsahem R-materiálu – dosavadní zkušenosti. SILNICE MOSTY. [Online] PRAGOPROJEKT, a.s., 2016. [Citace: 16. 12 2020.] <https://www.silnice-mosty.cz/615-asfaltove-smesi-s-vysokym-obsahem-r-materialu-dosavadni-zkusenosti/>.
- [5] Eurovia meets the “100% Recyclee” RAP challenge on a French motorway, 2018. World Highways [online]. Dartford: Route One Publishing, 22. 11. 2018 [cit. 2020-12-16]. Dostupné z:
<https://www.worldhighways.com/wh5/feature/eurovia-meets-100-recyclee-rap-challenge-french-motorway>
- [6] Eurovia, en collaboration avec VINCI Autoroutes, dévoile la première « route 100% recyclée » au monde, 2018. In: Eurovia VINCI [online]. Rueil-malmaison: VINCI [cit. 2020-12-16]. Dostupné z: https://www.eurovia.com/media/8432579/communiqu%C3%A9-presse_100_recycle_fr.pdf
- [7] La Route 100% Recyclée, c2021. YouTube [online]. San Mateo (California): Google, 09. 10. 2018 [cit. 2021-01-13]. Dostupné z:
https://www.youtube.com/watch?v=B7BbMiQduLI&t=1s&ab_channel=Eurovia
- [8] VARAUS, Michal, Petr HÝZL, Dušan STEHLÍK, Jan VALENTIN, Petr MONSCHEIN, Radek PAZYNA, David MATOUŠEK a Petr SVOBODA, 2014. Metodika aplikace R-materiálu v asfaltových směsích. Praha: Ministerstvo dopravy ČR.
- [9] CARBONNEAU, Xavier, Yves LEGAL, Sebastien QUIGNIOT a Myriam DESROCHES, 2016. Effect of RAP temperature on asphalt mix performances (hot and warm). In: . Czech Technical University in Prague, 2016-06-30, s. -. ISBN 9788001059623. Dostupné z:
doi:10.14311/EE.2016.084
- [10] Obalovny, Asphalt, c2018. BETONserver [online]. Praha: AUREA INVEST [cit. 2020-12-16]. Dostupné z: <https://www.betonserver.cz/obalovny-asfalt>

- [11] Upgrading a Benninghoven asphalt plant with new technology, 2017. World Highways [online]. Dartford: Route One Publishing, 18. 10. 2017 [cit. 2020-12-16]. Dostupné z: <https://www.worldhighways.com/wh6/feature/upgrading-benninghoven-asphalt-plant-new-technology>
- [12] II/208 Krásno – Bečov km 5,791 – 7,291 a II/212 Horní Pochlovice – Kaceřov km 26,113 – 27,713, c2018. Froněk dopravní stavby [online]. Rakovník: Froněk, spol. s r.o., 2017 [cit. 2021-01-06]. Dostupné z: <https://www.fronek.cz/reference/detail/ii208-krasno-becov-km-5791-7291/>
- [13] Bc. Markéta Čumíčková Dávkování oživovacích přísad do asfaltové směsi s vysokým obsahem R-materiálu. Brno, 2018. 115 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce Ing. Ondřej Dašek, Ph.D.
- [14] Recyklace s maximálním podílem R-materiálu: ověření pilotních úseků, c2021. Silnice + mosty [online]. [cit. 2021-01-05]. Dostupné z: <https://www.silnice-mosty.cz/216-recyklace-s-maximalnim-podilem-r-materialu-overeni-pilotnich-useku/>
- [15] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt, 2007. Verze 2013. Cologne: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. 978-3-939715-68-9.
- [16] Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen, 2012. 3. Cologne: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. 978-3-86446-021-0.
- [17] EN 12697-46 Bituminous mixtures – Test methods – Part 46: Low temperature cracking and properties by uniaxial tension tests, 2020. 2nd. Brusel: Evropský výbor pro normalizaci.
- [18] Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen, 2007. Verze 2013. Cologne: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. 978-3-939715-69-6.
- [19] ČSN EN 13043 Kamenivo pro asfaltové směsi a povrchové vrstvy pozemních komunikací, letištních a jiných dopravních ploch, 2004. 721501. Praha: Český normalizační institut.
- [20] ČSN EN 933-1 Zkoušení vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor, 2012. 721193. Praha: Český normalizační institut.
- [21] ČSN 73 6121 Stavba vozovek – Hutněné asfaltové vrstvy – Provádění a kontrola shody, 2019. 736121. Praha: Český normalizační institut. 8596135069347.
- [22] Mikulčák a kolektiv. Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro střední školy. Praha: SPN Praha, 1988
- [23] ČSN EN 1426 Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení penetrace jehlou, 2015. 657062. Praha: Český normalizační institut.

- [24] ČSN EN 1427 Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení bodu měknutí – Metoda kroužek a kulička, 2015. 657060. Praha: Český normalizační institut.
- [25] DAŠEK, Ondřej, 2013. Uplatnění pryžového granulátu v asfaltových pojivech a hutněných asfaltových směsích. Brno. Teze disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta Stavební. Vedoucí práce Prof. Ing. Jan Kudrna, Csc.
- [26] ČSN EN 12697-23 Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 23: Stanovení pevnosti v příčném tahu, 2018. 736160. Praha: Český normalizační institut.
- [27] ČSN EN 12697-12 Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 12: Stanovení odolnosti zkušebního tělesa vůči vodě, 2020. 736160. Praha: Český normalizační institut.
- [28] AASHTO T 283 Standard Method of Test for Resistance of Compacted Asphalt Mixtures to Moisture-Induced Damage, 2014. 2014 ed. Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- [29] ČSN EN 12697-22 Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 22: Zkouška pojiždění kolem, 2020. 736160. Praha: Český normalizační institut.
- [30] ČSN EN 12697-46 Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 46: Nízkoteplotní vlastnosti a tvorba trhlin pomocí jednoosé zkoušky tahem, 2020. 736160. Praha: Český normalizační institut.
- [31] ČSN EN 12697-26 Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 26: Tuhost, 2019. 736160. Praha: Český normalizační institut.
- [32] ČSN EN 12697-24 Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 24: Odolnost vůči únavě, 2019. 736160. Praha: Český normalizační institut.
- [33] Připravovaná norma – ČSN 73 6120 Stavba vozovek – Ostatní asfaltové vrstvy – Provádění a kontrola shody.
- [34] ČSN EN 12697-6 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 6: Sta, 2020. 736160. Praha: Český normalizační institut. 8596135103249.
- [35] ČSN EN 12697-5 Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 5: Stanovení maximální objemové hmotnosti, 2020. 736160. Praha: Český normalizační institut. 8596135084470.
- [36] ČSN EN 12697-8 Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 8: Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí, 2020. 736160. Praha: Český normalizační institut. 8596135084845.
- [37] ČSN EN 12697-30 Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 30: Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem, 2020. 736160. Praha: Český normalizační institut. 8596135084852.
- [38] ČSN EN 12697-33 Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 33: Příprava zkušebních těles zhutňovačem desek, 2020. 736160. Praha: Český normalizační institut. 8596135095049.
- [39] ČSN EN 12697-35 Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 35: Laboratorní výroba směsi, 2018. 736160. Praha: Český normalizační institut. 8596135050390.

- [40] DAŠEK, Ondřej, 2006. Vliv míry zhutnění na funkční charakteristiky asfaltových směsí. Brno. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta Stavební. Vedoucí práce Ing. Petr Hýzl, Ph.D.
- [41] ČESKÁ REPUBLIKA, 2010. TP 170 Navrhování vozovek pozemních komunikací – dodatek. In.: Praha: Ministerstvo dopravy, odbor silniční infrastruktury, čj. 682/10-910-IPK/1. Dostupné také z: http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_170_Dodatek_1.pdf
- [42] ČESKÁ REPUBLIKA, 2009. TP 148 Hutnění asfaltové vrstvy s pojivem modifikovaným pryžovým granulátem z pneumatik. In: . Praha: Ministerstvo dopravy, odbor silniční infrastruktury, čj. 114/09-910-IPK/1. Dostupné také z: http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_148.pdf
- [43] Bc. Pavel Šperka Vliv použití R-materiálu na funkční vlastnosti asfaltových směsí. Brno, 2014. 117 s., 35 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce Ing. Petr Hýzl, Ph.D.
- [44] VACKOVÁ, Pavla, Jan VALENTIN a Zdeněk PROŠEK, 2019. Asfaltová směs se struskovým kamenivem. Odpadové fórum. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, 2019, 11 s.
- [45] DAŠEK, Ondřej. Uplatnění pryžového granulátu v asfaltových pojivech a hutněných asfaltových směsích. Brno, 2013. 186 s., 86 s. příl. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce prof. Ing. Jan Kudrna, CSc..
- [46] Ceník recyklovaných materiálů, 2020. HERKUL.cz [online]. Obrnice: HERKUL, 23. 06. 2020 [cit. 2020-12-15]. Dostupné z: <https://www.herkul.cz/component/phocadownload/file/96-cenik-recyklovanych-suti>
- [47] Ceník písku, recyklátu a recyklace, c2008. Inženýrské stavby VOKA [online]. Zahrádky u České Lípy: Voka.cz, 1.1.2018 [cit. 2020-12-15]. Dostupné z: http://www.voka.cz/ke_stazeni/cenk_psku_recykltu_a_recyklace_2018.pdf
- [48] Prodej recyklátů. OPEN RE-ECO [online]. Vsetín: OPEN RE-ECO. [cit. 2020-12-15]. Dostupné z: <http://www.openreeco.cz/prodej-recyklatu>
- [49] Ceník asfaltových směsí, c2018. Obalovna Louny [online]. Louny: Metrostav, 2019 [cit. 2020-12-15]. Dostupné z: <http://www.obalovna-louny.cz/wp-content/uploads/2019/06/Ofici%C3%A1ln%C3%AD-cen%C3%ADk-od-1.6.2019-1.pdf>
- [50] MEJZLÍK, Martin. Vyhodnocení hlukových emisí protihlukových povrchů vozovek. Brno, 2012. 54 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce prof. Ing. Jan Kudrna, CSc..

- [51] VALENTIN, Jan, Petr MONDSCHHEIN, Petr HÝZL a Michal VARAUS. Metodika pro návrh, výrobu a provádění akusticky asfaltových vrstev. Praha, 2015, 47 s. ISBN 978-80-01-05833-6. Fakulta stavební, ČVUT v Praze
- [52] Nové směry modifikace asfaltů pro hydroizolační techniku? – 1. část, 2017. IMateriály [online]. Praha: Business Media One [cit. 2021-01-05]. Dostupné z: https://www.imaterialy.cz/rubriky/materialy/nove-smery-modifikace-asfaltu-pro-hydroizolacni-techniku-1-cast_44744.html
- [53] VALENTIN, Jan. Nízkoteplotní asfaltové směsi, nízkohlučné asfaltové směsi, využití CRMB: Konference asfaltové vozovky 2013. České Budějovice, 2013.
- [54] II/390-2011, c2021. In: Mapy Google [online]. Česko: Google, 2011 [cit. 2021-01-06]. Dostupné z: <https://www.google.cz/maps/@49.4488885,16.3378574,3a,79.5y,132.54h,94.17t/data=!3m6!1e1!3m4!1sPWjFT-ftGLRpoiRLgorYgg!2e0!7i13312!8i6656>
- [55] II/390-2018, c2021. In: Mapy.cz [online]. Česko: Seznam, 2018 [cit. 2021-01-06]. Dostupné z: <https://mapy.cz/letecka?x=16.3378816&y=49.4488576&z=18&pano=1&pid=67069352&yaw=2.588&fov=1.157&pitch=0.068>
- [56] Ubyde peněz na opravy vedlejších silnic. Některé kraje jen dokončí rekonstrukce, s novými nezačnou., c1997-2021. IROZHLAS [online]. Praha: Český rozhlas, 2. ledna 2021 [cit. 2021-01-05]. Dostupné z: https://www.irozhlaz.cz/zpravy-domov/opravy-vedlejsi-silnice-druhe-a-treti-tridy-kraje-nizsi-prijmy-snizeni-dani_2101020600_jgr?fbclid=IwAROU4UvaaxDTw3DkXsflaqkOsufIWCAuTTkLklrLoDywFRTGfcl_ZfCrduw

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek č. 1: Vysprávka – po pokládce, 18. 04. 2019	14
Obrázek č. 2: Vysprávka – po 1 měsíci, 14. 05. 2019	14
Obrázek č. 3: Vysprávka – po 1 roce, 27. 05. 2020.....	14
Obrázek č. 4: Vysprávka – aktuální stav, 16. 12. 2020.....	14
Obrázek č. 5: Kontinuální obalovna na výrobu asfaltové směsi se 100 % R-materiálu	17
Obrázek č. 6: Zastřešená skládka R-materiálu na obalovně asfaltových směsí.....	17
Obrázek č. 7: Obalovna asfaltových směsí s paralelním bubnem.....	20
Obrázek č. 8: Odběr kameniva na obalovně.....	26
Obrázek č. 9: Skladování odebraného kameniva a R-materiálu	26
Obrázek č. 10: Asfalt 70/100 CRMB	29
Obrázek č. 11: Asfalt 70/100	29
Obrázek č. 12: Destilační zařízení.....	29
Obrázek č. 13: Kroužek na určení hustoty asfaltového pojiva	30
Obrázek č. 14: Zkouška stanovení bodu měknutí asfaltu.....	32
Obrázek č. 15: Těleso v lisu před zkouškou v příčném tahu ITS.....	34
Obrázek č. 16: Porušená zkušební tělesa směsi DP 35 BG po zkoušce v příčném tahu	35
Obrázek č. 17: Detail porušeného tělesa ze směsi DP 35 po zkoušce v příčném tahu.....	35
Obrázek č. 18: Zkušební tělesa po provedení desátého zmrazovacího cyklu.....	36
Obrázek č. 19: Zařízení na vyjždění kolejí s uchyceným vzorkem.....	36
Obrázek č. 20: Detail porušení trámce.....	37
Obrázek č. 21: Porušený vzorek po provedení zkoušky.....	37
Obrázek č. 22: Zkušební trapezoid v temperační komoře	38
Obrázek č. 23: Zkušební tělesa pro zkoušky modulů a únavy	39
Obrázek č. 24: Schéma únavového namáhání obrusné vrstvy.....	39
Obrázek č. 25: Pyknometry s rozpouštědlem a navážkou	42
Obrázek č. 26: Míchačka asfaltových směsí	43
Obrázek č. 27: Vozovka s 85 % R-materiálu a rejuvenátorem Storbit Plus.....	65
Obrázek č. 28: Energetická náročnost výroby a pokládky vozovkových krytů	66
Obrázek č. 29: Silnice II/390 před pokládkou nové obrusné vrstvy – foto 2011.....	69
Obrázek č. 30: Silnice II/390 po pokládce nové obrusné vrstvy v roce 2013 – foto 2018	69

SEZNAM TABULEK

Tabulka č. 1: Charakteristiky směsi BP 50	12
Tabulka č. 2: Nejvyšší přípustný obsah R-materiálu ve směsi – stávající a plánovaný stav....	16
Tabulka č. 3: Korekce teploty kameniva v závislosti na obsahu vody v R-materiálu.....	19
Tabulka č. 4: Původní rozdělení	21
Tabulka č. 5: Nové rozdělení	21
Tabulka č. 6: Rozdíl v dávkování R-materiálu mezi běžně používanou a navrženou metodou.	22
Tabulka č. 7: Vlastnosti pojiva v R-materiálu a v asfaltové směsi pokusného úseku.....	23
Tabulka č. 8: Parametry obrusných vrstev zkušebních úseků L1125 a L1147 v Německu.....	24
Tabulka č. 9: Výsledky asfaltové směsi z jednoosé zkoušky tahem v úseku L1147	25
Tabulka č. 10: Propady frakcí kameniva na sítěch	27
Tabulka č. 11: Extrakce asfaltového pojiva z R-materiálu	28
Tabulka č. 12: Souhrnná tabulka hodnot penetrací.....	32
Tabulka č. 13: Souhrnná tabulka bodů měknutí asfaltových pojiv	32
Tabulka č. 14 Souhrnná tabulka charakteristik asfaltových pojiv	33
Tabulka č. 15: Skladba kameniva směsi DP 35.....	41
Tabulka č. 16: Teploty míchání a hutnění směsi DP 35	43
Tabulka č. 17: Souhrnná tabulka charakteristik a vlastností navržené směsi DP 35.....	44
Tabulka č. 18: Výsledky zkoušky odolnosti tělesa vůči vodě směsi DP 35.....	44
Tabulka č. 19: Výsledky zmrazovaných těles směsi DP 35 po zkoušce ITSr.....	46
Tabulka č. 20: Hodnoty WTS_{AIR} a PRD_{AIR} směsi DP 35.....	46
Tabulka č. 21: Moduly tuhosti směsi DP 35.....	47
Tabulka č. 22: Skladba kameniva směsi DP 35 BG	50
Tabulka č. 23: Teploty míchání a hutnění směsi DP 35 BG.....	52
Tabulka č. 24: Souhrnná tabulka charakteristik a vlastností směsi DP 35 BG	52
Tabulka č. 25: Výsledky zkoušky odolnosti tělesa vůči vodě směsi DP 35 BG.....	53
Tabulka č. 26: Výsledky zmrazovaných těles směsi DP 35 BG po zkoušce ITSr.....	54
Tabulka č. 27: Hodnoty WTS_{AIR} a PRD_{AIR} směsi DP 35 BG.....	55
Tabulka č. 28: Moduly tuhosti směsi DP 35 BG.....	56
Tabulka č. 29: Souhrnná tabulka porovnání asfaltových směsí.....	59
Tabulka č. 30: Cena kameniva.....	62
Tabulka č. 31: Cena směsi ACO 11 +.....	63
Tabulka č. 32: Souhrnné charakteristiky směsi DP 35 BG.....	70

SEZNAM GRAFŮ

Graf č. 1: Čára zrnitosti směsi BP 50.....	13
Graf č. 2: Požadovaná teplota nahřívání kameniva při přidávání R-materiálu v suchém stavu za studena.....	19
Graf č. 3: Navržená čára zrnitosti směsi DP 35.....	41
Graf č. 4: Graf závislosti síly na deformaci – vzorky I10 S a I10 M.....	45
Graf č. 5: Teploty zmrazovacích cyklů.....	45
Graf č. 6: Graf závislosti hloubky vyjeté koleje na počtu cyklů směsi DP 35.....	46
Graf č. 7: Graf závislosti napětí vzorku na teplotě vzorku – směs DP 35.....	47
Graf č. 8: Graf závislosti průměrných modulů tuhosti směsi DP 35 na frekvenci při různých teplotách	48
Graf č. 9: Wöhlerův diagram únavy směsi DP 35.....	49
Graf č. 10: Navržená čára zrnitosti směsi DP 35 BG	51
Graf č. 11: Graf závislosti síly na deformaci – vzorky I12BG S a I10BG M.....	53
Graf č. 12: Teploty zmrazovacích cyklů	54
Graf č. 13: Graf závislosti hloubky vyjeté koleje na počtu cyklů směsi DP 35 BG.....	55
Graf č. 14: Graf závislosti napětí vzorku na teplotě vzorku – směs DP 35 BG.....	56
Graf č. 15: Graf závislosti průměrných modulů tuhosti směsi DP 35 BG na frekvenci při různých teplotách	57
Graf č. 16: Wöhlerův diagram únavy směsi DP 35 BG	58

NÁZVOSLOVÍ A POUŽITÉ ZKRATKY

V této kapitole jsou uvedeny významné zkratky a definice použité v této práci.

DEFINICE

- **R-materiál**asfaltová směs znovuzískaná odfrézováním asfaltových vrstev nebo drcením desek vybouraných z asfaltových vozovek nebo velkých kusů asfaltové směsi a asfaltové směsi z neshodné nebo nadbytečné výroby. Jedná se o více jak 95 % asfaltových materiálů, s max. obsahem 5 % hm. ostatních recyklovaných materiálů

ZKRATKY

- **ACO**.....asfaltový beton pro obrusné vrstvy
- **ACL**.....asfaltový beton pro ložné vrstvy
- **ACP**.....asfaltový beton pro podkladní vrstvy
- **BP**bakalářská práce
- **CHRL**chemické rozmrazovací látky (nejčastěji chemické soli pro údržbu komunikací)
- **CRMB**Crumb Rubber Modified Bitumen, Asfalt modifikovaný pryžovým granulátem
- **DP**diplomová práce
- **ITSR**.....Indirect Tensile Strength Ratio, poměr pevností v příčném tahu
- **MA**Mastic Asphalt, litý asfalt
- **NaCl**.....chlorid sodný
- **PA**Porous Asphalt, asfaltový koberec drenážní
- **PAU**.....polycyklické aromatické uhlovodíky
- **p.j.**.....penetrační jednotka
- **PRD_{AIR}**.....maximální poměrná hloubka koleje po 5000 cyklech
- **SMA**Stone Mastic Asphalt, asfaltový koberec mastixový
- **VFB**.....Voids Filled with Bitumen, stupeň vyplnění mezer
- **VMA**Voids in Mineral Aggregate, mezerovitost směsi kameniva
- **V_{MIN/MAX}**minimální/maximální mezerovitost
- **WTS_{AIR}**.....maximální přírůstek hloubky koleje
- **ZAS**znovuzískaná asfaltová směs

SEZNAM PŘÍLOH

- 1 SÍTOVÉ ROZBORY**
- 2 NÁVRH ČAR ZRNITOSTI**
- 3 EXTRAKCE POJIVA Z R-MATERIÁLU A ZPĚTNÉ EXTRAKCE DP 35 BG**
- 4 OBJEMOVÉ HMOTNOSTI MARSHALLOVÝCH TĚLES**
- 5 OBJEMOVÉ HMOTNOSTI A MÍRY ZHUTNĚNÍ ZKUŠEBNÍCH DESEK**
- 6 MAXIMÁLNÍ OBJEMOVÉ HMOTNOSTI**
- 7 MEZEROVITOST (V_m), MEZEROVITOST SMĚSI KAMENIVA (VMA), STUPEŇ VYPLNĚNÍ MEZER (VFB)**
- 8 ITSr**
- 9 VYSTAVENÍ ZKUŠEBNÍCH TĚLES ZMRAZOVACÍM CYKLŮM A CHRL**
- 10 ZKOUŠKA POJÍŽDĚNÍM KOLEM**
- 11 ZKOUŠKA ODOLNOSTI ASFALTOVÉ SMĚSI VŮČI NÍZKÝM TEPLITÁM**
- 12 STANOVENÍ MODULŮ TUHOSTI**
- 13 NABÍDKOVÝ ROZPOČET STAVBY – SILNICE II/390 NEDVĚDICE – SEJŘEK**
- 14 UKÁZKA VÝPOČTU DÁVKOVÁNÍ KAMENIVA PŘI POUŽITÍ R-MATERUÁLU**

PŘÍLOHY

1 SÍTOVÉ ROZBORY

Frakce 0/4, navážka 1/2

Vysušená hmotnost zkoušené navážky
753.19 g
Vysušená hmotnost po odplavení částic menších než 0.063 mm
732.88 g
Množství částic menších než 0.063 mm
20.31 g (2.70 %)

Údaje získané ze síťového rozboru

Síto [mm]	Zbytek [g]	Zůstatek [%]	Propad [%]
4.00	21.13	2.81	97.19
2.00	136.65	18.14	79.05
1.00	153.98	20.44	58.61
0.50	110.12	14.62	43.99
0.25	121.30	16.10	27.88
0.125	121.20	16.09	11.79
0.063	59.08	7.84	3.95
< 0.063	29.73	3.95	
Celkem	753.19 g		

Frakce 0/4, navážka 2/2

Vysušená hmotnost zkoušené navážky
780.49 g
Vysušená hmotnost po odplavení částic menších než 0.063 mm
-
Množství částic menších než 0.063 mm
-

Údaje získané ze síťového rozboru

Síto [mm]	Zbytek [g]	Zůstatek [%]	Propad [%]
4.00	20.10	2.58	97.42
2.00	144.11	18.46	78.96
1.00	164.68	21.10	57.86
0.50	115.46	14.79	43.07
0.25	131.28	16.82	26.25
0.125	128.79	16.50	9.75
0.063	59.65	7.64	2.10
< 0.063	16.42	2.10	
Celkem	780.49 g		

Frakce 0/4, průměr ze 2 navážek

Vysušená hmotnost zkoušené navážky
766.84 g
Vysušená hmotnost po odplavení částic menších než 0.063 mm
-
Množství částic menších než 0.063 mm
-

Údaje získané ze síťového rozboru

Síto [mm]	Zbytek [g]	Zůstatek [%]	Propad [%]
4.00	20.62	2.69	97.31
2.00	140.38	18.31	79.01
1.00	159.33	20.78	58.23
0.50	112.79	14.71	43.52
0.25	126.29	16.47	27.05
0.125	125.00	16.30	10.75
0.063	59.37	7.74	3.01
< 0.063	23.08	3.01	
Celkem	766.84 g		

Frakce 4/8, navážka 1/2

Vysušená hmotnost zkoušené navážky
800.06 g
Vysušená hmotnost po odplavení částic menších než 0.063 mm
796.51 g
Množství částic menších než 0.063 mm
3.55 g (0.44 %)

Údaje získané ze síťového rozboru

Síto [mm]	Zbytek [g]	Zůstatek [%]	Propad [%]
8.00	30.73	3.84	96.16
4.00	651.36	81.41	14.75
2.00	108.50	13.56	1.18
1.00	3.12	0.39	0.79
0.50	0.75	0.09	0.70
0.25	0.60	0.08	0.62
0.125	0.53	0.07	0.56
0.063	0.82	0.10	0.46
< 0.063	3.65	0.46	
Celkem	800.06 g		

Frakce 4/8, navážka 2/2

Vysušená hmotnost zkoušené navážky
1000.16 g
Vysušená hmotnost po odplavení částic menších než 0.063 mm
-
Množství částic menších než 0.063 mm
-

Údaje získané ze síťového rozboru

Síto [mm]	Zbytek [g]	Zůstatek [%]	Propad [%]
8.00	31.65	3.16	96.84
4.00	830.21	83.01	13.83
2.00	129.12	12.91	0.92
1.00	3.75	0.37	0.54
0.50	0.62	0.06	0.48
0.25	0.50	0.05	0.43
0.125	0.64	0.06	0.37
0.063	1.09	0.11	0.26
< 0.063	2.58	0.26	
Celkem	1000.16 g		

Frakce 4/8, průměr ze 2 navážek

Vysušená hmotnost zkoušené navážky
900.11 g
Vysušená hmotnost po odplavení částic menších než 0.063 mm
-
Množství částic menších než 0.063 mm
-

Údaje získané ze síťového rozboru

Síto [mm]	Zbytek [g]	Zůstatek [%]	Propad [%]
8.00	31.19	3.47	96.53
4.00	740.79	82.30	14.24
2.00	118.81	13.20	1.04
1.00	3.44	0.38	0.65
0.50	0.69	0.08	0.58
0.25	0.55	0.06	0.52
0.125	0.59	0.07	0.45
0.063	0.96	0.11	0.35
< 0.063	3.11	0.35	
Celkem	900.11 g		

Frakce 8/11, navážka 1/3

Vysušená hmotnost zkoušené navážky
2600.07 g
Vysušená hmotnost po odplavení částic menších než 0.063 mm
-
Množství částic menších než 0.063 mm
-

Údaje získané ze síťového rozboru

Síto [mm]	Zbytek [g]	Zůstatek [%]	Propad [%]
11.00	327.72	12.60	87.40
8.00	1869.22	71.89	15.50
4.00	366.86	14.11	1.40
2.00	8.62	0.33	1.06
1.00	0.85	0.03	1.03
0.50	0.55	0.02	1.01
0.25	1.93	0.07	0.94
0.125	4.53	0.17	0.76
0.063	7.28	0.28	0.48
< 0.063	12.51	0.48	
Celkem	2600.07 g		

Frakce 8/11, navážka 2/3

Vysušená hmotnost zkoušené navážky
3000.70 g
Vysušená hmotnost po odplavení částic menších než 0.063 mm
-
Množství částic menších než 0.063 mm
-

Údaje získané ze síťového rozboru

Síto [mm]	Zbytek [g]	Zůstatek [%]	Propad [%]
11.00	387.58	12.92	87.08
8.00	1987.59	66.24	20.85
4.00	575.77	19.19	1.66
2.00	8.15	0.27	1.39
1.00	1.06	0.04	1.35
0.50	0.60	0.02	1.33
0.25	2.23	0.07	1.26
0.125	5.54	0.18	1.07
0.063	10.09	0.34	0.74
< 0.063	22.09	0.74	
Celkem	3000.70 g		

Frakce 8/11, navážka 3/3

Vysušená hmotnost zkoušené navážky
2600.33 g
Vysušená hmotnost po odplavení částic menších než 0.063 mm
-
Množství částic menších než 0.063 mm
-

Údaje získané ze síťového rozboru

Síto [mm]	Zbytek [g]	Zůstatek [%]	Propad [%]
11.00	338.50	13.02	86.98
8.00	1722.66	66.25	20.73
4.00	482.95	18.57	2.16
2.00	18.86	0.73	1.44
1.00	4.72	0.18	1.25
0.50	2.34	0.09	1.16
0.25	2.70	0.10	1.06
0.125	4.45	0.17	0.89
0.063	7.96	0.31	0.58
< 0.063	15.19	0.58	
Celkem	2600.33 g		

Frakce 8/11, průměr ze 3 navážek

Vysušená hmotnost zkoušené navážky
2733.70 g
Vysušená hmotnost po odplavení částic menších než 0.063 mm
-
Množství částic menších než 0.063 mm
-

Údaje získané ze síťového rozboru

Síto [mm]	Zbytek [g]	Zůstatek [%]	Propad [%]
11.00	351.27	12.85	87.15
8.00	1859.82	68.03	19.12
4.00	475.19	17.38	1.74
2.00	11.88	0.43	1.30
1.00	2.21	0.08	1.22
0.50	1.16	0.04	1.18
0.25	2.29	0.08	1.09
0.125	4.84	0.18	0.92
0.063	8.44	0.31	0.61
< 0.063	16.60	0.61	
Celkem	2733.70 g		

Frakce Filler

Vysušená hmotnost zkoušené navážky
-
Vysušená hmotnost po odplavení částic menších než 0.063 mm
-
Množství částic menších než 0.063 mm
-

Údaje převzaté ze síťového rozboru v BP

Síto [mm]	Zbytek [g]	Zůstatek [%]	Propad [%]
11.00	-	0.00	100.00
8.00	-	0.00	100.00
4.00	-	0.00	100.00
2.00	-	0.00	100.00
1.00	-	0.00	100.00
0.50	-	0.14	99.86
0.25	-	0.23	99.63
0.125	-	3.78	95.85
0.063	-	19.43	76.42
< 0.063	-	76.42	
Celkem	-		

Frakce R-MAT 0/8, extrakce 1

Vysušená hmotnost zkoušené navážky		
1128.60 g		
Množství částic menších než 0.063 mm		
Z extrakce	Odplavené	Sít. rozbor
73.50 g	25.14 g	15.92 g
Celkem 114.56 g (10.15 %)		

Údaje získané ze síťového rozboru

Síto [mm]	Zbytek [g]	Zůstatek [%]	Propad [%]
11.00	10.83	0.96	99.04
8.00	56.64	5.02	94.02
4.00	210.75	18.67	75.35
2.00	165.26	14.64	60.70
1.00	162.84	14.43	46.28
0.50	154.71	13.71	32.57
0.25	133.08	11.79	20.78
0.125	73.89	6.55	14.23
0.063	46.04	4.08	10.15
< 0.063	114.56	10.15	
Celkem	1128.60 g		

Frakce R-MAT 0/8, extrakce 2

Vysušená hmotnost zkoušené navážky		
1135.42 g		
Množství částic menších než 0.063 mm		
Z extrakce	Odplavené	Sít. rozbor
80.30 g	29.97 g	14.19 g
Celkem 124.46 g (10.96 %)		

Údaje získané ze síťového rozboru

Síto [mm]	Zbytek [g]	Zůstatek [%]	Propad [%]
11.00	13.29	1.17	98.83
8.00	53.44	4.71	94.12
4.00	209.75	18.47	75.65
2.00	170.39	15.01	60.64
1.00	162.42	14.30	46.34
0.50	153.98	13.56	32.78
0.25	130.57	11.50	21.28
0.125	72.89	6.42	14.86
0.063	44.23	3.90	10.96
< 0.063	124.46	10.96	
Celkem	1135.42 g		

Frakce R-MAT 0/8, extrakce 3

Vysušená hmotnost zkoušené navážky		
1133.17 g		
Množství částic menších než 0.063 mm		
Z extrakce	Odplavené	Sít. rozbor
110.5 g	17.80 g	8.91 g
Celkem 137.21 g (12.11 %)		

Údaje získané ze síťového rozboru

Síto [mm]	Zbytek [g]	Zůstatek [%]	Propad [%]
11.00	8.99	0.79	99.21
8.00	46.70	4.12	95.09
4.00	225.26	19.88	75.21
2.00	173.22	15.29	59.92
1.00	160.62	14.17	45.75
0.50	145.99	12.88	32.86
0.25	123.98	10.94	21.92
0.125	68.73	6.07	15.86
0.063	42.47	3.75	12.11
< 0.063	137.21	12.11	
Celkem	1133.17 g		

Frakce R-MAT 0/8, průměr ze 3 extrakcí

Vysušená hmotnost zkoušené navážky

1132.40 g

Množství částic menších než 0.063 mm

Z extrakce	Odplavené	Sít. rozbor
88.10 g	24.30 g	13.01 g

Celkem 125.41 g (11.07 %)

Údaje získané ze síťového rozboru

Síto [mm]	Zbytek [g]	Zůstatek [%]	Propad [%]
11.00	11.04	0.97	99.03
8.00	52.26	4.62	94.41
4.00	215.25	19.01	75.40
2.00	169.62	14.98	60.42
1.00	161.96	14.30	46.12
0.50	151.56	13.38	32.74
0.25	129.21	11.41	21.33
0.125	71.84	6.34	14.98
0.063	44.25	3.91	11.07
< 0.063	125.41	11.07	
Celkem	1132.40 g		

2 NÁVRH ČAR ZRNITOSTI

Frakce	Velikost síta [mm]								
	11	8	4	2	1	0.500	0.250	0.125	0.063
8/11	87.15	19.12	1.74	1.30	1.22	1.18	1.09	0.92	0.61
4/8	100.00	96.53	14.24	1.04	0.65	0.58	0.52	0.45	0.35
0/4	100.00	100.00	97.31	79.01	58.23	43.52	27.05	10.75	3.01
Filler	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.86	99.63	95.85	76.42
R-mat	99.03	94.41	75.40	60.42	46.12	32.74	21.33	14.98	11.07

Skladba kameniva navržené směsi DP 35

	Množství [%]	Průběžný součet
Filler	1.80	1.80
0/4	16.00	17.80
4/8	22.00	39.80
8/11	24.67	64.47
R-mat	35.53	100.00
Celkem	100.00	

Skladba kameniva navržené směsi DP 35 BG

	Množství [%]	Průběžný součet
Filler	2.60	2.60
0/4	15.91	18.51
4/8	21.88	40.39
8/11	24.54	64.93
R-mat	35.07	100.00
Celkem	100.00	

Směs DP 35

Síto	Dolní mez pro ACO 11 CR	Směs DP 35	Horní mez pro ACO 11 CR	Fullerova parabola
11.00	90	96.48	100	100.0
8.00	68	77.30	80	85.3
4.00	38	47.72	50	60.3
2.00	25	36.46	40	42.6
1.00		27.95		30.2
0.50		20.81		21.3
0.25		14.08		15.1
0.13	4	9.09	10	10.7
0.06	3	6.02	7	7.6

Směs DP 35 BG

Síto	Dolní mez pro ACO 11 +	Směs DP 35 BG	Horní mez pro ACO 11 +	Fullerova parabola
11.00	90	96.51	100	100.0
8.00	70	77.44	90	85.3
4.00	42	48.07	68	60.3
2.00	24	36.91	49	42.6
1.00		28.48		30.2
0.50		21.42		21.3
0.25		14.76		15.1
0.13	4	9.78	14	10.7
0.06	3	6.57	11	7.6

3 EXTRAKCE POJIVA Z R-MATERIÁLU A ZPĚTNÉ EXTRAKCE DP 35 BG

EXTRAKCE POJIVA Z R-MATERIÁLU

EXTRAKCE 1/3

Název patrony	L; 1/3
Hmotnost patrona + papír [g]	608.30
Hmotnost patrona + papír + zbytek <0.063 mm z extrakce [g]	681.80
Celková hmotnost navážky R-materiálu [g]	1202.24
Hmotnost vysušeného kameniva bez obsahu patrony [g]	1055.10
Hmotnost veškerého vysušeného kameniva [g]	1128.60
Hmotnost asfaltu [g]	73.64
Hmotnostní podíl asfaltu v R-materiálu [%]	6.13

EXTRAKCE 2/3

Název patrony	2; 2/3
Hmotnost patrona + papír [g]	581.10
Hmotnost patrona + papír + zbytek <0.063 z extrakce [g]	661.40
Celková hmotnost navážky R-materiálu [g]	1200.76
Hmotnost vysušeného kameniva bez obsahu patrony [g]	1053.30
Hmotnost veškerého vysušeného kameniva [g]	1133.60
Hmotnost asfaltu [g]	67.16
Hmotnostní podíl asfaltu v R-materiálu [%]	5.59

EXTRAKCE 3/3

Název patrony:	*, 3/3
Hmotnost patrona + papír [g]	582.60
Hmotnost patrona + papír + zbytek <0.063 z extrakce [g]	693.10
Celková hmotnost navážky R-materiálu [g]	1200.90
Hmotnost vysušeného kameniva bez obsahu patrony [g]	1024.10
Hmotnost veškerého vysušeného kameniva [g]	1134.60
Hmotnost asfaltu [g]	66.30
Hmotnostní podíl asfaltu v R-materiálu [%]	5.52

EXTRAKCE POJIVA ZE SMĚSI DP 35 BG**ZPĚTNÁ EXTRAKCE DP 35 BG 1/3**

Název patrony:	4; 1/3
Hmotnost patrona + papír [g]	587.50
Hmotnost patrona + papír + zbytek <0.063 z extrakce [g]	684.00
Celková hmotnost navážky [g]	1216.39
Hmotnost vysušeného kameniva bez obsahu patrony [g]	1050.70
Hmotnost veškerého vysušeného kameniva [g]	1147.20
Hmotnost asfaltu [g]	69.19
Hmotnostní podíl asfaltu [%]	5.69

ZPĚTNÁ EXTRAKCE DP 35 BG 2/3

Název patrony:	2; 2/3
Hmotnost patrona + papír [g]	582.00
Hmotnost patrona + papír + zbytek <0.063 z extrakce [g]	675.20
Celková hmotnost navážky [g]	1214.23
Hmotnost vysušeného kameniva bez obsahu patrony [g]	1053.10
Hmotnost veškerého vysušeného kameniva [g]	1146.30
Hmotnost asfaltu [g]	67.93
Hmotnostní podíl asfaltu [%]	5.59

ZPĚTNÁ EXTRAKCE DP 35 BG 3/3

Název patrony:	5; 3/3
Hmotnost patrona + papír [g]	600.80
Hmotnost patrona + papír + zbytek <0.063 z extrakce [g]	690.70
Celková hmotnost navážky [g]	1213.80
Hmotnost vysušeného kameniva bez obsahu patrony [g]	1054.30
Hmotnost veškerého vysušeného kameniva [g]	1144.20
Hmotnost asfaltu [g]	69.60
Hmotnostní podíl asfaltu [%]	5.73

4 OBJEMOVÉ HMOTNOSTI MARSHALLOVÝCH TĚLES

Objemové hmotnosti v závislosti na obsahu asfaltového pojiva směsi DP 35

Hustota vody (22 a 23 °C) [kg/m ³]: 997.844 (tělesa V1 až V3) a 997.612 (tělesa V4 + V5)				
Označení vzorku – obsah asfaltu [%]	m _d (suchá) [g]	m _w (ve vodě) [g]	m _n (osušená) [g]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
V1 – 6.5	1191.8	683.5	1193.9	2330
V2 – 6.5	1206.6	692.0	1213.2	2310
V3 – 6.5	1185.3	679.5	1188.3	2325
V1 – 7.0	1192.9	680.6	1196.3	2308
V2 – 7.0	1198.9	686.6	1200.7	2327
V3 – 7.0	1197.2	687.5	1198.5	2338
V4 – 7.0	1204.6	695.0	1207.0	2347
V5 – 7.0	1202.5	692.8	1204.3	2345
Průměr vzorků – 6.5	-	-	-	2322
Průměr platných vzorků – 7.0	-	-	-	2339

Objemové hmotnosti v závislosti na obsahu asfaltového pojiva směsi DP 35 BG

Hustota vody (22.4 a 24.4 °C) [kg/m ³]: 997.752 (obsah 6.2 %) a 997.269 (obsah 5.8 %)				
Označení vzorku – obsah asfaltu [%]	m _d (suchá) [g]	m _w (ve vodě) [g]	m _n (osušená) [g]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
BG1 – 6.2	1187.6	693.9	1191.0	2384
BG2 – 6.2	1195.1	697.2	1198.4	2379
BG3 – 6.2	1195.8	696.4	1198.6	2376
BG1 – 5.8	1215.7	707.3	1218.8	2370
BG2 – 5.8	1213.0	705.3	1215.5	2371
BG3 – 5.8	1212.7	704.6	1215.1	2369
Průměr vzorků – 6.2	-	-	-	2380
Průměr vzorků – 5.8	-	-	-	2370

**Objemové hmotnosti Marshallových těles směsi DP 35 BG na zkoušku ITSR (I) a
zkoušku zmrazovacích cyklů (Z), (hutněno 2x25 úderů)**

Hustota vody (25.8 °C) [kg/m³]: 996.906

Označení vzorku – obsah asfaltu [%] (typ zkoušky –I/Z)	m _d (suchá) [g]	m _w (ve vodě) [g]	m _n (osušená) [g]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
BG I1 – 5.8 (Z)	1202.2	695.0	1206.5	2343
BG I2 – 5.8 (I)	1197.6	691.4	1202.6	2335
BG I3 – 5.8 (I)	1200.1	693.4	1204.9	2339
BG I4 – 5.8 (I)	1201.2	693.3	1205.2	2339
BG I5 – 5.8 (Z)	1201.9	693.1	1205.2	2340
BG I6 – 5.8 (I)	1202.3	694.2	1207.2	2336
BG I7 – 5.8 (Z)	1200.0	690.3	1204.9	2325
BG I8 – 5.8 (I)	1204.3	694.0	1209.4	2329
BG I9 – 5.8 (I)	1203.3	692.3	1207.3	2329
BG I10 – 5.8 (I)	1201.8	689.6	1206.2	2319
BG I11 – 5.8 (Z)	1204.0	692.4	1207.2	2332
BG I12 – 5.8 (I)	1201.3	689.0	1205.2	2320
Průměr vzorků	-	-	-	2332

Vzorec použitý pro výpočet objemové hmotnosti:

$$\rho = \frac{m_d}{m_n - m_w} * \rho_w$$

ρobjemová hmotnost Marshallova tělesa [kg/m³]

$m_{d,n,w}$hmotnost tělesa suchého, osušeného, ve vodě [g]

ρ_wobjemová hmotnost vody při dané teplotě [kg/m³]

5 OBJEMOVÉ HMOTNOSTI A MÍRY ZHUTNĚNÍ ZKUŠEBNÍCH DESEK SMĚSÍ DP 35 A DP 35 BG

Teplota vody [°C]	22	23	24	26	27
Hustota vody [kg/m ³]	997.844	997.612	997.369	996.853	996.578
Označení tělesa (teplota vody)	m_d (suchá) [g]	m_w (ve vodě) [g]	m_n (osušená) [g]	Objemová hmotnost [kg/m ³]	Míra zhutnění [%]
D1 – Cyklon (22)	10860.0	6263.0	10896.0	2339	100.00
D2 – Trap I (24)	9324.0	5381.0	9353.0	2341	100.10
D3 – Trap II (24)	9308.0	5368.0	9339.0	2338	99.95
D4 – Trap III (24)	9320.0	5368.0	9344.0	2338	99.95
D5 – Koleje II (23)	7771.0	4490.0	7796.0	2345	100.25
D6 – Koleje III (22)	9734.0	5628.0	9763.0	2349	100.43
Průměr směsi DP 35	-	-	-	2340	100.11
D1 – BG (Koleje I) (27)	7888.0	4594.5	7926.0	2360	99.56
D2 – BG (Kolej II) (27)	7892.0	4603.0	7930.0	2364	99.75
D3 – BG (Cyklon) (26)	11045.0	6443.0	11065.0	2382	100.51
D4 – BG (Moduly) (26)	9461.0	5516.5	9493.0	2372	100.07
D5 – BG (Moduly 2) (26)	9463.5	5517.5	9484.0	2378	100.35
D6 – BG (Moduly 3) (22)	9461.0	5529.0	9488.0	2385	100.62
Průměr směsi DP 35	-	-	-	2371	100.14

Vzorec použitý pro výpočet objemové hmotnosti:

$$\rho = \frac{m_d}{m_n - m_w} * \rho_w$$

ρobjemová hmotnost Marshallova tělesa [kg/m³]

$m_{d,n,w}$hmotnost tělesa suchého, osušeného, ve vodě [g]

ρ_wobjemová hmotnost vody při dané teplotě [kg/m³]

6 MAXIMÁLNÍ OBJEMOVÉ HMOTNOSTI

Směs DP 35

Hustota rozpouštědla [Mg/m ³]			Objemová hmotnost asfaltu [kg/m ³]		
1.616			1041		
Označení tělesa – obsah asfaltu	Objem pyknometru [cm ³]	m _p [g]	m _{p+n} [g]	m _{p+n+t} [g]	Maximální objemová hmotnost [kg/m ³]
PII – 6.5	1320.600	703.30	1767.60	3191.55	2429
PII – 7.0	1323.408	693.14	1773.40	3191	2422
PV – 7.0	1298.616	688.02	1748.00	3138.7	2421
PVI – 7.0	1320.600	703.30	1903.90	3239.3	2420

Směs DP 35 BG

Hustota rozpouštědla [Mg/m ³]			Objemová hmotnost asfaltu [kg/m ³]		
1.616			1014		
Označení tělesa – obsah asfaltu	Objem pyknometru [cm ³]	m _p [g]	m _{p+n} [g]	m _{p+n+t} [g]	Maximální objemová hmotnost [kg/m ³]
PV – 6.2	1323.408	693.14	1893.1	2719.3	2425
PIII – 5.8	1308.164	685.31	1903.2	2712.4	2452
PVI – 5.8	1298.616	688.02	1910.0	2707.4	2449

Vzorec použitý pro výpočet maximální objemové hmotnosti:

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

ρ_{mv}maximální objemová hmotnost asfaltové směsi [kg/m³]

m_1hmotnost pyknometru a nástavce [g]

m_2hmotnost pyknometru, nástavce a zkušební vzorku [g]

m_3hmotnost pyknometru, nástavce, zkušební vzorku a destilované vody nebo rozpouštědla [g]

ρ_wobjemová hmotnost vody nebo rozpouštědla při dané teplotě [kg/m³]

V_pobjem pyknometru [m³]

7 MEZEROVITOST (V_m), MEZEROVITOST SMĚSI KAMENIVA (VMA), STUPEŇ VYPLNĚNÍ MEZER (VFB)

Mezerovitost asfaltové směsi (V_m)

Mezerovitost (V_m) – množství asfaltu [%]	Hodnota V_m [%]
V_m DP 35 – 6.5	4.405
V_m DP 35 – 7.0	3.427
V_m DP 35 – 7.0	3.387
V_m DP 35 – 7.0	3.347
Průměr V_m DP 35 – 7.0	3.390
V_m DP 35 BG – 6.2	1.856
V_m DP 35 BG – 5.8	3.344
V_m DP 35 BG – 5.8	3.226
Průměr V_m DP 35 BG – 5.8	3.290

Mezerovitost směsi kameniva (VMA)

Mezerovitost směsi kameniva (VMA) – množství asfaltu [%]	Hodnota VMA [%]
VMA DP 35 – 6.5	18.90
VMA DP 35 – 7.0	19.16
VMA DP 35 – 7.0	19.12
VMA DP 35 – 7.0	19.08
Průměr VMA DP 35 – 7.0	19.12
VMA DP 35 BG – 6.2	16.41
VMA DP 35 BG – 5.8	16.90
VMA DP 35 BG – 5.8	16.78
Průměr VMA DP 35 BG – 5.8	16.84

Stupeň vyplnění mezer pojivem (VFB)

Stupeň vyplnění mezer pojivem (VFB) – množství asfaltu [%]	Hodnota VFB [%]
VFB DP 35 – 6.5	76.70
VFB DP 35 – 7.0	82.11
VFB DP 35 – 7.0	82.28
VFB DP 35 – 7.0	82.45
Průměr VFB DP 35 – 7.0	82.28
VFB DP 35 BG – 6.2	88.69
VFB DP 35 BG – 5.8	85.74
VFB DP 35 BG – 5.8	86.35
Průměr VFB DP 35 BG – 5.8	86.05

Vzorce použité pro výpočet mezerovitosti, mezerovitost směsi kameniva a stupně vyplnění mezer:

$$V_M = \left(1 - \frac{\rho_{bssd}}{\rho_{mv}}\right) * 100$$

V_Mmezerovitost asfaltové směsi [%]

ρ_{bssd}objemová hmotnost zkoušeného tělesa [kg/m³]

ρ_{mv}maximální objemová hmotnost asfaltové směsi [kg/m³]

$$VMA = V_M + B * \frac{\rho_b}{\rho_B}$$

VMAmezerovitost směsi kameniva [%]

Bobsah pojiva ve směsi [%]

ρ_bmaximální objemová hmotnost tělesa [kg/m³]

ρ_Bobjemová hmotnost pojiva [kg/m³]

$$VFB = \frac{B * \rho_b}{VMA}$$

VFBstupeň vyplnění mezer pojivem [%]

Bobsah pojiva ve směsi [%]

ρ_bmaximální objemová hmotnost tělesa [kg/m³]

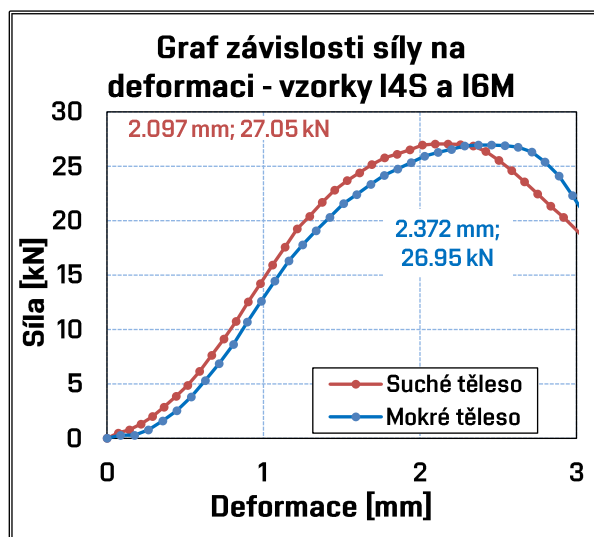
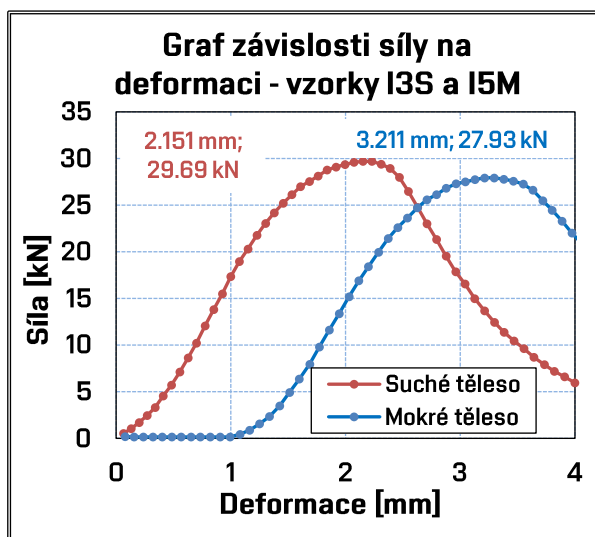
ρ_Bobjemová hmotnost pojiva [kg/m³]

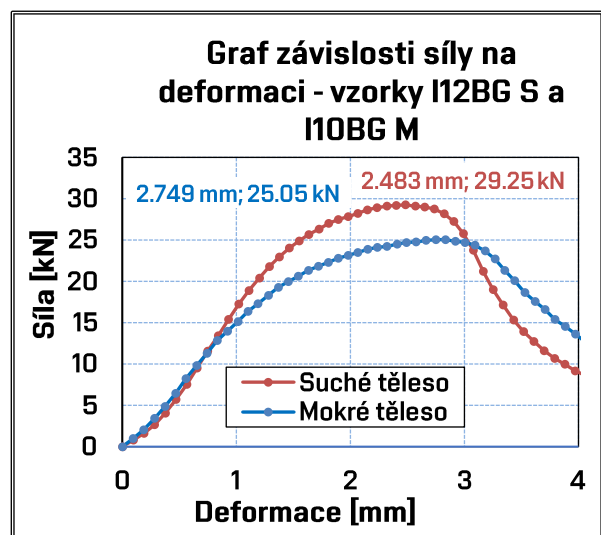
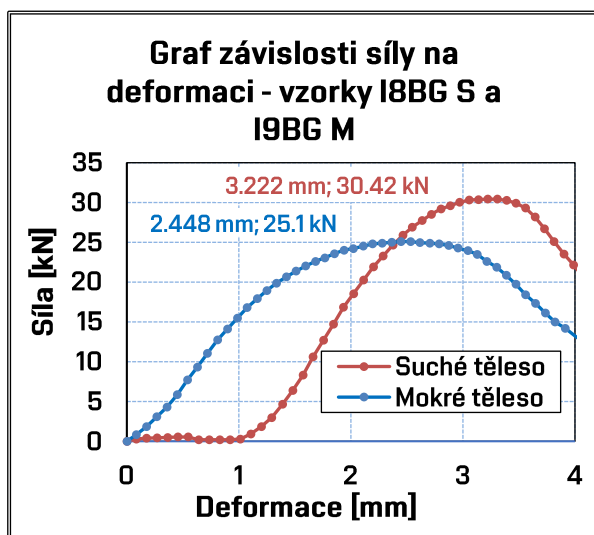
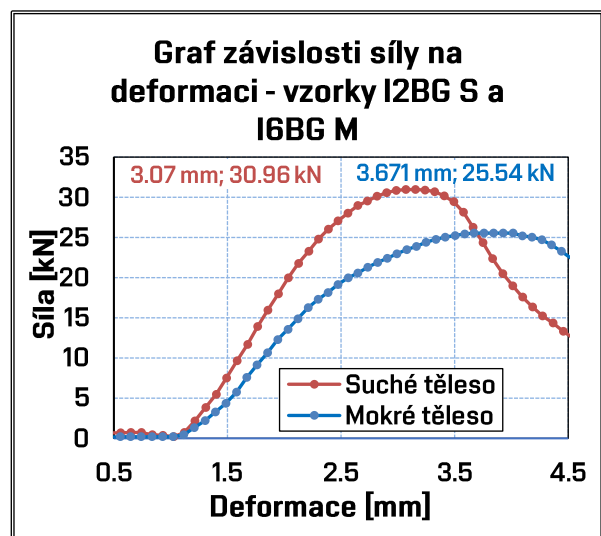
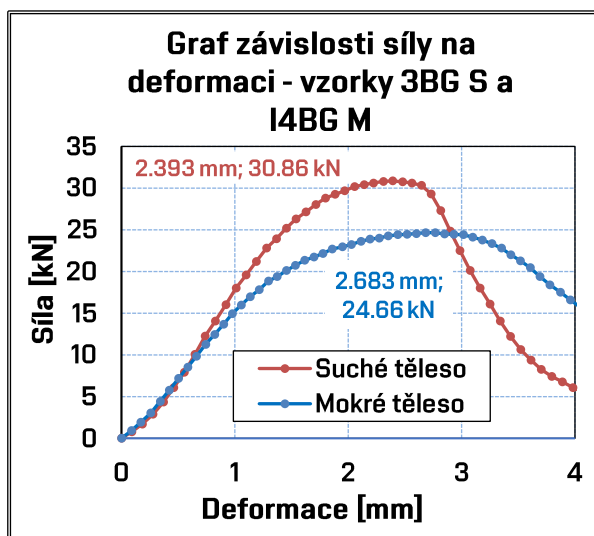
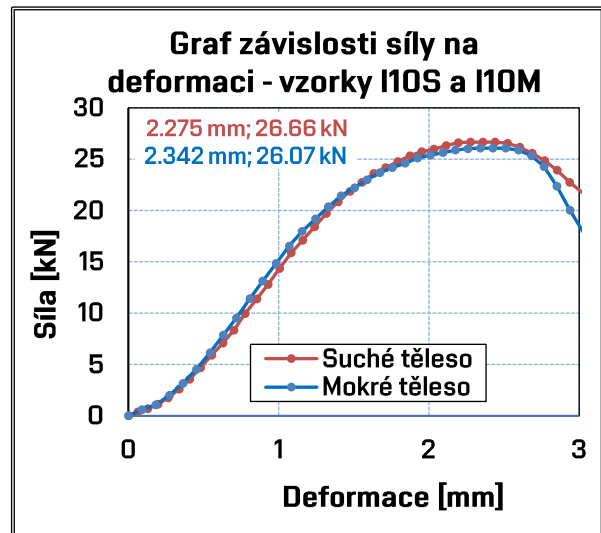
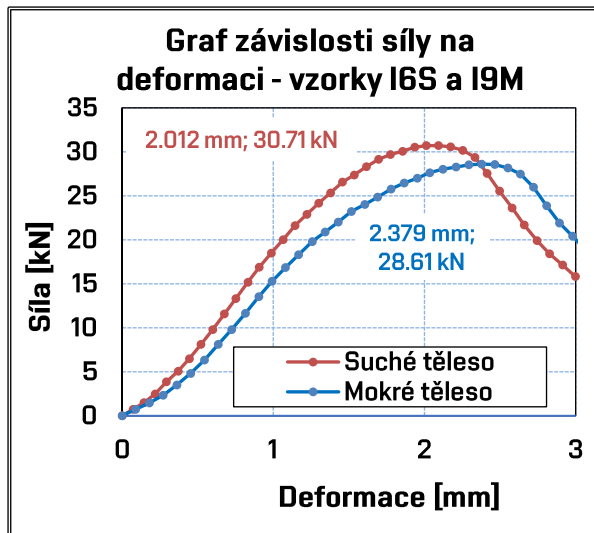
VMAmezerovitost směsi kameniva [%]

8 ITSr

Výšky všech použitých vzorků se nacházely v rozmezí 64.0 ± 0.5 mm a průměry těchto vzorků byly 101.6 ± 0.1 mm.

Označení	Maximální dosažená síla [kN]		Maximální deformace [mm]		ITSr [%]
	Suchá tělesa	Mokrá tělesa	Suchá tělesa	Mokrá tělesa	
3 S + 5 M	29,69	27,93	2.15	3.21	94,07
4 S + 6 M	27,05	26,95	2.10	2.37	99,79
6 S + 9 M	31,59	28,61	0.83	2.38	90,66
10 S + 10 M	26,66	26,07	2.28	2.34	97,79
Průměr	-	-	-	-	94,17
3BG S + 4BG M	30,86	24,66	2.39	2.68	80,11
2BG S + 6BG M	30,96	25,54	3.07	3.67	82,62
8BG S + 9BG M	30,42	25,1	3.22	2.45	82,38
12BG S + 10BG M	29,25	25,05	2.48	2.75	85,51
Průměr	-	-	-	-	82,66





9 VYSTAVENÍ ZKUŠEBNÍCH TĚLES ZMRAZOVACÍM CYKLŮM A CHRL

Označení	Síla [kN]		Deformace [mm]		ITSR [%]
	Suchá tělesa	Zmrazovaná tělesa	Suchá tělesa	Zmrazovaná tělesa	
3 S + 1 Z	29,69	32,71	2,15	2,56	110,52
4 S + 2 Z	27,05	30,91	2,10	2,94	114,8
6 S + 7 Z	31,59	33,11	0,83	2,67	105,74
10 S + 12 Z	26,66	26,56	2,28	2,91	99,57
Průměr	-	-	-	-	107,66
3BG S + 1BG Z	30,86	32,42	2,39	3,48	105,32
2BG S + 5BG Z	30,96	27,05	3,07	2,92	87,42
8BG S + 11 BG Z	30,42	34,47	3,22	2,51	109,3
12BG S + 7 BG Z	29,25	31,99	2,48	3,45	113,07
Průměr	-	-	-	-	109,23

10 ZKOUŠKA POJÍŽDĚNÍM KOLEM

Vzorce použité pro výpočet přírůstku hloubky koleje po 10 000 cyklech a průměrná hloubka vyjeté koleje asfaltové směsi na vzduchu po 10 000 cyklech:

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

WTS_{AIR}přírůstek hloubky koleje po 10 000 cyklech [mm]

$d_{5\,000, 10\,000}$hloubka vyjeté koleje po 5000, resp. 10 000 cyklech [mm]

$$PRD_{AIR} = \frac{d_{5\,000}}{t}$$

PRD_{AIR}průměrná hloubka vyjeté koleje asfaltové směsi na vzduchu po 10 000 cyklech [%]

$d_{5\,000}$hloubka vyjeté koleje po 5000 cyklech [mm]

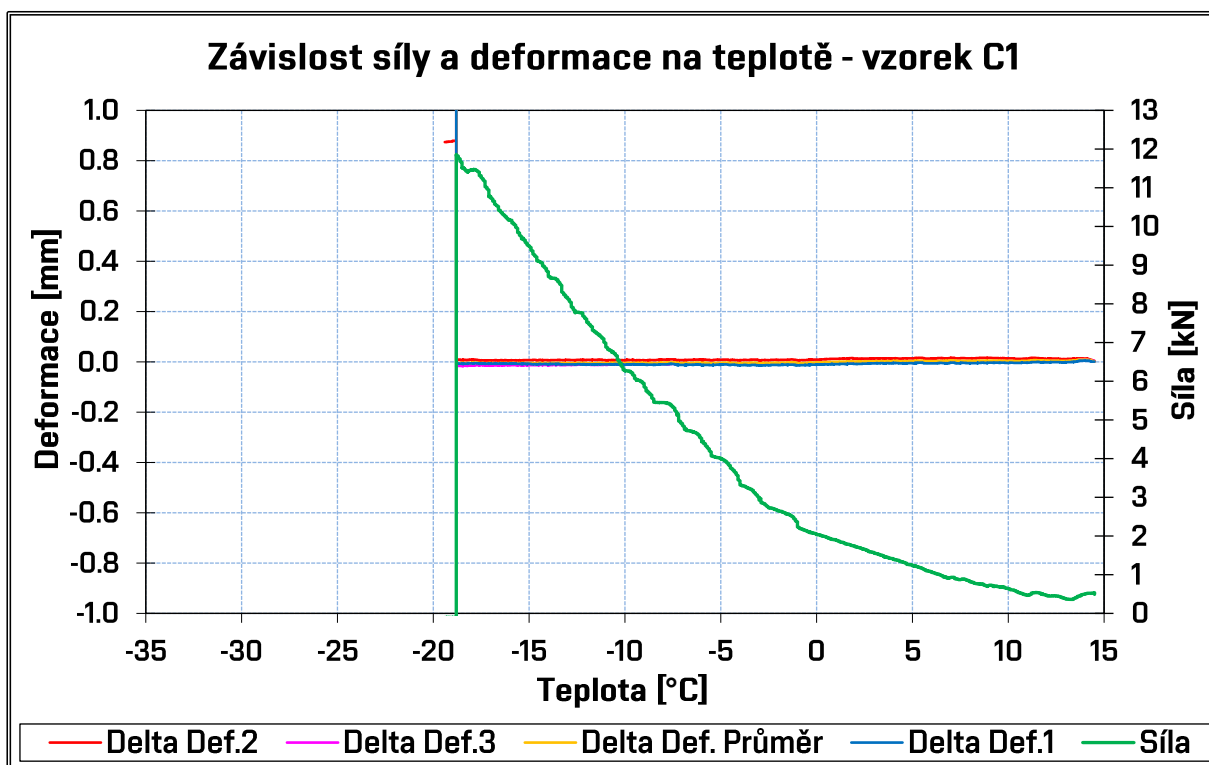
tprůměrná tloušťka desky [mm]

	Hloubka koleje [0,01 mm]					
Počet cyklů	D6 (DP 35)	D5 (DP 35)	Průměr (DP 35)	D1-BG (DP 35 BG)	D2-BG (DP 35 BG)	Průměr (DP 35 BG)
0	0	0	0	0	0	0
1000	97	95	96	102	93	98
2000	114	119	117	123	120	122
3000	130	131	131	139	136	138
4000	141	140	141	149	148	149
5000	150	147	149	158	156	157
6000	156	151	154	165	162	164
7000	162	154	158	170	169	170
8000	166	160	163	175	174	175
9000	170	163	167	179	178	179
10000	173	163	168	184	182	183

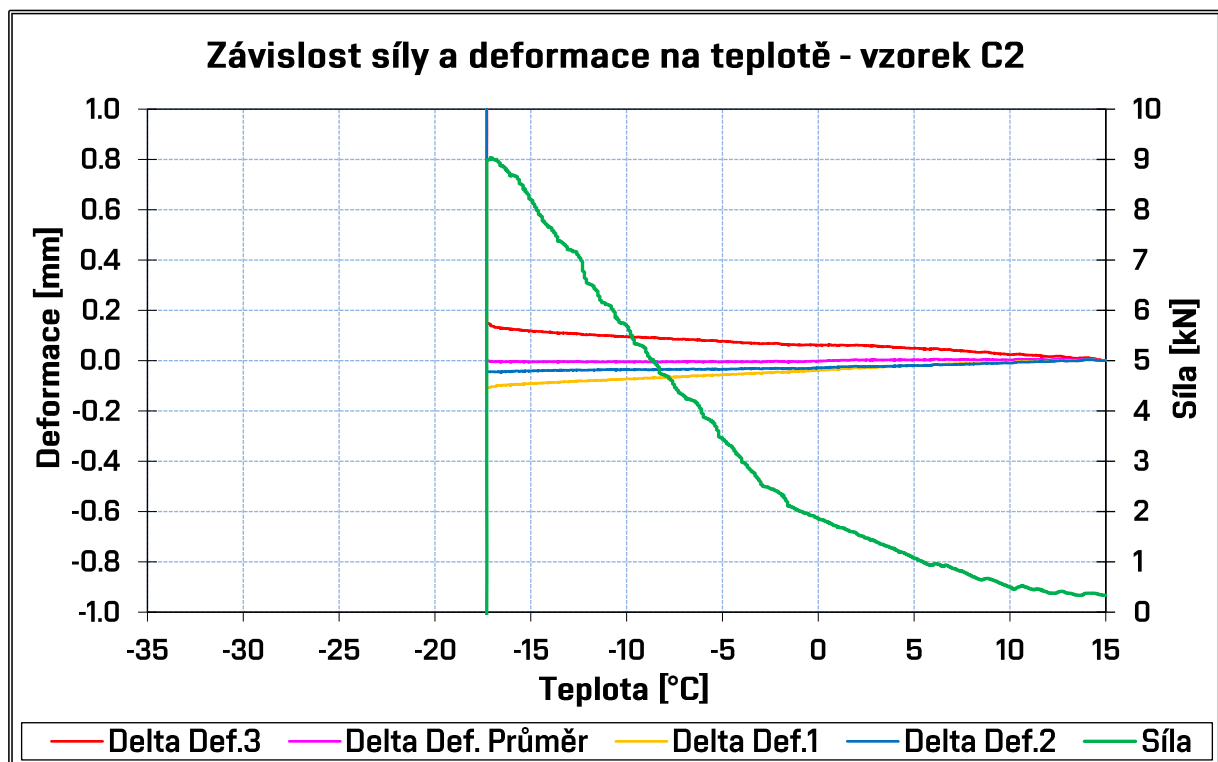
	Výška desky [mm]			
Číslo měření	D6 (DP 35)	D5 (DP 35)	D1-BG (DP 35 BG)	D2-BG (DP 35 BG)
1	40,2	42,0	42,5	41,7
2	40,7	42,0	40,8	40,8
3	40,5	41,5	42,3	42,7
4	41,0	41,0	40,8	42,6
5	40,7	41,0	40,8	42,2
6	41,2	41,8	41,8	39,9
7	40,4	41,4	41,9	40,0
8	40,1	40,0	40,6	41,7
Průměr	40,60	41,34	41,44	41,45

11 STANOVENÍ NÍZKOTEPLTNÍCH VLASTNOSTÍ

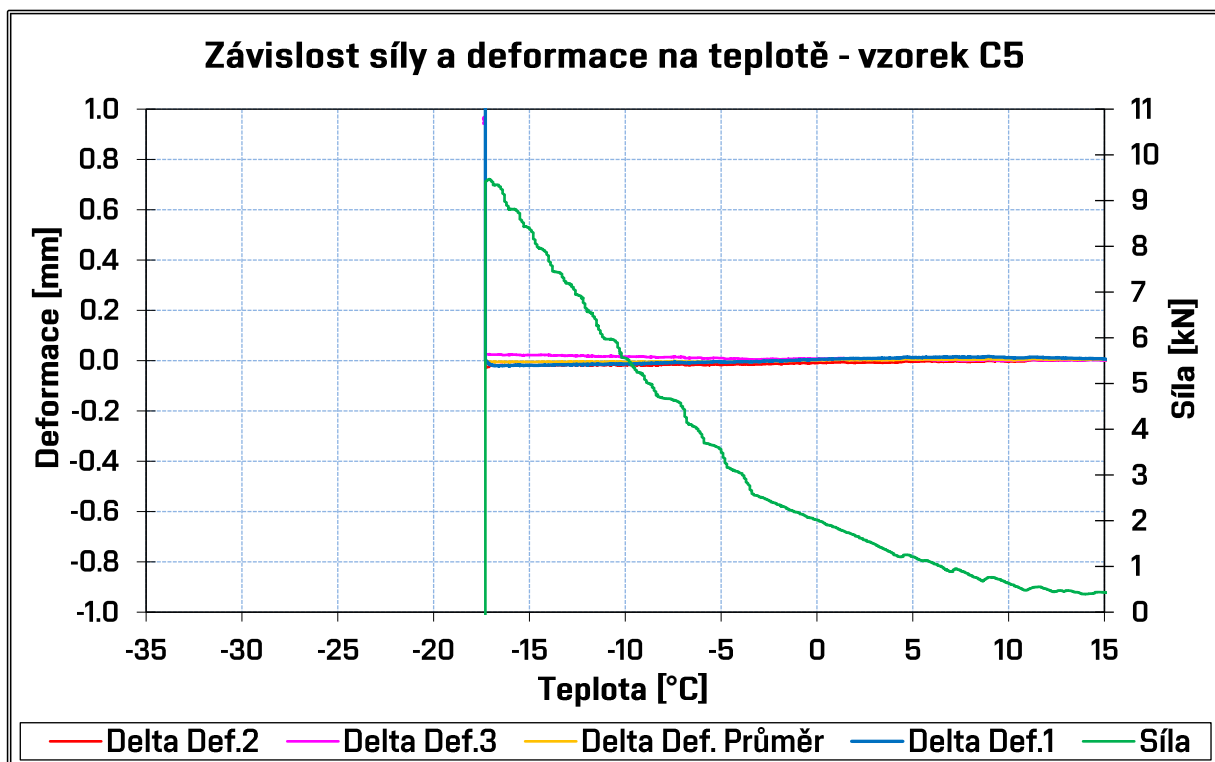
Akce:	SPDP
Asfaltová směs:	C1 (DP 35)
Rozměry zkušebního tělesa - mm:	50 x 50 x 200
Datum zkoušky:	21.07.2020
Zkoušku provedl:	Karel
Teplota temperování - °C:	10
Doba temperování - min.:	15
Rychlost ochlazování - °C/hod:	10
Max. síla při porušení - kN:	11.85
Max. napětí při porušení - MPa:	4.74
Teplota v komoře při porušení - °C:	-20.6
Teplota vzorku při porušení - °C:	-18.8



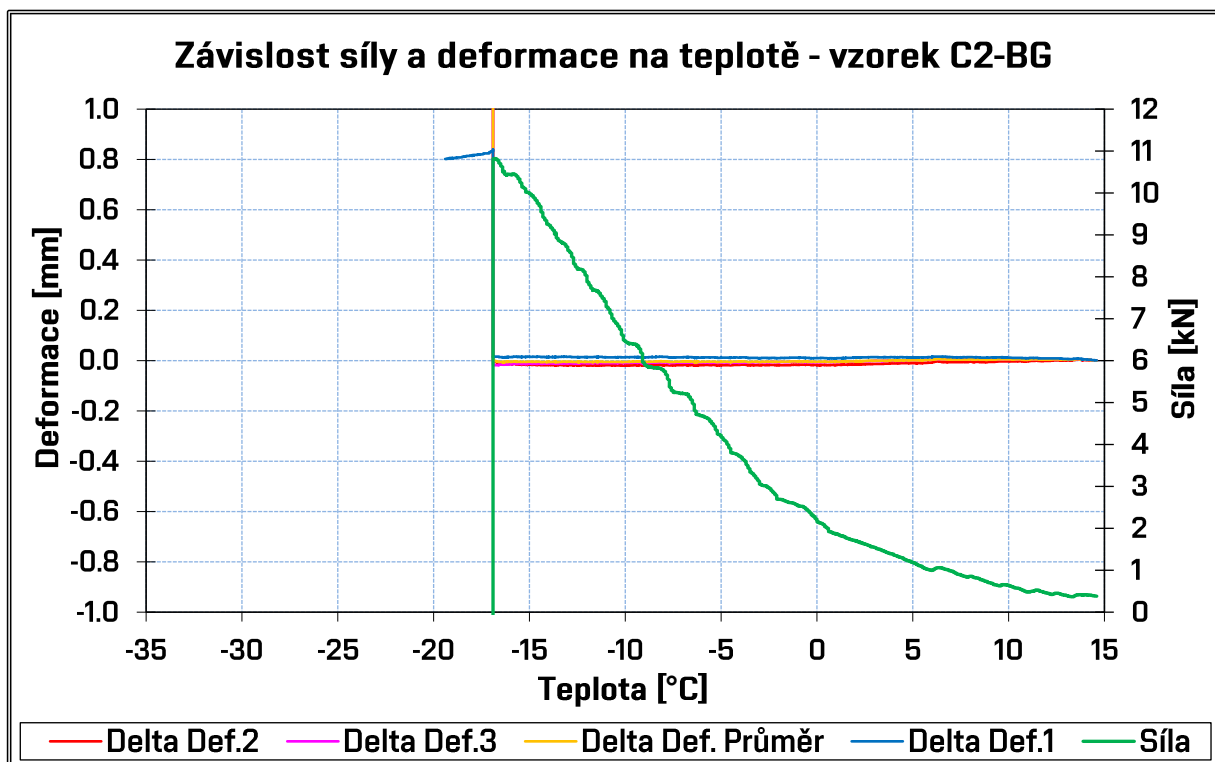
Akce:	SPDP
Asfaltová směs:	C2 (DP 35)
Rozměry zkušebního tělesa - mm:	50 x 50 x 200
Datum zkoušky:	29.07.2020
Zkoušku provedl:	Karel
Teplota temperování - °C:	10
Doba temperování - min.:	15
Rychlost ochlazování - °C/hod:	10
Max. síla při porušení - kN:	9.47
Max. napětí při porušení - MPa:	3.79
Teplota v komoře při porušení - °C:	-20.3
Teplota vzorku při porušení - °C:	-17.1



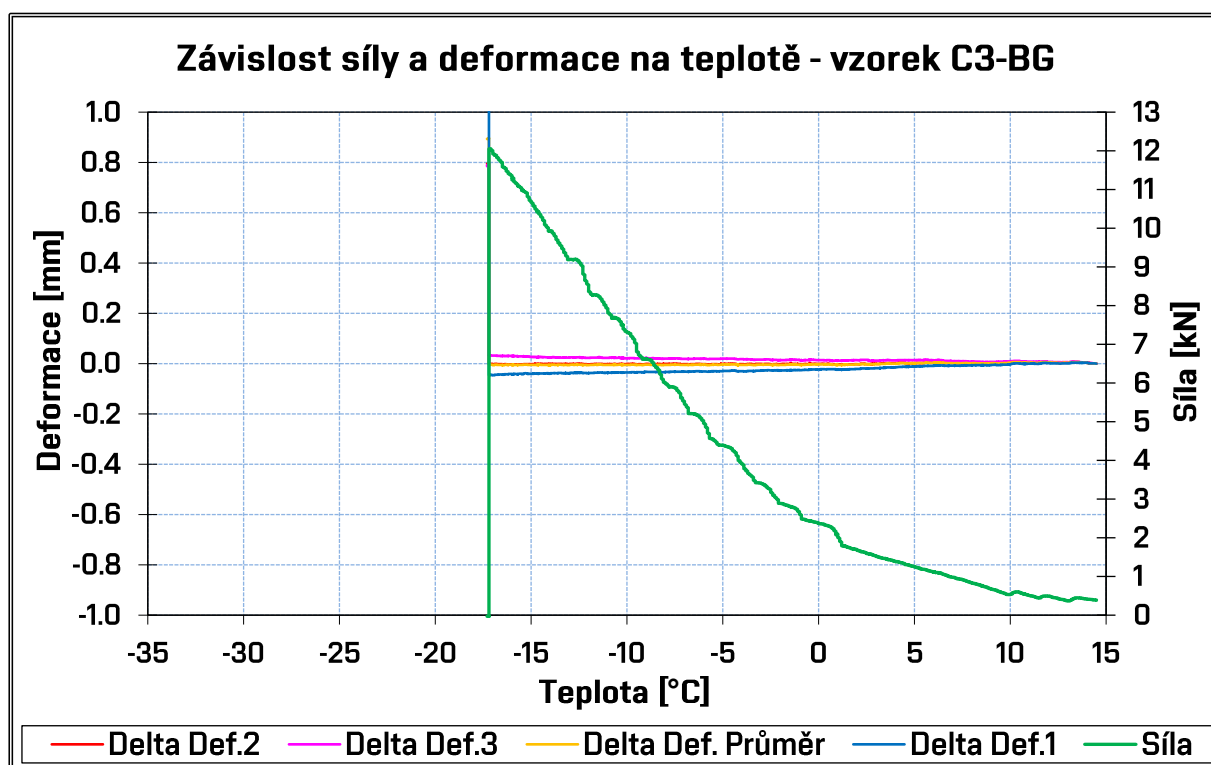
Akce:	SPDP
Asfaltová směs:	C5 (DP 35)
Rozměry zkušebního tělesa - mm:	50 x 50 x 200
Datum zkoušky:	29.07.2020
Zkoušku provedl:	Karel
Teplota temperování - °C:	10
Doba temperování - min.:	15
Rychlost ochlazování - °C/hod:	10
Max. síla při porušení - kN:	9.47
Max. napětí při porušení - MPa:	3.79
Teplota v komoře při porušení - °C:	-20.3
Teplota vzorku při porušení - °C:	-17.1



Akce:	SPDP
Asfaltová směs:	C2-BG (DP 35 BG)
Rozměry zkušebního tělesa - mm:	50 x 50 x 200
Datum zkoušky:	19.08.2020
Zkoušku provedl:	Karel
Teplota temperování - °C:	10
Doba temperování - min.:	15
Rychlost ochlazování - °C/hod:	10
Max. síla při porušení - kN:	10.82
Max. napětí při porušení - MPa:	4.33
Teplota v komoře při porušení - °C:	-20.5
Teplota vzorku při porušení - °C:	-16.8



Akce:	SPDP
Asfaltová směs:	C3-BG (DP 35 BG)
Rozměry zkušebního tělesa - mm:	50 x 50 x 200
Datum zkoušky:	20.08.2020
Zkoušku provedl:	Karel
Teplota temperování - °C:	10
Doba temperování - min.:	15
Rychlost ochlazování - °C/hod:	10
Max. síla při porušení - kN:	12.05
Max. napětí při porušení - MPa:	4.82
Teplota v komoře při porušení - °C:	-20.2
Teplota vzorku při porušení - °C:	-17.2



12 STANOVENÍ MODULŮ TUHOSTI

SMĚS DP 35

f [Hz]	T [°C]	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Průměr
1	20	5752	5535	5717	5908	5996	6254	5860
5	20	8033	7681	7989	8194	8252	8461	8102
10	20	9095	8699	9058	9236	9279	9458	9138
15	20	9670	9202	9640	9803	9854	9991	9693
20	20	10093	9647	10115	10273	10299	10464	10149
25	20	10394	10112	10368	10711	10717	10717	10503
30	20	10850	11111	10876	11897	11138	11203	11179
1	15	7796	7862	8115	8085	8120	8481	8077
5	15	10476	10055	10504	10402	10560	10733	10455
10	15	11530	11061	11471	11523	11614	11710	11485
15	15	12062	11526	12078	11982	12157	12226	12005
20	15	12470	11945	12527	12453	12599	12707	12450
25	15	12739	12137	12776	12742	12881	12894	12695
30	15	13239	13630	13433	14434	13405	13482	13604
1	10	10663	10292	10656	10662	10716	10871	10643
5	10	-	-	-	12739	13047	12989	12925
10	10	-	-	-	13752	14057	13944	13918
15	10	-	-	-	14318	14548	14437	14434
20	10	-	-	-	14614	14928	14872	14805
25	10	-	-	-	14903	15170	15062	15045
30	10	-	-	-	16855	15649	15749	16084

SMĚS DP 35 BG

f [Hz]	T [°C]	T3-BG	T4-BG	T5-BG	T6-BG	T15-BG	Průměr
1	20	6464	6671	6463	6829	6027	6491
5	20	8959	9285	8997	9347	8715	9061
10	20	10186	10609	10185	10527	10011	10304
15	20	10732	11348	10778	11152	10665	10935
20	20	11303	11810	11279	11678	11080	11430
25	20	11573	12184	11581	11969	11345	11730
30	20	13122	12892	12104	12546	12369	12607
1	15	9195	9781	9115	9634	8474	9240
5	15	11836	12566	11766	12334	11086	11918
10	15	13023	13864	12950	13518	12237	13118
15	15	13574	14575	13568	14139	13033	13778
20	15	14128	14966	14017	14635	13571	14263
25	15	14368	15321	14292	14898	13768	14529
30	15	15149	16258	14773	15693	15024	15379
1	10	12186	12882	12104	12589	11329	12218
5	10	14650	15501	14603	15168	13749	14734
10	10	15774	16759	15681	16303	14805	15864
15	10	16281	17431	16180	16857	15284	16407
20	10	16746	17752	16592	17312	15787	16838
25	10	16917	18063	16806	17502	16250	17108
30	10	17834	19159	17245	18496	17681	18083

13 NABÍDKOVÝ ROZPOČET STAVBY – SILNICE II/390 NEDVĚDICE - SEJŘEK

V této příloze je zobrazen položkový rozpočet pokládky nové obrusné vrstvy v úseku Nedvědice - Sejřek, který je zmíněn ve shrnutí této práce. Rozpočet je uveden jako příklad cenové kalkulace stavby a může sloužit k porovnání s cenami asfaltových směsí navržených v této práci. U nich však nejsou započítány náklady ovlivňující výslednou cenu (mzdy, režie, zisk atd.) a pro porovnání je proto nutné tyto výlohy připočítat.

Stavba: 13113100-1 - II/390 Nedvědice - Sejřek - dodatek č.1
 Objednatel:
 Zhotovitel:
 Měna: Kč

JKSO:
 EČO:
 Zpracoval:
 Datum: 3.12.2013

P.č.	Kód položky	Popis	M.j.	Množství celkem	Cena jednotková	Cena celk.
1	2	3	4	5	6	7
	13113100-1	II/390 Nedvědice - Sejřek - dodatek č.1				
	001	Oprava krytu				
	1	Zemní práce				
001	113154113	Průřezání živého krytu tl 50 mm pruh š 0,5 m pl do 500 m2 bez překážek v tra	m2	53,00000	291,00	15 423,00
009	997006512	Vodorovné doprava suší s naložením a složením na skládku do 1 km	t	6,78400	122,70	832,40
010	997006519	Příplatek k vodorovnému přemíslení suší na skládku ZKD 1 km přes 1 km	t	6,78400	14,72	99,86
	1	Zemní práce				16 355,26
	5	Komunikace				
002	572141111	Vyrovnání povrchu dosavadních krytů asfaltovým betonem ACO (AB)	t	223,87200	1 923,94	430 716,30
002A	572141111	Vyrovnání povrchu dosavadních krytů asfaltovým betonem ACO (AB)	t	87,07150	1 923,94	167 520,34
003	573231111	Postřik živčný spojovací ze silniční emulze v množství do 0,7 kg/m2	m2	8 745,00000	12,76	111 586,20
004	577144111	Asfaltový beton vrstva obrusná ACO 11 (ABS) tř. 1 tl 50 mm	m2	8 745,00000	229,89	2 006 639,05
	5	Komunikace				2 716 461,89
	9	Ostatní konstrukce a práce				
005	919110000	Prořezání a ošetření spár záhlvkou v živčném krytu	m	1 660,60000	88,34	146 697,40
005A	919110000	Prořezání a ošetření spár záhlvkou v živčném krytu	m	-1 660,60000	88,34	-146 697,40
006	919731121	Zarovnání slyšné plochy podkladu nebo krytu živčného tl do 50 mm	m	10,60000	24,54	260,12
007	919735111	Řezání stávajícího živčného krytu tl do 50 mm	m	10,60000	88,34	936,40
008	938908411	Zametení povrchu krytu nebo podkladu živčného	m2	8 745,00000	5,89	51 508,05
011	998225111	Přesun hmot pro pozemní komunikace s krytem živčným	t	1 343,23200	4,91	6 595,27
011A	998225111	Přesun hmot pro pozemní komunikace s krytem živčným	t	14,48800	4,91	71,14
012	999000000	Přechodné dopravní značení vč. řízení dopravy během provádění - DIO	ks	1,00000	14 724,00	14 724,00
	9	Ostatní konstrukce a práce				74 094,98
	001	Celkem Oprava krytu				2 808 912,13
	13113100-1	Celkem II/390 Nedvědice - Sejřek - dodatek č.1				2 808 912,13

14 UKÁZKA VÝPOČTU DÁVKOVÁNÍ KAMENIVA PŘI POUŽITÍ R-MATERIÁLU

VÝPOČET DÁVKOVÁNÍ KAMENIVA A ASFALTOVÉHO POJIVA PŘI POUŽITÍ R-MATERIÁLU		
MNOŽSTVÍ DÁVKOVANÉHO R-MATERIÁLU VE SMĚSI:	35.00	%
MNOŽSTVÍ ASFALTOVÉHO POJIVA V R-MATERIÁLU:	5.60	%
POŽADOVANÉ MNOŽSTVÍ ASFALTOVÉHO POJIVA VE SMĚSI:	5.80	%
POŽADOVANÁ HMOTNOST NAVÁŽKY ASFALTOVÉ SMĚSI:	10.00	kg
HMOTNOST KAMENIVA VE SMĚSI BEZ KAMENIVA Z R-MATERIÁLU:	6.116	kg
HMOTNOST KAMENIVA VE SMĚSI VČ. KAMENIVA Z R-MATERIÁLU:	9.420	kg
HMOTNOST DÁVKOVANÉHO POJIVA VE SMĚSI:	0.384	kg
HMOTNOST R-MATERIÁLU VE SMĚSI:	3.500	kg
DÁVKOVÁNÍ JEDNOTLIVÝCH FRAKČÍ		
	MNOŽSTVÍ [%]	MNOŽSTVÍ NA 10 kg [g]
FILLER	2.600	244.920
0/4	15.912	1498.910
4/8	21.879	2061.002
8/11	24.535	2311.197
R-MAT	35.074	3303.971
SUMA	100.00	%

	=	VYPLNIT
	=	VÝSLEDEK

KONTROLY	
10000	g
10000	g

*Jedná se pouze o kamenivo z R-materiálu bez asfaltového pojiva. Množství zde uvedené navážky R-materiálu slouží pouze k návrhu množství jednotlivých frakcí. Při přípravě směsi je potřeba dávkovat R-materiál dle množství v buňce **HMOTNOST R-MATERIÁLU VE SMĚSI**.