



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

# VYUŽITÍ R-MATERIÁLU V ASFALTOVÝCH SMĚSÍCH

USAGE OF RECLAIMED ASPHALT MATERIAL IN ASPHALT MIXTURES

## HABILITAČNÍ PRÁCE

HABILITATION

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. Petr Hýzl, Ph.D.

BRNO 2018

## ABSTRAKT

Habilitační práce je zaměřena na problematiku využívání R-materiálu v hutněných asfaltových směsích. V teoretické části práce je popsán stávající stav v oblasti přidávání R-materiálu do asfaltových směsí a to jak z pohledu legislativního a normového, tak i z pohledu ekologického a ekonomického. Je mj. popisována problematika stárnutí asfaltových pojiv a směsí a dostupné laboratorní metody, umožňující simulovat stárnutí asfaltových pojiv a asfaltových směsí v laboratorních podmínkách. Dále je rozebrána problematika rejuvenace zestárlého asfaltového pojiva v R-materiálu a technické možnosti jeho přidávání na obalovnách. Experimentální část práce je zaměřena na praktické ověření možnosti dávkování různých množství a druhů R-materiálu do v ČR nejrozšířenějších druhů asfaltových směsí - asfaltových betonů a asfaltových koberců mastixových. Byly provedeny laboratorní návrhy těchto směsí s různými podíly a druhy R-materiálu. U těchto směsí byly ověřovány jejich empirické a funkční vlastnosti. Práce vyústily ve vybudování pokusných úseků, jejichž stav je pravidelně monitorován. V závěru jsou shrnuty výsledky habilitační práce a představeny hlavní praktické výstupy - "Metodika aplikace R-materiálu do asfaltových směsí typu SMA (Stone mastic asphalt)" a nová ČSN 73 6141 s názvem „Požadavky na použití R-materiálu do asfaltových směsí“.

## KLÍČOVÁ SLOVA

R-materiál, asfaltová směs, asfaltový beton, asfaltový koberec mastixový, asfaltové pojivo, stárnutí, rejuvenace, obalovna.

## ABSTRACT

The objective of this habilitation work is to explore the use of reclaimed asphalt (RA) in compacted asphalt mixtures. The theoretical part of the thesis describes the current state of the art of adding the RA into the asphalt mixtures, analyzing the respective legislation, standards and the ecological and economic aspects. In addition, the thesis explores the aging of asphalt binders and mixtures and available laboratory methods enabling the simulation of aging asphalt binders and asphalt mixtures under laboratory conditions. Furthermore, it examines the topic of rejuvenating aged asphalt binder in RA and the technical capacities of adding the binder in the mixing plant. The objective of the experimental part of the thesis is to verify practically the dosage options of different amounts and types of RA in the asphalt mixtures that are the most commonly used ones in the Czech Republic - the asphalt concrete (AC) and the stone mastic asphalt (SMA). Laboratory design of these mixtures with different proportions and types of RA were made. The empirical and functional properties of these mixtures were verified. The work resulted in the construction of experimental sections that are regularly monitored. The thesis concludes with summarizing the results and with presenting the main practical outcomes - "The Methodology of Applying the Reclaimed Asphalt into the SMA mixtures" and the new standard ČSN 73 6141 named "The Requirements for Using Reclaimed Asphalt Material in Asphalt Mixtures".

## KEYWORDS

Reclaimed Asphalt, asphalt mixture, asphalt concrete, stone mastic asphalt, asphalt binder, aging, rejuvenation, asphalt mixing plant.

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

HÝZL, Petr. *Využití R-materiálu v asfaltových směsích*. Brno, 2018. 130 s. Habilitační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací.

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že předložená habilitační práce je původní a zpracoval jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, a že jsem ve své práci neporušil autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

V Brně dne 1. 10. 2018

---

Ing. Petr Hýzl, Ph.D.  
autor práce

## PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval svým nejbližším za podporu a trpělivost, kterou se mnou měli při zpracování habilitační práce.

## Obsah

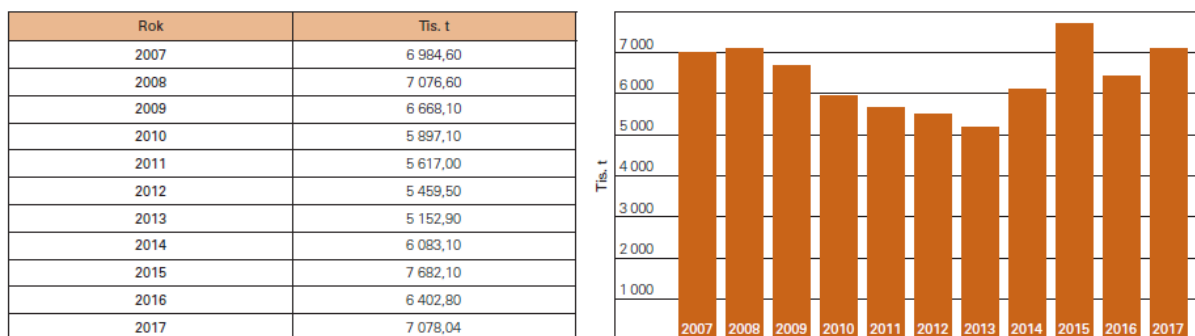
1.	ÚVOD .....	8
2.	STÁVAJÍCÍ SITUACE V ČESKÉ REPUBLICE.....	10
2.1.	Obecně.....	10
2.2.	Normové požadavky .....	10
2.3.	Finanční hledisko .....	12
2.4.	Ekologické hledisko .....	13
3.	STÁRNUTÍ ASFALTOVÝCH POJIV A SMĚSÍ .....	16
3.1.	Obecně.....	16
3.2.	Laboratorní metody pro simulaci stárnutí asfaltových pojiv .....	17
3.3.	Hodnocení náchylnosti asfaltových pojiv ke stárnutí v ČR.....	20
3.4.	Laboratorní metody pro simulaci stárnutí asfaltových směsí .....	21
3.5.	Hodnocení náchylnosti asfaltových směsí ke stárnutí v ČR .....	23
4.	MOŽNOSTI REJUVENACE ZESTÁRLÉHO POJIVA.....	24
4.1.	Přidání asfaltového pojiva s vyšší hodnotou penetrace.....	27
4.2.	Použití změkčovací nebo rejuvenační přísady.....	28
4.3.	Použití modifikovaného asfaltového pojiva typu RC.....	30
5.	VÝROBA ASFALTOVÝCH SMĚSÍ S R-MATERIÁLEM .....	32
5.1.	Přidávání R-materiálu zastudena .....	34
5.2.	Přidávání R-materiálu za tepla pomocí paralelního bubnu.....	36
5.3.	Přidávání R-materiálu v kontinuální obalovně .....	38
6.	CÍLE HABILITAČNÍ PRÁCE .....	40
7.	R-MATERIÁL VE SMĚSÍCH TYPU ASFALTOVÝ BETON .....	41
7.1.	Parametry vstupních materiálů pro laboratorní návrhy asfaltových směsí typu asfaltový beton s R-materiálem .....	41
7.1.1.	Asfaltové pojivo .....	41
7.1.2.	Kamenivo .....	42
7.1.3.	Rejuvenační přísada.....	43
7.2.	Laboratorní návrhy asfaltových směsí typu asfaltový beton s R-materiálem.....	44
7.2.1.	ACL 22+ s 0 % R-materiálu .....	45
7.2.2.	ACL 22+ s 30 % R-materiálu .....	47
7.2.3.	ACL 22+ s 50 % R-materiálu .....	49
7.2.4.	ACL 22+ s 70 % R-materiálu .....	51
7.2.5.	ACP 22+ s 0 % R-materiálu .....	53

7.2.6.	ACP 22+ s 30 % R-materiálu .....	55
7.2.7.	ACP 22+ s 50 % R-materiálu .....	57
7.2.8.	ACP 22+ s 70 % R-materiálu .....	59
7.3.	Parametry asfaltových směsí typu asfaltový beton s R-materiálem.....	61
7.3.1.	Parametry asfaltových směsí typu ACL 22+ s 0 %, 30 %, 50 % a 70 % R-materiálu ....	61
7.3.2.	Parametry asfaltových směsí typu ACP 22+ s 0 %, 30 %, 50 % a 70 % R-materiálu ....	64
7.4.	Pokusný úsek .....	67
8.	R-MATERIÁL VE SMĚSÍCH TYPU ASFALTOVÝ KOBEREC MASTIXOVÝ.....	69
8.1.	Parametry vstupních materiálů pro laboratorní návrhy asfaltových směsí typu asfaltový koberec mastixový s R-materiálem.....	69
8.1.1.	Asfaltové pojivo .....	69
8.1.2.	Kamenivo .....	71
8.1.3.	Rejuvenační přísada.....	72
8.1.4.	Celulózová vlákna .....	72
8.2.	Laboratorní návrhy asfaltových směsí typu asfaltový koberec mastixový s R-materiálem .....	73
8.3.	Parametry asfaltových směsí typu asfaltový koberec mastixový s R-materiálem .....	74
8.4.	Pokusný úsek .....	81
9.	ZÁVĚRY.....	88
10.	POUŽITÁ LITERATURA.....	92
11.	SEZNAM OBRÁZKŮ .....	96
12.	SEZNAM GRAFŮ .....	97
13.	SEZNAM TABULEK.....	98
14.	PŘÍLOHY HABILITAČNÍ PRÁCE .....	100
14.1.	Metodika aplikace R-materiálu do asfaltových směsí typu SMA (Stone mastix asphalt) .....	100
14.2.	ČSN 73 6141 Požadavky na použití R-materiálu do asfaltových směsí .....	114

## 1. ÚVOD

Neustále se zvyšující dopravní zatížení vozovek v České republice vyžaduje potřebu jak výstavby vozovek nových, tak i oprav a rekonstrukcí vozovek stávajících.

Silniční síť v ČR má v současné době souhrnnou délku přibližně 55 000 km. Při opravách a rekonstrukcích takto rozsáhlé silniční sítě a výstavbě úseků nových dochází ke spotřebě obrovského množství surovin. Jak vyplývá ze statistiky, kterou zpracovává každoročně Sdružení pro výstavbu silnic, v případě asfaltových směsí dosahuje v ČR aktuální roční objem výroby (rok 2017) přes 7 milionů tun.



Graf 1: Vývoj objemu výroby asfaltových směsí v ČR v letech 2007 až 2017 [23]

Dle údajů Evropské asociace pro asfaltové vozovky (EAPA) činí celková délka evropské silniční sítě více než 5 milionů kilometrů, z nichž 66 700 km jsou klasifikovány jako dálnice. Roční produkce celkového počtu 4700 obaloven asfaltových směsí činí cca 282,5 milionů tun směsí [36].

Vzhledem k omezenému množství přírodních zdrojů je z dlouhodobého hlediska nevyhnutelné využívat v co možná nejvyšší míře materiály, které již jsou zabudovány ve stávajících konstrukcích vozovek. V literatuře [37] se uvádí, že v celé evropské silniční síti je zabudováno okolo 950 miliard tun asfaltových směsí.

Pomocí různých metod recyklace těchto stavebních materiálů lze dosáhnout zachování přírodních materiálových zdrojů (kamenivo, asphalt) a snížení energetické a ekonomické náročnosti stavebních prací. V oblasti asfaltových směsí lze definovat několik druhů recyklačních postupů.

V této habilitační práci je věnována pozornost využití R-materiálu v nově vyráběných asfaltových směsích na obalovnách. Jde o technologii, ve které ČR zaostává za vyspělými evropskými zeměmi (jako např. Spolková republika Německo). Jak vyplývá ze statistik za rok 2017 [23], množství R-materiálu použitého při výrobě nových asfaltových směsí na obalovně z celkového ročního objemu výroby 7 078,04 tis. tun činilo pouze 222,53 tis. tun. Toto je ve srovnání s aktuálním stavem ve světě a s technologickými možnostmi obaloven velmi nízké číslo.

Vzhledem k tomu, že cena základních komponent, potřebných pro výrobu asfaltových směsí, neustále dlouhodobě stoupá, je využívání R-materiálu do nově vyráběných směsí výhodné i z ekonomického pohledu.



Jde jednak o cenu kameniva, tak i o cenu asfaltu, který tvoří v asfaltové směsi nejdražší surovinu. V případě asfaltu lze dlouhodobě stoupající ceny demonstrovat v Grafu 2, který zobrazuje historický vývoj ceny ropy, od které je cena asfaltu vždy odvozována.



Graf 2: Historický vývoj cen ropy [22]

*Poznámka ke Grafu 2: V grafu je zřetelně vidět např. první ropnou krizi v roce 1973, kdy se cena za barel ropy přiblížila 12 dolarům, druhá ropná krize v letech 1979 až 1982 (kdy cena stoupla ze 13 na 35 dolarů za barel) a např. také ovlivnění ceny ropy vpádem Iráku do Kuvajtu v říjnu 1990 a jeho následném osvobození. Před propadem cen v roce 2008, způsobeným celosvětovou finanční krizí, ceny rostly díky poklesu zásob v USA a poptávce asijských zemí.*

V předkládané habilitační práci jsou popsány činnosti autora, které souvisejí s jeho snahou o zvýšení podílu používaného R-materiálu při výrobě nových asfaltových směsí na obalovnách v České republice.

Tyto činnosti lze zjednodušeně rozdělit na:

- laboratorní výzkum, který byl prováděn s podporou dvou výzkumných projektů Technologické agentury ČR (č. TA02030549 “Maximálně efektivní využití recyklovaných asfaltových vrstev vozovek pro výrobu asfaltových směsí” [24] a č. TA04031328 “Recyklace asfaltových koberců mastixových a vývoj speciálního celulózového vlákna do těchto typů směsí” [25]),
- realizaci pokusných úseků pro ověření laboratorního výzkumu,
- legislativní a normotvornou činnost, související s prosazením závěrů výzkumu do běžné silniční stavební praxe.

## 2. STÁVAJÍCÍ SITUACE V ČESKÉ REPUBLICE

Jak již bylo naznačeno v úvodní kapitole, Česká republika v oblasti přidávání R-materiálu do hutněných asfaltových směsí zaostává za většinou západních zemí v Evropě.

### 2.1. Obecně

V posledních letech lze vysledovat nedůvěru k využívání R-materiálu především u investorů. Jejich pochyby pravděpodobně souvisí s obavou o homogenitu a kvalitu R-materiálu, dávkovaného do asfaltových směsí a s nedůvěrou k dostatečné trvanlivosti asfaltových směsí obsahujících R-materiál.

### 2.2. Normové požadavky

V současnosti lze dle platných specifikačních norem pro asfaltové směsi řady EN 13 108 použít v případě hutněných asfaltových směsí R-materiál pouze u směsí typu asfaltový beton. Maximální množství R-materiálu pro směsi typu asfaltový beton jsou uvedeny v Národní příloze k normě ČSN EN 13108-1, konkrétně v tabulce NA-E.4.5 [26].

Tabulka 1: Nejvyšší přípustný obsah R-materiálu v % hmotnosti asfaltové směsi typu asfaltový beton [26].

Obrusné vrstvy		Ložní vrstvy		Podkladní vrstvy	
Druh směsi	R-materiál (%)	Druh směsi	R-materiál (%)	Druh směsi	R-materiál (%)
ACO 8	25	ACL 16 S	30/15 <sup>1)2)</sup>	ACP 16 S	50 <sup>1)</sup>
ACO 8 CH	25	ACL 16 +	30 <sup>1)</sup>	ACP 16 +	60
ACO 11 S	–	ACL 16	40	ACP 22 S	50 <sup>1)</sup>
ACO 11 +	–	ACL 22 S	30/15 <sup>1)2)</sup>	ACP 22 +	60
ACO 11	25	ACL 22 +	30 <sup>1)</sup>		
ACO 16 S	–	ACL 22	40		
ACO 16 +	–				
ACO 16	25				

<sup>1)</sup> 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.

<sup>2)</sup> 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.

Poznámka <sup>1)</sup> pod tabulkou, pro některé směsi typu asfaltový beton pro ložní a podkladní vrstvy, ještě odkazuje na článek 5.3.1.1. hlavního textu normy ČSN EN 13108-1 [26], ve kterém je v této souvislosti uvedeno:

“Při použití recyklovaného asfaltu ze směsí, ve kterých byl použit modifikovaný asfalt a/nebo modifikační přísada a/nebo sama směs obsahuje modifikovaný asfalt nebo

modifikátor, nesmí být množství recyklované asfaltové směsi, jestliže nebude dohodnuto jinak mezi odběratelem a výrobcem, vyšší než 10 % z celkové hmotnosti směsi pro obrusné vrstvy a 20 % z celkové hmotnosti směsi pro vyrovnávací, ložní a podkladní vrstvy. Jakákoliv dohoda mezi odběratelem a výrobcem nesmí být v rozporu s národními předpisy.“ [26]

Z výše uvedeného vyplývá, že do asfaltového betonu pro obrusné vrstvy vozovek, určeného pro nejvyšší třídy dopravního zatížení (směsi s označením “S” a “+”) nelze R-materiál použít. U ostatních směsí typu asfaltový beton pro obrusnou vrstvu vozovky (ACO 8, ACO 8 CH, ACO 11 a ACO 16) lze R-materiál dávkovat v množství do 25 %. Jde však o směsi, které lze v konstrukci vozovky použít až od IV. třídy dopravního zatížení.

U směsí typu asfaltový beton pro ložní a podkladní vrstvy vozovek je možno dávkovat R-materiál ve vyšším množství, než u vrstev obrusných. Je zde však nutno upozornit na skutečnost, že jen velmi málo obaloven asfaltových směsí v ČR (cca do 10) je schopno dávkovat R-materiál v množství vyšším než 30 %. Jde o obalovny, které jsou vybaveny tzv. paralelním bubnem, který umožňuje dávkovat do míchačky obalovny R-materiál v nahřátém stavu.

U ostatních typů hutněných asfaltových směsí, které jsou v ČR vyráběny dle EN (asfaltový koberec mastixový, asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy příp. asfaltový koberec drenážní) nelze v souladu s národními přílohami k normám ČSN EN 13108-5 [28], ČSN EN 13108-2 [29] a ČSN EN 13108-7 [30] R-materiál při jejich výrobě v současné době použít.

Požadavky na R-materiál s ohledem na vlastnosti pojiva, kameniva a cizorodých látek jsou uvedeny v ČSN EN 13108-8 ed.2 [27]. Norma zavádí mj. označování R-materiálu následujícím způsobem:

**U RA d/D** - označení zrnitosti R-materiálu (*size designation of the reclaimed asphalt*). R-materiál se značí zkratkou RA, kterou předchází označení maximální zrnitosti R-materiálu *U* (nejmenší velikost síta v milimetrech, kterým propadne 100 % zrn asfaltové směsi) a následuje ji označení zrnitosti kameniva *d/D* v milimetrech

Např.: **40 RA 0/8 mm**: R-materiál, jehož kamenivo má velikost horního síta 8 mm a zrna asfaltové směsi mají maximální velikost 40 mm. [27].

Jsou zde také definovány základní pojmy, jako:

**R-materiál** (*reclaimed asphalt*) - upravený recyklovatelný asfaltový materiál, vhodný a připravený k použití jako stavební materiál pro asfaltovou směs po jeho odzkoušení, posouzení a klasifikaci podle ČSN EN 13108-8 ed.2 [27].

**Recyklovatelný asfaltový materiál** (*site-won asphalt*) - materiál určený k recyklaci ve formě odfrézovaných či jiným způsobem vybouraných asfaltových vrstev pozemních komunikací, dopravních a jiných ploch nebo ve formě asfaltových směsí z neshodné, nadbytečné nebo nevyhovující výroby. [27].

Výše uvedený pojem „Recyklovatelný asfaltový materiál“ je v připravované nové vyhlášce Ministerstva životního prostředí, vytvořené ve spolupráci s Ministerstvem průmyslu a obchodu, která stanoví kritéria, při jejichž splnění je znovuzískaná asfaltová směs vedlejší

produktem nebo přestává být odpadem, a kritéria, při jejichž splnění přestává být asfaltová směs vyrobená z odpadní znovuzískané asfaltové směsi odpadem [31] nazývá také jako:

„**Znovuzískaná asfaltová směs**“ a definován jako: „směs získaná z odfrézovaných či jiným způsobem vybouraných asfaltových vrstev pozemních komunikací, dopravních a jiných ploch“ [31].

Další důležité normové omezení pro použití R-materiálu je uvedeno v kapitole 4.2.2. ČSN EN 13108-8 ed.2 [27]. Jedná se o omezení z hlediska tvrdosti (míry zestárnutí) pojiva obsaženého v R-materiálu. Je dovoleno jeho použití, pokud je mj. splněno:

„R-materiál musí být kategorizován jako P<sub>15</sub>, pokud penetrace pojiva každého ze vzorků je rovna nebo větší než 10 x 0,1 mm a průměrná hodnota penetrace všech vzorků je rovna nebo větší než 15 x 0,1 mm;

R-materiál musí být kategorizován jako S<sub>70</sub>, pokud bod měknutí každého ze vzorků je roven nebo menší než 77 °C a průměrná hodnota bodu měknutí všech vzorků je rovna nebo nižší než 70 °C“ [27].

### 2.3. Finanční hledisko

V České republice není přidávání určitého množství R-materiálu do asfaltových směsí striktně normami resp. investory vyžadováno. Jeho dávkování je však v určitých typech směsí dovoleno, jak je rozebráno v kapitole 2.2.

Z výše uvedeného vyplývá, že jde o rozhodnutí výrobce asfaltové směsi, zda bude v dovolených případech R-materiál při výrobě asfaltových směsí využívat.

Toto rozhodnutí je v reálných tržních podmínkách jistě ovlivněno ekonomickou výhodností použití R-materiálu. Ekonomická výhodnost použití R-materiálu je ovlivněna mj. několika vlivy. Jde především o náklady na získání, skladování a zrnitostní úpravu vyfrézovaného či vybouraného materiálu a náklady spojené s oživením zestárlého pojiva v R-materiálu.

Vyšší ekonomické výhodnosti použití R-materiálu u nově vyráběných asfaltových směsí neprospívá stav, který je v současné době v ČR nastaven. Realizační stavební firmy jsou smluvně zavazovány vyfrézovaný či vybouraný asfaltový materiál (znovuzískanou asfaltovou směs) při opravách či rekonstrukcích vozovek od Ředitelství silnic a dálnic odkupovat. Nastavená výkupní cena za tento materiál se pohybuje okolo 120 Kč/tunu. Tato nastavená cena je však příliš vysoká na to, aby vzhledem k nákladům na dopravu skladování a oživení zestárlého pojiva v R-materiálu mohlo být dávkování R-materiálu pro výrobce asfaltových směsí ekonomicky zajímavé. Tento stav je dlouhodobě kritizován s tím, že by bylo vhodné nastavit pravidla hospodaření s tímto materiálem tak, jak je tomu v sousední Spolkové republice Německo. V SRN si realizační firmy odkupují vyfrézovaný či vybouraný asfaltový materiál od investora za symbolické 1 Euro/tunu s tím, že firmy tento materiál opět použijí při výrobě asfaltových směsí. Takto nastavený systém umožňuje i snížit cenu vyráběných asfaltových směsí.

## 2.4. Ekologické hledisko

Z environmentálního pohledu je v současnosti na znovuzískanou asfaltovou směs resp. na R-materiál nahlíženo jako na odpadní produkt a takto je sním i nakládáno. Souvisí to nejen s obavami o dostatečnou kvalitu tohoto materiálu, ale z ekologického pohledu především o obavu z kontaminace tohoto materiálu dehtovými nebo asfaltodehtovými pojivými. Tato pojiva byla v minulosti hojně používána například při zřizování prolévaných podkladních vrstev – penetračních makadamů a při frézování či vybourávání asfaltových podkladních vrstev vozovek může hrozit kontaminace znovuzískané směsi. Jde především o kontaminaci polycyklickými aromatickými uhlovodíky (PAU), které jsou v dehtu obsaženy.

Velkým legislativním posunem v této oblasti je příprava nové vyhlášky Ministerstva životního prostředí, vytvořené ve spolupráci s Ministerstvem průmyslu a obchodu, která stanoví kritéria, při jejichž splnění je znovuzískaná asfaltová směs vedlejším produktem nebo přestává být odpadem, a kritéria, při jejichž splnění přestává být asfaltová směs vyrobená z odpadní znovuzískané asfaltové směsi odpadem [31].

V době sestavování této práce se připravovaná vyhláška nachází v meziresortním připomínkovém řízení a očekává se její schválení na konci roku 2018.

Vyhláška zapracovává příslušné předpisy Evropské unie (Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/98/ES ze dne 19. listopadu 2008 o odpadech a o zrušení některých směrnic.) a stanovuje:

- a) doplňující kritéria, při jejichž splnění je možné považovat znovuzískanou asfaltovou směs za vedlejší produkt a nikoliv odpad,
- b) doplňující kritéria, při jejichž splnění přestává být znovuzískaná asfaltová směs odpadem,
- c) doplňující kritéria, při jejichž splnění přestává být asfaltová směs vyrobená z odpadní znovuzískané asfaltové směsi odpadem [31].

Vyhláška rozděluje znovuzískanou asfaltovou směs do 4 jakostních tříd (ZAS – T1 až ZAS – T4) podle obsahu nebezpečných látek a popisuje jejich možnost dalšího využití. Toto rozdělení do jakostních tříd a rozsah stanovovaných kongenerů PAU jsou uvedeny v příloze této vyhlášky.

Tabulka 2: Jakostní třídy pro znovuzískanou asfaltovou směs [31].

Celkové obsahy parametru	Jednotka	Jakostní třída			
		ZAS-T1	ZAS-T2	ZAS-T3*	ZAS-T4*
Σ PAU 16 (EPA)	mg/kg suš.	≤12	>12 ≤25	>25 ≤300	>300

\* Pokud je obsah benzo(a)pyrenu roven nebo vyšší než 50 mg.kg<sup>-1</sup> jedná se o nebezpečný odpad zařazený dle Katalogu odpadů jako 17 03 01\*.

Tabulka 3: Rozsah stanovovaných kongenerů PAU [31].

Název	CAS
naftalen	91-20-3
acenaftylen	208-96-8
acenaften	83-32-9
fluoren	86-73-7
fenanthren	85-1-8
anthracen	120-12-7
fluoranthren	206-44-0
pyren	129-00-0
benzo(a)antracén (BaA)	56-55-3
chrysen	218-01-9
benzo(b)fluoranten (BpFA)	205-99-2
benzo(k)fluoranten	207-08-9
benzo(a)pyren (BaP)	50-32-8
indeno[1,2,3-cd]pyren	193-39-5
benzo(g, h,i)perylene	191-24-2
Dibenzo(a,h)antracén (DBahA)	53-70-3

Pro účely využití R-materiálu v hutněných asfaltových směsích jsou důležitá níže uvedená konstatování vyhlášky:

- § 4 odst.1, který uvádí, že:
  - „Frézovaná znovuzískaná asfaltová směs jakostní třídy ZAS – T1 nebo ZAS – T2 se nestává odpadem, ale je vedlejším produktem, nebo frézovaná nebo drcená znovuzískaná asfaltová směs jakostní třídy ZAS – T1 nebo ZAS – T2 vystupující ze zařízení na využití odpadu přestává být odpadem, pokud
    - a) se použije výhradně pro některý z dále uvedených účelů:
      - nestmelená podkladní vrstva pozemní komunikace, letištní nebo obdobné dopravní plochy,
      - ochranná vrstva pozemní komunikace či letištních nebo obdobné dopravní plochy,
      - konstrukce zemního tělesa pozemní komunikace nebo stavby železniční trati,
      - nestmelená konstrukční vrstva polních a lesních cest,
      - hydraulicky stmelená podkladní vrstva pozemní komunikace, letištní nebo obdobné dopravní plochy či konstrukce železniční trati, nebo
      - výroba asfaltové směsi vyráběné za horka, za tepla nebo za studena.

b) znovuzískaná asfaltová směs jakostní třídy ZAS – T2 nebude využita v nestmelených aplikacích při realizaci stavebních prací v ochranných pásmech vodních zdrojů.“ [31].

- § 4 odst.3, který uvádí, že:

„Znovuzískaná asfaltová směs jakostní třídy ZAS – T1 nebo ZAS – T2 v podobě asfaltových ker se nestává odpadem, ale je vedlejším produktem, pokud je zajištěno její předání do obalovny k výrobě asfaltové směsi vyráběné za horka, za tepla nebo za studena.“ [31].

A v neposlední řadě je důležitý i § 6, který řeší obsah polycyklických aromatických uhlovodíků v asfaltové směsi vyrobené ze znovuzískané asfaltové směsi. Je zde uvedeno, že:

„Asfaltová směs vyrobená v obalovně, která je provozovaná na základě souhlasu podle § 14 odst. 1 zákona, z odpadní znovuzískané asfaltové směsi přestává být odpadem pokud

- a) vstupní znovuzískaná asfaltová směs není znečištěna jinými látkami, které se nepoužívají k její výrobě,
- b) obsah PAU ve vstupní znovuzískané asfaltové směsi odpovídá nejvýše jakostní třídě ZAS – T3,
- c) obsah PAU ve vyrobené asfaltové směsi nepřekročí hodnotu pro jakostní třídu ZAS – T2“ [31].

Dále je v připravované vyhlášce řešena způsobilost osob provádějících vzorkování, vlastní vzorkování, zkoušení a náležitosti průvodní dokumentace.

Především z výše uvedených citovaných paragrafů z vyhlášky je zřejmé, že pokud dojde v nezměněné podobě k jejímu schválení, dojde v oblasti ekologického pohledu na využívání R-materiálu v hutněných asfaltových směsích k obrovskému posunu vpřed. Dojde především k legislativnímu stanovení parametrů, kdy znovuzískaná asfaltová směs resp. R-materiál není považována za odpad.

## 3. STÁRNUTÍ ASFALTOVÝCH POJIV A SMĚSÍ

### 3.1. Obecně

Vzhledem k tomu, že asfaltové pojivo je organickou sloučeninou, podléhá během skladování, výroby asfaltové směsi a užití ve vozovce procesu stárnutí. Dle [1],[2] je to způsobeno vlivem:

- působení vzdušného kyslíku,
- ultrafialového záření,
- zvýšené teploty.

Tyto vlivy způsobují tvrdnutí asfaltů signalizované snižováním hodnoty penetrace, zvyšováním teploty bodu měknutí a snižováním penetračního indexu. Podle převažujícího vlivu se rozlišuje:

- stárnutí odpařováním,
- stárnutí oxidační,
- stárnutí strukturní.

Těkání lehkých olejových komponentů je příčinou **stárnutí odpařováním**. Proces závisí na teplotě a podmínkách expozice. Jde o nevratný pochod, uplatňující se při horkém zpracování asfaltů. Čím měkčí je asfalt, čím vyšší je teplota a čím větší je povrch, tím vyšší je odpar lehčích olejových podílů. Mírou těkání je ztráta hmotnosti při zkoušce zahřívání pojiva v tenké vrstvě.

Běžně používané silniční asfalty obsahují jen velmi malé množství nízkovroucích uhlovodíků a mívají při horkém zpracování malou ztrátu těkavých olejů. S přihlédnutím na celkový proces stárnutí asfaltů tvoří vliv odpařování jen nepatrnou část z celkových změn.

**Stárnutí oxidačnímu** se přikládá podstatně větší význam. Nastává pomalu a dlouhodobě při styku asfaltu se vzduchem. Čím je teplota vyšší, tím se zvyšuje oxidační účinek. Každý nárůst teploty o 10 °C zdvojnásobuje reakční rychlost. Tvoří se polární kyslíkaté sloučeniny mající snahu asociovat do micel vyšší molekulové váhy, čímž zvyšují viskozitu, tvrdost a křehkost asfaltu. Oxidační stárnutí začíná pomalu a urychluje se s koncentrací radikálů. Pokud je koncentrace radikálů nízká, bývají tyto stabilizovány a do řetězových reakcí vstupují jen zřídka.

Vlivem slunečního záření dochází k urychlení absorpce kyslíku v povrchu asfaltu a k urychlení procesu stárnutí. Irreversibilní (nevratné) oxidační reakce pak způsobují dramatické změny ve fyzikálních vlastnostech a vedou ke ztrátě pojivých vlastností. Oxidace bez přístupu světla probíhá pomalu, v přítomnosti světla a UV záření se urychluje, avšak jen do hloubky 4 – 5 mikronů. Stárnutí způsobené oxidačními vlivy bývá spojené se zvyšováním hmotnosti, které se časem snižuje, i když oxidační proces dále pokračuje, a to z důvodu uvolňování vody a dekarboxylace.

**Stárnutí strukturní** představuje změnu koloidní struktury ve směru zhrubnutí koloidně dispergovaných částic. Dispergované částice asfaltěnu koagulují ve větší agregáty, klesá jejich měrný povrch. Uvolňují se oleje, které vsakují do kameniva. Koloidní struktura se



nevratně posouvá ke gelové soustavě rosolovité povahy, která dále stárne. Získává na tvrdosti a pevnosti, ztrácí plasticitu, elasticitu a křehne. Při spolupůsobení faktoru času, vzduchu a světla se stárnutí projeví tvorbou trhlin. Zestárnutý asfalt je nevratně změněn. Znalost procesu stárnutí má velký význam při užití asfaltů do asfaltových vozovek. U změn vlastností pojiv je třeba rozlišovat mezi:

- krátkodobým tvrdnutím termálně oxidačním při skladování, manipulaci a zpracování,
- dlouhodobým stárnutím strukturně oxidačním za studena na povrchu vozovky.

Termálně-oxidační tvrdnutí na obalovně je dáno teplotou skladování a obalování a dobou skladování. Mícháním a cirkulací potrubím se povrch obnovuje a tvrdnutí se zvýší. Obalování kameniva pojivem je sice krátkodobý proces, nicméně asfalt se rozprostírá na velký, horký povrch kameniva, což vede k odpaření těkavějších podílů asfaltu, oxidaci a dalším reakcím vedoucím ke změnám vlastností asfaltu. Kamenivo se pokryje filmem asfaltu tloušťky 5 – 15 mikronů. Praxe ukázala, že při teplotě obalování do 180 °C dojde ke zvýšení bodu měknutí v průměru o 3,4 °C, při obalování nad teplotou 180 °C může být až o 6 °C. Zjednodušeně řečeno asfalt při obalování ztvdne o jednu gradaci. Zásobní sila na obalovnách vytvářejí předpoklady dalšího stárnutí, i když menšího než při obalování o 1,5 – 3,5 °C podle druhu asfaltové směsi, při době skladování do 15 hodin. Při skladování v silu je důležité, aby vstupní vrata byla vzduchotěsná, jinak se silo chová jako komín a dochází k oxidaci a ochlazení směsi. Pokud se zamezí tvrdnutí pojiva v silu, při transportu směsi na stavbu a při její pokládce již k dalšímu tvrdnutí nedochází. [1], [2]

### 3.2. Laboratorní metody pro simulaci stárnutí asfaltových pojiv

Do laboratorní praxe byly postupně zavedeny laboratorní metody, které umožňují zrychleně simulovat procesy krátkodobého a dlouhodobého stárnutí asfaltových pojiv. Pro modelaci **krátkodobého stárnutí** asfaltových pojiv jsou nejčastěji využívány níže uvedené metody.

#### a) Zkouška tepelné stálosti tenkého filmu (Thin Film Oven Test – TFOT)

Zkouška je prováděna dle ČSN EN 12607-2 [3]. Asfaltové pojivo se nalije na ploché misky tak, aby vytvořilo vrstvu o tloušťce 3,2 mm a vloží se do sušárny s nuceným prouděním vzduchu na poličky, které se otáčejí rychlostí 5,5 otáčky za minutu. Běžně se zkouška provádí po dobu pěti hodin při teplotě 120 °C popř. 163 °C. Míra zestárnutí pojiva je určena změnou hmotnosti pojiva nebo změnou jeho vlastností vzniklou v průběhu procesu stárnutí (např. zkouškou kinematické viskozity podle ČSN EN 12595 [4]).



Obrázek 1: Zkušební zařízení pro zkoušku tepelné stálosti tenkého filmu (Thin Film Oven Test – TFOT) [9]

### **b) Zkouška krátkodobého stárnutí metodou RFT (Rotating Flask Test)**

Metoda je prováděna dle ČSN EN 12607-3 [5]. Při zkoušce se asfaltové pojivo podrobí stárnutí v baňce rotačního vakuového destilačního zařízení při teplotě nejčastěji 165 °C po dobu 150 minut. Míra zestárnutí pojiva je určena změnou hmotnosti nebo změnou základních charakteristik pojiva (např. penetrace, bod měknutí nebo dynamická viskozita před a po stárnutí).



Obrázek 2: Rotační vakuové destilační zařízení k provedení zkoušky krátkodobého stárnutí metodou RFT (Rotating Flask Test) [10]

### **c) Zkouška tepelné stálosti v tenké pohybuující se vrstvě (Rolling Thin Film Oven Test – RTFOT)**

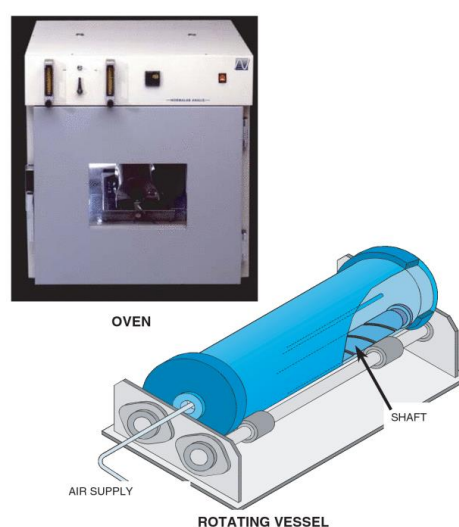
Stárnutí pojiva je prováděno postupem, uvedeným v ČSN EN 12607-1 [6]. Při zkoušce se pro stárnutí pojiva používá sušárna s dvojitou stěnou a elektrickým ohřevem s teplotou 163 °C. Pro umístění pojiva slouží osm válcových skleněných nádobek, do kterých se fouká ohřátý vzduch z trysky. Účinek tepla a vzduchu je posuzován změnou hmotnosti pojiva

v nádobkách nebo změnou vlastností asfaltového pojiva, které jsou určovány před a po stárnutí. Pro popis změny vlastností se používají zkoušky penetrace jehlou, bodu měknutí nebo dynamické viskozity. Změny vlastností pojiva po stárnutí je rovněž možné vyjádřit reologickými vlastnostmi zjištěnými v dynamickém smykovém reometru.

Pro simulaci procesu dlouhodobého stárnutí pojiv se nejčastěji používají:

**a) urychlené dlouhodobé stárnutí metodou rotujícího válce (Rotating Cylinder Ageing Test – RCAT)**

Metoda je popsána v normě ČSN EN 15323 [7]. Do horizontálně umístěného ocelového rotujícího válce s pojivem v laboratorní sušárně s teplotou 85 °C se vhání kyslík po dobu 140 hodin. Míra zestárnutí pojiva se hodnotí změnou vlastností (např. penetrace nebo bodu měknutí) před a po procesu simulovaného stárnutí.



Obrázek 3: Schéma a fotografie zařízení pro urychlené dlouhodobé stárnutí metodou rotujícího válce (Rotating Cylinder Ageing Test – RCAT) [11]

**b) zkouška urychleného dlouhodobého stárnutí v tlakové nádobě (Pressure Ageing Vessel – PAV)**

Postup zkoušky je popsán v ČSN EN 14769 [8]. Pojivo zestárnuté metodou RTFOT se umístí v miskách (nepohybující se vrstva tloušťky přibližně 3,2 mm) do tlakové nádoby přehřáté na zkušební teplotu (běžně 85 °C, 90 °C, 100 °C nebo 110 °C) s pracovním tlakem vzduchu 2,1 MPa. Běžně používaná doba stárnutí je 20 hodin nebo 65 hodin. Vliv urychleného dlouhodobého stárnutí se určí změnou vlastností asfaltového pojiva, které jsou stanoveny před a po stárnutí.



Obrázek 4: Zkušební zařízení pro zkoušku urychleného dlouhodobého stárnutí v tlakové nádobě (Pressure Ageing Vessel – PAV) [12]

### 3.3. Hodnocení náchylnosti asfaltových pojiv ke stárnutí v ČR

Požadavky kladené na asfaltová pojiva s ohledem na jejich stárnutí jsou v současné době uvedeny ve specifikačních normách pro asfaltová pojiva ČSN EN 12591 [13] a ČSN EN 14023 [14]. V normách jsou uvedeny požadavky na hodnotu změny hmotnosti, hodnotu zbylé penetrace a hodnotu zvýšení bodu měknutí po simulaci stárnutí metodou RTFOT (popř. RFT). Jedná se však pouze o požadavky na změnu vlastností pojiv po krátkodobém stárnutí. Dlouhodobé stárnutí je možné v ČR hodnotit zkouškou PAV podle ČSN EN 14769 [8] nebo zkouškou RCAT podle ČSN EN 15323 [7]. Požadavky však nejsou nastaveny.

Vzhledem k tomu, že v normách nastavené limitní požadavky kladené na silniční asfalty z hlediska stárnutí byly nastaveny příliš benevolentně a požadavky splňovala i pojiva, která v průběhu své životnosti ve vozovce vykazovala znaky předčasného (zrychleného) stárnutí, byla na základě výzkumných prací provedených v rámci projektu Technologické agentury ČR TA03030381 s názvem „Nové zkušební metody asfaltových pojiv a směsí umožňující prodloužení životnosti asfaltových vozovek“ zpracována a Ministerstvem dopravy certifikována „Metodika pro hodnocení silničních asfaltů z hlediska náchylnosti k termooxidačnímu stárnutí“ [15]. Cílem metodiky bylo zavést jednoduchý zkušební postup simulovaného stárnutí a současně nastavit požadavky na limitní hodnoty signálních veličin. Zvolené parametry jsou snadno stanovitelné laboratorními zkouškami a zároveň překročení zvolených hraničních hodnot indikuje problematické chování asfaltového pojiva. Metodika zavedla hodnocení náchylnosti ke stárnutí asfaltového pojiva metodou RTFOT s trojnásobnou dobou trvání (3xRTFOT). Vychází z postupu popsaného v normě ČSN EN 12607-1 [6] a z rakouské oborové specifikace RVS 08.97.05 [16]. Pro vlastní

vyhodnocení a posouzení rozsahu termooxidačního stárnutí pojiv jsou navrženy jako signální veličiny následující parametry stanovované v laboratoři:

- bod měknutí podle ČSN EN 1427 [17].
- komplexní smykový modul a fázový úhel zjištěný při referenční teplotě a frekvenci v dynamickém smykovém reometru podle ČSN EN 14770 [18].

Metoda dobře identifikuje náchylnost ke zrychlenému stárnutí (například způsobenému vyšším podílem visbreakingových zbytků v asfaltovém pojivu). Požadované parametry jsou uvedeny v Tabulce 4.

Tabulka 4: Požadované vlastnosti silničních asfaltů gradace 50/70 a 70/100 po stárnutí metodou 3xRTFOT [15]

Vlastnost	Metoda zkoušení	Jednotka	Hodnota
Zvýšení bodu měknutí po 3xRTFOT	ČSN EN 1427	°C	≤ 15
Zvýšení komplexního smykového modulu po 3xRTFOT	ČSN EN 14770, 60 °C, 1 Hz	-	≤ 15tinásobek

### 3.4. Laboratorní metody pro simulaci stárnutí asfaltových směsí

V laboratorní praxi jsou využívány metody, které simulují stárnutí vyrobené asfaltové směsi. Vysoká mezerovitost, nekvalitní asfaltové pojivo nebo jeho nedostatečné množství v konkrétní asfaltové směsi (potažmo nedostatečná tloušťka asfaltového filmu), mohou vést k nadměrnému stárnutí a ztrátě elasticity pojiva (křehnutí). Ve svém důsledku mohou tyto parametry způsobovat předčasné poruchy asfaltové vrstvy vozovky. Čím je vyšší mezerovitost asfaltové směsi, tím snáze může do vrstvy pronikat vzdušný kyslík, což je jednou z příčin vyšší termooxidační zátěže (stárnutí) asfaltového pojiva. Rovněž v případě, že asfaltový film je na povrchu kameniva příliš tenký, může dojít k nadměrnému stárnutí této tenké vrstvy pojiva. Vzdělá-li tloušťka asfaltového filmu, vzdělá i exponenciálně difúzní odpor této vrstvy a pojivo nacházející se níže pod povrchem je méně ovlivněno stárnutím (degradací) a zachovává si původní vlastnosti. Stejný efekt vykazuje i snížení mezerovitosti asfaltové směsi. Na stárnutí asfaltového pojiva může mít vliv i druh a kvalita použitého kameniva. Existují různé postupy hodnotící stárnutí asfaltových materiálů, které zahrnují změnu vlastností asfaltových pojiv přímo v asfaltových směsích. V těchto zkouškách jsou zahrnuty vlivy tloušťky asfaltového filmu, typu směsi, mezerovitosti a kvality použitých materiálů. Následné laboratorní zkoušky jsou prováděny přímo na zestárlých směsích nebo na znovuzískaném zestárlém pojivu. Zároveň je ve Spolkové republice Německo běžná kontrola zestárnutí pojiva po procesu výroby a pokládky, která se prokazuje vlastnostmi znovuzískaného pojiva z asfaltové směsi v rámci předávacích procedur. V následujícím textu jsou popsány nejčastěji používané postupy modelování stárnutí asfaltových směsí v laboratoři. [19]

### **a) Braunschweigská metoda stárnutí – Braunschweiger Alterung (BSA)**

Metoda spočívá v tom, že je nezhutněná asfaltová směs vystavena v temperované zkušební komoře s nucenou cirkulací vzduchu teplotě 80 °C po dobu 96 hodin. Poté jsou prováděny vybrané laboratorní zkoušky přímo na zkušebních vzorcích připravených z takto laboratorně zestárlé asfaltové směsi a výsledky jsou porovnávány s vlastnostmi nezestárlé asfaltové směsi.

### **b) Metody programu SHRP**

V rámci amerického výzkumného programu SHRP byly vyvinuty metodiky pro sledování stárnutí asfaltových pojiv přímo v asfaltových směsích, které jsou popsány ve zprávě SHRP A 383 [21]. První z nich simuluje krátkodobé stárnutí. Nezhutněná asfaltová směs je podrobena termooxidačnímu stárnutí v laboratorní sušárně s nuceným prouděním vzduchu po dobu 4 hodin při teplotě 135 °C. Dlouhodobé stárnutí popisuje druhá metodika. Pro směsi s nízkou mezerovitostí a plynulou čarou zrnitosti nebo pro směsi s vysoce viskózním pojivem se doporučuje jako dlouhodobé stárnutí použít uložení zhutněné asfaltové směsi (zkušební tělesa) do sušárny s teplotou 85 °C na pět dní a pro asfaltové směsi s vysokou mezerovitostí nebo asfaltové směsi s měkkým pojivem se doporučuje nízkotlaká oxidace zhutněných zkušebních těles v triaxiální komoře při teplotě 85 °C po dobu pěti dní. Následně je pojivo znovuzískáno a podrobeno funkčním zkouškám. [19]

### **c) Metody technické komise RILEM**

V rámci technické komise RILEM byl vyvinut postup stárnutí vrstvy asfaltové směsi, který má za úkol simulovat dvě fáze stárnutí (krátkodobé a dlouhodobé). Při krátkodobém stárnutí je nezhutněná vrstva asfaltové směsi umístěna na čtyři hodiny do laboratorní sušárny s nuceným prouděním vzduchu při teplotě 135 °C. Každou hodinu se asfaltová směs míchá po dobu jedné minuty. Při simulaci dlouhodobého stárnutí se nezhutněná vrstva krátkodobě zestárnuté asfaltové směsi umístí na devět dní do sušárny s nuceným prouděním vzduchu s teplotou 85 °C. Doporučuje se odebírat vzorky asfaltové směsi a směs zamíchat po 2, 5, 7 a 9 dnech stárnutí. Tento postup je prozatím ve fázi vývoje. [19]

### **d) Metody uvedené v návrhu normy prEN12697-52**

V současné době se v rámci pracovní skupiny CEN/WG1/TG2 návrh evropské normy s označením prEN 12697-52 [20], která by měla popisovat metody simulace stárnutí asfaltové směsi v laboratoři. Norma je ovšem v současné době (duben 2018) ve stadiu veřejného připomínkování (Enquiry).

Norma popisuje dvě sady postupů urychleného termooxidačního stárnutí asfaltových směsí. První dva postupy (modelování krátkodobého stárnutí a modelování dlouhodobého stárnutí) mohou být aplikovány na nezhutněnou asfaltovou směs a zbývající dva postupy se použijí pro zestárnutí zhutněných laboratorních těles. Zkušební tělesa mohou být vyrobena v laboratoři nebo odebrána z hotové vrstvy.

Při stárnutí nezhotněné směsi se asfaltová směs rozprostře na plochu desku v tloušťce cca 25 mm a udržuje se při zvýšené teplotě v laboratorní sušárně s nuceným proudem vzduchu po danou dobu (nejčastěji 4 hodiny při teplotě 135 °C v souladu s předpisem SHRP-A-383 pro krátkodobé stárnutí nebo 336 hodin při teplotě 60 °C podle předpisu BRRC nebo 216 hodin při teplotě 85 °C podle předpisu RILEM nebo 96 hodin při teplotě 80 °C – Braunschweigská metoda pro dlouhodobé stárnutí). Kromě toho může být aplikován zvýšený tlak pro urychlení stárnutí – nejčastěji v přístroji PAV (20 hodin při teplotě 90 °C a tlaku 2,1 MPa). V případě stárnutí zhotněných těles jsou popsány dva postupy stárnutí. První metoda popisuje uložení zkušebních těles s mezerovitostí nad 8 % na ploché desce do laboratorní sušárny se zvýšenou teplotou s nuceným proudem vzduchu po danou dobu (nejčastěji 120 hodin při teplotě 85 °C). Druhý postup stárnutí předepisuje uložení zhotněných zkušebních těles do triaxiální komory, přičemž skrz těleso nuceně proudí okysličovadlo (ozonem obohacený stlačený vzduch) po danou dobu při dané teplotě (nejčastěji 72 hodin až 168 hodin). Zestárnutá asfaltová směs nebo zestárnutá zkušební tělesa jsou pak použita pro další laboratorní zkoušky, které umožní popsat vliv termooxidačního stárnutí na vlastnosti asfaltových směsí. Alternativou může být znovuzískání pojiva ze zestárnutých směsí a zhodnocení stárnutí asfaltové směsi na změnu vlastností asfaltového pojiva. [19]

### 3.5. Hodnocení náchylnosti asfaltových směsí ke stárnutí v ČR

V rámci projektu Technologické agentury ČR TA03030381 s názvem „Nové zkušební metody asfaltových pojiv a směsí umožňující prodloužení životnosti asfaltových vozovek“ byla zpracována a Ministerstvem dopravy certifikována „Metodika popisující laboratorní stárnutí asfaltových směsí“ [19]. V metodice je pro použití v České republice vybrána Braunschweigská metoda stárnutí – Braunschweiger Alterung (BSA). Na zestárnuté asfaltové směsi je možné určit tuhost podle ČSN EN 12697-26 nebo je možné vakuovou destilací v rotačním vakuovém destilačním zařízení zpětně získat asfaltová pojiva postupem podle ČSN EN 12697-3 pro další zkoušky pojiv obsažených v asfaltové směsi (penetrace podle ČSN EN 1426 [32], bod měknutí podle ČSN EN 1427 [17], bod lámavosti podle ČSN EN 12593 [33] a komplexní smykové moduly a fázové úhly podle ČSN EN 14770 [18]).

Vliv stárnutí metodou BSA na změnu vlastností asfaltových směsí se pak hodnotí změnou hodnot uvedených laboratorních zkoušek před stárnutím a po stárnutí metodou BSA.

Vzhledem k velkému množství parametrů, které je nutné při hodnocení stárnutí asfaltové směsi uvažovat (např. použité materiály, typ směsi, tloušťka asfaltového filmu), slouží metodika jako nástroj pro relativní porovnání různých asfaltových směsí ve fázi návrhu a optimalizace asfaltové směsi, pro analyzování vlivu přidání modifikačních přísad nebo pro porovnání různých postupů výroby asfaltových směsí z hlediska jejich vlivu na termooxidační stárnutí [19].

## 4. MOŽNOSTI REJUVENACE ZESTÁRLÉHO POJIVA

Znovuzískaná asfaltová směs resp. R-materiál obsahuje asfaltové pojivo, které již nemá stejné parametry jako původně dávkované pojivo. Je to způsobeno procesy stárnutí, popisovanými v kapitole 3. Z technického hlediska je tento asfalt mj. tvrdší a křehčí. Pokud bychom parametry pojiva zpětně získaného z R-materiálu sledovali základními empirickými zkouškami pojiva, pojivo bude mít obecně nižší hodnotu penetrace podle ČSN EN 1426 [32], vyšší teplotu bodu měknutí dle ČSN EN 1427 [17] a vyšší teplotu bodu lámavosti podle Fraasse dle ČSN EN 12593 [33].

Pokud bychom dávkovali R-materiál do nově vyráběné asfaltové směsi bez jeho ošetření, od určitého množství dávkovaného R-materiálu bychom vybočili z deklarované gradace (nově dávkovaného) pojiva. Toto množství R-materiálu lze stanovit na základě výpočtu pomocí vzorců, uvedených v normativní příloze A normy ČSN EN 13 108-1 [26]:

- Pro výpočet penetrace pojiva v asfaltové směsi se použije vzorec:

$$a \lg pen_1 + b \lg pen_2 = (a + b) \lg pen_{mix}$$

kde  $pen_{mix}$  je vypočítaná hodnota penetrace pojiva ve směsi obsahující R-materiál;  
 $pen_1$  je hodnota penetrace pojiva znovuzískaného z R-materiálu;  
 $pen_2$  je hodnota penetrace přidávaného pojiva;  
 $a$  a  $b$  jsou hmotnostní podíly pojiva z R-materiálu ( $a$ ) a z přidávaného pojiva ( $b$ ) ve směsi; přičemž:  $a + b = 1$ .

- Pro výpočet hodnoty bodu měknutí pojiva v asfaltové směsi se použije vzorec:

$$T_{R\&B\ mix} = a \times T_{R\&B1} + b \times T_{R\&B2}$$

kde  $T_{R\&B\ mix}$  je vypočítaná hodnota bodu měknutí pojiva ve směsi obsahující R-materiál;  
 $T_{R\&B1}$  je hodnota bodu měknutí pojiva znovuzískaného z R-materiálu;  
 $T_{R\&B2}$  je hodnota bodu měknutí přidávaného pojiva;  
 $a$  a  $b$  jsou hmotnostní podíly pojiva z R-materiálu ( $a$ ) a z přidávaného pojiva ( $b$ ) ve směsi; přičemž  $a + b = 1$ . [26]

Jde o vzorce, které jsou dle normy určeny pro výpočet parametrů silničních nemodifikovaných pojiv. V praxi je však často používán i pro modifikovaná asfaltová pojiva.

V níže uvedených tabulkách jsou spočítány výsledné parametry pojiva v asfaltové směsi při přidávání 0 % až 70 % R-materiálu. Je uvažováno s třemi variantami R-materiálu



s různým stupněm zestárnutí pojiva. Nově přidávané pojivo je silniční nemodifikovaný asfalt gradace 50/70 (o penetraci 60 p.j. a teplotě bodu měknutí 50 °C).

Ve všech třech variantách výpočtů je uvažováno s předpokladem, že díky ohřevu na obalovně asfaltové směsi dojde u pojiva ke snížení hodnoty penetrace o 5 penetračních jednotek a ke zvýšení teploty bodu měknutí o 3 °C.

### a) Varianta 1

Hodnota penetrace zpětně získaného pojiva z R-materiálu podle ČSN EN 1426 [32]: 25 p.j.

Teplota bodu měknutí zpětně získaného pojiva z R-materiálu podle ČSN EN 1427 [17]: 59 °C

Tabulka 5: Výpočet parametrů výsledného pojiva – varianta 1

Podíl zestárlého pojiva	0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70
Podíl nového pojiva	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Penetrace zestárlého pojiva (p.j.)	25														
Penetrace nového pojiva (p.j.)	60														
Výsledná penetrace (p.j.)	60	57	55	53	50	48	46	44	42	40	39	37	35	34	33
Výsledná penetrace s vlivem obalovny (- 5 p.j.)	55	52	50	48	45	43	41	39	37	35	34	32	30	29	28
Bod měknutí zestárlého pojiva (°C)	59														
Bod měknutí nového pojiva (°C)	50														
Výsledný bod měknutí (°C)	50	50	51	51	52	52	53	53	54	54	55	55	55	56	56
Bod měknutí s vlivem obalovny (+ 3 °C)	53	53	54	54	55	55	56	56	57	57	58	58	58	59	59

### b) Varianta 2

Hodnota penetrace zpětně získaného pojiva z R-materiálu podle ČSN EN 1426 [32]: 20 p.j.

Teplota bodu měknutí zpětně získaného pojiva z R-materiálu podle ČSN EN 1427 [17]: 63 °C

Tabulka 6: Výpočet parametrů výsledného pojiva – varianta 2

Podíl zestárlého pojiva	0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70
Podíl nového pojiva	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Penetrace zestárlého pojiva (p.j.)	20														
Penetrace nového pojiva (p.j.)	60														
Výsledná penetrace (p.j.)	60	57	54	51	48	46	43	41	39	37	35	33	31	29	28
Výsledná penetrace s vlivem obalovny (- 5 p.j.)	55	52	49	46	43	41	38	36	34	32	30	28	26	24	23
Bod měknutí zestárlého pojiva (°C)	63														
Bod měknutí nového pojiva (°C)	50														
Výsledný bod měknutí (°C)	50	51	51	52	53	53	54	55	55	56	57	57	58	58	59
Bod měknutí s vlivem obalovny (+ 3 °C)	53	54	54	55	56	56	57	58	58	59	60	60	61	61	62

### c) Varianta 3

Hodnota penetrace zpětně získaného pojiva z R-materiálu podle ČSN EN 1426 [32]: 15 p.j.

Teplota bodu měknutí zpětně získaného pojiva z R-materiálu podle ČSN EN 1427 [17]: 66 °C

Tabulka 7: Výpočet parametrů výsledného pojiva – varianta 3

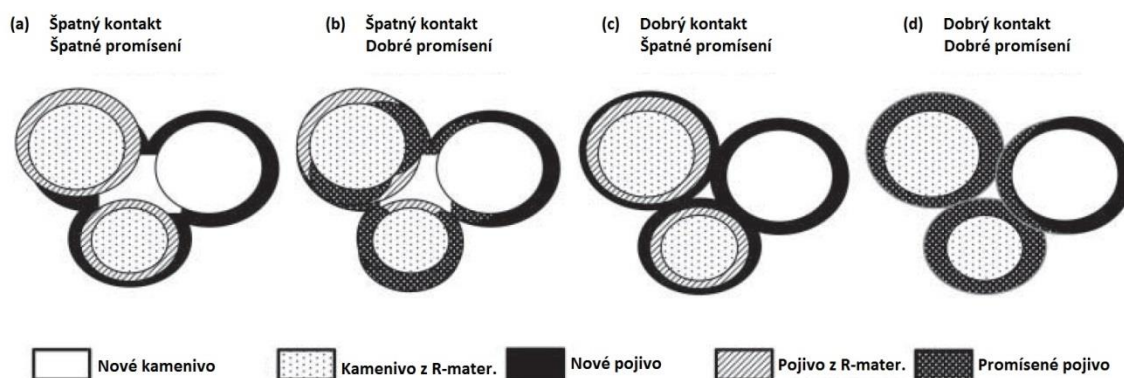
Podíl zestárlého pojiva	0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70
Podíl nového pojiva	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Penetrace zestárlého pojiva (p.j.)	15														
Penetrace nového pojiva (p.j.)	60														
Výsledná penetrace (p.j.)	60	56	52	49	45	42	40	37	34	32	30	28	26	24	23
Výsledná penetrace s vlivem obalovny (- 5 p.j.)	55	51	47	44	40	37	35	32	29	27	25	23	21	19	18
Bod měknutí zestárlého pojiva (°C)	66														
Bod měknutí nového pojiva (°C)	50														
Výsledný bod měknutí (°C)	50	51	52	52	53	54	55	56	56	57	58	59	60	60	61
Bod měknutí s vlivem obalovny (+ 3 °C)	53	54	55	55	56	57	58	59	59	60	61	62	63	63	64

Červeně jsou v tabulkách vyznačeny hodnoty, které již vybočují z mezí gradace pojiva 50/70. Z výše uvedených výpočtů vyplývá, že již při dávkování R-materiálu v množství 10 % až 20 % bychom měli uvažovat o rejuvencii zestárlého pojiva v R-materiálu. V opačném případě hrozí negativní ovlivnění parametrů nově vyráběné asfaltové směsi. Zestárlé pojivo v R-materiálu musí být tedy ošetřeno při výrobě nové asfaltové směsi tak, aby alespoň základní parametry pojiva (penetrace, bod měknutí) byly co nejvíce shodné s nově přidávaným pojivem.

Za ošetření R-materiálu lze považovat některý z níže uvedených postupů:

- přidání asfaltového pojiva s vyšší hodnotou penetrace,
- použití změkčovacích nebo rejuvenačních přísad,
- použití modifikovaného asfaltového pojiva (PMB) typu RC.

U všech výše uvedených metod ošetření je důležité, aby došlo v co možná nejvyšší míře k promísení nově přidávaného pojiva a pojiva z R-materiálu. Jen v tom případě lze předpokládat homogenní oživení pojiva v celém objemu nově vyráběné asfaltové směsi. Tato problematika je podrobně popsána např. v [43].



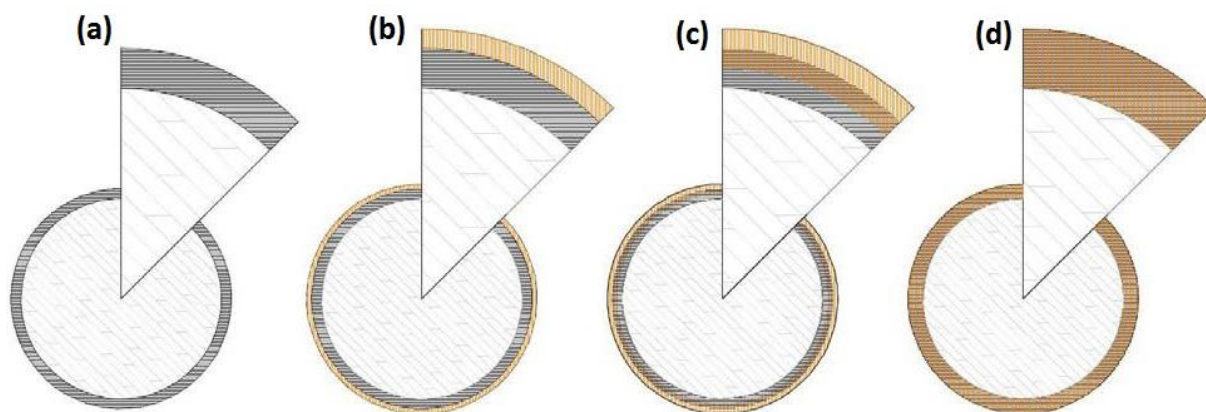
Obrázek 5: Schematické znázornění jednotlivých možností kontaktu zrn kameniva a promísení pojiv při přidávání R-materiálu do asfaltové směsi [43].

#### 4.1. Přidání asfaltového pojiva s vyšší hodnotou penetrace

Jde o poměrně jednoduchý způsob oživení zestárlého pojiva v R-materiálu. Při výrobě asfaltové směsi na obalovně je dávkováno nové pojivo, které má nižší viskozitu (vyšší hodnotu penetrace podle ČSN EN 1426 [32]). Na základě znalosti parametrů zestárlého pojiva a množství dávkovaného R-materiálu do nové směsi je možno výpočtem stanovit optimální dávkování pojiva s vyšší hodnotou penetrace. V České republice by bylo v případě požadavku na nově vyráběnou směs s pojivem gradace 50/70 možno uvažovat o použití „měkčího“ pojiva gradace 70/100, 100/150 nebo 160/220.

Výhoda této varianty ošetření R-materiálu spočívá v tom, že při aplikaci o jednu či dvě gradace měkčího pojiva a dokonalém promísení může dojít nejen ke změkčení zestárlého pojiva, ale i k obnově jeho fyzikálních a chemických vlastností.

Stupeň promísení pojiv je možno sledovat tzv. postupnou extrakcí pojiva. Jednotlivé fáze difuze nového pojiva a pojiva z R-materiálu jsou schematicky uvedeny na Obrázku 6, uvedeném v [44]. V rámci této studie byla prováděna postupná extrakce pojiva z asfaltové směsi s pojivem oživeným nově přidaným pojivem gradace 160/220 s cílem odebrat vzorek pojiva z horní, střední a vnitřní vrstvy asfaltového filmu, pokrývajícího zrna kameniva.



- (a) Pouze pojivo z R-materiálu  
 (b) Pojivo z R-materiálu + nové pojivo, žádné promísení  
 (c) Pojivo z R-materiálu + nové pojivo, částečné promísení  
 (d) Pojivo z R-materiálu + nové pojivo, úplné promísení

Obrázek 6: Jednotlivé fáze difuze nového pojiva a pojiva z R-materiálu [44]

Na odebraných vzorcích zpětně získaného pojiva byly stanovovány reologické parametry pomocí dynamického smykového reometru např. Multiple Stress Creep Recovery test („MSCR“ test) [45]. Na základě zjištěných výsledků autoři uvádí, že:

- „Vícestepňová postupná extrakce je účinnou metodou pro získání vzorků pro vyhodnocení mísitelnosti pojiv;
- Testy „MSCR“ jsou užitečnou metodou pro posuzování míšení pojiv, zejména pokud je jedno z pojiv modifikováno polymerem;
- Během procesu míchání bylo dosaženo pouze částečného promísení a vlastnosti pojiva jsou v jednotlivých vrstvách filmu různé;
- Přidání měkčího pojiva umožňuje měnit vlastnosti pojiva obsaženého v R-materiálu, ale především v horní vrstvě pojiva“ [44].

Za nevýhodu technologie přidávání pojiva o vyšší penetraci je možno považovat skutečnost, že je nutno obalovnu asfaltových směsí vybavit dalším zásobníkem pojiva (silem), ve kterém je toto pojivo s vyšší hodnotou penetrace skladováno.

## 4.2. Použití změkčovací nebo rejuvenační přísady

Jde o metodu, které je v současné době v rámci odborné veřejnosti věnována značná pozornost. Výhodou těchto chemických látek je, že pokud je obalovna asfaltových směsí vybavena zařízením na dávkování tekutých, či sypkých přísad, není problém si vybrat některou z nich podle možností obalovny a finanční rentability. Na trhu existuje řada výrobců těchto přísad. V poslední době se v literatuře objevuje dělení těchto přísad na:

- a) změkčovací přísady – jde o přísady, které obecně pouze snižují viskozitu zestárlého pojiva. Jde např. o různé fluxační oleje či olejové suspenze,
- b) rejuvenátory (oživovače) – tyto přísady kromě snížení viskozity obnovují fyzikální a chemické vlastnosti zestárlého pojiva.

Dávkování těchto přísad se vždy řídí doporučením výrobce či dodavatele produktu a je většinou navázáno na míru zestárnutí pojiva v R-materiálu, vyjádřenou hodnotou penetrace nebo teplotou bodu měknutí. Řada výrobců či dodavatelů těchto přísad často deklaruje levnější změkčovací přísady za rejuvenátory a pouze pokročilé zkušební metody pro asfaltová pojiva jsou schopné prokázat zajištění jejich dlouhodobé funkce v pojivu resp. v asfaltové směsi. Přehledné rozdělení rejuvenátorů na jednotlivé kategorie a typy je uvedeno např. ve zprávách [34],[35].

Tabulka 8: Rozdělení rejuvenačních přísad – zpracováno na základě [34],[35] - tabulka doplněna a upravena autorem.

Kategorie	Typ	Popis a způsob získávání
Parafinické oleje	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Odpadní motorový olej (WEO)</li> <li>• Destilační zbytky z rerafinace odpadních motorových olejů (WEOB, REOB)</li> <li>• Valero VP 165®</li> <li>• Storbit®</li> </ul>	Rerafinace použitých mazacích olejů
Aromatické extrakty	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hydrolene®</li> <li>• Reclamite®</li> <li>• Cyclogen L®</li> <li>• ValAro 130A®</li> </ul>	Rafinací ropných produktů se složkami polárních aromatických olejů
Naftenické oleje	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SonneWarmix RJ™</li> <li>• Ergon HyPrene®</li> </ul>	Uhlovodíky upravené pro modifikaci asfaltu
Triacylglyceridy a mastné kyseliny	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Odpadní rostlinný olej</li> <li>• Odpadní rostlinné tuky</li> <li>• Materiál z odlučovačů průmyslových kuchyní (brown grease)</li> <li>• Kyselina olejová</li> </ul>	Fytooleje získávané zpracováním rostlin
Tálové oleje	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sylvaroad™ RP1000</li> <li>• Hydrogreen®</li> </ul>	Destilované odpadní produkty papírenského průmyslu. Stejná chemická skupina jako tekuté přílnavostní přísady a emulgátory

### 4.3. Použití modifikovaného asfaltového pojiva typu RC

Jde o způsob oživení zestárlého pojiva, u kterého se předpokládá využití především u R-materiálu obsahujícího modifikovaný asfalt. Pojiva pro tyto účely výrobci označují zkratkou „PMB RC“, která vychází z anglického názvu „Polymer modified bitumen for recycling“.

Vzhledem ke skutečnosti, že díky vzrůstajícímu dopravnímu zatížení silniční sítě se modifikovaná pojiva používají při novostavbách stále častěji, bude neustále narůstat podíl tohoto typu R-materiálu. Jde v podstatě o nejhodnotnější R-materiál, který lze získat. Ve většině případů byl získán z obrusných vrstev vozovek, u kterých se již tradičně používají kameniva s nejvyššími parametry, a dále obsahuje modifikované pojivo, u kterého lze ještě využít zbytkový potenciál modifikátoru. Zbytkový potenciál modifikátorů byl prokázán a popsán v řadě odborných publikací, např. [38], [39], [40], příp. [41].

Jde však o poměrně složitou problematiku vzhledem k tomu, že se v R-materiálu lze setkat s různými druhy modifikátorů, jako jsou:

- termoplastické elastomery (např. styren-butadien-styren, označovaný „SBS“),
- plastomery (etylen vinil acetát, označovaný „EVA“),
- reaktivní polymery (označované „RET“) a
- pryžový granulát z ojetých pneumatik (pojiva se označují souhrnně „CRMB“).

U pojiv typu „RC“ se předpokládá, že budou mít vyšší míru modifikace (vyšší obsah modifikační přísady). Díky tomu dojde po smíchání se zestárlým modifikovaným pojivem z R-materiálu k „nápravě“ jeho modifikačního systému, narušeného vlivem stárnutí.

Ne všichni výrobci k tomu však přistupují výše uvedeným způsobem. Na trhu se objevují pojiva deklarovaná jako „RC“, jejichž výkonové parametry a schopnosti rejuvenovat zestárlé modifikované pojivo v R-materiálu jsou nižší, než je tomu u běžných kvalitních modifikovaných pojiv.

Velmi přehledně je tato problematika rozebrána v provedené studii [42], v jejímž závěru se uvádí: „Z hlediska vlivu přídatku zestárlého silničního asfaltu na vlastnosti PMB RC se prokázalo, že u více modifikovaného PMB RC dochází k pomalejší ztrátě elastických vlastností, než u méně modifikovaného PMB RC a zároveň i obor použitelnosti více modifikovaných PMB RC je výrazně širší i s ohledem na chování za nízkých teplot. Na základě výsledků laboratorních zkoušek byly učiněny tyto závěry:

- PMB RC spadající do stejné třídy mohou vykazovat podstatné rozdíly ve stupni polymerní modifikace.
- Některé konvenční PMB s vyšším bodem měknutí mohou být vhodnější pro výrobu asfaltových směsí s R-materiálem než některé PMB RC s nižším stupněm modifikace a s nižší hodnotou bodu měknutí.
- Více modifikované PMB RC ztrácejí své elastické vlastnosti při smíchání se zestárlým nemodifikovaným silničním asfaltem pomaleji než méně modifikované PMB RC.

- Více modifikované PMB RC disponují širším oborem použitelnosti, který zůstává širší i při přidání zestárlého nemodifikovaného silničního asfaltu oproti PMB RC s nižším stupněm modifikace.
- Kategorizace jednotlivých pojiv do příslušných tříd stanovených v ČSN EN 14023 [14] z roku 2010 z hlediska vratné a silové duktility není dostatečná. Pro přesnější rozřídění by bylo vhodné zavést třídu požadující vratnou duktilitu 90 % a dále pak třídu smluvní energie 5 J/cm<sup>2</sup> nebo vyšší v případě zkoušky silové duktility.
- Bod měknutí se ukázal jako dobrý indikátor elastických vlastností jednotlivých PMB RC, protože výsledky zkoušky bodu měknutí dobře korelovaly s výsledky zkoušky vratné duktility.
- Bod měknutí a bod lámavosti mohou sloužit jako snadno dostupné a efektivní charakteristiky, podle kterých lze určit rozdíly v chování PMB RC při empirickém posouzení vlastností pojiv.“ [42]

## 5. VÝROBA ASFALTOVÝCH SMĚSÍ S R-MATERIÁLEM

V České republice je prozatím rozhodnutí o přidávání R-materiálu do nově vyráběných asfaltových směsí ponecháno na výrobci. Technické normy a další související předpisy jeho přidávání v určitých případech a určité míře (viz kapitola 2) dovolují, ale nepřikazují jeho použití. Použití R-materiálu striktně nevyžadují ani nejvýznamnější investorské organizace jako např. Ředitelství silnic a dálnic ČR.

Výrobce tedy o použití R-materiálu do nově vyráběných asfaltových směsí uvažuje v praxi pouze tehdy, pokud je to pro něj ekonomicky výhodné. S ekonomickou výhodností úzce souvisí také jeho technické vybavení pro přidávání R-materiálu do vyráběných asfaltových směsí a případné investice do něj.

Vhledem k zrnitostem nově vyráběných asfaltových směsí, které jsou v České republice normově omezeny maximální velikostí zrna kameniva 22 mm, se lze většinou v ČR setkat se zrnitostí přidávaného R-materiálu 0/11 mm, 0/16 mm nebo 0/22 mm. Znovuzískaná asfaltová směs se nejčastěji drtí na požadované frakce v klasických drtičkách, a to nejčastěji v mobilních variantách v zimním období, kdy se drcený materiál nelepí v drticím zařízení.

Znovuzískaná asfaltová směs může být ve formě materiálu odvezeného od silniční frézy, vybouraných ker (viz obrázek 7) nebo jde o nově vyrobenou směs z neshodné výroby.



Obrázek 7: Znovuzískaná asfaltová směs ve formě vybouraných ker



V poslední době se pro drcení znovuzískané asfaltové směsi objevují i sofistikovanější provedení drtiček, které jsou konstruovány tak, aby nedocházelo k drcení jednotlivých zrn kameniva. Zrna jsou pouze „drásána“ od sebe tak, že se jednotlivá pojmivem obalená zrna od sebe oddělují a nedochází k drcení jednotlivých zrn, a tím k výskytu neobalených ploch.



Obrázek 8: Drticí zařízení pro přípravu R-materiálu

Tento materiál, nadrcený na požadované frakce, je poté skladován v meziskládkách či boxech a je připraven pro použití ve výrobě nových asfaltových směsí. Forma skládkování je opět v ČR na různých kvalitativních úrovních.

Objevují se:

- a) nezastřešené haldy s nijak nezpevněným podkladem – jde o způsob skladování, který nezabraňuje pronikání vlhkosti do uloženého materiálu ze spodu vztlínáním ani shora ve formě dešťových srážek,
- b) nezastřešené haldy se zpevněným podkladem – tento způsob skladování zabraňuje vztlínání zemní vlhkosti,
- c) zastřešené haldy se zpevněným podkladem – jde o technicky nejvhodnější řešení. Je zabráněno vnikání dešťové vody i zemní vlhkosti. Je vhodný a nutný především u skladování jemnějších frakcí R-materiálu.

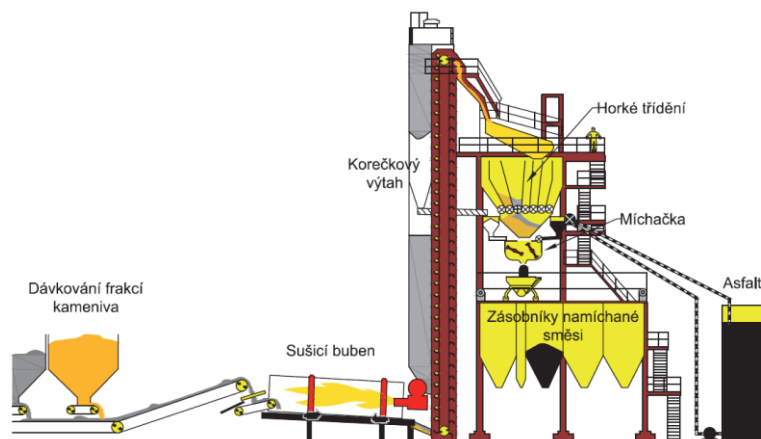


Obrázek 9: Zastřešení skládky R-materiálu

Při vlastní výrobě asfaltových směsí se lze obecně setkat se třemi variantami jeho přidávání:

### 5.1. Přidávání R-materiálu zastudena

Jde prozatím o nejrozšířenější způsob přidávání R-materiálu v České republice vzhledem k tomu, že necelá polovina všech obaloven v ČR je vybavena zařízením, umožňujícím přidávat R-materiál zastudena. R-materiál je buď dávkován stejnou cestou jako nové kamenivo, nebo je dávkován přímo do míchačky obalovny přes samostatnou váhu.



Obrázek 10: Schéma šaržové obalovny [1]

Tento nadávkovaný R-materiál je nahřát přímo v míchačce obalovny od nově dávkovaného kameniva, ohřátého na vyšší teplotu. Tato varianta přidávání však s sebou přináší některá omezení.

a) Vzhledem k vlhkosti přidávaného studeného R-materiálu dochází při jeho styku s kamenivem nahřátým na vysokou teplotu ke vzniku vodní páry, kterou je nutno odvětrávat. Toto odvětrávání zpomaluje výrobu – snižuje výkon obalovny. Konkrétní časy výrobního cyklu pro záměs 2,5 tuny na obalovně o výkonu 140 tun/za hodinu mohou poté vypadat následovně:

Suché míchání	10 s
Odvětrání	15 s
Míchání s asfaltem	25 s
Výsyp	6 s

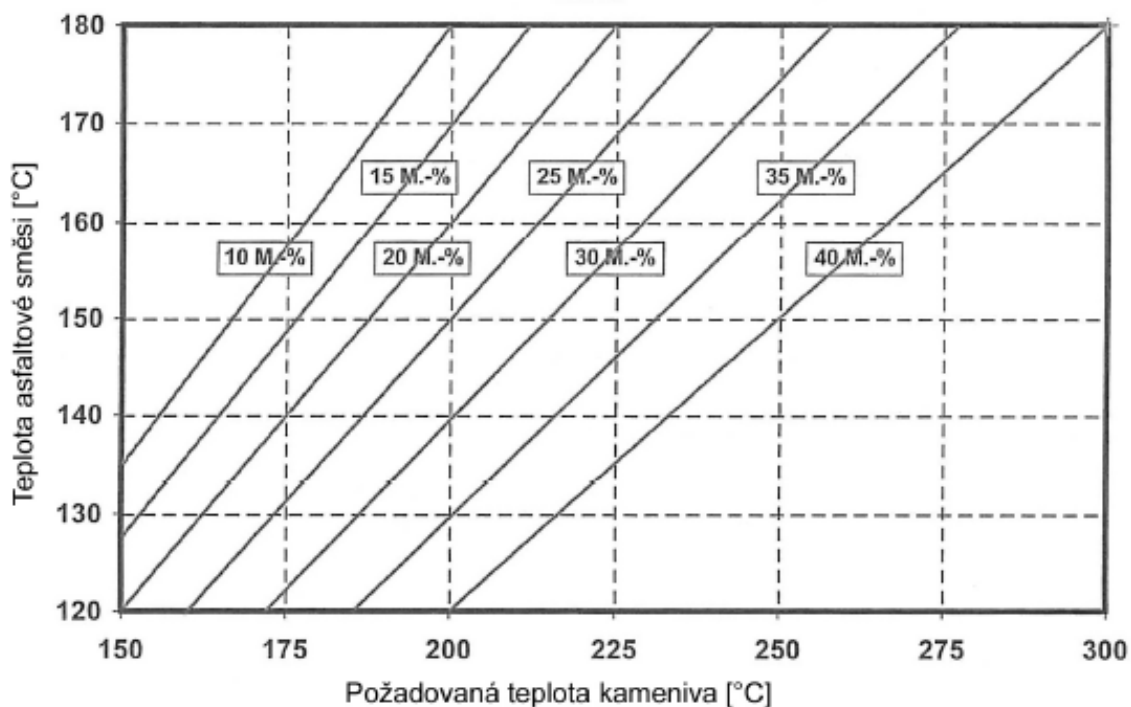
Vlhkost dávkovaného R-materiálu lze snížit například zastřešením skládek R-materiálu na obalovně a jeho uložením na zpevněném, odvodněném podkladu tak, aby nedocházelo ke vzlínání vlhkosti z podloží skládky. S ohledem na vlhkost R-materiálu je např. ve Spolkové republice Německo doporučováno navýšení teploty nově přidávaného kameniva o hodnoty uvedené v Tabulce 9, která je uvedena v předpise [46]. V tabulce si lze všimnout poměrně vysokých doporučovaných hodnot zvýšení teploty v případech vyšších vlhkostí R-materiálu a jeho vyššího dávkovaného množství.

Tabulka 9: Navýšení teploty nově přidávaného kameniva v závislosti na obsahu vody v R-materiálu [46]

Podíl R-materiálu v % hm.	Vlhkost R-materiálu v %					
	1	2	3	4	5	6
	Korektura 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	-	-	-	-

b) Vzhledem k nutnosti nahřívání nově přidávaného kameniva na vyšší teplotu hrozí při jeho styku s pojivem obsaženým v R-materiálu mimo jiné nebezpečí jeho degradace a zrychlené stárnutí (přepálení). Nutnost nahřívání nového kameniva na velmi vysoké teploty lze doložit schématem, uvedeným v německém předpise

[46], ze kterého lze vyčíst požadovanou teplotu nově přidávaného kameniva v závislosti na množství dávkovaného R-materiálu a požadovanou výslednou teplotu vyrobené asfaltové směsi.



Obrázek 11: Požadovaná teplota nově přidávaného kameniva v závislosti na množství dávkovaného R-materiálu (10 % až 40 %) a požadované výsledné teplotě vyrobené asfaltové směsi. [46]

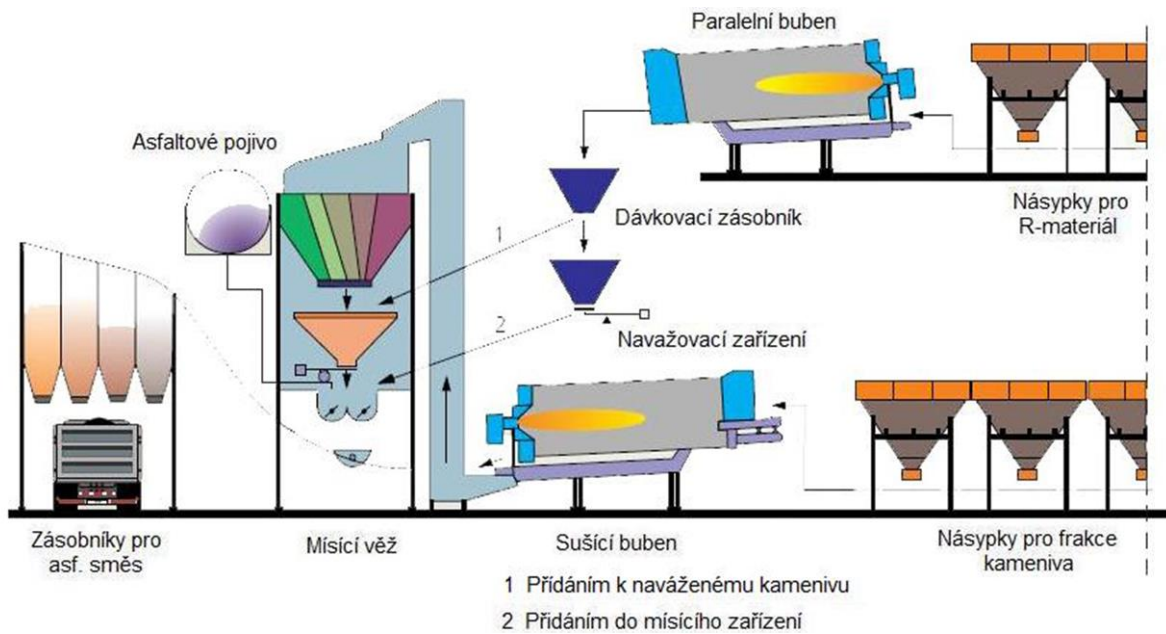
## 5.2. Přidávání R-materiálu za tepla pomocí paralelního bubnu

Tento způsob přidávání R-materiálu do asfaltových směsí je hojně rozšířen v sousední Spolkové republice Německo a začíná se pomalu rozšiřovat i v České republice, kde je tímto zařízením vybaveno přibližně deset obaloven.

V paralelním bubnu dochází k nahřívání přidávaného R-materiálu na teplotu 120 °C až 130 °C a k ošetření R-materiálu rejuvenační přísadou. Teprve poté je tento nahřátý R-materiál dávkován do míchačky obalovny. Při tomto způsobu dávkování není nutno nově přidávané kamenivo nahřívát na vysokou teplotu a nehrozí tedy nebezpečí nadměrné degradace pojiva v R-materiálu, jako je tomu při dávkování zastudena. Další výhodou je, že nedochází k tvorbě vodní páry.

Při použití paralelního bubnu obalovny je možné dávkovat R-materiál v množství přesahujícím i 80 %. Tento způsob je využíván v SRN především v případě asfaltových směsí, určených pro podkladní vrstvy vozovek.

Především tomuto způsobu přidávání R-materiálu byla věnována pozornost ve výzkumných projektech, jejichž výsledky jsou shrnovány v habilitační práci.



Obrázek 12: Schéma obalovny vybavené paralelním bubnem [47]



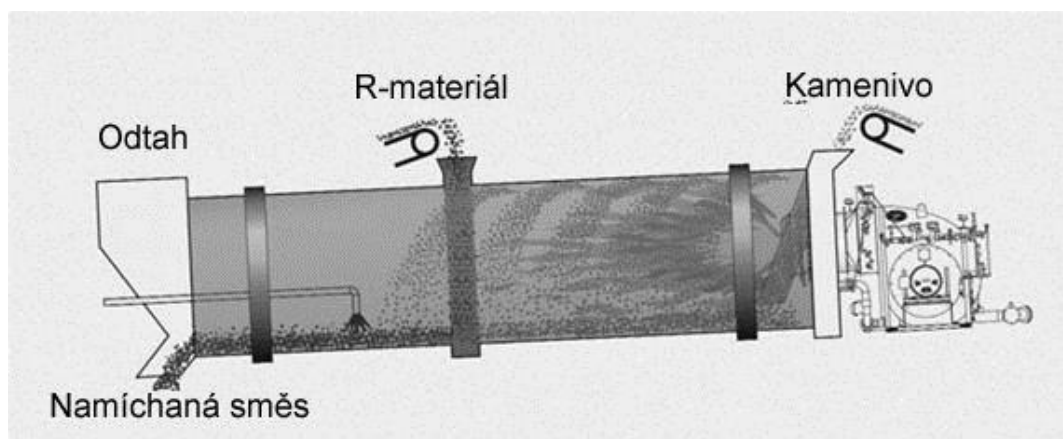
Obrázek 13: Obalovny asfaltových směsí vybavené paralelním sušícím bubnem – vlevo Česká republika - Bruntál, vpravo Spolková republika Německo - Norimberk

### 5.3. Přidávání R-materiálu v kontinuální obalovně

Vzhledem k tomu, že se v České republice nevyskytují kontinuální obalovny asfaltových směsí, tento způsob přidávání R-materiálu se zde vůbec nevyskytuje. Je rozšířen především ve Spojených státech amerických, kde je v kontinuálních obalovnách vyráběno až 80 % objemu výroby asfaltových směsí.

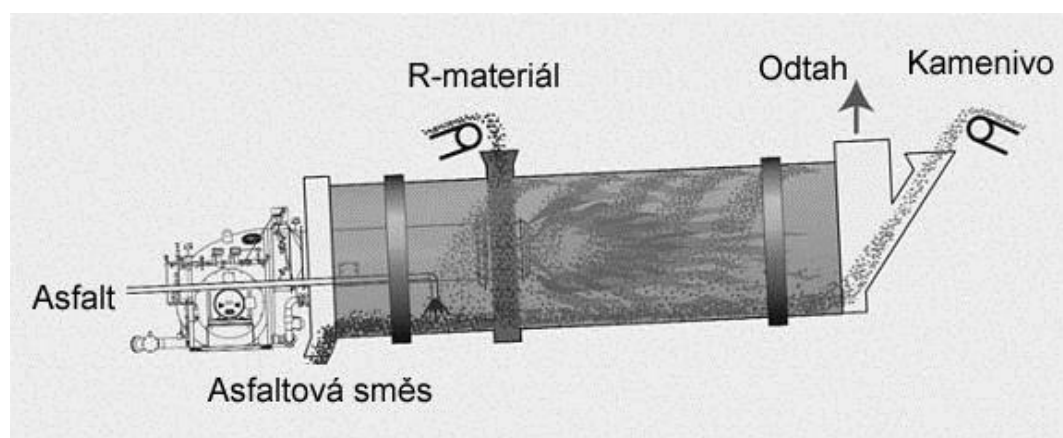
Tento R-materiál je do nich možno dávkovat z konstrukčního pohledu třemi způsoby:

**a) R-materiál je přidáván souběžně s proudem horkého vzduchu**



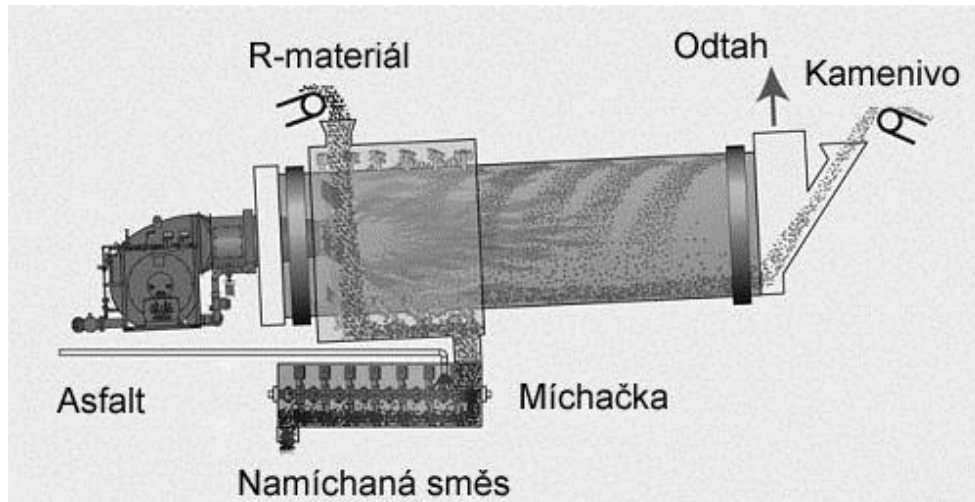
Obrázek 14: Schéma kontinuální obalovny se systémem přidávání R-materiálu souběžně s proudem horkého vzduchu [47]

**b) R-materiál je přidáván proti proudu horkého vzduchu**



Obrázek 15: Schéma kontinuální obalovny se systémem přidávání R-materiálu proti proudu horkého vzduchu [47]

- c) R-materiál je vysoušen separátně a teprve poté dochází k míchání směsi v oddělené míchačce



Obrázek 16: Schéma kontinuální obalovny se separátním systémem vysoušení R-materiálu [47]



Obrázek 17: Kontinuální obalovna s násypkou pro dávkování R-materiálu a systémem přidávání R-materiálu proti proudu horkého vzduchu

## 6. CÍLE HABILITAČNÍ PRÁCE

Jak již bylo uvedeno v předcházejících kapitolách habilitační práce, Česká republika dosud v oblasti využívání R-materiálu výrazně zaostává za vyspělými evropskými zeměmi. Tento stav je způsoben nejen nedostatečnou legislativní a normovou podporou pro možnost dávkování vyšších podílů R-materiálu do hutněných asfaltových směsí, ale také nedůvěrou investorských organizací ke kvalitě asfaltových směsí obsahujících R-materiál.

Habilitační práce si klade za cíl popsat a shrnout všechny činnosti autora práce, které souvisejí s jeho snahou o zlepšení stávajícího stavu v oblasti využívání R-materiálu v hutněných asfaltových směsích v České republice.

Možnost posunu v této oblasti a srovnání České republiky na úroveň vyspělých zemí autor práce chápe jako komplexní problém, který se skládá z jednotlivých dílčích aktivit. Mezi tyto dílčí aktivity lze zahrnout:

- provedení komplexního laboratorního výzkumu, zaměřeného na ověření možnosti návrhů nejrozšířenějších druhů asfaltových směsí s různými podíly a druhy R-materiálů z hlediska zrnitosti, obsahu pojiva a splnění základních normami požadovaných parametrů,
- stanovení vybraných funkčních parametrů navržených směsí s R-materiálem a srovnání těchto parametrů s příslušnými referenčními směsmi bez R-materiálu v podmínkách ČR,
- vybudování pokusných úseků pro ověření možnosti výroby, pokládky a hutnění směsí s R-materiálem a pro možnost jejich dalšího pravidelného sledování,
- tvorbu nových a úpravu stávajících legislativních a normových předpisů,
- školící, přednáškové a další činnosti zaměřené na prolomení nedůvěry, která je stále ještě patrná jak u investorských organizací, tak i u některých dodavatelských firem.



## 7. R-MATERIÁL VE SMĚSÍCH TYPU ASFALTOVÝ BETON

Asfaltové směsi typu asfaltový beton jsou nejrozšířenějším druhem hutněných za horka vyráběných asfaltových směsí. Objem jejich výroby tvoří v současné době v České republice téměř 90 % z celkového objemu výroby všech asfaltových směsí. Jsou určeny pro podkladní, ložní i obrusné vrstvy vozovek.

Jde tedy o typ směsi, u kterého je nejvyšší potenciál pro možné zabudování R-materiálu z hlediska zabudovaného množství. Z tohoto důvodu byla asfaltovým směsím typu asfaltový beton věnována při laboratorním zkoušení a budování pokusného úseku prvotní pozornost. Jak bylo již uvedeno v úvodu habilitační práce, práce v oblasti využití R-materiálu u asfaltových směsí typu asfaltový beton byly prováděny a níže uváděné výsledky byly získány s podporou výzkumného projektu technologické agentury ČR č. TA02030549 “Maximálně efektivní využití recyklovaných asfaltových vrstev vozovek pro výrobu asfaltových směsí” [24], u něhož byl autor habilitační práce spoluřešitelem, a v jehož řešení byly dále využity diplomové práce [59] a [60].

Nejprve byly stanoveny vybrané normové parametry vstupních materiálů, potřebných pro provedení laboratorních návrhů asfaltových směsí s různými podíly R-materiálu. Byly provedeny návrhy asfaltových směsí:

- a) ACL 22+ s 0 %, 30 %, 50 % a 70 % R-materiálu,
- b) ACP 22+ s 0 %, 30 %, 50 % a 70 % R-materiálu.

Poté byly zjišťovány následující funkční charakteristiky na laboratorně vyráběných vzorcích:

- u asfaltových směsí typu ACL 22+ s 0 %, 30 %, 50 % a 70 % R-materiálu:

- a) stanovení odolnosti zkušebního tělesa vůči vodě dle ČSN EN 12697-12 [48],
- b) stanovení tuhosti dle ČSN EN 12697-26 [49],
- c) posouzení odolnosti asfaltové směsi proti tvorbě trvalých deformací zkouškou pojíždění kolem dle ČSN EN 12697-22+A1 [50];

- u asfaltových směsí typu ACP 22+ s 0 %, 30 %, 50 % a 70 % R-materiálu:

- a) stanovení tuhosti dle ČSN EN 12697-26 [49],
- b) posouzení odolnosti vůči únavě dle ČSN EN 12697-24 [51].

### 7.1. Parametry vstupních materiálů pro laboratorní návrhy asfaltových směsí typu asfaltový beton s R-materiálem

#### 7.1.1. Asfaltové pojivo

Pro laboratorní návrhy asfaltových směsí typu asfaltový beton bylo použito pojivo gradace 50/70. Níže v tabulce jsou uvedeny jeho základní zjištěné parametry.

Tabulka 10: Základní zjištěné parametry pojiva gradace 50/70

	Stanovené hodnoty	Požadavek normy ČSN EN 12591 [13]
Hodnota penetrace dle ČSN EN 1426 [32]	59 p.j.	50 -70 p.j.
Teplota bod měknutí dle ČSN EN 1427 [17]	48,1 °C	46 – 54°C

Dále byly pro návrhy využity R-materiály o zrnitosti 0/22 mm. Z těchto R-materiálů bylo vyextrahováno asfaltové pojivo a stanoveno jeho množství v R-materiálu. Na tomto zpětně získaném pojivu byly stanoveny jeho základní parametry. Níže v tabulkách jsou uvedeny základní zjištěné parametry na zpětně získaných pojivech včetně jejich množství v příslušném R-materiálu.

Tabulka 11: Základní zjištěné parametry zpětně získaného pojiva z R-materiálu zrnitosti 0/22 mm pro návrh směsí ACL 22+

	Stanovené hodnoty	Množství pojiva v R-materiálu
Hodnota penetrace dle ČSN EN 1426 [32]	27 p.j.	5,2 %
Teplota bod měknutí dle ČSN EN 1427 [17]	60,2 °C	

Tabulka 12: Základní zjištěné parametry zpětně získaného pojiva z R-materiálu zrnitosti 0/22 mm pro návrh směsí ACP 22+

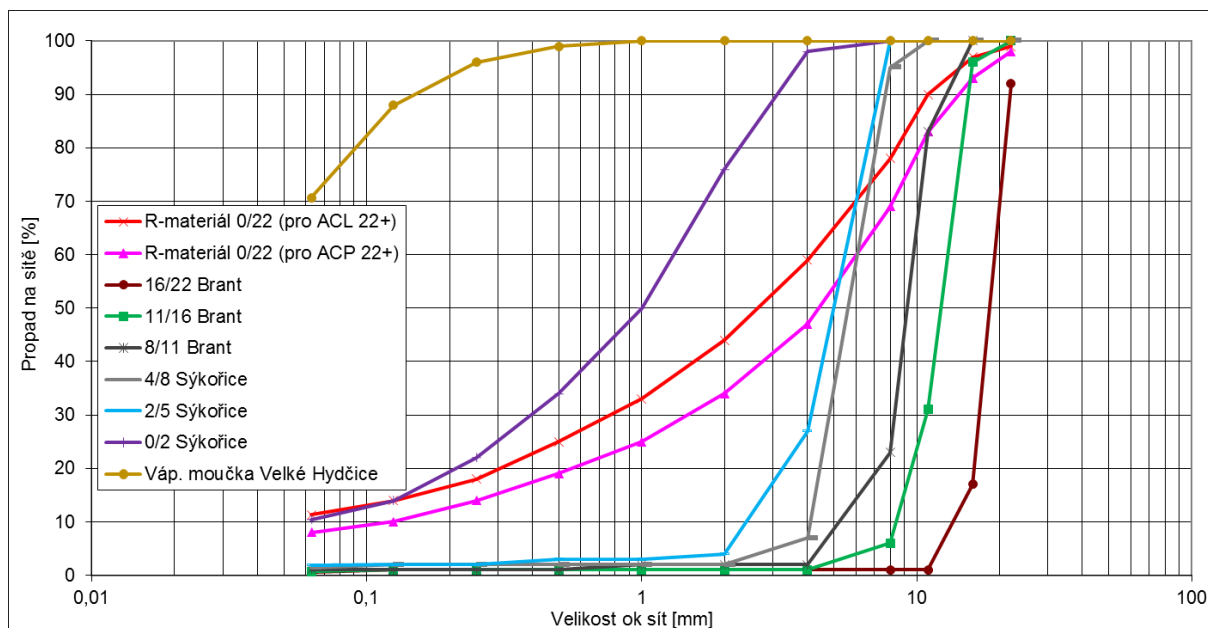
	Stanovené hodnoty	Množství pojiva v R-materiálu
Hodnota penetrace dle ČSN EN 1426 [32]	25 p.j.	4,6 %
Teplota bod měknutí dle ČSN EN 1427 [17]	59,2 °C	

### 7.1.2. Kamenivo

Pro laboratorní návrhy bylo kromě R-materiálů 0/22 mm použito přírodní kamenivo z lokalit Brant, Sýkořice a Velké Hydčice. Laboratorně byly na všech dodaných frakcích provedeny síťové rozbory dle ČSN EN 933-1 [52]. Níže jsou v Tabulce 13 uvedeny výsledky stanovení zrnitosti na všech frakcích.

Tabulka 13: Zrnitosti jednotlivých frakcí použitého kameniva

Frakce	Velikost síta (mm)										
	22	16	11	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
R-materiál 0/22 (pro ACL 22+)	99	97	90	78	59	44	33	25	18	14	11,3
R-materiál 0/22 (pro ACP 22+)	98	93	83	69	47	34	25	19	14	10	8
16/22 Brant	92	17	1	1	1	1	1	1	1	1	0,6
11/16 Brant	100	96	31	6	1	1	1	1	1	1	0,7
8/11 Brant	100	100	83	23	2	2	2	1	1	1	1,1
4/8 Sýkořice	100	100	100	95	7	2	2	2	2	2	1,4
2/5 Sýkořice	100	100	100	100	27	4	3	3	2	2	1,9
0/2 Sýkořice	100	100	100	100	98	76	50	34	22	14	10,4
Váp. moučka Velké Hydčice	100	100	100	100	100	100	100	99	96	88	70,7



Graf 3: Čáry zrnitosti jednotlivých frakcí použitého kameniva

### 7.1.3. Rejuvenační přísada

Pro oživení asfaltového pojiva v R-materiálu byla při laboratorních návrzích směsí typu asfaltový beton (ACL 22+ a ACP22+) a následně výrobě laboratorních vzorků použita přísada Storflux. Dle dodavatele jde o ropný derivát získaný při sekundární rafinaci. Slouží k regeneraci zoxidovaného asfaltového pojiva v R-materiálu. Obsahuje řadu chemických látek, které umožňují aktivaci zestárlého pojiva. Vlastnosti této přísady jsou uvedeny v Tabulce 14.

Tabulka 14: Vlastnosti použité přísady Storflux

Hustota (při 15 °C)	890 - 915	g/l
Viskozita (při 40 °C)	80 - 120	mm <sup>2</sup> /s
Bod vzplanutí	> 220	°C
Obsah síry	0,45	%
Obsah vody	< 0,1	%
Obsah popílku	< 1,5	%
Bod tuhnutí	-15	°C
PCB (polychlorované bifenyly)	není zjistitelný	mg/kg
Polyaromatickéúhlovodíky	< 100	mg/kg
Benzo(a)ryren	< 1	mg/kg

Postup aplikace a dávkování přísady: Do R-materiálu zahřátého na teplotu 135 °C se přidává změkčovadlo o hmotnosti 1 % z hmotnosti asfaltového pojiva, které je obsaženo v R-materiálu. Tímto způsobem se dosáhne snížení bodu měknutí asfaltového pojiva v R-materiálu o 1 °C. Adekvátně se následně vypočítá množství přísady na snížení bodu měknutí o požadované množství °C na úroveň nově přidávaného pojiva.

Příklad:

Bod měknutí přidávaného pojiva 50/70:	50 °C
Bod měknutí pojiva obsaženého v R-materiálu:	59 °C
Množství asfaltového pojiva v R-materiálu:	5,6 %
Hmotnost přidávaného R-materiálu:	2400 g
Požadavek normy na bod měknutí pojiva gradace 50/70:	47-53 °C

Výpočet:

Snížení bodu měknutí pojiva v R-materiálu o 9 °C (na 50 °C)

**a) Hmotnost pojiva v R-materiálu:**

$$m_{p,Rmat} = \%pojiva \cdot m_{Rmat} = 0,056 \cdot 2400 = 134,4 \text{ g}$$

**b) Hmotnost změkčovadla pro snížení bodu měknutí o 1 °C:**

$$m_{STORF,1^{\circ}C} = 1\% \cdot m_{p,Rmat} = 0,01 \cdot 134,4 = 1,344 \text{ g}$$

**c) Hmotnost změkčovadla pro snížení bodu měknutí o 9 °C:**

$$m_{STORF} = ^{\circ}C \cdot m_{STORF,1^{\circ}C} = 9 \cdot 1,344 = \mathbf{12,1 \text{ g}}$$

Pro snížení bodů měknutí pojiva ve 2400 g R-materiálu o 9 °C je potřeba **12,1 g** přísady Storflux. Příklad se v laboratoři přidá k rozehrátému R-materiálu a ponechá se cca 10 minut působit před dalším zamícháním s kamenivem a asfaltovým pojivem. Pro dosažení požadované teploty míchání celé směsi (pro asfalt 50/70 je teplota míchání asfaltové směsi stanovena na 160 °C) je zapotřebí kamenivo předehřát na vyšší teplotu tak, aby se R-materiál dohřál z teploty 135 °C.

Při vlastní výrobě se pak obdobným výpočtem stanoví množství dávkovaného rejuvenátoru, který se dávkuje k R-materiálu do paralelního bubnu obalovny asfaltových směsí.

## 7.2. Laboratorní návrhy asfaltových směsí typu asfaltový beton s R-materiálem

Při provádění laboratorních návrhů bylo snahou dodržet pokud možno stejné čáry zrnitosti a výsledné celkové obsahy asfaltu jednotlivých směsí tak, aby mohly být navržené směsi vzájemně porovnány v rámci následně prováděných funkčních laboratorních zkoušek.

### 7.2.1. ACL 22+ s 0 % R-materiálu

a) Složení asfaltové směsi

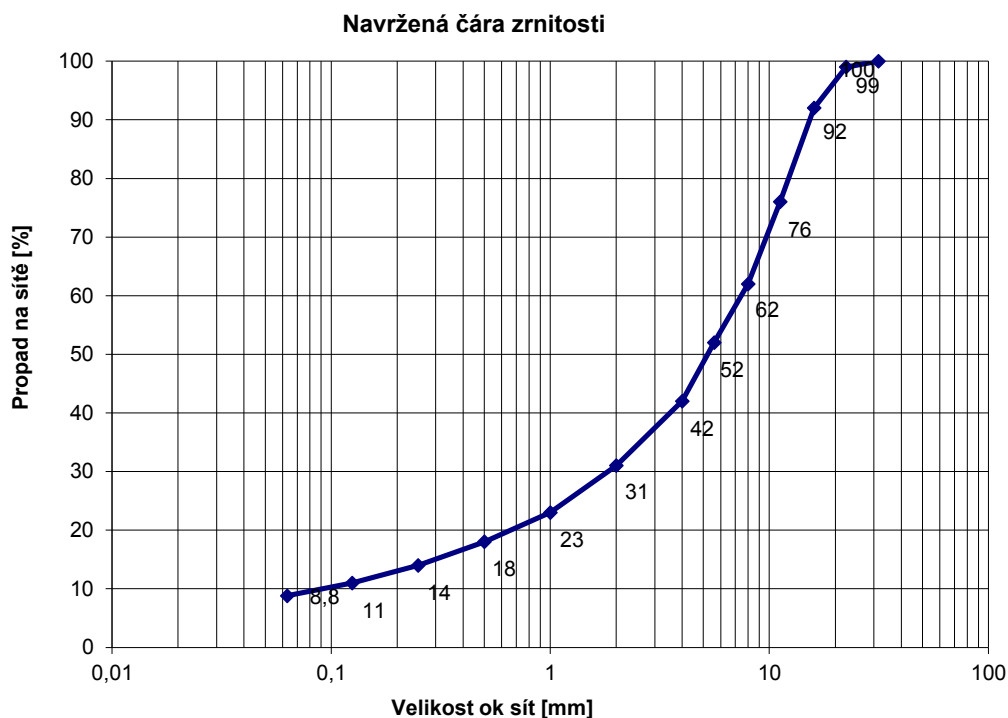
Tabulka 15: Návrhové vstupní složení směsi ACL 22+ s 0 % R-materiálu

Vápencová moučka	Velké Hydčice	6,7 %
DDK 0/2	Sýkořice	28,7 %
HDK 2/5	Sýkořice	19,1 %
HDK 8/11	Brant	15,3 %
HDK 11/16	Brant	17,2 %
HDK 16/22	Brant	8,6 %
R-materiál 0/22		0,0 %
Přidávaný asfalt	50/70	4,4 %
Celkem		100 %
+ Wetfix 0,2 % z přidávaného asfaltu		

Tabulka 16: Čára zrnitosti návrhového vstupního složení směsi ACL 22+ s 0 % R-materiálu

Velikost síta (mm)	Čára zrnitosti (propad zrn % hmot.)		
	Navržená	Dolní mez	Horní mez
31,5	100	100	100
22,4	99	90	100
16	92	70	95
11,2	76		
8	62	46	72
5,6	52		
4	42		
2	31	18	43
1	23		
0,5	18		
0,25	14		
0,125	11	4	15
0,063	8,8	3	9

Hodnoty horní a dolní mezní čáry zrnitosti dle ČSN EN 13108-1 [26]



Graf 4: Navržená čára zrnitosti směsi ACL 22+ s 0 % R-materiálu

b) Parametry navrhované asfaltové směsi

Tabulka 17: Parametry asfaltové směsi ACL 22+ s 0 % R-materiálu

$B_{min}$ [kg/100 kg]	$B_{min}$ [%]	$B_{vol}$ [v % obj.]	$\rho_b$ [kg.m <sup>-3</sup> ]	$\rho_{mv}$ [kg.m <sup>-3</sup> ]	V [%]	VMA [%]	VFB [%]	$\rho_d$ [kg.m <sup>-3</sup> ]
4,60	4,4	10,5	2442	2582	5,4	16,0	66	2778

Hodnota výsledného optima pojiva = 4,4 %.

Směrodatný obsah rozpustného pojiva pro kontrolní zkoušky = 4,2 %.

c) Výrobní teplota směsi

Teplota míchání 160 °C

Teplota hutnění 150 °C

d) Hutnící energie: 2 x 50 úderů Marshallova pěchu

### 7.2.2. ACL 22+ s 30 % R-materiálu

a) Složení asfaltové směsi

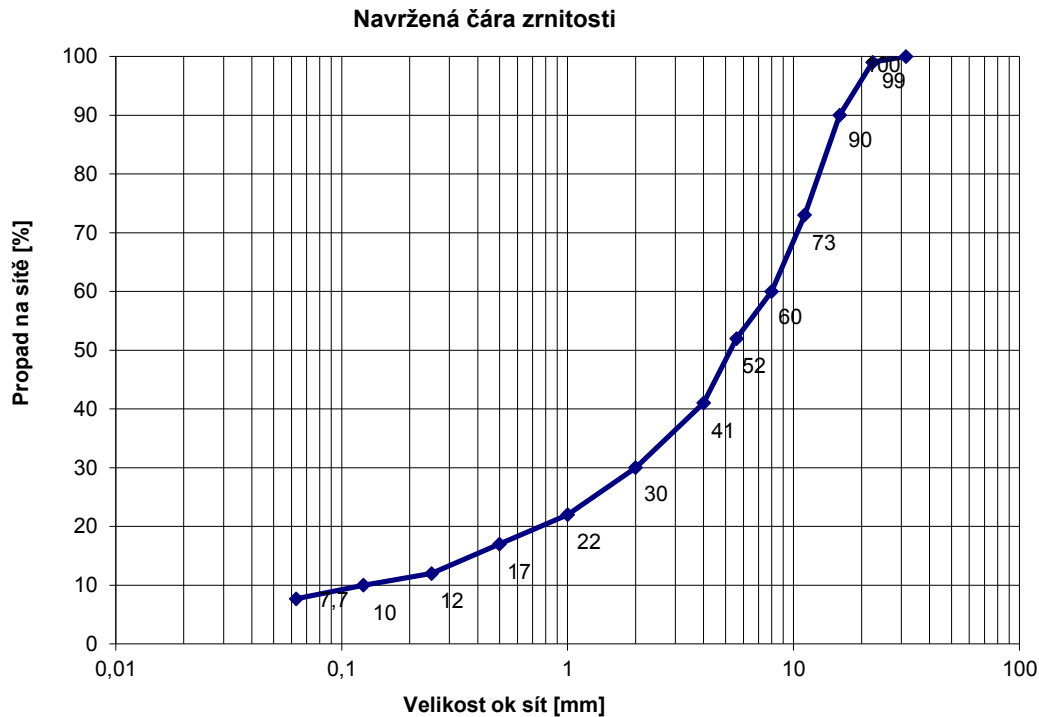
Tabulka 18: Návrhové vstupní složení směsi ACL 22+ s 30 % R-materiálu

Vápencová moučka	Velké Hydčice	2,8 %
DDK 0/2	Sýkořice	16,2 %
HDK 2/5	Sýkořice	13,4 %
HDK 8/11	Brant	8,5 %
HDK 11/16	Brant	16,9 %
HDK 16/22	Brant	9,4 %
R-materiál 0/22		30,0 %
Přidávaný asfalt	50/70	2,8 %
Celkem		100 %
+ Wetfix 0,2 % z přidávaného asfaltu		
+ Storflux 1% z množství asfaltu v R-materiálu na snížení bodu měknutí o 1 °C		

Tabulka 19: Čára zrnitosti návrhového vstupního složení směsi ACL 22+ s 30 % R-materiálu

Velikost síta (mm)	Čára zrnitosti (propad zrn % hmot.)		
	Navržená	Dolní mez	Horní mez
31,5	100	100	100
22,4	99	90	100
16	90	70	95
11,2	73		
8	60	46	72
5,6	52		
4	41		
2	30	18	43
1	22		
0,5	17		
0,25	12		
0,125	10	4	15
0,063	7,7	3	9

Hodnoty horní a dolní mezní čáry zrnitosti dle ČSN EN 13108-1 [26]



Graf 5: Navržená čára zrnitosti směsi ACL 22+ s 30 % R-materiálu

b) Parametry navrhované asfaltové směsi

Tabulka 20: Parametry asfaltové směsi ACL 22+ s 30 % R-materiálu

$B_{min}$ [kg/100 kg]	$B_{min}$ [%]	$B_{vol}$ [v % obj.]	$\rho_b$ [kg.m <sup>-3</sup> ]	$\rho_{mv}$ [kg.m <sup>-3</sup> ]	V [%]	VMA [%]	VFB [%]	$\rho_d$ [kg.m <sup>-3</sup> ]
4,60	4,4	10,4	2418	2565	5,7	16,2	65	2757

Hodnota výsledného optima pojiva = 4,4 %.

Směrodatný obsah rozpustného pojiva pro kontrolní zkoušky = 4,2 %.

c) Výrobní teplota směsi

Teplota míchání 160 °C

Teplota hutnění 150 °C

d) Hutnicí energie: 2 x 50 úderů Marshallova pěchu



### 7.2.3. ACL 22+ s 50 % R-materiálu

a) Složení asfaltové směsi

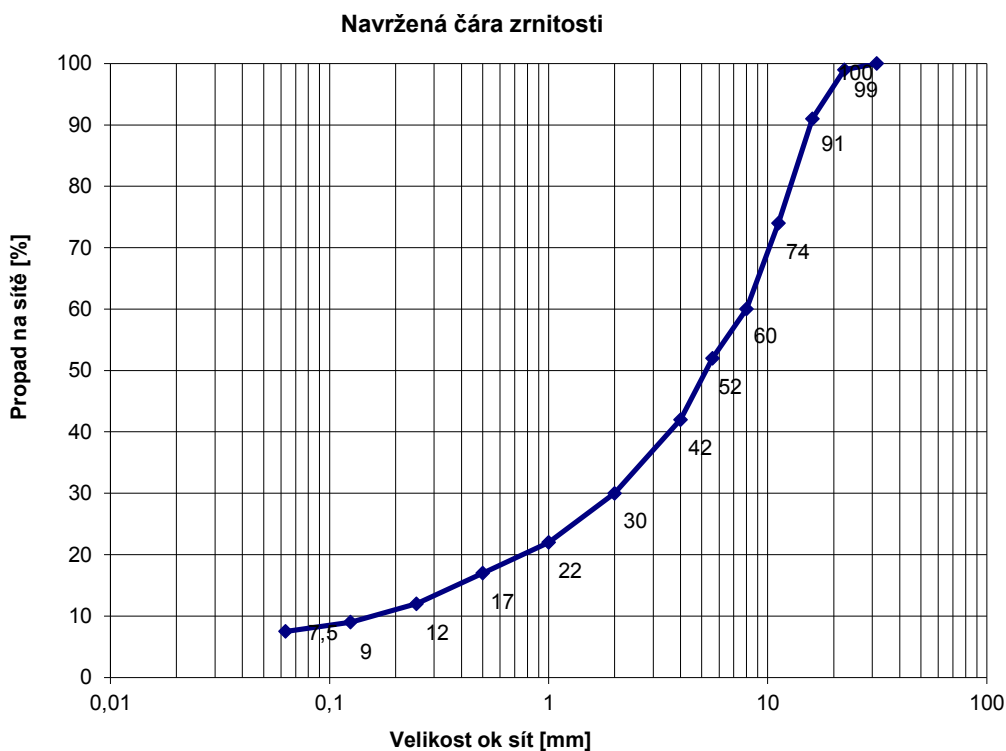
Tabulka 21: Návrhové vstupní složení směsi ACL 22+ s 50 % R-materiálu

Vápenková moučka	Velké Hydčice	0,9 %
DDK 0/2	Sýkořice	9,2 %
HDK 2/5	Sýkořice	9,2 %
HDK 8/11	Brant	5,5 %
HDK 11/16	Brant	16,1 %
HDK 16/22	Brant	7,3 %
R-materiál 0/22		50,0 %
Přidávaný asfalt	50/70	1,8 %
Celkem		100 %
+ Wetfix 0,2 % z přidávaného asfaltu		
+ Storflux 1% z množství asfaltu v R-materiálu na snížení bodu měknutí o 1 °C		

Tabulka 22: Čára zrnitosti návrhového vstupního složení směsi ACL 22+ s 50 % R-materiálu

Velikost síta (mm)	Čára zrnitosti (propad zrn % hmot.)		
	Navržená	Dolní mez	Horní mez
31,5	100	100	100
22,4	99	90	100
16	91	70	95
11,2	74		
8	60	46	72
5,6	52		
4	42		
2	30	18	43
1	22		
0,5	17		
0,25	12		
0,125	9	4	15
0,063	7,5	3	9

Hodnoty horní a dolní mezní čáry zrnitosti dle ČSN EN 13108-1 [26]



Graf 6: Navržená čára zrnitosti směsi ACL 22+ s 50 % R-materiálu

b) Parametry navrhované asfaltové směsi

Tabulka 23: Parametry asfaltové směsi ACL 22+ s 50 % R-materiálu

$B_{min}$ [kg/100 kg]	$B_{min}$ [%]	$B_{vol}$ [v % obj.]	$\rho_b$ [kg.m <sup>-3</sup> ]	$\rho_{mv}$ [kg.m <sup>-3</sup> ]	V [%]	VMA [%]	VFB [%]	$\rho_d$ [kg.m <sup>-3</sup> ]
4,60	4,4	10,4	2449	2558	4,3	14,8	71	2749

Hodnota výsledného optima pojiva = 4,4 %.

Směrodatný obsah rozpustného pojiva pro kontrolní zkoušky = 4,2 %.

c) Výrobní teplota směsi

Teplota míchání 160 °C

Teplota hutnění 150 °C

d) Hutnicí energie: 2 x 50 úderů Marshallova pěchu

#### 7.2.4. ACL 22+ s 70 % R-materiálu

a) Složení asfaltové směsi

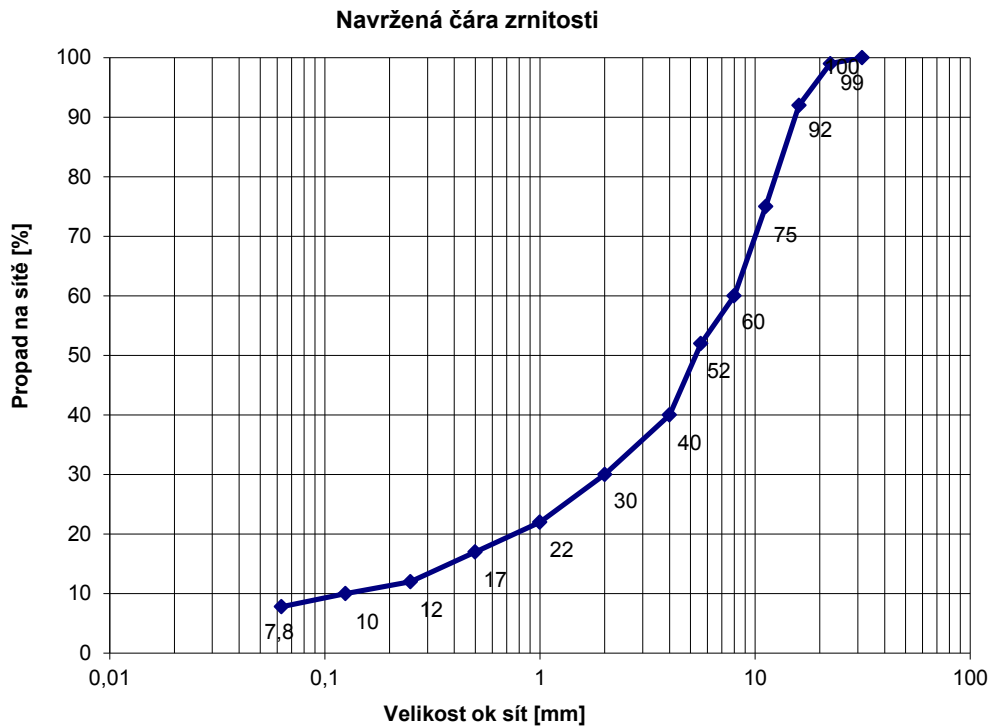
Tabulka 24: Návrhové vstupní složení směsi ACL 22+ s 70 % R-materiálu

Vápenková moučka	Velké Hydčice	0,0 %
DDK 0/2	Sýkořice	0,0 %
HDK 2/5	Sýkořice	5,3 %
HDK 8/11	Brant	3,5 %
HDK 11/16	Brant	15,6 %
HDK 16/22	Brant	4,8 %
R-materiál 0/22		70,0 %
Přidávaný asfalt	50/70	0,8 %
Celkem		100 %
+ Wetfix 0,2 % z přidávaného asfaltu		
+ Storflux 1% z množství asfaltu v R-materiálu na snížení bodu měknutí o 1 °C		

Tabulka 25: Čára zrnitosti návrhového vstupního složení směsi ACL 22+ s 70 % R-materiálu

Velikost síta (mm)	Čára zrnitosti (propad zrn % hmot.)		
	Navržená	Dolní mez	Horní mez
31,5	100	100	100
22,4	99	90	100
16	92	70	95
11,2	75		
8	60	46	72
5,6	52		
4	40		
2	30	18	43
1	22		
0,5	17		
0,25	12		
0,125	10	4	15
0,063	7,8	3	9

Hodnoty horní a dolní mezní čáry zrnitosti dle ČSN EN 13108-1 [26]



Graf 7: Navržená čára zrnitosti směsi ACL 22+ s 70 % R-materiálu

b) Parametry navrhované asfaltové směsi

Tabulka 26: Parametry asfaltové směsi ACL 22+ s 70 % R-materiálu

$B_{min}$ [kg/100 kg]	$B_{min}$ [%]	$B_{vol}$ [v % obj.]	$\rho_b$ [kg.m <sup>-3</sup> ]	$\rho_{mv}$ [kg.m <sup>-3</sup> ]	V [%]	VMA [%]	VFB [%]	$\rho_d$ [kg.m <sup>-3</sup> ]
4,60	4,4	10,5	2436	2555	4,7	15,2	69	2745

Hodnota výsledného optima pojiva = 4,4 %.

Směrodatný obsah rozpustného pojiva pro kontrolní zkoušky = 4,2 %.

c) Výrobní teplota směsi

Teplota míchání 160 °C

Teplota hutnění 150 °C

d) Hutnící energie: 2 x 50 úderů Marshallova pěchu

### 7.2.5. ACP 22+ s 0 % R-materiálu

a) Složení asfaltové směsi

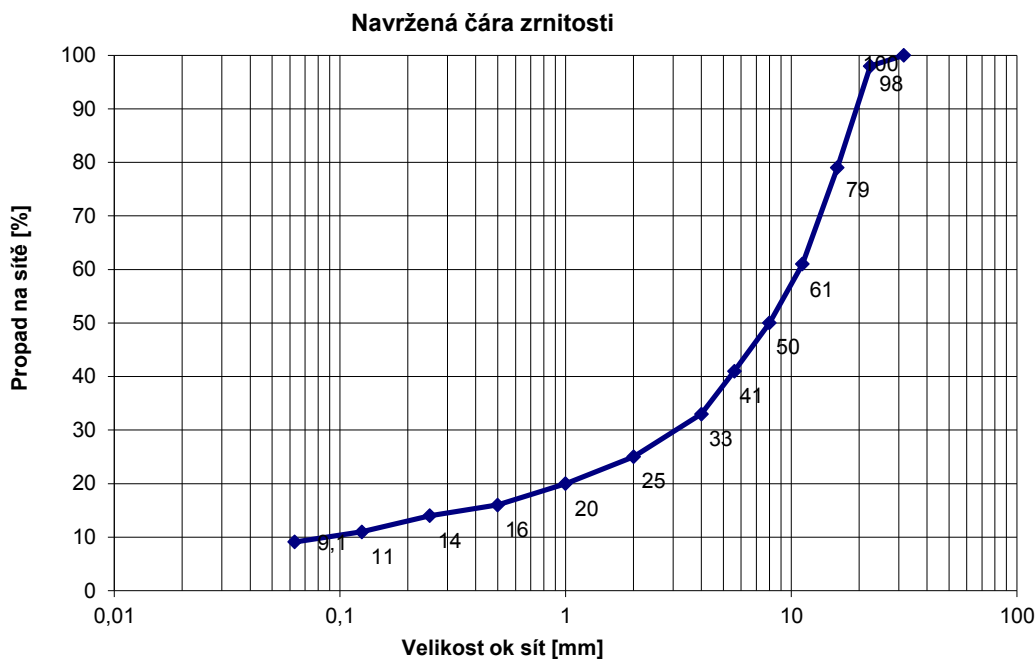
Tabulka 27: Návrhové vstupní složení směsi ACP 22+ s 0 % R-materiálu

Vápencová moučka	Velké Hydčice	8,6 %
DDK 0/2	Sýkořice	18,2 %
HDK 2/5	Sýkořice	17,2 %
HDK 8/11	Brant	11,5 %
HDK 11/16	Brant	16,3 %
HDK 16/22	Brant	23,9 %
R-materiál 0/22		0,0 %
Přidávaný asfalt	50/70	4,3 %
Celkem		100 %
+ Wetfix 0,2 % z přidávaného asfaltu		

Tabulka 28: Čára zrnitosti návrhového vstupního složení směsi ACP 22+ s 0 % R-materiálu

Velikost síta (mm)	Čára zrnitosti (propad zrn % hmot.)		
	Navržená	Dolní mez	Horní mez
31,5	100	100	100
22,4	98	90	100
16	79	60	85
11,2	61		
8	50	35	65
5,6	41		
4	33		
2	25	20	40
1	20		
0,5	16		
0,25	14		
0,125	11	4	16
0,063	9,1	3	10

Hodnoty horní a dolní mezní čáry zrnitosti dle ČSN EN 13108-1 [26]



Graf 8: Navržená čára zrnitosti směsi ACP 22+ s 0 % R-materiálu

b) Parametry navrhované asfaltové směsi

Tabulka 29: Parametry asfaltové směsi ACP 22+ s 0 % R-materiálu

$B_{min}$ [kg/100 kg]	$B_{min}$ [%]	$B_{vol}$ [v % obj.]	$\rho_b$ [kg.m <sup>-3</sup> ]	$\rho_{mv}$ [kg.m <sup>-3</sup> ]	V [%]	VMA [%]	VFB [%]	$\rho_d$ [kg.m <sup>-3</sup> ]
4,49	4,3	10,5	2422	2554	5,2	15,4	66	2739

Hodnota výsledného optima pojiva = 4,3 %.

Směrodatný obsah rozpustného pojiva pro kontrolní zkoušky = 4,1 %.

c) Výrobní teplota směsi

Teplota míchání 160 °C

Teplota hutnění 150 °C

d) Hutnicí energie: 2 x 50 úderů Marshallova pěchu

### 7.2.6. ACP 22+ s 30 % R-materiálu

a) Složení asfaltové směsi

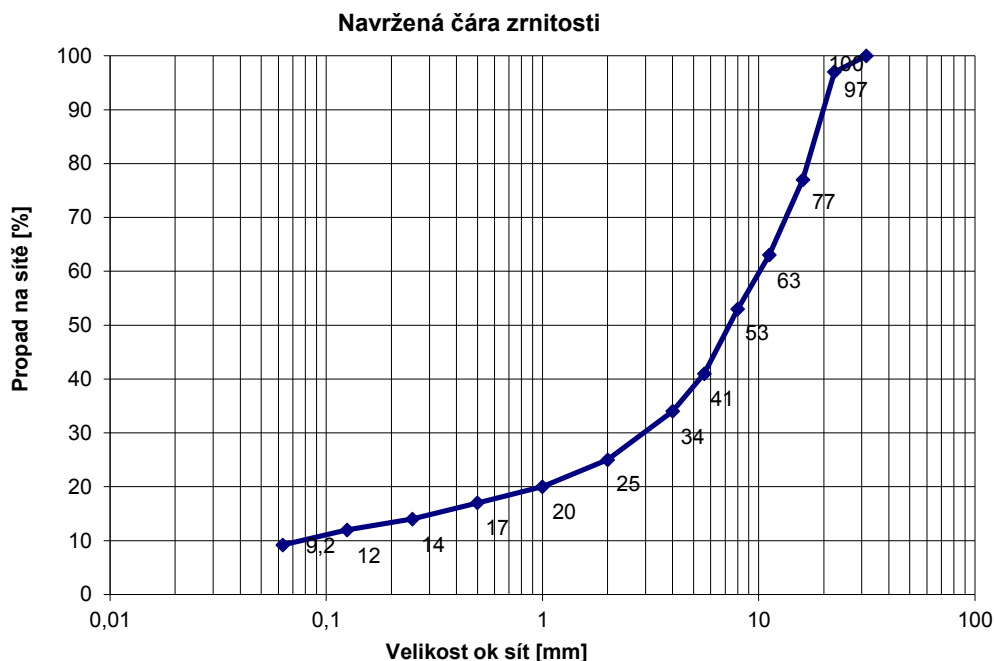
Tabulka 30: Návrhové vstupní složení směsi ACP 22+ s 30 % R-materiálu

Vápencová moučka	Velké Hydčice	7,1 %
DDK 0/2	Sýkořice	8,6 %
HDK 2/5	Sýkořice	13,4 %
HDK 8/11	Brant	5,6 %
HDK 11/16	Brant	9,5 %
HDK 16/22	Brant	22,9 %
R-materiál 0/22		30,0 %
Přidávaný asfalt	50/70	2,9 %
Celkem		100 %
+ Wetfix 0,2 % z přidávaného asfaltu		
+ Storflux 1% z množství asfaltu v R-materiálu na snížení bodu měknutí o 1 °C		

Tabulka 31: Čára zrnitosti návrhového vstupního složení směsi ACP 22+ s 30 % R-materiálu

Velikost síta (mm)	Čára zrnitosti (propad zrn % hmot.)		
	Navržená	Dolní mez	Horní mez
31,5	100	100	100
22,4	97	90	100
16	77	60	85
11,2	63		
8	53	35	65
5,6	41		
4	34		
2	25	20	40
1	20		
0,5	17		
0,25	14		
0,125	12	4	16
0,063	9,2	3	10

Hodnoty horní a dolní mezní čáry zrnitosti dle ČSN EN 13108-1 [26]



Graf 9: Navržená čára zrnitosti směsi ACP 22+ s 30 % R-materiálu

b) Parametry navrhované asfaltové směsi

Tabulka 32: Parametry asfaltové směsi ACP 22+ s 30 % R-materiálu

$B_{min}$ [kg/100 kg]	$B_{min}$ [%]	$B_{vol}$ [v % obj.]	$\rho_b$ [kg.m <sup>-3</sup> ]	$\rho_{mv}$ [kg.m <sup>-3</sup> ]	V [%]	VMA [%]	VFB [%]	$\rho_d$ [kg.m <sup>-3</sup> ]
4,49	4,3	10,4	2472	2551	3,1	13,5	77	2735

Hodnota výsledného optima pojiva = 4,3 %.

Směrodatný obsah rozpustného pojiva pro kontrolní zkoušky = 4,1 %.

c) Výrobní teplota směsi

Teplota míchání 160 °C

Teplota hutnění 150 °C

d) Hutnící energie: 2 x 50 úderů Marshallova pěchu



### 7.2.7. ACP 22+ s 50 % R-materiálu

a) Složení asfaltové směsi

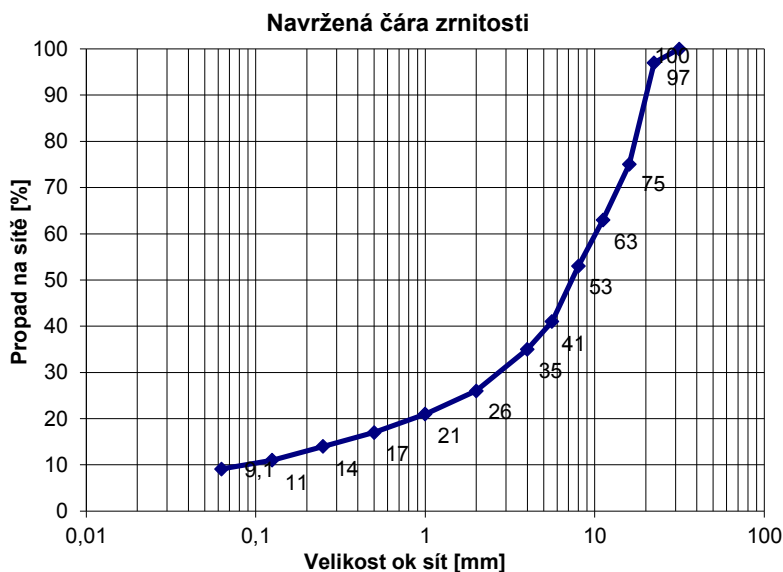
Tabulka 33: Návrhové vstupní složení směsi ACP 22+ s 50 % R-materiálu

Vápenková moučka	Velké Hydčice	5,8 %
DDK 0/2	Sýkořice	3,7 %
HDK 2/5	Sýkořice	7,3 %
HDK 8/11	Brant	3,7 %
HDK 11/16	Brant	3,7 %
HDK 16/22	Brant	23,8 %
R-materiál 0/22		50,0 %
Přidávaný asfalt	50/70	2,0 %
Celkem		100 %
+ Wetfix 0,2 % z přidávaného asfaltu		
+ Storflux 1% z množství asfaltu v R-materiálu na snížení bodu měknutí o 1 °C		

Tabulka 34: Čára zrnitosti návrhového vstupního složení směsi ACP 22+ s 50 % R-materiálu

Velikost síta (mm)	Čára zrnitosti (propad zrn % hmot.)		
	Navržená	Dolní mez	Horní mez
31,5	100	100	100
22,4	97	90	100
16	75	60	85
11,2	63		
8	53	35	65
5,6	41		
4	35		
2	26	20	40
1	21		
0,5	17		
0,25	14		
0,125	11	4	16
0,063	9,1	3	10

Hodnoty horní a dolní mezní čáry zrnitosti dle ČSN EN 13108-1 [26]



Graf 10: Navržená čára zrnitosti směsi ACP 22+ s 50 % R-materiálu

b) Parametry navrhované asfaltové směsi

Tabulka 35: Parametry asfaltové směsi ACP 22+ s 50 % R-materiálu

$B_{min}$ [kg/100 kg]	$B_{min}$ [%]	$B_{vol}$ [v % obj.]	$\rho_b$ [kg.m <sup>-3</sup> ]	$\rho_{mv}$ [kg.m <sup>-3</sup> ]	V [%]	VMA [%]	VFB [%]	$\rho_d$ [kg.m <sup>-3</sup> ]
4,49	4,3	10,3	2472	2556	3,3	13,7	76	2741

Hodnota výsledného optima pojiva = 4,3 %.

Směrodatný obsah rozpustného pojiva pro kontrolní zkoušky = 4,1 %.

c) Výrobní teplota směsi

Teplota míchání 160 °C

Teplota hutnění 150 °C

d) Hutnící energie: 2 x 50 úderů Marshallova pěchu

### 7.2.8. ACP 22+ s 70 % R-materiálu

a) Složení asfaltové směsi

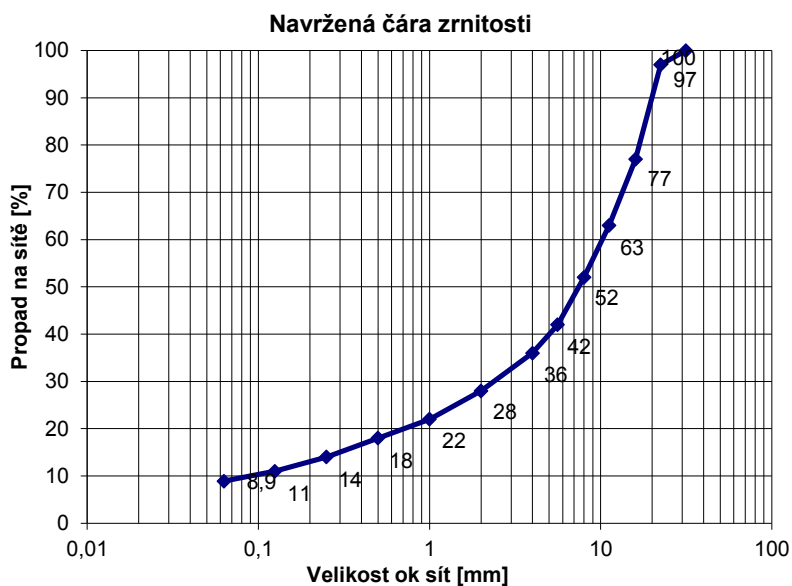
Tabulka 36: Návrhové vstupní složení směsi ACP 22+ s 70 % R-materiálu

Vápencová moučka	Velké Hydčice	4,2 %
DDK 0/2	Sýkořice	0,0 %
HDK 2/5	Sýkořice	0,0 %
HDK 8/11	Brant	0,9 %
HDK 11/16	Brant	4,7 %
HDK 16/22	Brant	19,1 %
R-materiál 0/22		70,0 %
Přidávaný asfalt	50/70	1,1 %
Celkem		100 %
+ Wetfix 0,2 % z přidávaného asfaltu		
+ Storflux 1% z množství asfaltu v R-materiálu na snížení bodu měknutí o 1 °C		

Tabulka 37: Čára zrnitosti návrhového vstupního složení směsi ACP 22+ s 70 % R-materiálu

Velikost síta (mm)	Čára zrnitosti (propad zrn % hmot.)		
	Navržená	Dolní mez	Horní mez
31,5	100	100	100
22,4	97	90	100
16	77	60	85
11,2	63		
8	52	35	65
5,6	42		
4	36		
2	28	20	40
1	22		
0,5	18		
0,25	14		
0,125	11	4	16
0,063	8,9	3	10

Hodnoty horní a dolní mezní čáry zrnitosti dle ČSN EN 13108-1 [26]



Graf 11: Navržená čára zrnitosti směsi ACP 22+ s 70 % R-materiálu

b) Parametry navrhované asfaltové směsi

Tabulka 38: Parametry asfaltové směsi ACP 22+ s 70 % R-materiálu

$B_{min}$ [kg/100 kg]	$B_{min}$ [%]	$B_{vol}$ [v % obj.]	$\rho_b$ [kg.m <sup>-3</sup> ]	$\rho_{mv}$ [kg.m <sup>-3</sup> ]	V [%]	VMA [%]	VFB [%]	$\rho_d$ [kg.m <sup>-3</sup> ]
4,49	4,3	10,4	2465	2555	3,5	13,9	75	2740

Hodnota výsledného optima pojiva = 4,3 %.

Směrodatný obsah rozpustného pojiva pro kontrolní zkoušky = 4,1 %.

c) Výrobní teplota směsi

Teplota míchání 160 °C

Teplota hutnění 150 °C

d) Hutnící energie: 2 x 50 úderů Marshallova pěchu

### 7.3. Parametry asfaltových směsí typu asfaltový beton s R-materiálem

Po provedení laboratorních návrhů směsí byla postupně v laboratoři vyráběna zkušební tělesa a zjišťovány následující funkční charakteristiky:

- u asfaltových směsí typu ACL 22+ s 0 %, 30 %, 50 % a 70 % R-materiálu:
  - a) stanovení odolnosti zkušebního tělesa vůči vodě dle ČSN EN 12697-12 [48],
  - b) stanovení tuhosti dle ČSN EN 12697-26 [49],
  - c) posouzení odolnosti asfaltové směsi proti tvorbě trvalých deformací zkouškou pojíždění kolem dle ČSN EN 12697-22+A1 [50];
- u asfaltových směsí typu ACP 22+ s 0 %, 30 %, 50 % a 70 % R-materiálu:
  - a) stanovení tuhosti dle ČSN EN 12697-26 [49],
  - b) posouzení odolnosti vůči únavě dle ČSN EN 12697-24 [51].

#### 7.3.1. Parametry asfaltových směsí typu ACL 22+ s 0 %, 30 %, 50 % a 70 % R-materiálu

##### a) Stanovení odolnosti zkušebního tělesa vůči vodě

Odolnost vůči účinkům vody byla stanovována dle ČSN EN 12697-12 [48] na tělesech hutněných rázovým zhutňovačem 2x25 údery. Polovina těles byla ponechána na suchu při laboratorní teplotě, druhá polovina těles byla po vakuování v exsikátoru temperována při teplotě 40 °C po dobu 72 hodin. Poměr ITSR vyjadřuje poměr pevností v příčném tahu ITS těles "mokrých" a "suchých". Získané výsledky jsou uvedeny v Tabulce 39.

Tabulka 39: Přehled výsledků stanovení odolnosti zkušebního tělesa vůči vodě asfaltových směsí ACL 22+ s 0 %, 30 %, 50 % a 70 % R-materiálu

Obsah R-materiálu	Způsob temperování těles	Ø Pevnost ITS	Poměr ITSR
		[kPa]	-
0 %	Mokrá	1347	0,81
	Suchá	1659	
30 %	Mokrá	1244	0,94
	Suchá	1330	
50 %	Mokrá	1250	0,87
	Suchá	1441	
70 %	Mokrá	1355	0,93
	Suchá	1452	

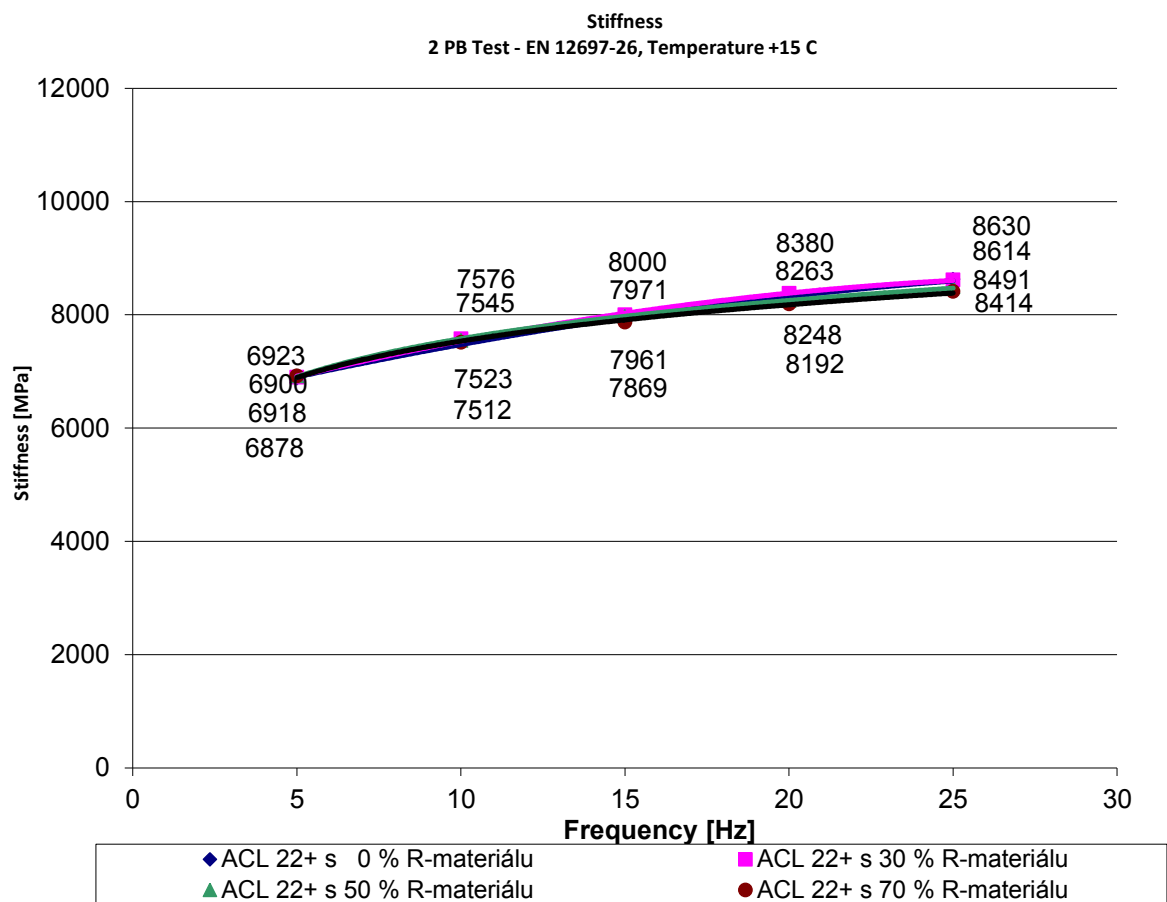
Jak je patrné z Tabulky 39, ani vysoký obsah R-materiálu v asfaltové směsi nemá negativní vliv na odolnost směsí vůči účinkům vody, protože hodnota parametru ITSR směsí s R-materiálem je vždy vyšší než hodnota ITSR směsí bez R-materiálu.

### b) Stanovení tuhosti dle ČSN EN 12697-26

Moduly tuhosti byly stanoveny na trapezoidech dvoubodovou zkouškou za ohybu dle normy ČSN EN 12697-26 [49]. Trapezoidy byly vyřezány z desek nahutněných lamelovým zhutňovačem. Desky byly nahutněny tak, aby se jejich míra zhutnění pohybovala v rozmezí 99 % - 101 % ve vztahu k objemové hmotnosti ze zkoušky typu stanovené při optimálním množství pojiva. Stanovování modulů tuhosti probíhalo při teplotě 15 °C a zatěžovacích frekvencích 5 Hz, 10 Hz, 15 Hz, 20 Hz a 25 Hz. Získané výsledky jsou souhrnně uvedeny v Tabulce 40 a graficky vyhodnoceny v Grafu 12.

Tabulka 40: Tuhost asfaltových směsí ACL 22+ s s 0 %, 30 %, 50 % a 70 % R-materiálu

	Modul tuhosti [MPa] při 15°C a frekvenci zatěžování				
	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz
ACL 22+ s 0 % R-materiálu	6878	<b>7523</b>	7961	8263	8630
ACL 22+ s 30 % R-materiálu	6900	<b>7576</b>	8000	8380	8614
ACL 22+ s 50 % R-materiálu	6923	<b>7545</b>	7971	8248	8491
ACL 22+ s 70 % R-materiálu	6918	<b>7512</b>	7869	8192	8414



Graf 12: Moduly tuhosti asfaltových směsí ACL 22+ s s 0 %, 30 %, 50 % a 70 % R-materiálu

Jak je patrné ze získaných výsledků, uvedených v Tabulce 40, stanovené hodnoty modulů tuhosti se vzájemně příliš neliší a jsou prakticky totožné. Vliv dávkování R-materiálu se při jeho ošetření přísadou Storflux nijak neprojevil na tuhost směsí.

**c) Posouzení odolnosti asfaltové směsi proti tvorbě trvalých deformací zkouškou poježdění kolem dle ČSN EN 12697-22+A1**

Odolnost proti tvorbě trvalých deformací stanovená dle normy ČSN EN 12697-22 + A1 [50] byla sledována parametry:

- $WTS_{AIR}$  – průměrný přírůstek hloubky koleje v mm/1000 cyklů (z naměřené hloubky koleje mezi 5000 a 10000 cykly) a
- $PRD_{AIR}$  – poměrná hloubka koleje po 5000 cyklech.

Tabulka 41: Přehled výsledků zkoušky odolnosti proti tvorbě trvalých deformací asfaltových směsí ACL 22+ s 0 %, 30 %, 50 % a 70 % R-materiálu

Obsah R-materiálu	Průměrná hloubka koleje po 5 000 cyklech	Průměrná hloubka koleje po 10 000 cyklech	$d_{10\,000}$ - $d_{5\,000}$	$WTS_{AIR}$	$PRD_{AIR}$
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/1000 cyklů]	[%]
<b>0 %</b>	0,93	1,10	0,17	<b>0,034</b>	<b>1,6</b>
<b>30 %</b>	0,66	0,76	0,10	<b>0,019</b>	<b>1,1</b>
<b>50 %</b>	0,59	0,67	0,08	<b>0,016</b>	<b>1,0</b>
<b>70 %</b>	0,78	0,86	0,08	<b>0,016</b>	<b>1,3</b>

Z Tabulky 41 vyplývá, že odolnost proti tvorbě trvalých deformací převážně narůstá s rostoucím množstvím R-materiálu.

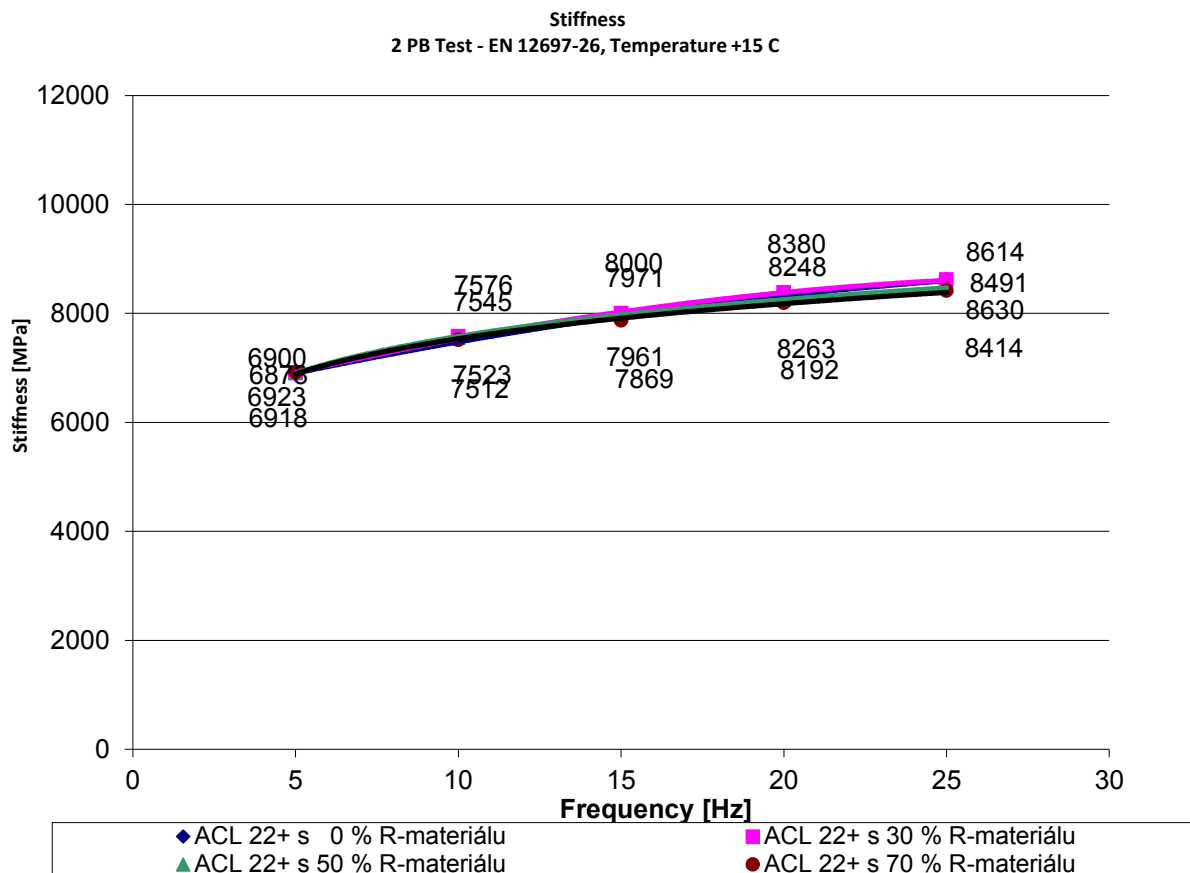
### 7.3.2. Parametry asfaltových směsí typu ACP 22+ s 0 %, 30 %, 50 % a 70 % R-materiálu

#### a) Stanovení tuhosti dle ČSN EN 12697-26

Moduly tuhosti byly opět stanoveny na trapezoidech dvoubodovou zkouškou za ohybu dle normy ČSN EN 12697-26 [49]. Desky byly hutněny na míru zhutnění v rozmezí 99 % - 101 % ve vztahu k objemové hmotnosti ze zkoušky typu stanovené při optimálním množství pojiva. Stanovování modulů tuhosti probíhalo při teplotě 15 °C a zatěžovacích frekvencích 5 Hz, 10 Hz, 15 Hz, 20 Hz a 25 Hz. Získané výsledky jsou souhrnně uvedeny v Tabulce 42 a graficky vyhodnoceny v Grafu 13.

Tabulka 42: Tuhost asfaltových směsí ACP 22+ s s 0 %, 30 %, 50 % a 70 % R-materiálu

	Modul tuhosti [MPa] při 15°C a frekvenci zatěžování				
	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz
ACP 22+ s 0 % R-materiálu	8840	<b>9617</b>	10139	10565	10849
ACP 22+ s 30 % R-materiálu	9055	<b>9929</b>	10458	10869	11140
ACP 22+ s 50 % R-materiálu	8810	<b>9722</b>	10272	10725	11055
ACP 22+ s 70 % R-materiálu	8539	<b>9407</b>	9963	10385	10690



Graf 13: Moduly tuhosti asfaltových směsí ACP 22+ s s 0 %, 30 %, 50 % a 70 % R-materiálu



Ze získaných výsledků je patrné, že díky přísadě Storflux jsou moduly tuhosti pro různé obsahy R-materiálu srovnatelné při všech zkoušených frekvencích. Vliv dávkování R-materiálu do směsí se díky přísadě na tuhosti směsí nijak neprojevil.

### b) Posouzení odolnosti vůči únavě

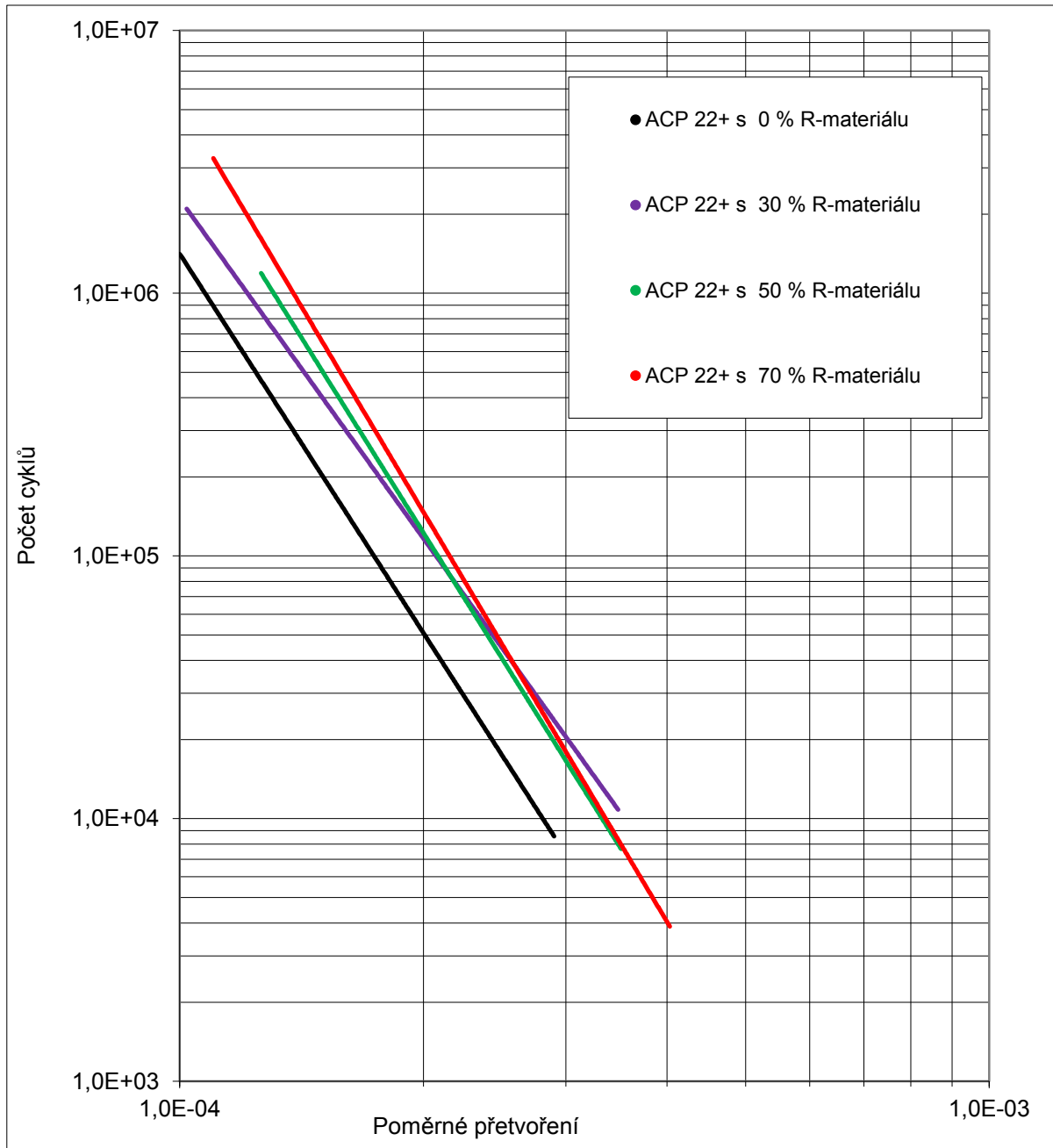
Pro podkladní vrstvy byly stanoveny taktéž únavové charakteristiky dle ČSN EN 12697-24 [51]. Zkouška únavy byla prováděna na tělesech tvaru trapezoidu při teplotě 10 °C a frekvenci 25 Hz. Únava je definována jako následek porušování vnitřní struktury ztuhlé asfaltové směsi opakovaným střídavým zatížením. Projevuje se postupným poklesem komplexního modulu v závislosti na počtu zatěžovacích cyklů. Měříme tedy životnost asfaltové směsi, kterou definujeme jako počet opakování zatížení do porušení vzorku. Životnost je ukončena buď trhlinou (lomem) nebo poklesem modulu tuhosti na polovinu počáteční hodnoty. Měření bylo prováděno metodou "Strain control". Nastaví se počáteční přetvoření, které je po dobu celé zkoušky konstantní, v průběhu zkoušky klesá s rostoucím počtem zatěžovacích cyklů síla, z toho vyplývá i pokles modulu tuhosti. Zkouška končí trhlinou nebo poklesem modulu tuhosti  $S$  na poloviční hodnotu. Výsledky zkoušky únavy jsou uvedeny v následující Tabulce 43 a v Grafu 14. Jsou zjišťovány dva důležité parametry:

$\epsilon_6$  ...je průměrná velikost přetvoření odvozená z únavové přímky při  $10^6$  zat. cyklech,  
B ... parametr únavové přímky, charakterizující její sklon.

Tabulka 43: Únavové charakteristiky asfaltových směsí ACP 22+ s s 0 %, 30 %, 50 % a 70 % R-materiálu

Obsah R-materiálu	$\epsilon_6$	B
0 %	107,4	4,8
30 %	121,2	4,3
50 %	130,6	4,9
70 %	138,2	5,2

Jak je patrné z výsledných hodnot, hlavní parametr pro hodnocení únavy  $\epsilon_6$  se se vzrůstajícím množstvím R-materiálu zvyšuje, takže nejlepší únavová charakteristika byla dosažena v případě asfaltové směsi obsahující 70 % R-materiálu. Vysvětlením pro tyto příznivé výsledky může být vyšší obsah přísady Storflux v navržené směsi, který je však úměrný množství asfaltu v R-materiálu.

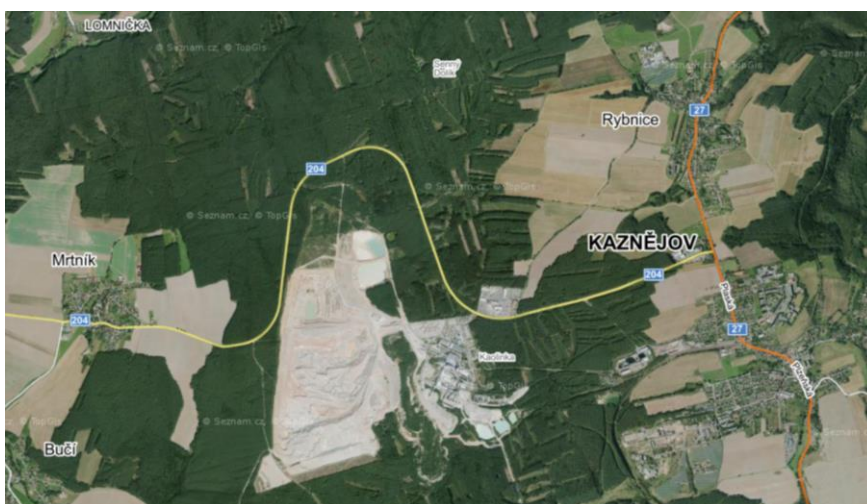


Graf 14: Grafické vyhodnocení únavových charakteristik asfaltových směsí ACP 22+ s 0 %, 30 %, 50 % a 70 % R-materiálu

## 7.4. Pokusný úsek

V rámci řešení výše zmiňovaného výzkumného projektu [24] byl s podporou Státního fondu dopravní infrastruktury (program „Nové technologie“) s navrženými asfaltovými směsmi realizován pokusný úsek. Pokusný úsek byl proveden mezi obcemi Kaznějov a Mrtník. Jedná se o silnici II. třídy v okrese Plzeň-sever. Předmětný úsek komunikace se nachází kolem rozsáhlého a fungujícího lomu na kaolin a dále společnosti zabývající se výrobou betonových prefabrikátů u obce Kaznějov.

Silnice II/204 severně od Plzně propojuje hlavní tahy silnic I. tříd a to č. I/27 (Plzeň-Most) a č. I/20. (Plzeň-Karlovy Vary). Silnice je důležitou součástí místní infrastruktury. Je rovněž využívána při neprůjezdnosti zmíněné silnice I/27 z důvodu havárií či větších oprav. Z těchto uvedených faktů a dále z provedených sčítání dopravy vyplývá, že jde o značně dopravně zatíženou komunikaci.

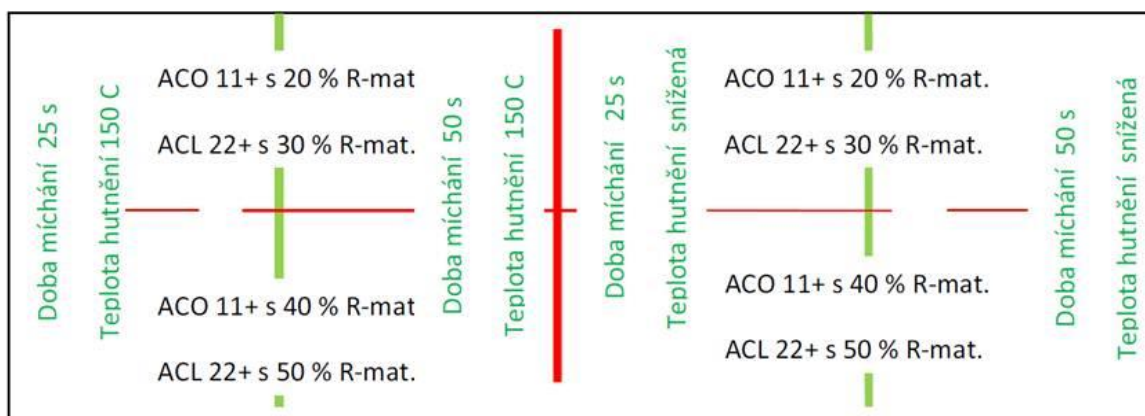


Obrázek 18: Vyznačení pokusného úseku silnice II/204 Kaznějov – Mrtník v mapě – zdroj: [www.mapy.cz](http://www.mapy.cz)

Pokusný úsek byl proveden s pokládkou obrusné vrstvy ACO 11+ a ložní vrstvy ACL 22+, přičemž bylo přidáno do obrusné vrstvy 20 % a 40 % R-materiálu a do ložní vrstvy 30 % a 50 % R-materiálu.

Oba typy směsí byly navrženy jednak s přísadou Storflux a dále s přísadou Storbit, která dle dodavatele nejen změkčuje tvrdé pojivo v R-materiálu, ale navíc umožňuje snížit teplotu zpracování díky obsaženým voskům. Dále byly při výrobě asfaltových směsí na obalovně firmy Froněk spol. s r.o. použity 2 doby pro míchání směsí: 30 s a 60 s, což mělo mít podstatný vliv na vlastnosti výsledných asfaltových směsí a ovlivnit míru dvojího obalení kameniva původním pojivem v R-materiálu a nově přidávaným pojivem – tzv. double coating.

Na Obrázku 19 jsou uvedeny jednotlivé podúseky s různým dávkováním R-materiálu a použité přísady. Dále je z obrázku patrný obsah přidávaného R-materiálu, doba a teplota míchání příslušné směsi a také použitá přísada.



Obrázek 19: Schéma jednotlivých variant použitých asfaltových směsí na pokusném úseku silnice II/204 Kaznějov - Mrtník



Obrázek 20: Provádění pokusného úseku

Z každého podúseku bylo odebráno dostatečné množství asfaltové směsi za účelem vyhodnocení jejich vlastností, porovnání s laboratorními návrhy a provedení rozsáhlého souboru následných dalších zkoušek.

Přibližně rok po realizaci pokusného úseku byly na všech zkušebních sekcích provedeny první jádrové vývrty a ukončena analýza kvality asfaltových směsí a jejich chování v celém technologickém procesu výroby. Lze konstatovat, že proces pokládky a hutnění není podílem R-materiálu ve směsi nijak negativně ovlivněn.

Na úseku probíhají do současnosti v rámci řešení diplomových a doktorských disertačních prací pravidelné vizuální prohlídky s odběry jádrových vývrťů za účelem dlouhodobého posouzení vlivu dávkování vyšších podílů R-materiálu do asfaltových směsí typu asfaltový beton. Úsek se nachází do současnosti v bezvadném stavu. Žádné poruchy vozovky se prozatím nevyskytly.

## 8. R-MATERIÁL VE SMĚSÍCH TYPU ASFALTOVÝ KOBREK MASTIXOVÝ

Po úspěšném ověření možnosti dávkování R-materiálu do asfaltových směsí typu asfaltový beton se zaměřila pozornost autora na ověření možnosti dávkování R-materiálu do asfaltových koberců mastixových (SMA). Jde o typ asfaltové směsi, která je využívána jako obrusná vrstva komunikací s nejvyššími třídami dopravního zatížení.

Vzhledem k tomu, že se v současné době připravuje změna národních požadavků k normě ČSN EN 13 108-1 [26], ve kterých bude nově zakázáno používat asfaltové směsi typu asfaltový beton jako obrusné vrstvy vozovek s nejvyšším dopravním zatížením (S, I, II), budou místo nich využívány právě směsi typu asfaltový koberec mastixový. Tím bude objem výroby těchto typů směsí v ČR vzrůstat a potenciál zabudování R-materiálu v těchto směsích poroste.

Aby bylo možno se výzkumem v oblasti využití R-materiálu v asfaltových kobercích mastixových zabývat ve stejném rozsahu jako u asfaltových betonů, zpracoval autor habilitační práce návrh navazujícího výzkumného projektu. Tento návrh projektu s názvem "Recyklace asfaltových koberců mastixových a vývoj speciálního celulózového vlákna do těchto typů směsí" [25] byl následně finančně podpořen Technologickou agenturou ČR a řešen v letech 2014 až 2017. V rámci tohoto projektu, jehož hlavním řešitelem byl autor této práce, se podařilo laboratorně a prakticky ověřit možnost dávkování R-materiálu do asfaltových směsí typu asfaltový koberec mastixový a získat výsledky uvedené níže v kapitole 8. Konkrétně byly provedeny laboratorní návrhy asfaltových směsí typu asfaltový koberec mastixový SMA 11S s 0 %, 10%, 20 %, 30 % a 50 % R-materiálu, přičemž byly používány dva druhy R-materiálu:

- a) běžný R-materiál (dále označován jako RAP) - vyfrézovaná asfaltová směs převážně typu asfaltový beton (AC). Obsažené asfaltové pojivo je (nemodifikovaný) silniční asfalt,
- b) R-materiál, získaný selektivním frézováním obrusné vrstvy tvořené vrstvou asfaltového koberce mastixového, který obsahuje modifikovaný asfalt. Dále je označován jako RAP SMA.

Poté byly u těchto navržených směsí ověřovány funkční charakteristiky na laboratorně vyráběných vzorcích. Práce v této oblasti vyústily v realizaci pokusného úseku a následné zpracování návrhů na změny technických předpisů v této oblasti.

### 8.1. Parametry vstupních materiálů pro laboratorní návrhy asfaltových směsí typu asfaltový koberec mastixový s R-materiálem

#### 8.1.1. Asfaltové pojivo

Pro laboratorní návrhy asfaltových směsí typu asfaltový koberec mastixový bylo použito modifikované asfaltové pojivo Colflex PMB 45/80-55. Níže v Tabulce 44 jsou uvedeny jeho základní zjištěné parametry.

Tabulka 44: Základní zjištěné parametry pojiva Colflex PMB 45/80 – 55

	Stanovené hodnoty	Požadavek normy ČSN EN 14023 [14]
Hodnota penetrace dle ČSN EN 1426 [32]	65 p.j.	45-80 p.j.
Teplota bod měknutí dle ČSN EN 1427 [17]	61,6 °C	min. 55 °C
Hodnota vratné duktility dle ČSN EN 13398 [53]	86%	min. 60%

Dále byly pro návrhy asfaltových směsí využity dva druhy R-materiálů o zrnitosti 0/11 mm. Z těchto R-materiálů bylo vyextrahováno asfaltové pojivo a stanoveno jeho množství v R-materiálu. Na tomto zpětně získaném pojivu byly stanoveny jeho základní parametry. Níže v tabulkách jsou uvedeny zjištěné parametry na zpětně získaných pojivech včetně jejich množství v příslušném R-materiálu.

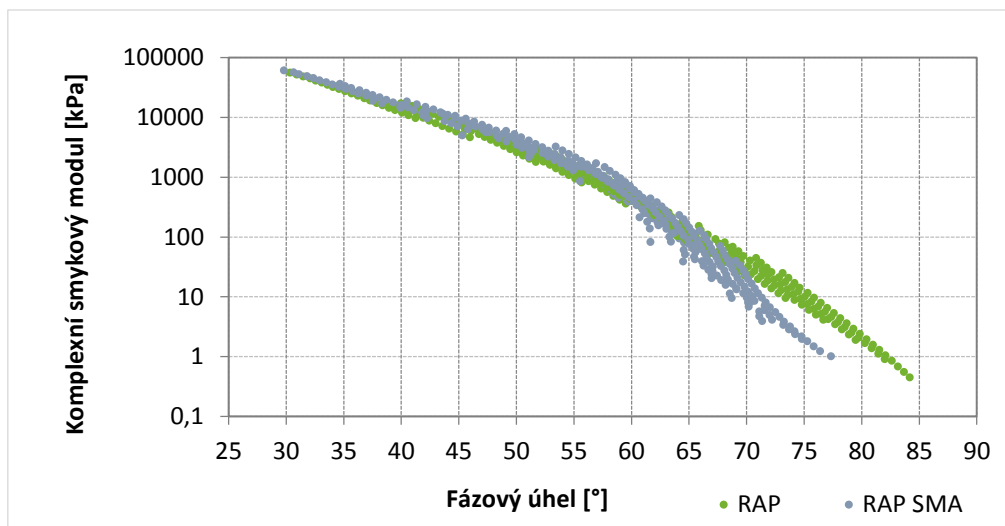
Tabulka 45: Základní zjištěné parametry zpětně získaného pojiva z R-materiálu zrnitosti 0/11 mm (RAP) pro návrh směsí SMA 11S

	Stanovené hodnoty	Množství pojiva v R-materiálu
Hodnota penetrace dle ČSN EN 1426 [32]	24,7 p.j.	5,16 %
Teplota bod měknutí dle ČSN EN 1427 [17]	64,4 °C	

Tabulka 46: Základní zjištěné parametry zpětně získaného pojiva z R-materiálu zrnitosti 0/11 mm (RAP SMA) pro návrh směsí SMA 11S

	Stanovené hodnoty	Množství pojiva v R-materiálu
Hodnota penetrace dle ČSN EN 1426 [32]	16,9 p.j.	6,40 %
Teplota bod měknutí dle ČSN EN 1427 [17]	69,8 °C	

V dynamickém smykovém reometru (DSR) bylo na zpětně získaných pojivech provedeno srovnání jejich funkčních vlastností. Blackův diagram (závislost komplexního smykového modulu na fázovém úhlu) je uveden níže.



Graf 15: Blackův diagram – zpětně získaná pojiva z použitých R-materiálů

Z průběhu křivek je patrný charakteristický zvlněný průběh Blackova diagramu modifikovaného asfaltu v RAP SMA, který se od průběhu Blackova diagramu nemodifikovaného asfaltu liší zejména v oblasti nižší hodnoty komplexního smykového modulu. Při stejné hodnotě komplexního smykového modulu dosahuje modifikovaný asfalt RAP SMA nižších hodnot fázových úhlů. Nižší fázový úhel znamená vyšší pružnost pojiva.

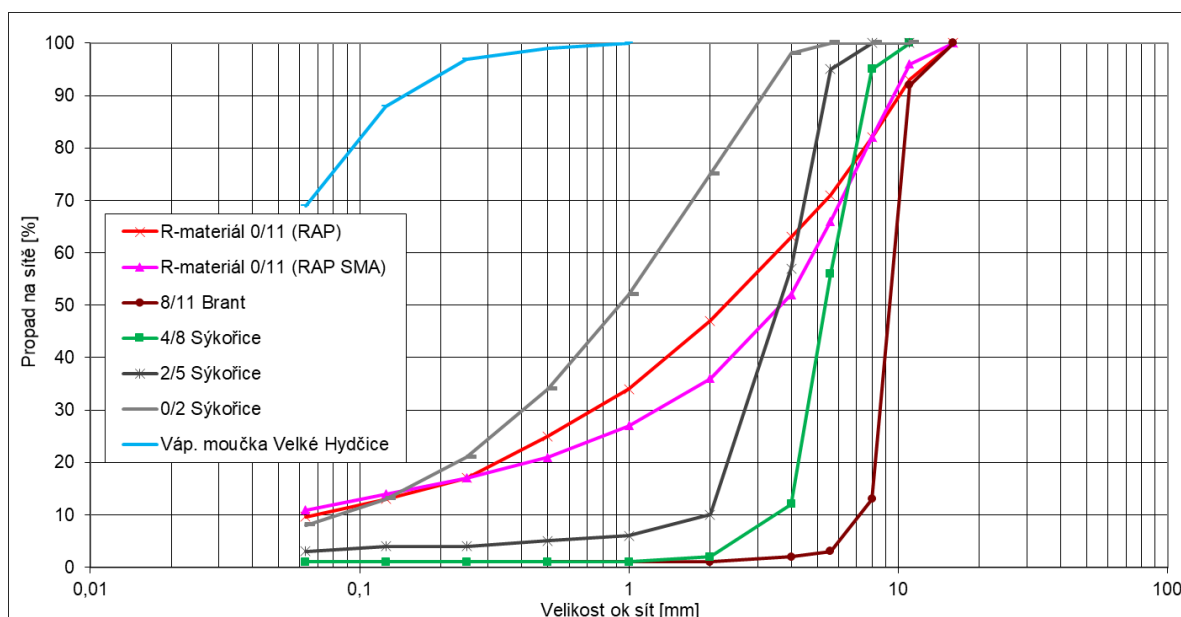
### 8.1.2. Kamenivo

Pro laboratorní návrhy bylo kromě R-materiálů 0/11 mm použito přírodní kamenivo z lokalit Brant, Sýkořice a Velké Hydčice.

Laboratorně byly na všech dodaných frakcích provedeny síťové rozborů dle ČSN EN 933-1 [52]. Níže jsou v Tabulce 47 uvedeny výsledky stanovení zrnitosti na všech frakcích.

Tabulka 47: Zrnitosti jednotlivých frakcí použitého kameniva

Frakce	Velikost síta (mm)										
	16	11,2	8	5,6	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
R-materiál 0/11 (RAP)	100	93	82	71	63	47	34	25	17	13	9,6
R-materiál 0/11 (RAP SMA)	100	96	82	66	52	36	27	21	17	14	10,9
8/11 Brant	100	92	13	3	2	1	1	1	1	1	1
4/8 Sýkořice		100	95	56	12	2	1	1	1	1	1
2/5 Sýkořice		100	100	95	57	10	6	5	4	4	3
0/2 Sýkořice		100	100	100	98	75	52	34	21	13	8
Váp. moučka Velké Hydčice							100	99	97	88	69



Graf 16: Čáry zrnitosti jednotlivých frakcí použitého kameniva

### 8.1.3. Rejuvenační přísada

Pro změkčení asfaltového pojiva v R-materiálu byla při laboratorních návrzích směsí typu SMA 11S a následné výrobě laboratorních vzorků použita (stejně jako u asfaltových směsí typu asfaltový beton) přísada Storflux. Postup její aplikace byl naprosto shodný jako u aplikace při rejuvenaci pojiva u asfaltových betonů – viz kapitola 7.1.3. Množství změkčovadla se obecně dává přesně na množství asfaltového pojiva, které je potřeba změkčit, nebo dle technologického minima pro dobrou zpracovatelnost na obalovně. V případě návrhů směsí typu asfaltový koberec mastixový bylo při laboratorních návrzích i při budování pokusného úseku využito výrobcem doporučeného dávkování na úrovni technologického minima 20 kg přísady na 1 tunu R-materiálu.

### 8.1.4. Celulózná vlákna

Při provádění laboratorních návrhů bylo použito standardně používané vlákno s označením S-CEL 7 G z produkce firmy CIUR, a.s. Při následné realizaci pokusného úseku byly použity speciální varianty vláken nasycené rejuvenátorem (S-CEL RF20, S-CEL RF30 a S-CEL RF50) a modifikační přísadou (S-CEL 7G). Jednotlivé varianty jsou popsány dále v textu práce.



## 8.2. Laboratorní návrhy asfaltových směsí typu asfaltový koberec mastixový s R-materiálem

Při provádění laboratorních návrhů těchto směsí bylo snahou dodržet pokud možno stejné čáry zrnitosti a výsledné celkové obsahy asfaltu jednotlivých směsí tak, aby mohly být navržené směsi opět vzájemně porovnány v rámci následně prováděných funkčních laboratorních zkoušek. Optimum pojiva bylo zvoleno na základě vyhodnocení výsledků na jednotlivých laboratorně vyrobených sadách s množstvím pojiva 6,3 %, 6,5 % a 6,6 %, které nejsou dále v textu z důvodu zestručnění práce uváděny.

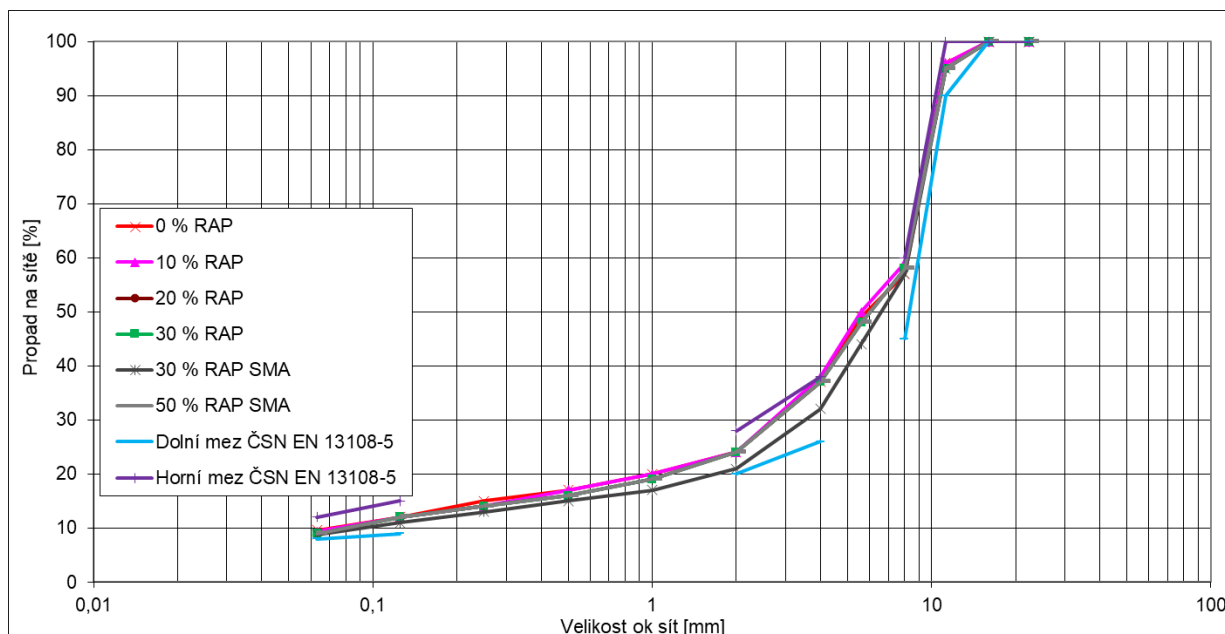
Konkrétně byla provedena optimalizace celkem 6 níže uvedených variant asfaltových směsí typu SMA 11S:

- SMA 11S s 0 % R-materiálu, která byla použita jako směs referenční,
- SMA 11S s 10 %, 20 % a 30 % R-materiálu (RAP),
- SMA 11S s 30 % a 50 % R-materiálu (RAP SMA).

Celkový optimální obsah asfaltového pojiva ve směsích byl zvolen na úrovni 6,5 %. S pojivem, obsaženým v R-materiálu, bylo při návrzích směsí uvažováno. Dávkované množství nového pojiva bylo tedy vždy poníženo o množství pojiva obsaženého v R-materiálu. V Tabulce 48 je uvedeno složení směsí jednotlivých variant, v Grafu 17 jsou uvedeny průběhy čar zrnitosti u výsledných návrhů. Níže jsou poté uvedeny výsledky jednotlivých zkoušek, které byly na laboratorně vyráběných vzorcích prováděny. Vycházejí jak z průběžných výročních zpráv k výše jmenovanému projektu [25], článku autora [54] a souvisejících bakalářských [57] a diplomových prací [55],[56].

Tabulka 48: Složení jednotlivých variant navržených směsí SMA 11S s různými podíly a oběma druhy R-materiálu

Směs	SMA 11S					
	0 % RAP	10 % RAP	20 % RAP	30 % RAP	30 % RAP SMA	50 % RAP SMA
Vápenec. moučka	10,5 %	9,5 %	8,0 %	7,5 %	6,5 %	3,7 %
Frakce 0/2	15,0 %	10,0 %	6,0 %	3,0 %	3,0 %	-
Frakce 2/5	18,0 %	18,0 %	16,0 %	8,0 %	9,5 %	1,0 %
Frakce 4/8	8,0 %	8,0 %	6,0 %	9,0 %	8,5 %	7,0 %
Frakce 8/11	48,5 %	44,5 %	44,0 %	42,5 %	42,5 %	38,3 %
RAP	-	10,0 %	20,0 %	30,0 %	-	-
RAP SMA	-	-	-	-	30,0 %	50,0 %
S-CEL 7G	0,3 %	0,3 %	0,3 %	0,3 %	0,3 %	0,3 %
Celkový obsah asfalt. pojiva	6,5 %	6,5 %	6,5 %	6,5 %	6,5 %	6,5 %
Colflex 45/80-55 (nové pojivo)	6,5 %	6,0 %	5,5 %	5,0 %	4,6 %	3,3 %
Addibit L300	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Mezerovitost	3,8 %	3,6 %	3,7 %	3,6 %	3,6 %	3,5 %



Graf 17: Průběh čar zrnitosti jednotlivých variant navržených směsí SMA 11S s různými podíly a oběma druhy R-materiálu

Tabulka 49: Volumetrické parametry jednotlivých variant navržených směsí SMA 11S s různými podíly a oběma druhy R-materiálu

Množství a druh R-materiálu ve směsi SMA 11S [%]	0 % RAP	10 % RAP	20 % RAP	30 % RAP	30 % RAP SMA	50 % RAP SMA
Maximální objemová hmotnost $\rho_{mv}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	2563,8	2564,8	2537,9	2545,0	2567,2	2579,0
Objemová hmotnost $\rho_{bssd}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	2468,1	2473,1	2444,4	2452,6	2475,0	2490,8
Mezerovitost [%]	3,8	3,6	3,7	3,6	3,6	3,5

### 8.3. Parametry asfaltových směsí typu asfaltový koberec mastixový s R-materiálem

Po provedení laboratorních návrhů směsí byla postupně v laboratoři vyráběna zkušební tělesa a zjišťovány následující charakteristiky:

- posouzení odolnosti asfaltové směsi proti tvorbě trvalých deformací zkouškou poježdění kolem dle ČSN EN 12697-22+A1 [50],
- stanovení tuhosti dle ČSN EN 12697-26 [49],
- posouzení nízkoteplotních vlastností dle ČSN EN 12697-46 [58].

**a) Posouzení odolnosti asfaltové směsi proti tvorbě trvalých deformací zkouškou poježdění kolem dle ČSN EN 12697-22+A1**

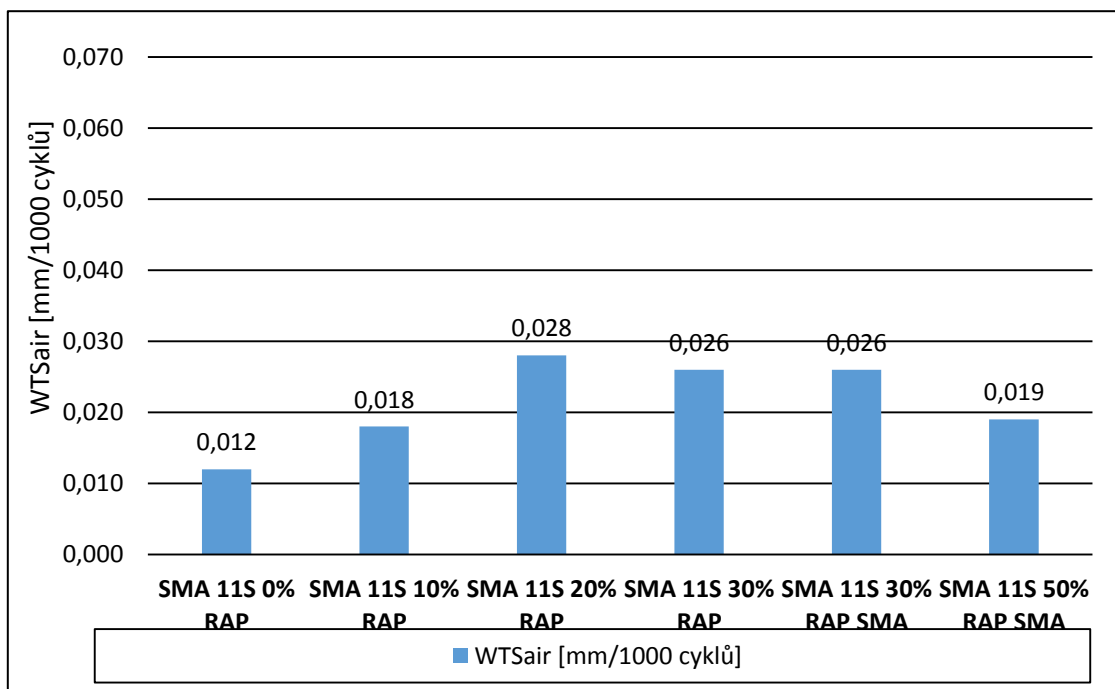
Při provádění zkoušky v malém zkušebním zařízení na vzduchu dle ČSN EN 12697-22 + A1 [50] byly sledovány oba normou požadované parametry:

- parametr  $PRD_{AIR}$ , který procentuelně vyjadřuje celkovou hodnotu vytvořené deformace vztaženou k tloušťce zkušebního vzorku po 10 000 zkušebních cyklech při teplotě 50 °C (resp. 60 °C),
- parametr  $WTS_{AIR}$  udávaný v mm/10<sup>3</sup> cyklů, vyjadřuje přírůstek hloubky vyjeté koleje na 1 000 zkušebních cyklech.

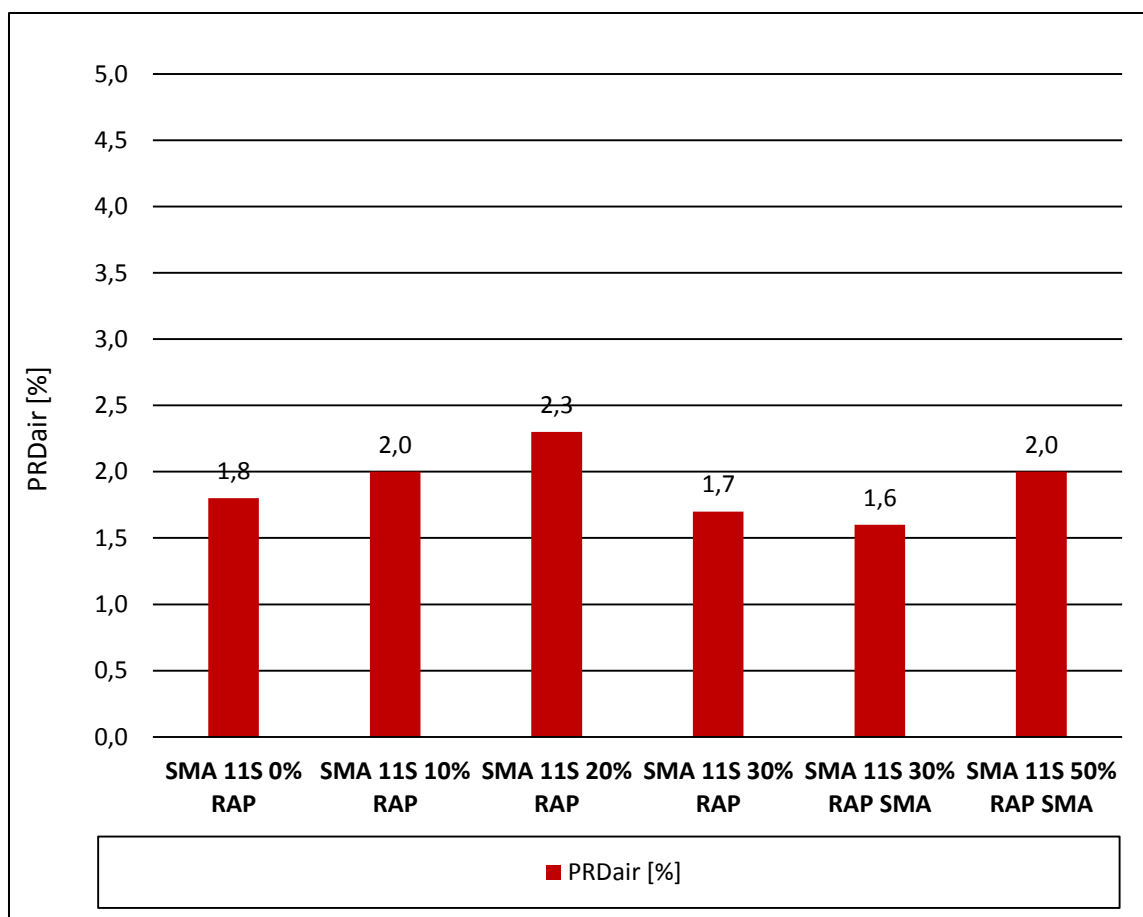
Vzhledem k připravované změně zkušební teploty u směsí s modifikovanými pojivy, byly vybrané varianty směsí již zkoušeny i při „nové“ zkušební teplotě 60 °C.

Tabulka 50: Výsledné parametry směsí SMA 11S stanovené při zkušební teplotě 50 °C

Druh asfaltové směsi	$WTS_{AIR}$	$PRD_{AIR}$
	[mm/1000 cyklů]	[%]
SMA 11S 0% RAP	0,012	1,8
SMA 11S 10% RAP	0,018	2,0
SMA 11S 20% RAP	0,028	2,3
SMA 11S 30% RAP	0,026	1,7
SMA 11S 30% RAP SMA	0,026	1,6
SMA 11S 50% RAP SMA	0,019	2,0



Graf 18: Porovnání parametru  $WTS_{AIR}$  směsí SMA 11S stanoveného při teplotě 50 °C



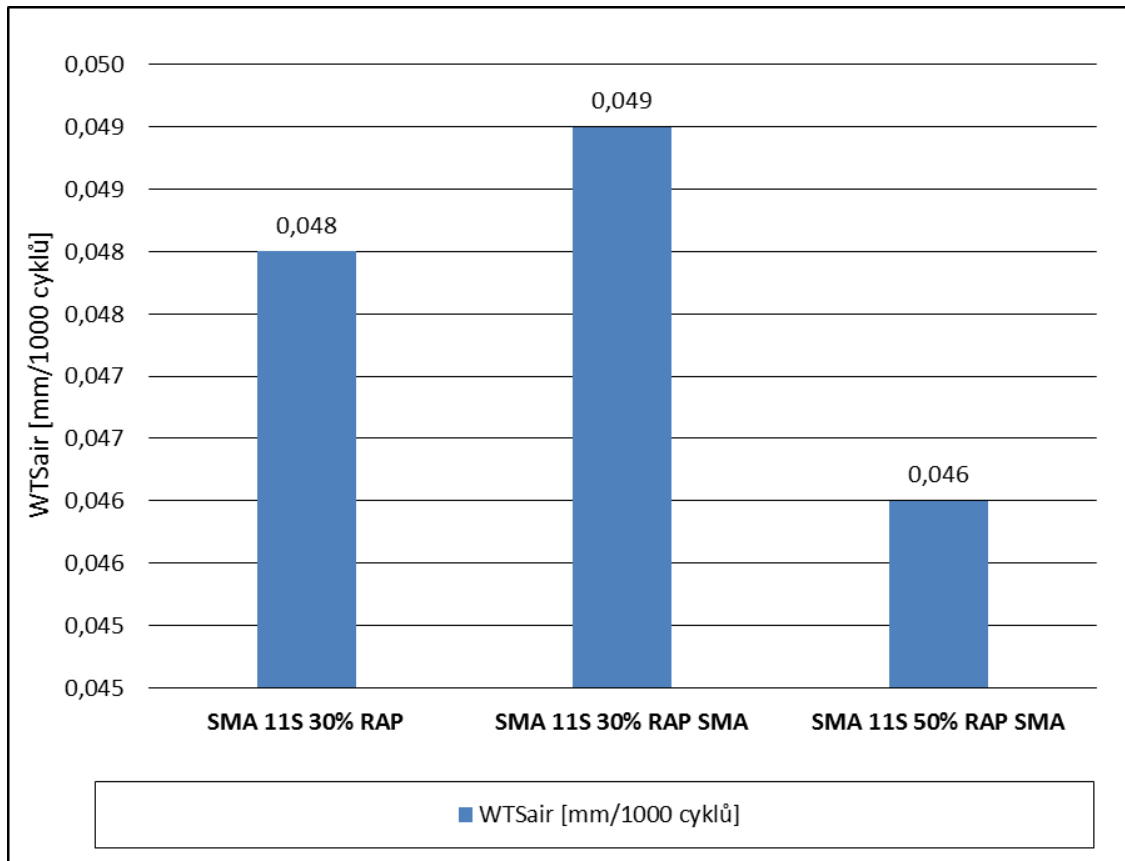
Graf 19: Porovnání parametru PRD<sub>AIR</sub> směsí SMA 11S stanoveného při teplotě 50 °C

Normové požadavky kladené na směsi SMA 11S při zkušební teplotě 50 °C:

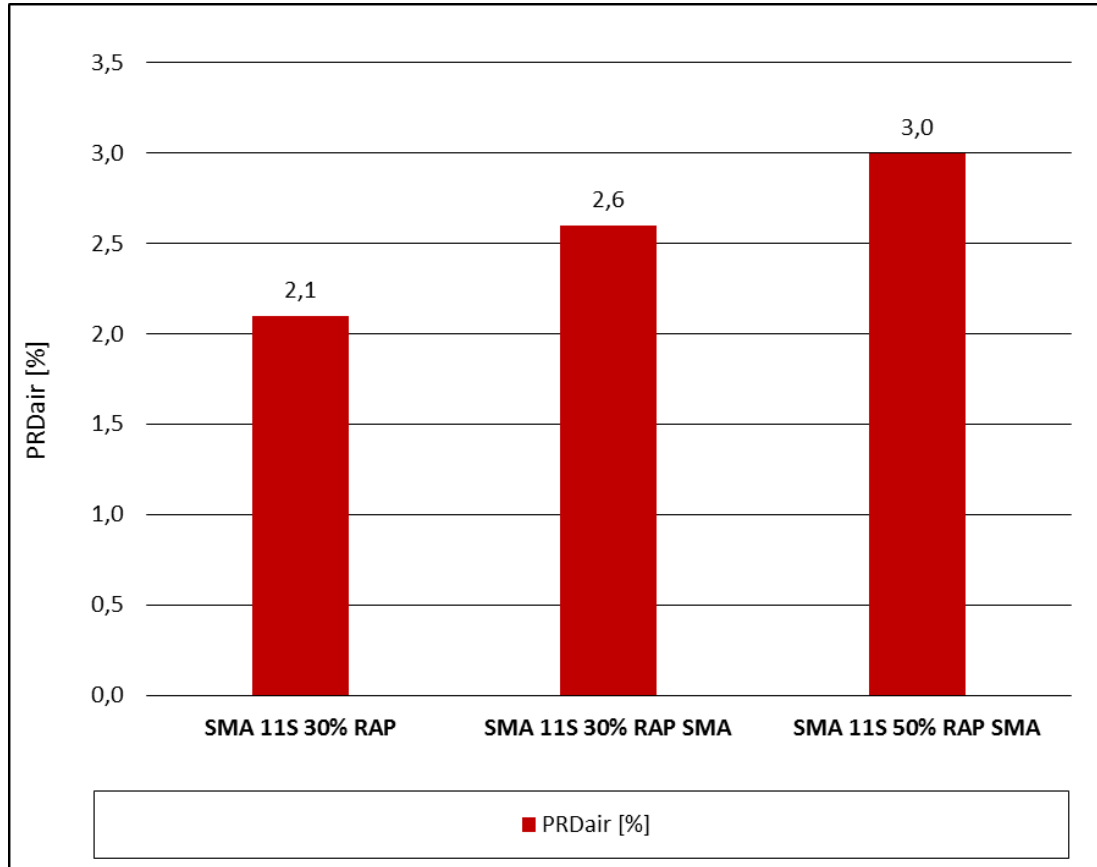
- maximální hodnota parametru PRD<sub>AIR</sub>, činí 5,0 %,
- maximální hodnota parametru WTS<sub>AIR</sub>, činí 0,07 mm/1000 cyklů.

Tabulka 51: Výsledné parametry směsí SMA 11S stanovené při zkušební teplotě 60 °C

Druh asfaltové směsi	WTS <sub>AIR</sub>	PRD <sub>AIR</sub>
	[mm/1000 cyklů]	[%]
SMA 11S 30% RAP	0,048	2,1
SMA 11S 30% RAP SMA	0,049	2,6
SMA 11S 50% RAP SMA	0,046	3,0



Graf 20: Porovnání parametru WTS<sub>AIR</sub> směsí SMA 11S stanoveného při teplotě 60 °C



Graf 21: Porovnání parametru PRD<sub>AIR</sub> směsí SMA 11S stanoveného při teplotě 60 °C

Nově navrhované požadavky kladené na směsi SMA 11S (s modifikovaným pojivem) při zkušební teplotě 60 °C:

- maximální hodnota parametru  $PRD_{AIR}$ , činí 6,0 %,
- maximální hodnota parametru  $WTS_{AIR}$ , činí 0,07 mm/1000 cyklů.

Na základě vyhodnocení výše uvedených výsledků měření je možno konstatovat, že při obou zkušebních teplotách byly u všech zkoušených variant směsí SMA 11S splněny všechny normové (resp. nově navrhované normové) požadavky.

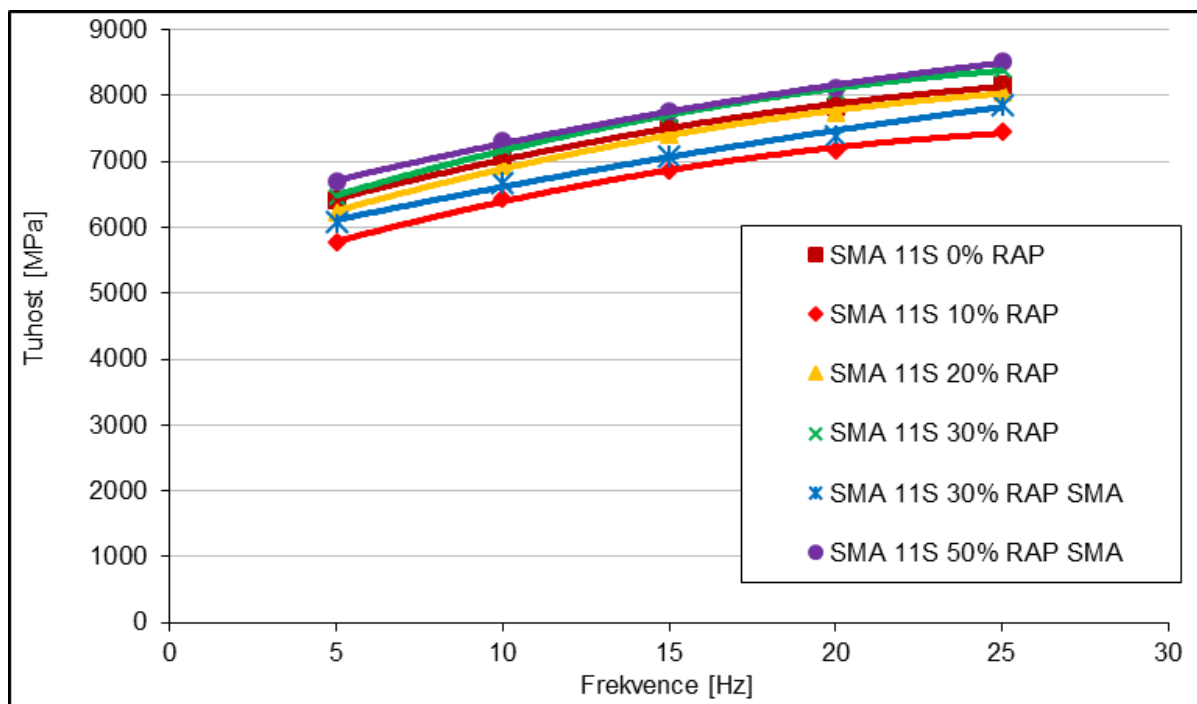
#### b) Stanovení tuhosti dle ČSN EN 12697-26

Moduly tuhosti byly stejně jako u směsí typu asfaltový beton opět stanoveny na trapezoidech dvoubodovou zkouškou za ohybu dle ČSN EN 12697-26 [49]. Desky byly hutněny na míru zhutnění v rozmezí 99 % - 101 %. Stanovování modulů tuhosti probíhalo při teplotě 15 °C a zatěžovacích frekvencích 5 Hz, 10 Hz, 15 Hz, 20 Hz a 25 Hz. Získané výsledky jsou souhrnně uvedeny v Tabulce 52 a graficky vyhodnoceny v Grafu 22.

Tabulka 52: Tuhost jednotlivých variant navržených směsí SMA 11S s různými podíly a oběma druhy R-materiálu

Druh asfaltové směsi	Modul tuhosti [MPa] při 15°C a frekvenci zatěžování				
	5 Hz	10 Hz	15 Hz	20 Hz	25 Hz
SMA 11S 0% RAP	6405	<b>7082</b>	7492	7835	8156
SMA 11S 10% RAP	5765	<b>6434</b>	6864	7178	7443
SMA 11S 20% RAP	6235	<b>6923</b>	7400	7736	8047
SMA 11S 30% RAP	6467	<b>7207</b>	7703	8075	8393
SMA 11S 30% RAP SMA	6076	<b>6683</b>	7083	7382	7868
SMA 11S 50% RAP SMA	6691	<b>7321</b>	7760	8111	8521

Na základě vyhodnocení výše uvedených výsledků stanovení modulů tuhosti je možno konstatovat, že moduly tuhosti všech variant leží při grafickém znázornění v poměrně úzkém pásu a nijak výrazně se neliší. U směsí s běžným R-materiálem se hodnoty modulů tuhosti při teplotě 15 °C a frekvenci zatěžování 10 Hz pohybují v rozmezí od 6434 MPa do 7207 MPa. Směsi s R-materiálem ze směsi SMA vykazují při stejných zkušebních podmínkách moduly tuhosti od 6683 MPa do 7321 MPa.



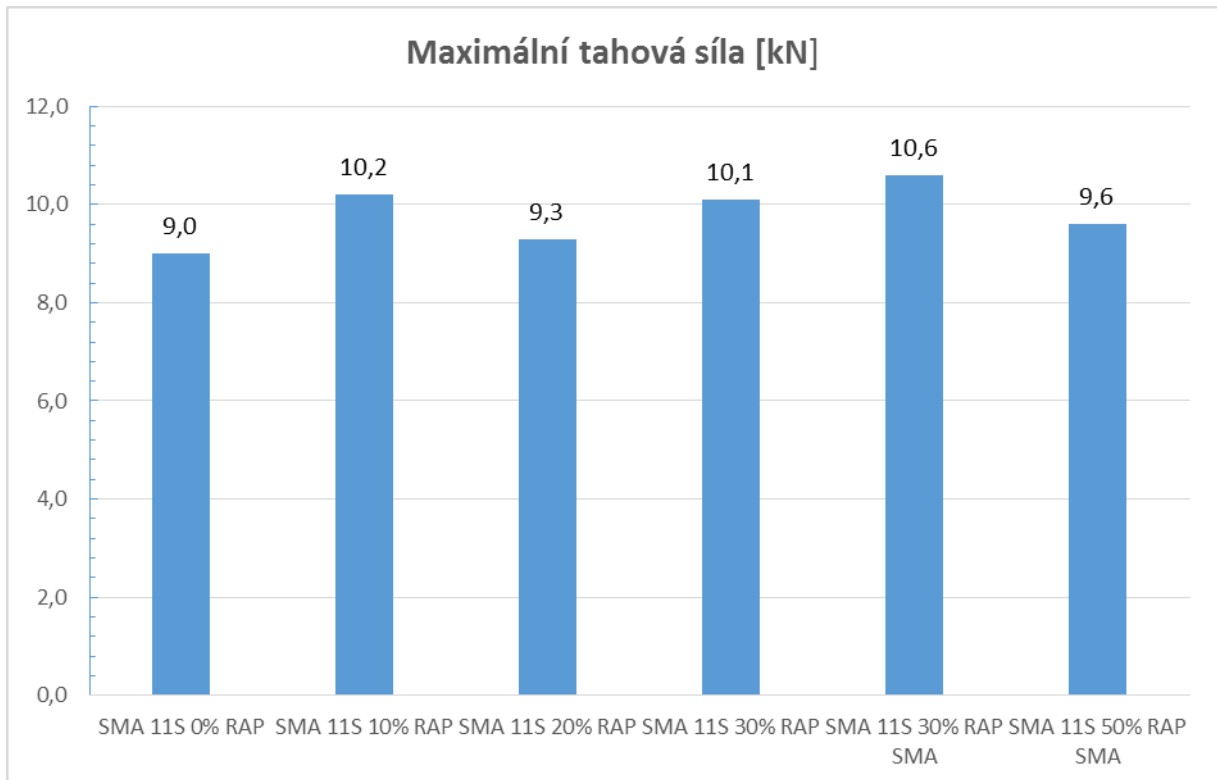
Graf 22: Tuhost jednotlivých variant navržených směsí SMA 11S s různými podíly a oběma druhy R-materiálu

### c) Posouzení nízkoteplotních vlastností dle ČSN EN 12697-46

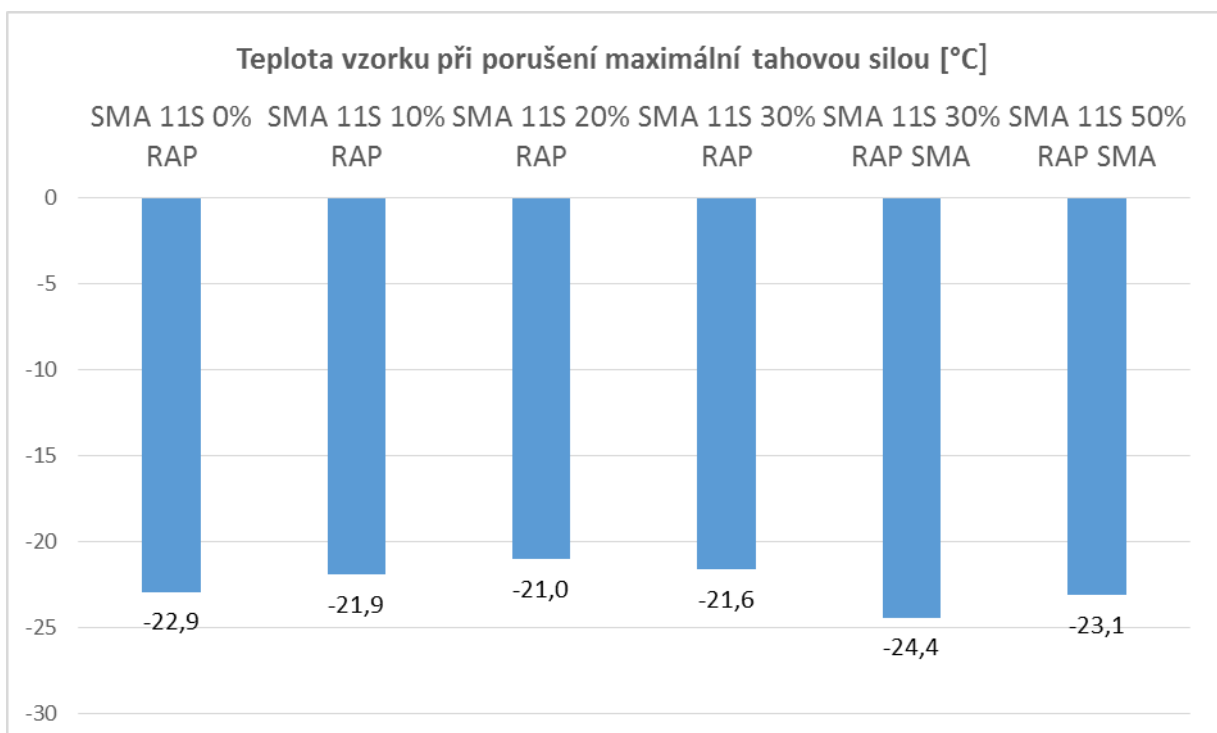
Tyto pro obrusnou vrstvu důležité charakteristiky byly prováděny v souladu s ČSN EN 12697-46 [58]. Zkušební tělesa jsou ochlazována rychlostí 10 °C/hod z výchozí teploty 10 °C po době temperování v délce 15 minut. Na zkušebních tělesech o průřezu 50 mm x 50 mm je zjišťována maximální tahová síla při porušení mrazovou smršťovací trhlinou a odpovídající teplota při vzniku této trhliny. Získané parametry jsou souhrnně uvedeny v Tabulce 53 a graficky vyhodnoceny v Grafech 23 a 24.

Tabulka 53: Výsledné nízkoteplotní parametry jednotlivých variant navržených směsí SMA 11S s různými podíly a oběma druhy R-materiálu

Druh asfaltové směsi	Nízkoteplotní vlastnosti dle ČSN EN 12697-46	
	Maximální tahová síla [kN]	Teplota vzorku při porušení maximální tahovou silou [°C]
SMA 11S 0% RAP	9,0	-22,9
SMA 11S 10% RAP	10,2	-21,9
SMA 11S 20% RAP	9,3	-21,0
SMA 11S 30% RAP	10,1	-21,6
SMA 11S 30% RAP SMA	10,6	-24,4
SMA 11S 50% RAP SMA	9,6	-23,1



Graf 23: Srovnání maximálních tahových sil při porušení trhlinou jednotlivých variant směsí SMA 11S s různými podíly a oběma druhy R-materiálu



Graf 24: Srovnání teplot při porušení trhlinou jednotlivých variant směsí SMA 11S s různými podíly a oběma druhy R-materiálu



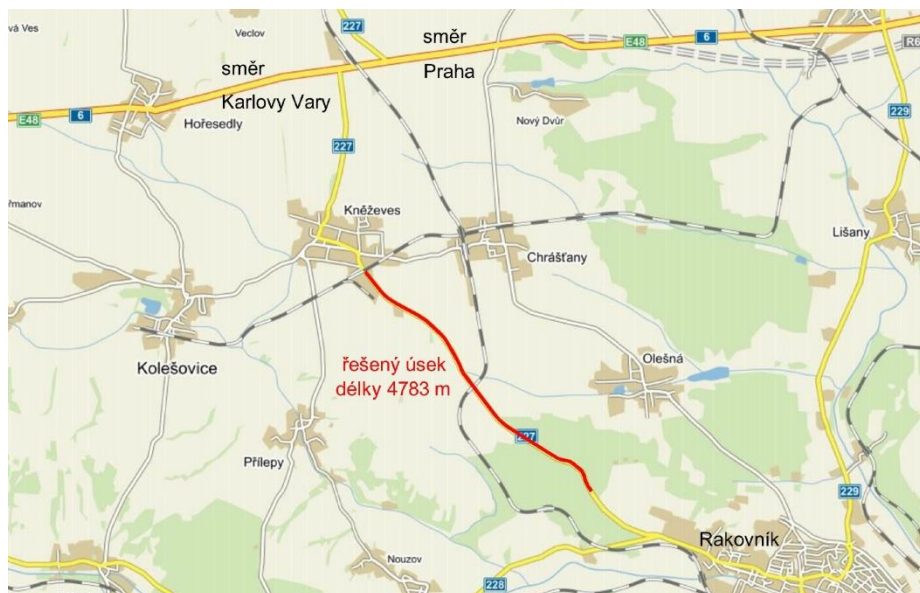
Z výsledků uvedených výše je možno vysledovat, že výsledná maximální síla při porušení je u všech zkoušených variant směsí při zohlednění chyby měření prakticky totožná. Stejně tak výsledné teploty vzorků při porušení (vzniku mrazové trhliny) vychází velmi podobně. Mírně lepších výsledků si lze všimnout u variant s R-materiálem ze směsi SMA (RAP SMA), což lze vysvětlit přítomností modifikovaného pojiva v R-materiálu.

## 8.4. Pokusný úsek

Na základě provedených laboratorních návrhů a ověření vlastností směsí SMA 11S s R-materiálem pomocí funkčních zkoušek byl v rámci řešení projektu [25] podán návrh na Státní fond dopravní infrastruktury na realizaci pokusného úseku, na kterém by byly ověřeny jak laboratorně navržené směsi, tak i další varianty směsí SMA s R-materiálem.

Podaný návrh byl finančně podpořen a v průběhu měsíce září 2016 byl společností Froněk, spol. s r.o. realizován pokusný úsek (financovaný v rámci programu „Nové technologie“), na kterém bylo provedeno celkem 17 variant obrusné vrstvy, tvořené směsí SMA 11S s dvěma druhy R-materiálu (RAP a RAP SMA) a jejich různými obsahy (0 % až 50 %). Dále byla ověřena možnost dávkování oživovací přísady pomocí nasyceného celulóзовého vlákna danou přísadou ve formě granule a možnost použití nemodifikovaného pojiva gradace 50/70 s modifikační přísadou. Dodavatelem těchto materiálů byla společnost CIUR, a.s., která byla spoluřešitelem projektu.

Zkušební úsek se nachází ve Středočeském kraji v okrese Rakovník na silnici II. třídy - II/227 mezi městem Rakovník a obcí Kněžveses. Celková délka úseku je 4 783 metrů. Silnice je důležitou součástí místní infrastruktury. Je často využívána při neprůjezdnosti silnice I/6 jako objízdná trasa.



Obrázek 21: Vyznačení pokusného úseku v mapě (Zdroj: www.mapy.cz)

Jde o komunikaci s vysokým dopravním zatížením. Byla zjištěna roční průměrná denní intenzita (RPDI) 2059 vozidel (toho 352 těžkých nákladních vozidel). Z tohoto důvodu je úsek velmi vhodný pro aplikaci asfaltové směsi typu SMA 11S jako obrusné vrstvy vozovky. Návrh

opravy vozovky na pokusném úseku spočíval ve vyfrézování stávajícího asfaltového krytu vozovky do hloubky 110 mm a pokládce ložní vrstvy typu ACL 22S v tloušťce 70 mm a obrusné vrstvy typu SMA 11S s R-materiálem v tloušťce 40 mm.

Ložní vrstva typu ACL 22S byla položena a zhutněna ve třech variantách:

- ACL 22S s 0 % R-materiálu s modifikovaným asfaltovým pojivem - jako referenční směs.
- ACL 22S s 0 % R-materiálu s asfaltovým pojivem gradace 50/70 a přísadou Storelastic (pryžový granulát s regenerační přísadou).
- ACL 22S s 60 % „běžného“ R-materiálu a přísadou Storelastic.

Obrusná vrstva SMA 11S byla položena celkem v 18 variantách.

Prvních 6 variant obsahuje modifikované asfaltové pojivo a běžně používané celulózové vlákno S-CEL 7G (výrobce CIUR a.s.). Směsi se liší v podílu obsaženého R-materiálu. První a druhá směs je referenční bez přídavku R-materiálu. Třetí a čtvrtá varianta obsahuje „běžný“ nemodifikovaný R-materiál v množství 20 % a 30 %. Pátá a šestá varianta směsi obsahuje 30 % a 50 % „modifikovaného“ R-materiálu (RAP SMA).

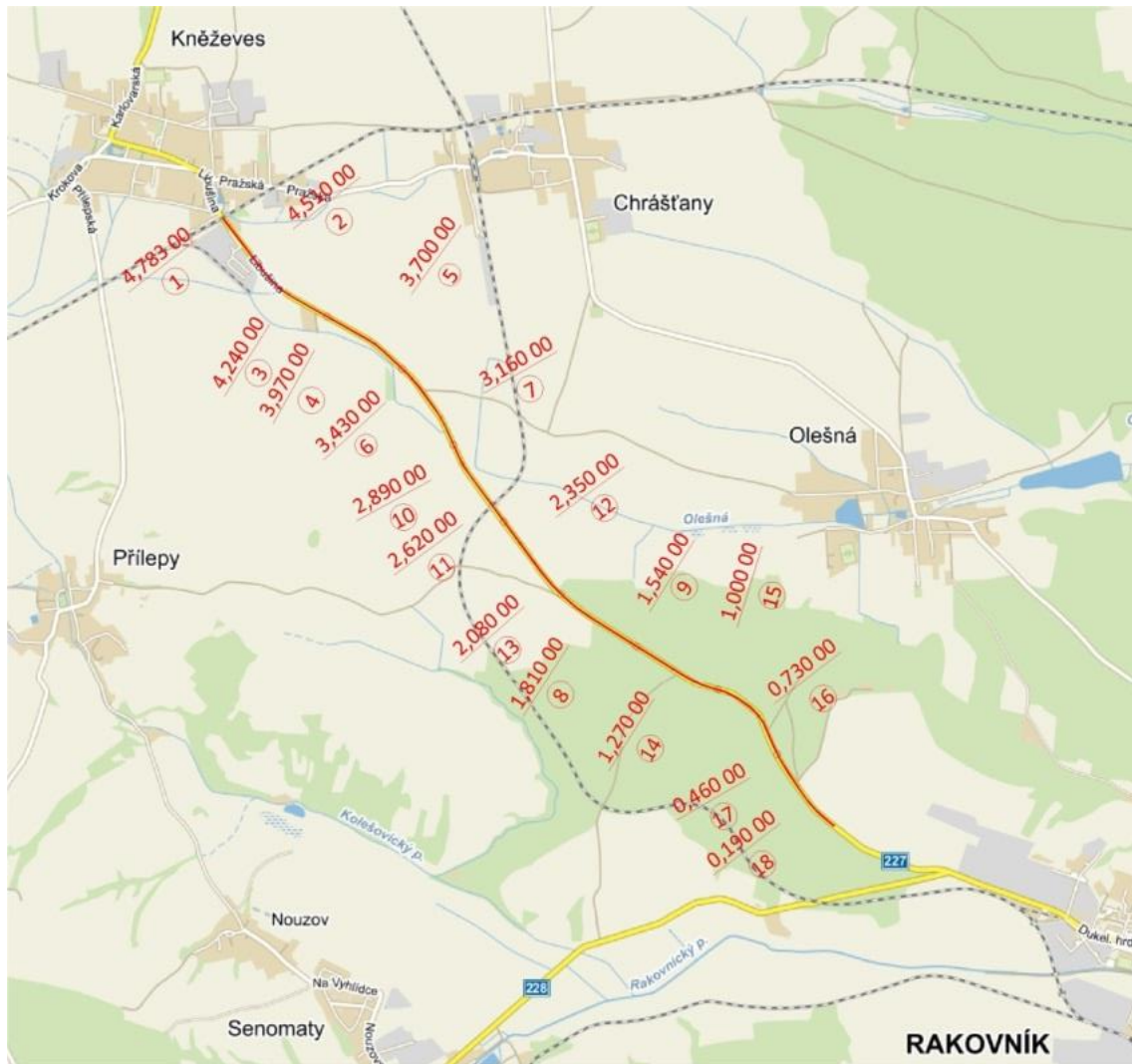
Poznámka: Úseky 1 a 2 mají totožnou variantu obrusné vrstvy, liší se vrstvou ložní. Dále jsou tyto úseky označovány souhrnně jako „Úsek 2“.

7. a 10. až 13. varianta obsahuje různé druhy nově vyvinutých celulózových vláken z produkce CIUR, a.s., která byla vyvinuta v rámci řešení projektu [25] speciálně pro směsi typu SMA s obsahem R-materiálu. Sedmá varianta směsi neobsahuje R-materiál, obsahuje silniční asfaltové pojivo gradace 50/70, přičemž do směsi bylo dávkováno vlákno S-CEL RE, obsahující pryžový granulát. Desátá až třináctá varianta asfaltové směsi obsahuje různé druhy a množství R-materiálu (20 %, 30 % a 50 %). Dle tohoto množství R-materiálu bylo do směsi dávkováno příslušné vlákno (S-CEL RF20, S-CEL RF30 a S-CEL RF50).

V 8. a 9. variantě byl použit silniční asfalt gradace 50/70, přísada Storelastic na jeho modifikaci a celulózové vlákno S-CEL 7G. Ve směsích byl dávkován „běžný“ R-materiál v množství 20 % a 30 %.

14. až 18. varianta směsi obsahuje vždy silniční asfaltové pojivo gradace 50/70 a přísadu Storelastic. V asfaltových směsích je obsaženo různé množství R-materiálu jak „běžného“, tak „modifikovaného“ (RAP SMA). [54]

Na Obrázku 22 je úsek blíže specifikován v mapě a v Tabulce 54 je uveden podrobný popis jednotlivých variant úseků.



Obrázek 22: Lokalizace jednotlivých variant směsí na pokusného úseku II/227 Rakovník – Kněžves (Zdroj: [www.mapy.cz](http://www.mapy.cz))[54]

Tabulka 54: Varianty směsí položené v rámci zkušebního úseku

Směr pokládky	Staničení (km)	Podúsek číslo	SMA 11S - 40 mm								
			Asfalt	R-materiál		S-GEL 7G	S-CEL RE	S-CEL RF 20	S-CEL RF 30	S-CEL RF 50	Modifikační přísada
				RAP	RAP SMA						
Kněževés	4,783-4,510	1	PmB	-	-	ano	-	-	-	-	-
	4,510-4,240	2	PmB	-	-	ano	-	-	-	-	-
	4,240-3,970	3	PmB	20	-	ano	-	-	-	-	-
	3,970-3,700	4	PmB	30	-	ano	-	-	-	-	-
	3,700-3,430	5	PmB	-	30	ano	-	-	-	-	-
	3,430-3,160	6	PmB	-	50	ano	-	-	-	-	-
	3,160-2,890	7	50/70	-	-	-	ano	-	-	-	-
Žel. Přejezd	2,890-2,620	10	PmB	20	-	-	-	ano	-	-	-
Žel. Přejezd	2,620-2,520	11	PmB	30	-	-	-	-	ano	-	-
	2,520-2,350			-	-	-	-	-	-	-	-
	2,350-2,080	12	PmB	-	30	-	-	-	ano	-	-
	2,080-1,810	13	PmB	-	50	-	-	-	-	ano	-
	1,810-1,540	8	50/70	20	-	ano	-	-	-	-	ano
	1,540-1,270	9	50/70	30	-	ano	-	-	-	-	ano
	1,270-1,000	14	50/70	-	-	-	-	-	-	-	ano
	1,000-0,730	15	50/70	20	-	-	-	-	-	-	ano
	0,730-0,460	16	50/70	30	-	-	-	-	-	-	ano
	0,460-0,190	17	50/70	-	30	-	-	-	-	-	ano
Rakovník	0,190-0,000	18	50/70	-	50	-	-	-	-	-	ano

Vysvětlivky:

S-CEL RE – celulókové vlákno s přísadou

S-CEL RF 20 – celulókové vlákno s oživovací přísadou pro použití do směsí typu SMA s 20 % podílem R-materiálu

S-CEL RF 30 – celulókové vlákno s oživovací přísadou pro použití do směsí typu SMA s 30 % podílem R-materiálu

S-CEL RF 50 – celulókové vlákno s oživovací přísadou pro použití do směsí typu SMA s 50 % podílem R-materiálu

Na níže uvedených Obrázcích 23 a 24 je zachycena realizace pokládky směsí SMA 11S s až 50 % množstvím R-materiálu na pokusném úseku.



Obrázek 23: Pokládka směsí SMA 11S s 50 % podílem R – materiálu [54], vlevo: doprava směsí, vpravo: finišer



Obrázek 24: Vlevo: Poslední fáze hutnění s podrťováním povrchu vrstvy, vpravo: detail hotové zhutněné vrstvy [54]

Výroba všech variant asfaltových směsí na obalovně společnosti Froněk spol. s r.o. (při využití paralelního bubnu), dávkování oživovací přísady (i ve formě celulózových vláken nasycených oživovací přísadou), následná pokládka a hutnění směsí proběhlo bez jakýchkoliv technických či logistických problémů.

Při realizaci úseku byly odebrány vzorky jednotlivých variant nezhutněných směsí u finišeru a následně na nich byly provedeny laboratorní rozbory – kontrolní zkoušky. V roce 2017 došlo k odebrání jádrových vývrtů ze všech podúseků. V rámci bakalářských, diplomových a disertačních prací jsou prováděny rozbory směsí a následné funkční zkoušky na zpětně získaných pojivech především za účelem ověření funkce oživovacích a modifikačních přísad. Doposud jsou získávány uspokojivé výsledky. Současně také bylo zahájeno pravidelné sledování stavu pokusného úseku, které je prováděno pěší vizuální prohlídkou.

Níže jsou uvedeny výsledky práce autora, které byly provedeny na odebraných jádrových vývrtech ze všech úseků za účelem nastavení kritéria pro maximální obsah a druh R-materiálu do směsí typu asfaltový koberec mastixový.

Na všech vývrtech došlo k odebrání obrusné vrstvy pro provedení laboratorních rozborů všech variant směsí. Z těchto směsí bylo zpětně získáno asfaltové pojivo pro provedení základních empirických zkoušek a reologických měření a proveden síťový rozbor kameniva. Reologická měření byla provedena za účelem posouzení vlivu dávkování R-materiálu s modifikovaným pojivem (RAP SMA) do směsí. Vzhledem k tomu, že jde o směsí, které prošly obalovacím procesem a již přibližně rok plnily svou funkci ve vozovce, jsou získané výsledky autorem považovány za velmi důležité pro správné nastavení požadavků do normy.

Síťové rozbory na kamenivu ze směsí byly provedeny především za účelem posouzení vlivu dávkování běžného R-materiálu (RAP) s plynulým průběhem čáry zrnitosti kameniva a R-materiálu ze směsí SMA (RAP SMA) se „zalomeným“ průběhem čáry zrnitosti.

Pro stanovení reologických vlastností zpětně získaných pojiv byl využit dynamický smykový reometr Kinexus. Konkrétně byla prováděna zkouška MSCR (Multiple Stress Creep and Recovery Test) dle ČSN EN 16659 [45], která mimo jiné umožňuje posoudit a rozlišit

stupeň modifikace pojiv. Podobně tuto problematiku rozebírá disertační práce [61]. Níže v tabulce jsou uvedeny výsledky zkoušky u vybraných variant pojiv. Za účelem nastavení parametrů do normy byla vybrána pojiva:

- z úseku 2: jde o "referenční směs", obsahující modifikovaný asfalt a neobsahující R-materiál;
- z úseku 5: jde o směs, obsahující modifikovaný asfalt a 30 % R-materiálu ze směsi SMA (RAP SMA);
- z úseku 7: pro srovnání, jde o směs obsahující pojivo gradace 50/70 a neobsahující R-materiál.

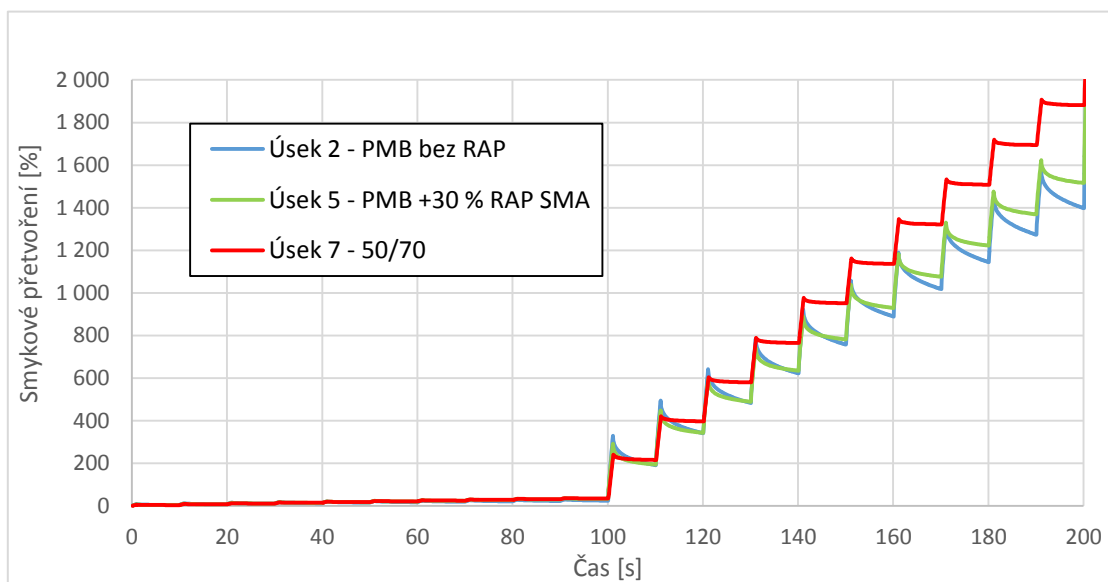
Tabulka 55: Výsledky Multiple Stress Creep and Recovery Testu dle ČSN EN 16659 [45] u vybraných pojiv

Zpětně získané pojivo z úseku:	Výsledky testu (Multiple Stress Creep and Recovery Test) dle ČSN EN 16659 [45]					
	$J_{nr0,1}$ [kPa <sup>-1</sup> ]	$J_{nr3,2}$ [kPa <sup>-1</sup> ]	$J_{nr, diff 3,2-0,1}$ [%]	$R_{0,1 kPa}$ [%]	$R_{3,2 kPa}$ [%]	$R_{diff 3,2-0,1}$ [%]
Úsek 2	0,24	0,43	75,77	71,46	54,52	23,71
Úsek 5	0,32	0,46	42,72	54,96	41,78	23,98
Úsek 7	0,35	0,58	65,63	35,82	12,18	66,00

Vysvětlivky:

$J_{nr...}$  je nevratná smyková poddajnost (při dvojnásobném napětí: 0,1 kPa a 3,2 kPa)

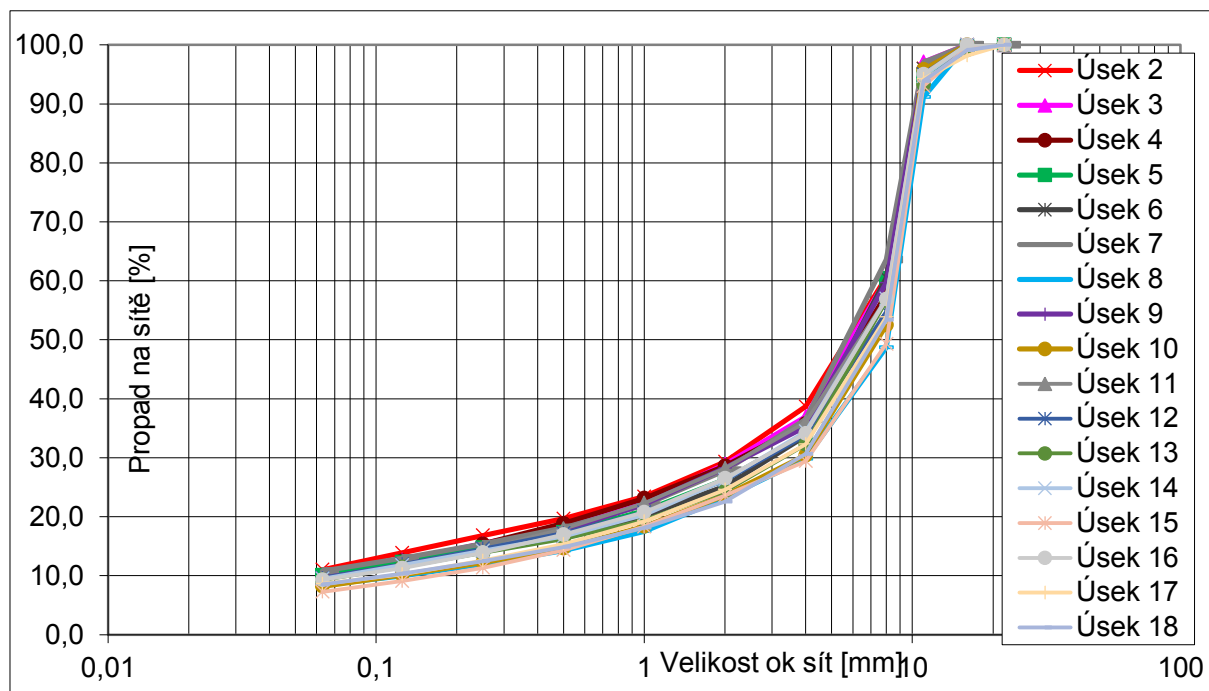
$R_{0,1(3,2)kPa...}$  je průměrné elastické zotavení v %



Graf 25: Grafické znázornění průběhu Multiple Stress Creep and Recovery Testu dle ČSN EN 16659 [45] pro vybraná pojiva

Ze záznamu smykového přetvoření při průběhu Multiple Stress Creep and Recovery Testu a získaných parametrů lze pozorovat, že se pojiva zpětně získaná z úseků 2 a 5 (tj. s 0 %

R-materiálu a 30 % R-materiálu ze směsi SMA) chovají oproti pojivu z úseku 7 (tj. pojivo 50/70) velmi podobně. Dále jsou uvedeny výsledky síťových rozborů kameniv ze všech směsí.



Graf 26: Výsledky síťových rozborů kameniv všech směsí z pokusného úseku

Čáry zrnitosti zpětně získaných kameniv ze všech směsí leží v poměrně úzkém pásu. Z konkrétních propadů na normou požadovaných sítích bylo zjištěno, že byly splněny požadavky normy s ohledem na zrnitost směsí.

Při podrobnějším průzkumu průběhu čar zrnitosti směsí lze pozorovat, že směsi, u nichž byl dávkován R-materiál ze směsi SMA (RAP SMA), mají ve výsledku příznivější (více zalomenou) čáru zrnitosti.

S ohledem na výše uvedené výsledky zkoušek na směsích z pokusného úseku byl autorem práce nastaven návrh normových požadavků na druh a maximální množství R-materiálu ve směsích typu asfaltový koberec mastixový. Konkrétní znění je uvedeno v závěrech práce.

## 9. ZÁVĚRY

Všechny činnosti, které jsou popisovány v rámci této habilitační práce, si kladly za cíl zlepšit stávající stav ve využívání R-materiálu v hutněných asfaltových směsích v České republice. Konkrétně bylo dosaženo níže uvedených cílů:

- a) Byl popsán stávající stav v oblasti přidávání R-materiálu do asfaltových směsích v České republice a to jak z pohledu legislativního a normového, tak i z pohledu ekologického a ekonomického.
- b) Byla popsána problematika stárnutí asfaltových pojiv a směsích v průběhu výroby, pokládky a jejich následné funkce v konstrukci vozovky včetně popisu dostupných laboratorních metod, simulujících stárnutí asfaltových pojiv a asfaltových směsích. Dále byl popsán stávající způsob hodnocení náchylnosti asfaltových pojiv a směsích ke stárnutí v České republice.
- c) Byly rozebrány a popsány tři možné způsoby rejuvenace zestárlého asfaltového pojiva v R-materiálu a související problematika.
- d) Byl popsán aktuální stav v oblasti technických možností přidávání R-materiálu do hutněných asfaltových směsích v ČR.
- e) V experimentální části práce byla prvotní pozornost věnována asfaltovým směsím typu asfaltový beton, které jsou nejrozšířenějším druhem hutněných za horka vyráběných asfaltových směsích v České republice díky tomu, že jsou široce používány pro výstavbu podkladních, ložních i obrusných vrstev vozovek. Na laboratorně vyráběných asfaltových směsích byla provedena řada empirických a funkčních zkoušek pro ověření možnosti dávkování až 70 % podílu R-materiálu. Po jejich vyhodnocení je možno konstatovat, že vlivem dávkování až 70 % podílu rejuvenovaného R-materiálu nedochází k žádnému negativnímu ovlivnění vlastností asfaltových směsích typu asfaltový beton a směsích splňují všechny normové parametry.
- f) Ve druhé fázi experimentální části práce se pozornost soustředila na asfaltové směsích, které jsou v České republice používány pro obrusné vrstvy dopravně nejvíce zatížených vozovek – asfaltové koberce mastixové. Jde o typ asfaltové směsích, jejichž objem výroby bude v následujících letech (vzhledem k návrhovaným změnám norem) stoupat. Stejně jako v případě směsích typu asfaltový beton byla na laboratorně vyráběných asfaltových směsích provedena řada empirických a funkčních zkoušek pro ověření možnosti dávkování až 50 % podílu R-materiálu do tohoto typu asfaltové směsích. Při provádění návrhů směsích a jejich následném



zkoušení byly používány dva rozdílné druhy R-materiálu. Po vyhodnocení výsledků zkoušek je možno opět konstatovat, že vlivem dávkování až 50 % podílu rejuvenovaného R-materiálu nedochází k negativnímu ovlivnění vlastností asfaltových směsí typu asfaltový koberec mastixový a parametry směsí vyhovují všem normovým požadavkům.

- g) S podporou Státního fondu dopravní infrastruktury se podařilo vybudovat dva pokusné úseky, při jejichž budování byly mj. využity laboratorně navržené směsi. V případě asfaltových směsí typu asfaltový beton jde o úsek na komunikaci II/204 Kaznějov – Mrtník, v případě směsí typu asfaltový koberec mastixový jde o úsek na silnici II. třídy - II/227 mezi městem Rakovník a obcí Kněžves. U obou úseků je prováděn pravidelný monitoring jejich technického stavu včetně odběrů vzorků směsí a vyhodnocování parametrů jednotlivých variant směsí. Díky provedení měření reologických vlastností zpětně získaných poživ z pokusného úseku na silnici II. třídy - II/227 se mimo jiné podařilo ověřit, že do směsí typu asfaltový koberec mastixový s modifikovanými asfalty je vhodné dávkovat R-materiál, obsahující modifikovaný asfalt.
- h) Kromě několika ověřených technologií dávkování R-materiálu do různých druhů asfaltových směsí byla v roce 2017 sestavena „Metodika aplikace R-materiálu do asfaltových směsí typu SMA (Stone mastix asphalt)“, která byla následně dne 24.1.2018 certifikována Ministerstvem dopravy a vydáno osvědčení o uznání uplatněné certifikované metodiky pod č.j. 118/2017-710-VV/1. Text certifikované metodiky je uveden v příloze této práce.
- i) Autor habilitační práce byl na základě publikovaných výsledků práce vyzván k sestavení nové normy ČSN 73 6141 s názvem „Požadavky na použití R-materiálu do asfaltových směsí“. Text posledního návrhu textu nové normy je uveden v příloze této práce.
- j) Byl proveden návrh úpravy textu specifikační normy pro směsi typu asfaltový beton ČSN EN 13108-1. V národních parametrech k normě ČSN EN 13 108-1 Asfaltový beton je nově navržena tabulka, upravující nejvyšší přípustný obsah R-materiálu v % hmotnosti asfaltové směsi.

Tabulka 56: Návrh tabulky, upravující nejvyšší přípustný obsah R-materiálu v % hmotnosti asfaltové směsi v NP k ČSN EN 13 108-1 Asfaltový beton

Obrusné vrstvy		Ložní vrstvy		Podkladní vrstvy	
Druh směsi	R-materiál (%)	Druh směsi	R-materiál (%)	Druh směsi	R-materiál (%)
<b>ACO 8</b>	35	<b>ACL 16 S</b>	40	<b>ACP 16 S</b>	60
<b>ACO 8 CH</b>	35	<b>ACL 16 +</b>	50	<b>ACP 16 +</b>	70
<b>ACO 11 +</b>	30	<b>ACL 16</b>	50	<b>ACP 22 S</b>	60
<b>ACO 11</b>	35	<b>ACL 22 S</b>	40	<b>ACP 22 +</b>	70
<b>ACO 16 +</b>	30	<b>ACL 22 +</b>	50		
<b>ACO 16</b>	35	<b>ACL 22</b>	50		

<sup>1)</sup> R-materiál za studena lze přidávat bez jeho další úpravy do směsi 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 měkčí 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 metodu po částech za studena (použití variátoru) lze za výše uvedených podmínek použít pouze pro výrobu asfaltových směsí pro podkladní vrstvy.

<sup>2)</sup> Do směsí pro ložní, podkladní a vyrovnávací vrstvy, do kterých se přidává modifikovaný asfaltový 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 omezení dávkování na max.15 %).

- k) Byl proveden návrh úpravy textu specifikační normy pro směsi typu asfaltový koberec mastixový ČSN EN 13108-5. V národních parametrech k normě ČSN EN 13 108-5 Asfaltový koberec mastixový je nově navržena úprava textu (kapitola 5.3), upravující nejvyšší přípustný obsah R-materiálu v % hmotnosti asfaltové směsi. Je navrženo, aby původní text, zakazující dávkování R-materiálu do směsí typu asfaltový koberec mastixový, byl nahrazen nově zněním:

„Nejvyšší přípustný obsah R-materiálu v % hmotnosti asfaltové směsi činí 20 %. R-materiál musí být získán odděleným frézováním obrusné vrstvy vozovky tvořené směsí typu SMA (s modifikovaným asfaltovým pojivem). Požadavky na R-materiál jsou uvedeny v ČSN EN 13108-8.“

- l) V průběhu řešení obou výše zmiňovaných výzkumných projektů a v době sestavování této habilitační práce postupně proběhla řada jednání s představiteli státních investorských organizací (Ředitelství silnic a dálnic ČR, Ministerstvo dopravy), na kterých byly představovány výsledky práce s cílem prolomit jejich dosavadní nedůvěru k R-materiálu. Souběžně s těmito aktivitami probíhají v současné době školení s touto tematikou, na kterých jsou prezentovány výsledky výzkumu a nové změny v legislativních a normových předpisech. Jde

například o pravidelné semináře pořádané autorem na VUT v Brně nebo přednášky autora práce na školeních, které organizuje Sdružení pro výstavbu silnic.

## 10. POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Zajíček, J., Birnbaumová, M., Hýzl, P., Nekula, L., Stehlík, D., Valentin, V., Varaus, M., Vébr, L., Technologie stavby vozovek, Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě, ISBN 978-80-87438-59-6, Praha, 2014.
- [2] Plitz J., Stárnutí silničních poviv. Sborník z konference Asfaltové vozovky AV 97, České Budějovice, 1997.
- [3] ČSN EN 12607-2 Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení odolnosti proti stárnutí vlivem tepla a vzduchu - Část 2: Metoda TFOT
- [4] ČSN EN 12595 Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení kinematické viskozity
- [5] ČSN EN 12607-3 Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení odolnosti proti stárnutí vlivem tepla a vzduchu - Část 3: Metoda RFT
- [6] ČSN EN 12607-1 Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení odolnosti proti stárnutí vlivem tepla a vzduchu - Část 1: Metoda RTFOT
- [7] ČSN EN 15323 Asfalty a asfaltová pojiva - Urychlené dlouhodobé stárnutí metodou rotujícího válce (RCAT)
- [8] ČSN EN 14769 Asfalty a asfaltová pojiva - Urychlené dlouhodobé stárnutí v tlakové nádobě (PAV)
- [9] <https://cooper.co.uk/shop/bitumen-testing/loss-on-heating-thin-film-oven/>
- [10] <http://www.matest.com/en/Products/bitumen-asphalt/Macro-Category/bituminous-binders-determination-of-the-resistance-of-hardening-rotating-flask-test-rft-me/b065-rotary-evaporation-apparatus>
- [11] Anderson, A., D., Bonaquist, R., Investigation of Short-Term Laboratory Aging of Neat and Modified Asphalt Binders, NCHRP Report 709, TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, WASHINGTON, D.C., 2012, ISBN 978-0-309-21363-9, DOI 10.17226/14613, p. 20
- [12] <http://www.matest.com/en/Products/bitumen-asphalt/Macro-Category/OTHER-PRODUCTS-2/b091n-pressure-ageing-vessel>
- [13] ČSN EN 12591 Asfalty a asfaltová pojiva - Specifikace pro silniční asfalty
- [14] ČSN EN 14023 Asfalty a asfaltová pojiva - Systém specifikace pro polymerem modifikované asfalty
- [15] Dašek, O.; Hýzl, P.; Coufalík, P.; Varaus, M.; Stehlík, D.; Špaček, P.; Hegr, Z., Stoklásek, S.; Matoušek, D.; Svoboda, P.; Metodika pro hodnocení silničních asfaltů z hlediska náchylnosti k termooxidačnímu stárnutí; Brno; 2015
- [16] Technische Vertragsbedingungen-Baustoffe RVS 08.97.05: GmBH., Anforderungen an Asphaltmischgut (Januar 2007/Februar 2010).
- [17] ČSN EN 1427 Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení bodu měknutí - Metoda kroužek a kulička
- [18] ČSN EN 14770 Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení komplexního modulu ve smyku a fázového úhlu - Dynamický smykový reometr (DSR)

- [19] Dašek, O.; Hýzl, P.; Coufalík, P.; Varaus, M.; Stehlík, D.; Špaček, P.; Hegr, Z., Stoklásek, S.; Matoušek, D.; Svoboda, P.; Metodika popisující laboratorní stárnutí asfaltových směsí; Brno; 2015
- [20] prEN 12697-52: Bituminous mixtures — Test methods — Part 52: Conditioning to address oxidative ageing. CEN/TC 227
- [21] Bell, C. A.; AbWahab, Y.; Cristi, M. E.; Sosnovske, D.; Report SHRP-A-383, Selection of laboratory aging procedures for asphalt – aggregate mixtures, Strategic Highway Research Program, National Research Council, 2101 Constitution Avenue, NW Washington, DC 20418 United States, 03/1994, ISBN: 0309057620
- [22] <https://www.macrotrends.net/1369/crude-oil-price-history-chart>
- [23] Přehled výroby a zpracování materiálů pro stavbu vozovek v roce 2017; Sdružení pro výstavbu silnic; Praha; 03/2018
- [24] Výzkumný projekt Technologické agentury ČR č. TA02030549 “Maximálně efektivní využití recyklovaných asfaltových vrstev vozovek pro výrobu asfaltových směsí”; Řešitel: Vysoké učení technické v Brně, doba řešení: 01/2012 až 12/2014.
- [25] Výzkumný projekt Technologické agentury ČR č. TA04031328 “Recyklace asfaltových koberců mastixových a vývoj speciálního celulózového vlákna do těchto typů směsí”; Řešitel: Vysoké učení technické v Brně, doba řešení: 07/2014 až 12/2017.
- [26] ČSN EN 13108-1; Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 1: Asfaltový beton; Český normalizační institut; 2008
- [27] ČSN EN 13108-8 ed.2; Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 8: R-materiál; Český normalizační institut; 08/2017
- [28] ČSN EN 13108-5; Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 5: Asfaltový koberec mastixový; Český normalizační institut; 2008
- [29] ČSN EN 13108-2; Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 2: Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy; Český normalizační institut; 2008
- [30] ČSN EN 13108-7; Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 7: Asfaltový koberec drenážní; Český normalizační institut; 2008
- [31] Vyhláška Ministerstva životního prostředí, která stanoví kritéria, při jejichž splnění je znovuzískaná asfaltová směs vedlejším produktem nebo přestává být odpadem, a kritéria, při jejichž splnění přestává být asfaltová směs vyrobená z odpadní znovuzískané asfaltové směsi odpadem; text návrhu vyhlášky ve stavu meziresortního připomínkového řízení; 08/2018 (zatím bez přiděleného číselného označení vyhlášky)
- [32] ČSN EN 1426 Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení penetrace jehlou; 12/2015
- [33] ČSN EN 12593 Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení bodu lámavosti podle Fraasse; 12/2015
- [34] Martin, Amy Epps, a kol.; THE EFFECTS OF RECYCLING AGENTS ON ASPHALTMIXTURES WITH HIGH RAS AND RAP BINDER RATIOS; PHASE I INTERIM REPORT; Texas A&M Transportation Institute; College Station, Texas; 03/2015; (Prepared for National Cooperative Highway Research Program Transportation Research Board of The National Academies; Project No. 9-58).

- [35] NCAT (2014a) "How Should We Express RAP and RAS Contents?" *Asphalt Technology News*; Vol. 26, No. 2 (Fall), dostupné na:  
<http://www.eng.auburn.edu/research/centers/ncat/info-pubs/newsletters/fall-2014/recycledcontents.html>. (As of February 24, 2015).
- [36] Údaj EAPA; dostupné na: <http://www.eapa.org/asphalt.php>
- [37] EAPA Position paper; Asphalt the 100% recyclable construction product; European Asphalt Pavement Association; Brussels, Belgium; June 2014; dostupné na:  
[http://www.eapa.org/userfiles/2/Publications/EAPApaper Asphalt the%20100%20 recyclable construction%20product.pdf](http://www.eapa.org/userfiles/2/Publications/EAPApaper%20Asphalt%20the%20100%20recyclable%20construction%20product.pdf)
- [38] Komacka J., Remisova E., Deliverable Nr 4.1 Asphalt Mixtures Using Reclaimed Asphalt containing Polymer Modified Binder, RECYPMA, 2013
- [39] Gang Liu, Erik Nielsen, Jozef Komacka, Greet Leegwater, Martin van de Ven, Influence of soft bitumens on the chemical and rheological properties of reclaimed polymer-modified binders from the "old" surface-layer asphalt, *Construction and Building Materials*, Volume 79, 2015, Pages 129-135, ISSN 0950-0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.01.002>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095006181500015X>)
- [40] Gang Liu, Greet Leegwater, Erik Nielsen, Jozef Komacka, Martin van de Ven, Evaluating the rheological properties of PMB-containing RA binders from surface-layer asphalt mixtures to be recycled, *Construction and Building Materials*, Volume 49, 2013, Pages 8-14, ISSN 0950-0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.08.012>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061813007423>)
- [41] Gang Liu, Erik Nielsen, Jozef Komacka, Leegwater Greet, Martin van de Ven, Rheological and chemical evaluation on the ageing properties of SBS polymer modified bitumen: From the laboratory to the field, *Construction and Building Materials*, Volume 51, 2014, Pages 244-248, ISSN 0950-0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.10.043>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061813009641>)
- [42] Koudelka, T.; Dašek, O.; Varaus, M.; Coufalíková, I.; Recyklace asfaltových směsí s polymerem modifikovanými asfalty; článek připravený k vydání v časopise *Silniční obzor*; 2018
- [43] Pavel Kriz, Daniel L. Grant, Bibiana A. Veloza, Mary J. Gale, Alan G. Blahey, John H. Brownie, Ralph D. Shirts & Sam Maccarrone (2014) Blending and diffusion of reclaimed asphalt pavement and virgin asphalt binders, *Road Materials and Pavement Design*, 15:sup1, 78-112, DOI: 10.1080/14680629.2014.927411
- [44] Adam Liphardt, Piotr Radziszewski, Jan Król; Binder blending estimation method in hot mix asphalt with reclaimed asphalt; XXIV R-S-P seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering (24RSP) (TFoCE 2015); *Procedia Engineering* 111 ( 2015 ) 502 – 509; Published by Elsevier Ltd; 2015; doi: 10.1016/j.proeng.2015.07.123; dostupné na: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)
- [45] ČSN EN 16659 Asfalty a asfaltová pojiva – Zkouška MSCR (Multiple Stress Creep and Recovery Test), Úřad pro technickou normalizaci, měření a státní zkušebnictví, 2016

- [46] Merkblatt für die Wiederverwendung von Asphalt; ISBN 978-3-939715-98-6; FGSV Verlag GmbH; 2009
- [47] Varaus, M.; Recyklace netuhých vozovek, přednáška; Školení pracovníků laboratoří; VUT v Brně; 2016
- [48] ČSN EN 12697-12 Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 12: Stanovení odolnosti zkušebního tělesa vůči vodě; 02/2009
- [49] ČSN EN 12697-26 Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 26: Tuhost; 09/2012
- [50] ČSN EN 12697-22+A1 Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 22: Zkouška pojiždění kolem; 12/2007
- [51] ČSN EN 12697-24 Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 24: Odolnost vůči únavě; 05/2018
- [52] ČSN EN 933-1 Zkoušení geometrických vlastností kameniva - Část 1: Stanovení zrnitosti - Sítový rozbor
- [53] ČSN EN 13398 Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení vratné duktility modifikovaných asfaltů;
- [54] Hýzl, P. a kol; Využití R-materiálu v asfaltových směsích typu SMA; In *Asfaltové vozovky 2017*. 1. České Budějovice: PRAGOPROJEKT, a.s., K Ryšánce 1668/16, 147 54 Praha 4, 2017. ISBN: 978-80-906809-0-6.
- [55] Malá, M. Využití R-materiálu v krytových vrstvách vozovek. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Diplomová práce. 122 s. Vedoucí práce Ing. Petr Hýzl, Ph.D., 2015
- [56] Slavíček, M. Využití R - materiálu v asfaltových kobercích mastixových. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Diplomová práce. 115 s. Vedoucí práce Ing. Petr Hýzl, Ph.D., 2017
- [57] Motl, V. Problematika R-materiálu v asfaltových směsích typu SMA. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Bakalářská práce. 68 s. Vedoucí práce Ing. Petr Hýzl, Ph.D., 2016
- [58] ČSN EN 12697-46 Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 46: Nízkoteplotní vlastnosti a tvorba trhlin pomocí jednoosé zkoušky tahem; 11/2012
- [59] Pavličík, P. Návrhy asfaltových směsí s využitím vyššího obsahu R-materiálu. Brno, 2013. 97 s., 12 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce doc. Dr. Ing. Michal Varaus.
- [60] Urbanec, L. Problematika zvyšování podílu R-materiálu v asfaltových směsích. Brno, 2013. 121 s., 10 s. příloh. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav pozemních komunikací. Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Hýzl, Ph.D.
- [61] Coufalík, P. Reologické vlastnosti asfaltových pojiv. Brno, 2017. 213 s., 28 s. příl., Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce Ing. Petr Hýzl, Ph.D.

## 11. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Zkušební zařízení pro zkoušku tepelné stálosti tenkého filmu (Thin Film Oven Test – TFOT) [9] .....	18
Obrázek 2: Rotační vakuové destilační zařízení k provedení zkoušky krátkodobého stárnutí metodou RFT (Rotating Flask Test) [10] .....	18
Obrázek 3: Schéma a fotografie zařízení pro urychlené dlouhodobé stárnutí metodou rotujícího válce (Rotating Cylinder Ageing Test – RCAT) [11] .....	19
Obrázek 4: Zkušební zařízení pro zkoušku urychleného dlouhodobého stárnutí v tlakové nádobě (Pressure Ageing Vessel – PAV) [12].....	20
Obrázek 5: Schematické znázornění jednotlivých možností kontaktu zrn kameniva a promísení pojiv při přidávání R-materiálu do asfaltové směsi [43].....	27
Obrázek 6: Jednotlivé fáze difuze nového pojiva a pojiva z R-materiálu [44] .....	28
Obrázek 7: Znovuzískaná asfaltová směs ve formě vybouraných ker .....	32
Obrázek 8: Drticí zařízení pro přípravu R-materiálu .....	33
Obrázek 9: Zastřešení skládky R-materiálu .....	34
Obrázek 10: Schéma šaržové obalovny [1] .....	34
Obrázek 11: Požadovaná teplota nově přidávaného kameniva v závislosti na množství dávkovaného R-materiálu (10 až 40%) a požadované výsledné teplotě vyrobené asfaltové směsi. [46]. .....	36
Obrázek 12: Schéma obalovny vybavené paralelním bubnem [47] .....	37
Obrázek 13: Obalovny asfaltových směsí vybavené paralelním sušícím bubnem – vlevo Česká republika - Bruntál, vpravo Spolková republika Německo - Norimberk.....	37
Obrázek 14: Schéma kontinuální obalovny se systémem přidávání R-materiálu souběžně s proudem horkého vzduchu [47] .....	38
Obrázek 15: Schéma kontinuální obalovny se systémem přidávání R-materiálu proti proudu horkého vzduchu [47] .....	38
Obrázek 16: Schéma kontinuální obalovny se separátním systémem vysoušení R-materiálu [47].....	39
Obrázek 17: Kontinuální obalovna s násypkou pro dávkování R-materiálu a systémem přidávání R-materiálu proti proudu horkého vzduchu.....	39
Obrázek 18: Vyznačení pokusného úseku silnice II/204 Kaznějov – Mrtník v mapě – zdroj: www.mapy.cz .....	67
Obrázek 19: Schéma jednotlivých variant použitých asfaltových směsí na pokusném úseku silnice II/204 Kaznějov - Mrtník .....	68
Obrázek 20: Provádění pokusného úseku.....	68
Obrázek 21: Vyznačení pokusného úseku v mapě (Zdroj: www.mapy.cz) .....	81
Obrázek 22: Lokalizace jednotlivých variant směsí na pokusného úseku II/227 Rakovník – Kněževy (Zdroj: www.mapy.cz)[54].....	83
Obrázek 23: Pokládka směsi SMA 11S s 50% podílem R – materiálu [54], vlevo: doprava směsi, vpravo: finišer .....	84
Obrázek 24: Vlevo: Poslední fáze hutnění s podrťováním povrchu vrstvy, vpravo: detail hotové zhutněné vrstvy [54].....	85



## 12. SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Vývoj objemu výroby asfaltových směsí v ČR v letech 2007 až 2017 [23].....	8
Graf 2: Historický vývoj cen ropy [22] .....	9
Graf 3: Čáry zrnitosti jednotlivých frakcí použitého kameniva .....	43
Graf 4: Navržená čára zrnitosti směsi ACL 22+ s 0 % R-materiálu .....	46
Graf 5: Navržená čára zrnitosti směsi ACL 22+ s 30 % R-materiálu .....	48
Graf 6: Navržená čára zrnitosti směsi ACL 22+ s 50 % R-materiálu .....	50
Graf 7: Navržená čára zrnitosti směsi ACL 22+ s 70 % R-materiálu .....	52
Graf 8: Navržená čára zrnitosti směsi ACP 22+ s 0 % R-materiálu .....	54
Graf 9: Navržená čára zrnitosti směsi ACP 22+ s 30 % R-materiálu .....	56
Graf 10: Navržená čára zrnitosti směsi ACP 22+ s 50 % R-materiálu .....	58
Graf 11: Navržená čára zrnitosti směsi ACP 22+ s 70 % R-materiálu .....	60
Graf 12: Moduly tuhosti asfaltových směsí ACL 22+ s s 0 %, 30 %, 50 % a 70 % R-materiálu .	62
Graf 13: Moduly tuhosti asfaltových směsí ACP 22+ s s 0 %, 30 %, 50 % a 70 % R-materiálu.	64
Graf 14: Grafické vyhodnocení únavových charakteristik asfaltových směsí ACP 22+ s 0 %, 30 %, 50 % a 70 % R-materiálu.....	66
Graf 15: Blackův diagram – zpětně získaná pojiva z použitých R-materiálů.....	71
Graf 16: Čáry zrnitosti jednotlivých frakcí použitého kameniva .....	72
Graf 17: Průběh čar zrnitosti jednotlivých variant navržených směsí SMA 11S s různými podíly a oběma druhy R-materiálu .....	74
Graf 18: Porovnání parametru $WTS_{AIR}$ směsí SMA 11S stanoveného při teplotě 50°C .....	75
Graf 19: Porovnání parametru $PRD_{AIR}$ směsí SMA 11S stanoveného při teplotě 50°C.....	76
Graf 20: Porovnání parametru $WTS_{AIR}$ směsí SMA 11S stanoveného při teplotě 60°C .....	77
Graf 21: Porovnání parametru $PRD_{AIR}$ směsí SMA 11S stanoveného při teplotě 60°C.....	77
Graf 22: Tuhost jednotlivých variant navržených směsí SMA 11S s různými podíly a oběma druhy R-materiálu .....	79
Graf 23: Srovnání maximálních tahových sil při porušení trhlinou jednotlivých variant směsí SMA 11S s různými podíly a oběma druhy R-materiálu.....	80
Graf 24: Srovnání teplot při porušení trhlinou jednotlivých variant směsí SMA 11S s různými podíly a oběma druhy R-materiálu .....	80
Graf 25: Grafické znázornění průběhu Multiple Stress Creep and Recovery Testu dle ČSN EN 16659 [45] pro vybraná pojiva .....	86
Graf 26: Výsledky síťových rozborů kameniv všech směsí z pokusného úseku .....	87

## 13. SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Nejvyšší přípustný obsah R-materiálu v % hmotnosti asfaltové směsi typu asfaltový beton [26].....	10
Tabulka 2: Jakostní třídy pro znovuzískanou asfaltovou směs [31]. .....	13
Tabulka 3: Rozsah stanovovaných kongenerů PAU [31]. .....	14
Tabulka 4: Požadované vlastnosti silničních asfaltů gradace 50/70 a 70/100 po stárnutí metodou 3xRTFOT [15].....	21
Tabulka 5: Výpočet parametrů výsledného pojiva – varianta 1.....	25
Tabulka 6: Výpočet parametrů výsledného pojiva – varianta 2.....	25
Tabulka 7: Výpočet parametrů výsledného pojiva – varianta 3.....	26
Tabulka 8: Rozdělení rejuvenačních přísad – zpracováno na základě [34],[35] - tabulka doplněna a upravena autorem. ....	29
Tabulka 9: Navýšení teploty nově přidávaného kameniva v závislosti na obsahu vody v R-materiálu[46]. ....	35
Tabulka 10: Základní zjištěné parametry pojiva gradace 50/70 .....	41
Tabulka 11: Základní zjištěné parametry zpětně získaného pojiva z R-materiálu zrnitosti 0/22 mm pro návrh směsí ACL 22+ .....	42
Tabulka 12: Základní zjištěné parametry zpětně získaného pojiva z R-materiálu zrnitosti 0/22 mm pro návrh směsí ACP 22+.....	42
Tabulka 13: Zrnitosti jednotlivých frakcí použitého kameniva .....	42
Tabulka 14: Vlastnosti použité přísady Storflux .....	43
Tabulka 15: Návrhové vstupní složení směsi ACL 22+ s 0 % R-materiálu .....	45
Tabulka 16: Čára zrnitosti návrhového vstupního složení směsi ACL 22+ s 0 % R-materiálu ..	45
Tabulka 17: Parametry asfaltové směsi ACL 22+ s 0 % R-materiálu .....	46
Tabulka 18: Návrhové vstupní složení směsi ACL 22+ s 30 % R-materiálu .....	47
Tabulka 19: Čára zrnitosti návrhového vstupního složení směsi ACL 22+ s 30 % R-materiálu	47
Tabulka 20: Parametry asfaltové směsi ACL 22+ s 30 % R-materiálu .....	48
Tabulka 21: Návrhové vstupní složení směsi ACL 22+ s 50 % R-materiálu .....	49
Tabulka 22: Čára zrnitosti návrhového vstupního složení směsi ACL 22+ s 50 % R-materiálu	49
Tabulka 23: Parametry asfaltové směsi ACL 22+ s 50 % R-materiálu .....	50
Tabulka 24: Návrhové vstupní složení směsi ACL 22+ s 70 % R-materiálu .....	51
Tabulka 25: Čára zrnitosti návrhového vstupního složení směsi ACL 22+ s 70 % R-materiálu	51
Tabulka 26: Parametry asfaltové směsi ACL 22+ s 70 % R-materiálu .....	52
Tabulka 27: Návrhové vstupní složení směsi ACP 22+ s 0 % R-materiálu .....	53
Tabulka 28: Čára zrnitosti návrhového vstupního složení směsi ACP 22+ s 0 % R-materiálu..	53
Tabulka 29: Parametry asfaltové směsi ACP 22+ s 0 % R-materiálu .....	54
Tabulka 30: Návrhové vstupní složení směsi ACP 22+ s 30 % R-materiálu .....	55
Tabulka 31: Čára zrnitosti návrhového vstupního složení směsi ACP 22+ s 30 % R-materiálu	55
Tabulka 32: Parametry asfaltové směsi ACP 22+ s 30 % R-materiálu .....	56
Tabulka 33: Návrhové vstupní složení směsi ACP 22+ s 50 % R-materiálu .....	57
Tabulka 34: Čára zrnitosti návrhového vstupního složení směsi ACP 22+ s 50 % R-materiálu	57
Tabulka 35: Parametry asfaltové směsi ACP 22+ s 50 % R-materiálu .....	58
Tabulka 36: Návrhové vstupní složení směsi ACP 22+ s 70 % R-materiálu .....	59
Tabulka 37: Čára zrnitosti návrhového vstupního složení směsi ACP 22+ s 70 % R-materiálu	59
Tabulka 38: Parametry asfaltové směsi ACP 22+ s 70 % R-materiálu .....	60

Tabulka 39: Přehled výsledků stanovení odolnosti zkušební tělesa vůči vodě asfaltových směsí ACL 22+ s 0 %, 30 %, 50 % a 70 % R-materiálu.....	61
Tabulka 40: Tuhost asfaltových směsí ACL 22+ s s 0 %, 30 %, 50 % a 70 % R-materiálu .....	62
Tabulka 41: Přehled výsledků zkoušky odolnosti proti tvorbě trvalých deformací asfaltových směsí ACL 22+ s 0 %, 30 %, 50 % a 70 % R-materiálu.....	63
Tabulka 42: Tuhost asfaltových směsí ACP 22+ s s 0 %, 30 %, 50 % a 70 % R-materiálu.....	64
Tabulka 43: Únavové charakteristiky asfaltových směsí ACP 22+ s s 0 %, 30 %, 50 % a 70 % R-materiálu .....	65
Tabulka 44: Základní zjištěné parametry pojiva Colflex PMB 45/80 – 55.....	70
Tabulka 45: Základní zjištěné parametry zpětně získaného pojiva z R-materiálu zrnitosti 0/11 mm (RAP) pro návrh směsí SMA 11S.....	70
Tabulka 46: Základní zjištěné parametry zpětně získaného pojiva z R-materiálu zrnitosti 0/11 mm (RAP SMA) pro návrh směsí SMA 11S .....	70
Tabulka 47: Zrnitosti jednotlivých frakcí použitého kameniva .....	71
Tabulka 48: Složení jednotlivých variant navržených směsí SMA 11S s různými podíly a oběma druhy R-materiálu .....	73
Tabulka 49: Volumetrické parametry jednotlivých variant navržených směsí SMA 11S s různými podíly a oběma druhy R-materiálu .....	74
Tabulka 50: Výsledné parametry směsí SMA 11S stanovené při zkušební teplotě 50°C.....	75
Tabulka 51: Výsledné parametry směsí SMA 11S stanovené při zkušební teplotě 60°C.....	76
Tabulka 52: Tuhost jednotlivých variant navržených směsí SMA 11S s různými podíly a oběma druhy R-materiálu.....	78
Tabulka 53: Výsledné nízkoteplotní parametry jednotlivých variant navržených směsí SMA 11S s různými podíly a oběma druhy R-materiálu .....	79
Tabulka 54: Varianty směsí položené v rámci zkušební úseku .....	84
Tabulka 55: Výsledky Multiple Stress Creep and Recovery Testu dle ČSN EN 16659 [45] u vybraných pojiv.....	86
Tabulka 56: Návrh tabulky, upravující nejvyšší přípustný obsah R-materiálu v % hmotnosti asfaltové směsi v NP k ČSN EN 13 108-1 Asfaltový beton.....	90

## **14. PŘÍLOHY HABILITAČNÍ PRÁCE**

### **14.1. Metodika aplikace R-materiálu do asfaltových směsí typu SMA (Stone mastix asphalt)**

# Metodika aplikace R-materiálu do asfaltových směsí typu SMA (Stone mastix asphalt)

Metodika je výsledkem řešení projektu Technologické agentury České republiky TA04031328 s názvem „Recyklace asfaltových koberců mastixových a vývoj speciálního celulózového vlákna do těchto typů směsí“.

## **Autoři:**

Ing. Petr Hýzl, Ph.D., doc. Dr. Ing. Michal Varaus, Ing. Iva Coufalíková  
(Vysoké učení technické v Brně);

Ing. Petr Mondschein, Ph.D., Ing. Jan Valentin, Ph.D.,  
(České vysoké učení technické v Praze);

Radek Pazyna, Ing. Kamil Hrbek  
(Froněk spol. s r.o.).

Ing. František Buráň  
(CIUR a.s.)

V Brně, říjen 2017

## 1. Cíl metodiky

Cílem metodiky je popsat způsob použití R-materiálu v asfaltových směsích typu SMA (Stone mastix asphalt) na šaržových obalovnách v České republice. Metodika uvádí postup zpracování R-materiálu na obalovnách asfaltových směsí včetně přípravy kameniva, asfaltového pojiva a R-materiálu. Metodika má sloužit investorským organizacím a výrobním firmám pro správné provádění postupů při výrobě asfaltových směsí typu SMA s R-materiálem. Ekonomická efektivita využití R-materiálu v nově vyráběných směsích se odvíjí od množství použitého R-materiálu, ceny R-materiálu a způsobu jeho úpravy.

## 2. Vlastní popis metodiky

### 2.1 Úvod

Recyklace stavebních materiálů je nezbytným předpokladem udržitelného rozvoje a překlenutí rozporu mezi ekonomickým růstem a ochranou životního prostředí.

Netuhé (asfaltové) konstrukce vozovek pozemních komunikací jsou významným materiálovým zdrojem. Vyfrézované nebo vybourané asfaltové směsi, získané při opravách či rekonstrukcích netuhých vozovek lze opět ve formě R-materiálu využít pro výrobu nových asfaltových směsí.

Tento R-materiál obsahuje jednak kamenivo, jehož kvalita nebyla jeho prvním využitím v asfaltové směsi nijak zhoršena a dále asfaltové pojivo, u něhož lze v případě potřeby provést jeho ošetření a znovu ho použít do nově vyráběné asfaltové směsi.

Využití R-materiálu v nově za horka zpracovávaných asfaltových směsích je tedy nezbytným předpokladem pro zodpovědné hospodaření s přírodními zdroji, jako jsou kamenivo a asfaltová pojiva a představuje nejefektivnější způsob jeho využití.

V současné době Česká republika v oblasti využívání R-materiálu zaostává za západoevropskými zeměmi. Důvodem jsou často neoprávněné obavy ze strany investorů o kvalitu asfaltových směsí s R-materiálem, neexistence účinných pobídkových mechanismů k efektivnějšímu zpracování R-materiálu a v neposlední řadě také omezující legislativní a normové požadavky. Hlavní důvody pro využívání R-materiálu v nově vyráběných asfaltových směsích jsou uvedeny v následujícím přehledu:

Zachování materiálových a energetických zdrojů

- materiálové zdroje (kamenivo, asfalt)
- energetické zdroje (pohonné hmoty, topná média atd.)

Ochrana životního prostředí

- redukce skleníkových plynů, zejména CO<sub>2</sub>
- snížení znečištění ovzduší (výfukové plyny, hluk)
- omezení skládek

Ekonomický přínos

- snížení nákladů
- snížení zatížení komunikací

## 2.2. Asfaltové směsi typu SMA s R-materiálem

**R-materiál, který je přidáván do nových asfaltových směsí typu SMA je vyfrézovaná asfaltová směs, získaná odděleným frézováním obrusné vrstvy vozovky, tvořené asfaltovou směsí typu SMA, která je následně předrcena na vhodnou frakci.**

Vhodnou frakcí kameniva pro dávkování do nově vyráběných asfaltových směsí typu SMA může být v podmínkách ČR frakce 0/11 mm. Ideální dobou pro předrcení R-materiálu je podzimní nebo zimní období, kdy R-materiál již není tolik lepkavý a lépe se zpracovává.

Jako vhodný pro tyto účely je např. moderní mobilní drtící a třídící technologická linka firmy Benninghoven viz Obrázek 1. Primární drtič této technologické linky je schopen zpracovat bloky o velikosti až 1800 mm. Tyto bloky jsou tlačeny na rotor se zuby, kde dochází k šetrnému omílání bloků. Takto upravený materiál je dopravován přes dopravníkový pás, nad kterým je odlučovač kovových částic. Poté probíhá druhý stupeň drcení na výslednou požadovanou frakci. Výhodou celého systému je malé množství jemných částic po zpracování. Další výhodou je, že nedochází k drcení kameniva v recyklátu.

a) násypka s drtičem

b) magnetický separátor  
s drtičem

c) vibrační síta



**Obrázek 1** Stacionární technologická linka pro drcení asfaltového recyklátu

Pro výslednou kvalitu nově vyráběné asfaltové směsi typu asfaltový koberec mastixový je důležitá homogenita R-materiálu.

Pro zajištění homogenity přidávaného R-materiálu je potřebné zajistit jeho oddělené skládkování, vzhledem k vyšší kvalitě použitého kameniva a předpokladu přítomnosti modifikovaného asfaltového pojiva.

Při odděleném skládkování R-materiálu ze směsí typu SMA a jeho opětovném použití do stejné vrstvy se použije zrnitostně přibližně stejný materiál, u kterého již není nutno se podrobně zabývat kvalitou kameniva, protože lze předpokládat, že tato byla v minulosti již jednou ověřena.

Zastřešením skladovaného R-materiálu je zabráněno pronikání srážkové vody a následně je docíleno úspory paliv při předehřívání R-materiálu v paralelním sušícím bubnu nebo omezen problém s tvorbou páry při dávkování R-materiálu zastudena.





**Obrázek 2 Zastřešení skládky předrceného R-materiálu**

Dále je zapotřebí průběžně sledovat i **obsah pojiva** a též **čáru zrnitosti** na kamenivu R-materiálu po extrakci pojiva. Jako dostačující je sledování propadu na síť 0,063 mm, 2 mm a propadu na nominálním síť.

Počet vzorků  $n$ , na kterém se stanovení provádí, bude vycházet z množství zásoby upraveného R-materiálu v tunách podělené 500 t a zaokrouhlené nahoru, s minimálním počtem 5 vzorků. Znovuzískání pojiva ze směsí pro zkoušení se provede podle ČSN EN 12697-3. R-materiál se zkontroluje, zda neobsahuje cizorodé látky podle ČSN EN 12697-42.

### 2.3. Úprava R-materiálu používaného do směsí typu SMA

Vzhledem k tomu, že modifikované asfaltové pojivo obsažené v přidávaném R-materiálu může mít nižší výkonové parametry vzhledem k jeho zestárnutí, **doporučuje** se provést jeden z níže uvedených kroků, případně jejich kombinace:

- použít nově přidávané modifikované pojivo, které má o jednu kategorii vyšší deklarovanou hodnotu bodu měknutí, oproti pojivu předepsanému předpisy,
- použít nově přidávané modifikované pojivo skupiny „RC“ (určené pro recyklace),
- přidávat vhodnou modifikační přísadu (buď samostatně, nebo např. ve formě celulózových vláken nasycených přísadou).

V případě směsí typu SMA, kde je možné provádět dávkování R-materiálu v množství do 20 %, je pro kvalitu výsledné asfaltové směsi zapotřebí ověřit vstupní parametry směsného

pojiva, tedy pojiva vyextrahovaného z R-materiálu a nově přidávaného pojiva. Při použití nově přidávaného pojiva typu PMB dle ČSN 65 7222-1 (což bude s největší pravděpodobností většina případů), je nutno splnit vybrané základní požadavky na směsné pojivo dle výsledného deklarovaného druhu modifikovaného pojiva dle výše citované normy (např. PMB 25/55-60). Jedná se o požadavek na penetraci, bod měknutí a vratnou duktilitu. Penetrace/bod měknutí přidávaného pojiva, znovuzískaného pojiva a směsného pojiva se stanoví podle ČSN EN 1426/ČSN EN 1427. Vratná duktilita přidávaného pojiva, znovuzískaného pojiva a směsného pojiva se stanoví podle ČSN EN 13398.

## 2.4. Technologie výroby asfaltové směsi typu SMA s obsahem R-materiálu

**R-materiál, jehož parametry vyhovují požadavkům uvedeným v kapitole 2.2., může být do nově vyráběných asfaltových směsí typu SMA (Asfaltový koberec mastixový) přidán v množství do 20%.**

V současné době se lze v České republice setkat s následujícími způsoby aplikace R-materiálu do nově vyráběných asfaltových směsí:

### a) Aplikace R-materiálu zastudena

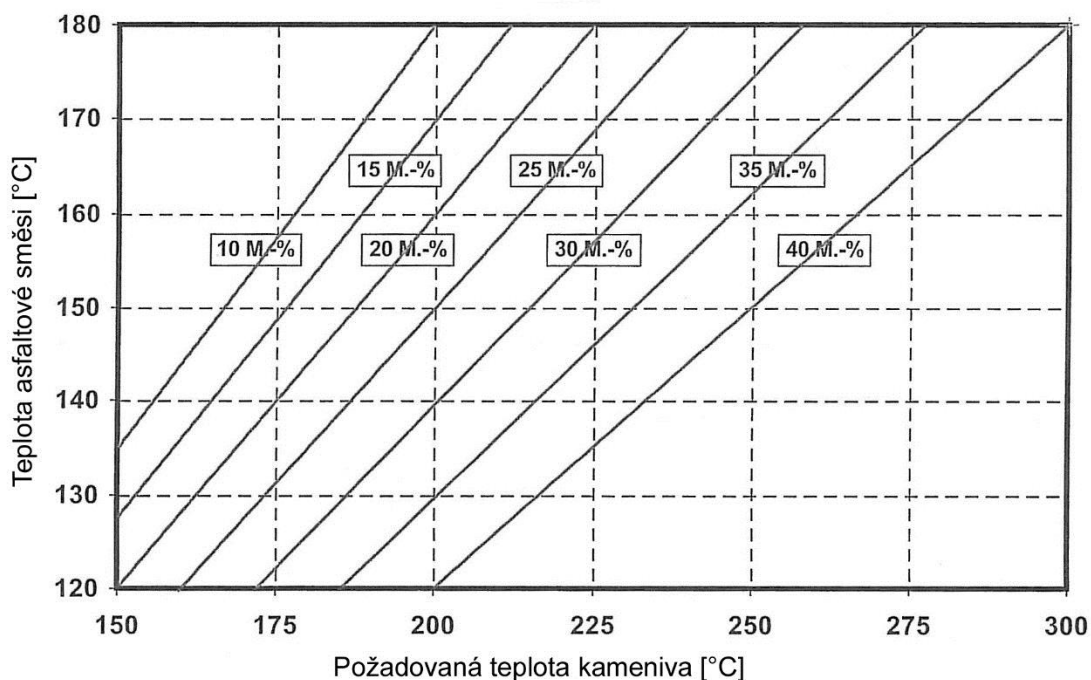
V současnosti je v České republice vybaveno zařízením na přidávání studeného R-materiálu do asfaltových směsí přibližně 40 % šaržových obaloven. Přidávání R-materiálu se provádí buď přímo do míchačky přes samostatnou váhu, nebo je R-materiál skladován v zásobníku stejně jako ostatní přetříděné frakce kameniva a dávkuje se přes váhu stejně jako kamenivo.

Tyto způsoby přidávání R-materiálu vyžadují potřebu předehtátí nového kameniva na vyšší teplotu s ohledem na:

- výslednou teplotu směsi,
- vlhkost, kterou zpracováváný R-materiál obsahuje.

Přechod tepla z horkého kameniva na R-materiál probíhá u této technologie během krátké doby. Při tomto procesu vzniká vodní pára, která musí být odvedena účinným odvětrávacím zařízením.

Teplota předehtátí kameniva v závislosti na výsledné teplotě asfaltové směsi je uvedena v Obrázku 3, který je převzat ze zahraničních materiálů. Následující Tabulka 1 pak uvádí korekce na teplotu v závislosti na obsahu vody v přidávaném R-materiálu.



**Obrázek 3: Požadovaná teplota kameniva v °C při přidání R-materiálu za studena**

**Tabulka 1: Korekce teploty kameniva v závislosti na obsahu vody v R-materiálu**

Podíl R-materiálu v % hm.	Vlhkost R-materiálu v %					
	1	2	3	4	5	6
	Korektura (zvýšení) teploty v °C					
10	4	8	12	16	20	24
15	6	12	18	24	30	36
20	8	16	24	32	40	48

Další možností přidávání R-materiálu za studena je v kontinuální obalovně typu drum-mix. V kontinuální obalovně se pak R-materiál dávkuje ve střední části sušícího a ohřívacího bubnu průběžně, následně se míchá s kamenivem a asfaltovým pojivem, popř. probíhá míchání v samostatné míchací jednotce.

### b) Aplikace ohřátého R-materiálu

Za účelem přidávání ohřátého R-materiálu jsou již některé obalovny asfaltových směsí vybaveny tzv. paralelním bubnem. V paralelním bubnu šaržové obalovny se R-materiál ohřívá na teplotu cca 130°C.



Obrázek 4: Šaržová obalovna s paralelním sušícím bubnem, umístěným v horní části obalovny

### 3. Srovnání „novosti postupů“

V České republice nebylo doposud umožněno dávkovat R-materiál do asfaltových směsí typu SMA. Na základě:

- zahraničních zkušeností,
- provedených laboratorních prací v rámci výzkumného projektu TA04031328 s názvem „Recyklace asfaltových koberců mastixových a vývoj speciálního celulózového vlákna do těchto typů směsí“ a
- realizace několika pokusných úseků

bylo prokázáno, že vhodně upravený R-materiál je možné při dodržení zásad popsaných v této metodice, dávkovat do nově vyráběných směsí typu SMA v množství do 20% bez jakékoliv obavy o negativním ovlivnění kvality nově vyráběné asfaltové směsi typu SMA.

### 4. Přínos a popis uplatnění certifikované metodiky

Přínosem uvedené metodiky je umožnění dávkování R-materiálu, získaného odděleným frézováním obrusných vrstev vozovek ze směsí typu SMA, do nově vyráběných směsí typu SMA při dodržení v této metodice popisovaných pravidel. Metodika je určena především pro Ministerstvo dopravy ČR, Ředitelství silnic a dálnic ČR a výrobní firmy, které touto metodikou získají popis a pravidla pro technicky správnou aplikaci R-materiálu do nově vyráběných asfaltových směsí typu asfaltový koberec mastixový (SMA).

### 5. Ekonomické aspekty

Investice do budování a oprav silniční infrastruktury jsou základním pilířem a předpokladem ekonomické úspěšnosti a dalšího rozvoje České republiky. Jak bylo již uvedeno výše, asfaltové vozovky jsou významným materiálovým zdrojem. Vyfrézované nebo vybourané asfaltové směsi, získané při opravách či rekonstrukcích netuhých vozovek lze opět ve formě vhodně upraveného R-materiálu využít pro výrobu nových asfaltových směsí.

Tento R-materiál obsahuje jednak kamenivo, jehož kvalita nebyla jeho prvním využitím v asfaltové směsi nijak zhoršena a dále asfaltové pojivo, u něhož lze v případě potřeby provést jeho ošetření a znovu ho použít do nově vyráběné asfaltové směsi.

Ve využití R-materiálu v nově za horka zpracovávaných asfaltových směsích lze tedy spatřovat jak ekonomické tak i ekologické přínosy této metodiky.

## 6. Seznam použité související literatury

ČSN EN 13108-5 ed.2 Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 5: Asfaltový koberec mastixový

ČSN EN 13108-8 ed.2 Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 8: R-materiál

ČSN EN 932-1 Zkoušení všeobecných vlastností kameniva – Část 1: Metody odběru vzorků

ČSN EN 933-1 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor

ČSN EN 1426 Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení penetrace jehlou

ČSN EN 1427 Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení bodu měknutí – Metoda kroužek a kulička

ČSN EN 13398 Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení vratné duktility modifikovaných asfaltů

ČSN EN 12697-1 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 1: Obsah rozpustného pojiva

ČSN EN 12697-2 Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 2: Stanovení zrnitosti

ČSN EN 12697-3 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 3: Znovuzískání extrahovaného pojiva – Rotační vakuové destilační zařízení

ČSN EN 12697-4 Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 4: Znovuzískání extrahovaného pojiva: Frakcionační kolona

ČSN EN 12697-42 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 42: Obsah cizorodých látek v asfaltovém recyklátu

ČSN 73 6160 Zkoušení asfaltových směsí

ČSN EN 13043 Kamenivo pro asfaltové směsi a povrchové vrstvy pozemních komunikací, letištních a jiných dopravních ploch

ČSN 65 7222-1 Asfalty a asfaltová pojiva – Silniční modifikované asfalty – Část 1: Polymerem modifikované asfalty

## 7. Seznam publikací, které předcházely metodice

HÝZL, P.; COUFALÍKOVÁ, I.; VARAUS, M.; HRBEK, K.; PAZYNA, R.; MONDSCHHEIN, P.; VALENTIN, J.; BURÁŇ, F., Výroční zprávy z řešení projektu Technologické agentury ČR TA04031328 „Recyklace asfaltových koberců mastixových a vývoj speciálního celulózového vlákna do těchto typů asfaltových směsí“, 2014-2017

HÝZL, P.; COUFALÍKOVÁ, I.; VARAUS, M.; HRBEK, K.; PAZYNA, R.; BOHUSLAV, J.; MONDSCHHEIN, P.; BURÁŇ, F.; URBÁNEK, M., Využití R-materiálu v asfaltových směsích typu SMA, příspěvek na konferenci *Asfaltové vozovky 2017*, České Budějovice, 2017

HÝZL, P.; COUFALÍKOVÁ, I.; NEKULOVÁ, P.; DAŠEK, O.; COUFALÍK, P., Properties of rejuvenated RAPs from Stone Mastic Asphalt, příspěvek na konferenci *Applied Mechanics and Materials (Volume 863)*, ISBN 978-3-03835-757-5, Trans Tech Publications INC. Materials Science & Engineering, 2017

COUFALÍKOVÁ, I.; HÝZL, P.; NEKULOVÁ, P.; COUFALÍK, P.; DAŠEK, O., Use of Rejuvenators to Rejuvenate Asphalt Binders in RAPs, příspěvek na konferenci *Engineering Materials and Technology, ICMSET 2016*, ISBN 978-3-0357-1033-5, 2017

COUFALÍKOVÁ, I.; HÝZL, P.; COUFALÍK, P.; DAŠEK, O., Využití recyklovaného materiálu v asfaltových kobercích mastixových, příspěvek na konferenci *Zborník Prednášok z konferencie Výstavba a rehabilitácia asfaltových vozoviek*, ISBN 978-80-232-0333-2, Etela Bačenkova - Dom techniky, Košice, 2017

COUFALÍKOVÁ, I.; NEKULOVÁ, P., Vlastnosti asfaltového pojiva obsaženého v R-materiálu, příspěvek na konferenci DOPRAVNÉ STAVBY A DOPRAVNÉ INŽINIERSTVO AKO SYSTÉMOVÉ RIEŠENIE XXI. seminár Ivana Poliačka s medzinárodnou účasťou, ISBN 978-80-89565-27-6, Kongres STUDIO, spol. s.r.o., Jasná, 2016

Recyklace asfaltových vozovek – poznatky Asociace výrobců asfaltových směsí EAPA (European Asphalt Pavement Association), Brussels, 2012

TL AG-StB 06, Technische Lieferbedingungen für Asphaltgranulat, FGSV, Německo, 2006

## 8. Dedikace na projekt

Metodika je výsledkem řešení projektu Technologické agentury České republiky TA04031328 s názvem „Recyklace asfaltových koberců mastixových a vývoj speciálního celulózového vlákna do těchto typů směsí“.

## **9. Vypracování metodiky**

Ing. Petr Hýzl, Ph.D., doc. Dr. Ing. Michal Varaus, Ing. Iva Coufalíková  
(Vysoké učení technické v Brně);

Ing. Petr Mondschein, Ph.D., Ing. Jan Valentin, Ph.D.,  
(České vysoké učení technické v Praze);

Radek Pazyna, Ing. Kamil Hrbek  
(Froněk spol. s r.o.).

Ing. František Buráň  
(CIUR a.s.)

## **10. Jména oponentů a názvy jejich organizací**

Ing. Jiří Škrabka, vedoucí samostatného oddělení zkušebnictví Praha, Ředitelství silnic a  
dálnic ČR

Ing. Milan Slavíček, SILMOS-Q s.r.o., Křížíkova 70, 612 00 Brno





Ministerstvo dopravy

nábřeží Ludvíka Svobody 1222/12  
PO BOX 9, 110 15 Praha 1

Praha 24. ledna 2018  
Č.j.: 118/2017-710-VV/1

v y d á v á

## OSVĚDČENÍ

o uznání uplatněné certifikované metodiky  
v souladu s podmínkami „Metodiky hodnocení výsledků výzkumu a vývoje“

s názvem  
**„Metodika aplikace R-materiálu do asfaltových směsí typu SMA  
(Stone mastix asphalt)“**

**ŘEŠITEL**

**Fakulta stavební VUT v Brně**

**Autorský tým:**

Ing. Petr Hýzl, Ph.D., doc. Dr. Ing. Michal Varaus, Ing. Iva Coufalíková (Vysoké učení  
technické v Brně)  
Ing. Petr Mondšchein, Ph.D., Ing. Jan Valentin, Ph.D. (České vysoké učení technické v Praze)  
Radek Pazyna, Ing. Kamil Hrbek (Froněk spol. s r. o.)  
Ing. František Burák (CIUR a. s.)

Vypracované v rámci výzkumného Technologické agentury České republiky TA04031328  
s názvem „Recyklace asfaltových koberečů mastixových a vývoj speciálního celulózového  
vlákna do těchto typů směsí“.

**Zpracovatelé 2 nezávislých oponentních posudků:**

- Ing. Jiří Škrabka, ŘSD ČR
- Ing. Milan Slaviček, SILMOS-Q s. r. o.

**JUDr. Václav Kobera**  
ředitel

Odbor ITS, kosmických aktivit a VuVal



## **14.2. ČSN 73 6141 Požadavky na použití R-materiálu do asfaltových směsí** (poslední znění návrhu normy)

---

**Požadavky na použití R-materiálu do asfaltových směsí**

**ČSN  
73 6141**

73 61xx

---

Requirements for Reclaimed asphalt for Bituminous mixtures

## Předmluva

### Porovnání s mezinárodními normami

ČSN 73 6141 specifikuje národní požadavky na přípravu a využití R-materiálu určeného do obrusných, ložních a podkladních asfaltových vrstev vozovek v souladu s ČSN EN 13108-8.

### Informace o citovaných dokumentech

EN 932-1 zavedena v ČSN EN 932-1 (72 1185) Zkoušení všeobecných vlastností kameniva – Část 1: Metody odběru vzorků

EN 933-1 zavedena v ČSN EN 933-1 (72 1193) Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Síťový rozbor

EN 1426 zavedena v ČSN EN 1426 (65 7062) Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení penetrace jehlou

EN 1427 zavedena v ČSN EN 1427 (65 7060) Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení bodu měknutí – Metoda kroužek a kulička

EN 12596 zavedena v ČSN EN 12596 (65 7076) Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení dynamické viskozity vakuovou kapilárou

EN 12697-1 zavedena v ČSN EN 12697-1 (73 6160) Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 1: Obsah rozpustného pojiva

EN 12697-2 zavedena v ČSN EN 12697-2 (73 6160) Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 2: Stanovení zrnitosti

EN 12697-3 zavedena v ČSN EN 12697-3 (73 6160) Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 3: Znovuzískání extrahovaného pojiva – Rotační vakuové destilační zařízení

EN 12697-4 zavedena v ČSN EN 12697-4 (73 6160) Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 4: Znovuzískání extrahovaného pojiva: Frakcionační kolona

EN 12697-42 zavedena v ČSN EN 12697-42 (73 6160) Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 42: Obsah cizorodých látek v asfaltovém recyklátu

EN 13043 zavedena v ČSN EN 13043 (72 1501) Kamenivo pro asfaltové směsi a povrchové vrstvy pozemních komunikací, letištních a jiných dopravních ploch

### Souvisící ČSN

ČSN 73 6160 Zkoušení asfaltových směsí

ČSN EN 13108-1 ed.2 (73 6140) Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 1: Asfaltový beton

ČSN EN 13108-5 ed.2 (73 6140) Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 5: Asfaltový koberec mastixový

ČSN EN 13108-6 ed.2 (73 6140) Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 6: Lítý asfalt

ČSN EN 13108-7 ed.2 (73 6140) Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 7: Asfaltový koberec drenážní

ČSN EN 13108-8 ed.2 (73 6140) Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 8: R-materiál

ČSN EN 13108-9 (73 6140) Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 9: Asfaltová směs pro ultra tenké vrstvy (AUTL)

ČSN EN 13108-20 ed.2 (73 6140) Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 20: Zkoušky typu

ČSN EN 13108-21 ed.2 (73 6140) Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 21: Řízení výroby u výrobce (FPC)

### Vypracování normy

Zpracovatel: CTN PRAGOPROJEKT, a.s., IČ: 45272387, ve spolupráci s Ing. Petrem Hýzlem, Ph.D.

Technická normalizační komise: TNK 147 Navrhování a provádění vozovek a zemních těles

Pracovník Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví: Ing. Dana Bedřichová

## Obsah

	Strana
1	Předmět normy.....119
2	Citované dokumenty .....119
3	Termíny a definice, značky a zkratky .....120
3.1	Termíny a definice.....120
3.2	Značky a zkratky .....120
4	Použití R-materiálu v nově vyráběných asfaltových směsích.....120
5	Požadavky na R-materiál .....121
5.1	Všeobecné požadavky .....121
5.2	Enviromentální požadavky .....121
5.3	Cizorodé látky .....121
5.4	Asfaltové pojivo .....122
5.4.1	Druh asfaltového pojiva.....122
5.4.2	Vlastnosti pojiva .....122
5.5	Zrnitost kameniva a horní síto <i>D</i> .....122
5.6	Obsah pojiva .....122
5.7	Zrnitost R-materiálu.....123
6	Popis zásoby/haldy R-materiálu.....123
6.1	Obecně.....123
6.2	Zdroj R-materiálu .....123
6.3	Homogenita.....123
6.4	Odběr vzorků a zkoušení .....123
6.4.1	Zásoba/halda R-materiálu .....123
6.4.2	Odběr vzorků.....123
6.4.3	Četnost zkoušení a počet vzorků ( <i>n</i> ).....123
7	Označení.....124
8	Požadavky na technologické postupy zpracování R-materiálu .....124
8.1	Způsob získání R-materiálu .....124
8.2	Způsob skladování neupravené znovuzískané asfaltové směsi.....124
8.3	Úprava a vznik R-materiálu .....125
8.4	Způsob skladování upraveného R-materiálu.....125
8.5	Homogenizace R-materiálu.....125
8.6	Způsoby oživení zestárlého pojiva v R-materiálu .....125
9	Požadavky na asfaltové směsi s R-materiálem.....125
10	Bibliografie .....126
Příloha 1: Nomogram pro stanovení max. možného přidávaného množství R-materiálu v asfaltové směsi.....132	
Příloha 2: Možnosti rejuvenace zestárlého pojiva.....134	



## 1 Předmět normy

Tato souvisící ČSN k ČSN EN 13108-8 specifikuje požadavky na postupy pro získávání, úpravu, homogenizaci, skladování, zkoušení a kontrolu R-materiálu určeného k použití jako složku – stavební materiál pro výrobu asfaltových směsí podle specifikací ČSN EN 13108-1, 2, 5, 6, 7, 8, 9, 20 a 21 na obalovnách asfaltových směsí a podle specifikací uvedených v TP 151 a TP 238.

R-materiál, který vzniká přetříděním a předrcením znovuzískané asfaltové směsi existujících vozovek nebo jako produkt neshodné výroby, je jedna ze složek asfaltových směsí obrusných, ložních a podkladních vrstev vozovek. Jedná se o cennou surovinu, kterou je potřeba využít v maximální možné míře.

Tato ČSN se zabývá pouze R-materiálem s asfaltovými pojivy, jako je: silniční asfalt, polymerem modifikovaný asfalt, drcenou či mletou pryží modifikovaný asfalt nebo tvrdý silniční asfalt.

R-materiál kontaminovaný dehtem (nebo dalšími přísadami či složkami překračujícími meze pro nebezpečné látky) není v této normě řešen.

## 2 Citované dokumenty

V tomto dokumentu jsou normativní odkazy na následující citované dokumenty (celé nebo jejich části), které jsou nezbytné pro jeho použití. U datovaných citovaných dokumentů se používají pouze datované citované dokumenty. U nedatovaných citovaných dokumentů se používá pouze nejnovější vydání citovaného dokumentu (včetně všech změn).

ČSN EN 932-1 Tests for general properties of aggregates – Part 1: Methods for sampling  
(*Zkoušení všeobecných vlastností kameniva – Část 1: Metody odběru vzorků*)

ČSN EN 933-1 Tests for geometrical properties of aggregates – Part 1: Determination of particle size distribution – Sieving method  
(*Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor*)

ČSN EN 1426 Bitumen and bituminous binders – Determination of needle penetration  
(*Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení penetrace jehlou*)

ČSN EN 1427 Bitumen and bituminous binders – Determination of the softening point – Ring and ball method  
(*Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení bodu měknutí – Metoda kroužek a kulička*)

ČSN EN 12596 Bitumen and bituminous binders – Determination of dynamic viscosity by vacuum capillary  
(*Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení dynamické viskozity vakuovou kapilárou*)

ČSN EN 12697-1 Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 1: Soluble binder content  
(*Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 1: Obsah rozpustného pojiva*)

ČSN EN 12697-2 Bituminous mixtures – Test methods – Part 2: Determination of particle size distribution  
(*Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 2: Stanovení zrnitosti*)

ČSN EN 12697-3 Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 3: Bitumen recovery: Rotary evaporator  
(*Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 3: Znovuzískání extrahovaného pojiva: Rotační vakuové destilační zařízení*)

ČSN EN 12697-4 Bituminous mixtures – Test methods – Part 4: Bitumen recovery: Fractionating column  
(*Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 4: Znovuzískání extrahovaného pojiva: Frakcionační kolona*)

ČSN EN 12697-42 Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 42: Amount of foreign matter in reclaimed asphalt  
(*Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 42: Obsah cizorodých látek v asfaltovém recyklátu*)

ČSN EN 13043 Aggregates for bituminous mixtures and surface treatments for roads, airfields and other trafficked areas  
(*Kamenivo pro asfaltové směsi a povrchové vrstvy pozemních komunikací, letištních a jiných dopravních ploch*)

### 3 Termíny a definice, značky a zkratky

#### 3.1 Termíny a definice

Pro účely této normy se používají termíny a definice uvedené v ČSN EN 13108-8.

#### 3.2 Značky a zkratky

Pro účely této normy se používají značky a zkratky uvedené v ČSN EN 13108-8. Podle této normy se R-materiál (Reclaimed Asphalt – RA) označuje max. velikostí zrn R-mat. ( $U_{RA}$ ), zkratkou RA a zrnitostí kameniva (d/D) v mm.

Příklad: 11 RA 0/8 mm, tj. R-materiál s max. velikostí zrna 11 mm a zrnitostí kameniva 0/8 mm

### 4 Použití R-materiálu v nově vyráběných asfaltových směsích

Použití upraveného R-materiálu je závislé na druhu vrstvy, ze které byl R-materiál získán. Možnosti použití se řídí Tabulkou 1.

Tabulka 1 - Možnosti přidání upraveného R-materiálu do nově vyráběných směsí

R-materiál získaný z:	Použití do nově vyráběných směsí pro:			
	Litý asfalt	Asfaltová obrusná vrstva	Asfaltová ložní vrstva	Asfaltová horní podkladní vrstva
Litého asfaltu	ANO	ANO <sup>2)</sup>	ANO <sup>2)</sup>	ANO
Asfaltové obrusné vrstvy <sup>1)</sup>	NE	ANO	ANO	ANO
Asfaltové obrusné a ložní vrstvy	NE	ANO <sup>2)</sup>	ANO	ANO
Asfaltové obrusné a ložní vrstvy s modifikovaným pojivem	NE	ANO	ANO	ANO
Asfaltové ložní vrstvy <sup>1)</sup>	NE	ANO <sup>2)</sup>	ANO	ANO
Asfaltové horní podkladní vrstvy <sup>1)</sup>	NE	NE	NE	ANO
Asfaltové obrusné, ložní vrstvy a horní podkladní vrstvy – neselektivní frézování	NE	NE	ANO <sup>2)</sup>	ANO

<sup>1)</sup> Jedná se o materiál selektivně vyfrézovaný a skladovaný odděleně od ostatního R-materiálu

<sup>2)</sup> Nutné další ověření/zkoušky pro prokázání vhodnosti použití R-materiálu do dané asfaltové směsi (vrstvy).

Dávkované maximální množství upraveného R-materiálu do nově vyráběných asfaltových směsí se řídí požadavky, uvedenými v Národních aplikačních dokumentech ke specifikačním normám pro asfaltové směsi za hor-ka řady ČSN EN 13 108.

Množství dávkovaného R-materiálu musí být uvedeno ve zkoušce typu vyráběné asfaltové směsi.

Při provádění zkoušky typu (ITT) je pro stanovení optimálního dávkování upraveného R-materiálu do nově vyráběných směsí možno využít postup, uvedený v Příloze 1.

Při provádění kontrolních zkoušek směsi s R-materiálem je nutno ověřit parametry uvedené v kapitole 9.



## 5 Požadavky na R-materiál

Ke stanovení charakteristik R-materiálu se použijí:

- informace o původu asfaltové směsi z demolic a materiálů, které byly při předcházejícím použití v asfaltové směsi obsaženy, jakož i o kontrole kvality v rámci předcházejícího použití,
- výsledků z doby výroby asfaltové směsi, jako např. ze zkoušky typu, kontrolních zkoušek,
- výsledků zkoušek znovuzískané asfaltové směsi nebo R-materiálu.

### 5.1 Všeobecné požadavky

Upravený R-materiál musí splňovat požadavky zejména z hlediska vlastností zestárnutého asfaltového pojiva, kameniva a znečišťujících (cizorodých) látek stanovených dle ČSN EN 13108-8.

Pro použití nepředehříváného R-materiálu na šaržové obalovně platí, že maximální velikost stmelенých zrn nesmí být větší než 32 mm. V případě použití kontinuální obalovny nebo předehřívání R-materiálu v paralelním bubnu platí, že max. velikost stmelенých zrn nesmí být větší než 63 mm. Obecně se při výrobě asfaltových směsí používají úzké i široké frakce zrnitosti R-materiálu – např. 0/8 mm, 0/11 mm, 0/16 mm, 8/16 mm, 11/16 mm, 0/22 mm, 11/22 mm, 0/32 mm, 0/45 mm.

### 5.2 Enviromentální požadavky

Do nově vyráběných asfaltových směsí je dovoleno používat pouze R-materiál obsahující asfaltová pojiva (silniční asfalt, modifikovaný asfalt, asfalt typu CRMB nebo tvrdý silniční asfalt).

R-materiál musí splňovat parametry pro zařazení do jakostní třídy ZAS-T1 a ZAS-T2 ve smyslu vyhlášky MŽP a MPO č. XXX ze dne XXX tj. maximální množství  $\Sigma$  PAU 16 (EPA) činí do 12 mg/kg sušiny pro ZAS-T1 a 25 mg/kg sušiny pro ZAS-T2.

R-materiál, zařazený do jakostní třídy ZAS-T3 je možno použít tehdy, pokud po namíchání s ostatními materiály splní parametry pro jakostní třídu ZAS-T2 (tj. maximální množství  $\Sigma$  PAU 16 (EPA) činí do 25 mg/kg sušiny), přičemž obalovna asfaltových směsí je technicky upravena tak, že při výrobě asfaltové směsi nedochází k uvolňování výparů škodlivých emisí.

Zařazení frézovaného materiálu (znovuzískané asfaltové směsi) do jednotlivých jakostních tříd je zajištěno před zahájením stavby v rámci diagnostiky pozemní komunikace objednatelem.

### 5.3 Cizorodé látky

Přítomnost, obsah a druh jakýchkoliv cizorodých látek, jak je definováno níže, se musí zaznamenat a příslušná kategorie se musí deklarovat. Za cizorodé látky se v tomto případě nepovažují přísady, které se běžně přidávají do asfaltových směsí (např. drcená pryž, celulózová a výztužná vlákna).

Obsah cizorodých látek se stanoví podle ČSN EN 12697-42.

Cizorodé látky zahrnují jiné materiály než přírodní kamenivo, které není získané z asfaltových směsí, a jsou rozděleny do dvou skupin:

Materiály skupiny 1:

- 1) cementový beton včetně výrobků z cementového betonu;
- 2) cihly;
- 3) materiál spodní podkladní vrstvy (vyjma přírodního kameniva);
- 4) cementová malta;
- 5) kov;

a

Materiály skupiny 2:

- 1) syntetické materiály;
- 2) dřevo;
- 3) plasty.

R-materiál musí být klasifikován podle obsahu cizorodých látek, jak je popsáno níže:

- Kategorie  $F_1$  – obsah materiálů skupiny 1 ne větší než 1 % hmotnosti, obsah materiálů skupiny 2 ne větší než 0,1 % hmotnosti;
- Kategorie  $F_5$  – obsah materiálů skupiny 1 ne větší než 5 % hmotnosti, obsah materiálů skupiny 2 ne větší než 0,1 % hmotnosti;
- Kategorie  $F_{dec}$  – obsah a povaha všech cizorodých látek se deklaruje.

Požadavky na kategorii cizorodých látek ve vstupním produktu (R-materiálu) jsou definovány v ČSN 73 6121.

## 5.4 Asfaltové pojivo

### 5.4.1 Druh asfaltového pojiva

Druh asfaltového pojiva musí být zdokumentován a deklarován tehdy, jsou-li dostupné jakékoliv informace buď ze současných, nebo dřívějších analýz a rozborů. Tato deklarace musí uvádět, zda je pojivem převážně silniční asfalt, polymerem modifikovaný asfalt, pojivo typu CRMB nebo tvrdý silniční asfalt.

Pro deklaraci polymerem modifikovaného asfaltu v asfaltové směsi se použije ČSN EN 13398.

### 5.4.2 Vlastnosti pojiva

Průměrná hodnota penetrace, průměrná hodnota bodu měknutí pojiva v R-materiálu musí být deklarována.

Pojivo se musí znovuzískat podle ČSN EN 12697-3 nebo ČSN EN 12697-4.

Penetrace se musí stanovit podle ČSN EN 1426 a/nebo

bod měknutí se musí stanovit podle ČSN EN 1427.

Vlastnosti pojiva musí být deklarovány minimálně jedním z těchto způsobů:

- R-materiál musí být kategorizován jako  $P_{15}$ , pokud penetrace pojiva každého ze vzorků podle 6.4.3 je rovna nebo větší než 10 x 0,1 mm a průměrná hodnota penetrace všech vzorků je rovna nebo větší než 15 x 0,1 mm;
- R-materiál musí být kategorizován jako  $S_{70}$ , pokud bod měknutí každého ze vzorků podle 6.4.3 je roven nebo menší než 77 °C a průměrná hodnota bodu měknutí všech vzorků je rovna nebo nižší než 70 °C;
- pro jiný R-materiál se musí průměrné hodnoty penetrace nebo bodu měknutí ze všech vzorků podle 6.4.3 deklarovat jako kategorie  $P_{dec}$  nebo  $S_{dec}$ ;

## 5.5 Zrnitost kameniva a horní síto $D$

Průměrná zrnitost kameniva ze vzorků se musí deklarovat.

Zrnitost se musí stanovit ČSN podle EN 12697-2 a vyjádřit v procentech propadu síty 1,4  $D$ ;  $D$ ; 2 mm a 0,063 mm a sítím (síty) pro hrubé kamenivo o velikosti v rozmezí  $D$  a 2 mm a sítím (síty) o velikosti v rozmezí 2 mm a 0,063 mm.

Síta pro hrubé kamenivo se musí zvolit ze základní řady sít plus řady 1 nebo základní řady sít plus řady 2 podle ČSN EN 13043.

Síta pro drobné kamenivo se musí zvolit ze sít 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm a 0,125 mm.

$D$  se musí stanovit podle 3.2.

Požadavky na vlastnosti kameniva zásoby R-materiálu mají být definovány v dokumentech souvisejících s použitím výrobků z asfaltových směsí.

## 5.6 Obsah pojiva

Průměrný obsah pojiva vzorků ze zásoby/haldy R-materiálu se musí deklarovat.

Obsah pojiva se musí stanovit podle ČSN EN 12697-1.

### 5.7 Zrnitost R-materiálu

Maximální velikost zrn R-materiálu  $U_{RA}$  vzorků podle 6.4.3 se musí zaznamenat a deklarovat.

Zrnitost R-materiálu  $U$  (viz kap 3.2.) se musí stanovit podle ČSN EN 933-1.

## 6 Popis zásoby/haldy R-materiálu

### 6.1 Obecně

Požadavky na popis zásoby/haldy R-materiálu mají být definovány v dokumentech souvisejících s použitím výrobků z asfaltových směsí.

### 6.2 Zdroj R-materiálu

Musí se deklarovat skupina nebo skupiny směsí R-materiálu, ze kterých byla zásoba/halda R-materiálu získána.

### 6.3 Homogenita

Homogenita se deklaruje vždy pro konkrétní zásobu/haldu R-materiálu, pokud je takový materiál určen – i jen částečně – pro výrobu asfaltových směsí. Homogenita zásoby/haldy R-materiálu se stanoví z různých podílů v procentech hrubého a drobného kameniva a jemných částic v R-materiálu, obsahu pojiva v R-materiálu a buď hodnoty penetrace, bodu měknutí nebo dynamické viskozity asfaltového pojiva znovuzískaného z R-materiálu.

Míra homogenity se vyjádří jako maximální rozmezí nebo jako směrodatná odchylka požadovaného počtu zkušebních výsledků podle 6.4.3.

### 6.4 Odběr vzorků a zkoušení

#### 6.4.1 Zásoba/halda R-materiálu

Velikost zásoby/haldy R-materiálu se musí v okamžiku odběru vzorku vždy definovat.

#### 6.4.2 Odběr vzorků

Odběr vzorků se musí provést na dílčích vzorcích, jak je definováno v ČSN EN 932-1.

#### 6.4.3 Četnost zkoušení a počet vzorků ( $n$ )

Četnosti zkoušení ke stanovení počtu vzorků ( $n$ ) pro posouzení podle dále uvedeného bodu 6.4.4 musí být odvozena z tabulky 6 s tím, že úroveň  $M\check{C}_{2,0}$  je minimální zkušební četnost za všech okolností.

Hodnota ( $n$ ) se přitom rovná celkové velikosti zásoby/haldy vyjádřené v tunách dělené hodnotou četnosti zkoušení.

Úroveň četnosti zkoušení by měla zohledňovat zdroj R-materiálu, jeho zamýšlené použití (skupina směsí a druh) a zamýšlené procentuální přidání a má být definována v dokumentech souvisejících s použitím výrobků z asfaltových směsí.

**Tabulka 6 – Minimální četnost pro zkoušení R-materiálu**

Úroveň	Minimální četnost pro zkoušení [t]
$M\check{C}_{0,5}$	500
$M\check{C}_{1,0}$	1 000
$M\check{C}_{2,0}$	2 000

Počet vzorků ( $n$ ) na každou zásobu/haldu R-materiálu musí být vždy minimálně 5 vzorků.

V případech, kdy je zamýšleno dávkování R-materiálu s procentuálním přidáním nepřesahujícím 20 % v asfaltových směsích pro podkladní a ložní vrstvy a nepřesahujícím 10 % v asfaltových směsích pro obrusné vrstvy, může být počet vzorků omezen na jeden vzorek výchozího produktu.

#### 6.4.4 Zkoušení

Počet vzorků ( $n$ ) se musí zkoušet pro stanovení vlastností a požadavků nezbytných v části 5, a pokud je vyžadováno, pro popis zásoby/haldy R-materiálu podle 6.4.

Minimální nebo maximální a/nebo průměrné hodnoty nebo rozmezí vlastností se musí stanovit k umožnění posouzení vhodnosti použití tohoto materiálu do asfaltových směsí.

### 7 Označení

Pro případ dodání R-materiálu klasifikovaného jako stavební materiál pro asfaltovou směs v této normě, musí dodací list obsahovat tyto údaje vztahující se k označení:

- dodavatel;
- označení;
- datum a čas dodávky;
- jedinečná identifikace k zajištění prokazatelnosti:
  - a) prohlášení o vlastnostech,
  - b) úroveň zkoušení;
  - c) identifikace zásoby/haldy R-materiálu.

### 8 Požadavky na technologické postupy zpracování R-materiálu

#### 8.1 Způsob získání R-materiálu

Pro výrobu nových asfaltových směsí je možno použít upravený R-materiál, získaný frézováním nebo vybouráním asfaltových vrstev konstrukcí vozovek při opravách a rekonstrukcích. Dále je možno využít asfaltových směsí z neshodné nebo nadbytečné výroby.

Frézování vrstev vozovek se provádí za studena pomocí silničních fréz. Obrusné vrstvy vozovek obsahující polymerem modifikovaný asfalt je nutno frézovat vždy samostatně a vyfrézovanou znovuzískanou asfaltovou směs odvážet a skladovat odděleně. Pro deklaraci polymerem modifikovaného asfaltu v asfaltové směsi se použije ČSN EN 13398.

Hloubku frézování ostatních vrstev vozovek je nutné volit s ohledem na možnost získání kvalitního stavebního materiálu typu R-materiál z vrstev krytů s minimálním obsahem znečišťujících příměsí (beton) a vyloučením málo vhodných starých asfaltových podkladních vrstev.

Pro dálnice a silnice I. třídy se doporučuje provádění frézování po vrstvách.

Při bourání vrstev s použitím bouracích kladiv je třeba zajistit především oddělení asfaltové vrstvy od jiných podkladních vrstev a odstranění zejména znečišťujících příměsí.

V průběhu získávání je informativně sledována případná přítomnost škodlivých dehtových látek z důvodu vyloučení znovuzískané asfaltové směsi z dalšího zpracování na R-materiál a to především v případech, kdy taková znovuzískaná asfaltová směs v souladu s vyhláškou MŽP a MPO č. XXX ze dne XXX bude klasifikována třídou ZAS-T4 nebo pokud je klasifikována třídou ZAS-T3 a obalovna není z hlediska ochrany zdraví a životního prostředí upravena pro účely bezpečného zpracování takového materiálu.

Posouzení vhodnosti R-materiálu z hlediska následných úprav, uložení na skládkách obaloven a jeho dalšího použití zajišťuje v rámci přípravy stavby technolog ve spolupráci se zkušební laboratoří na základě dokumentace stavby a informací od správce opravované komunikace doplněné prohlídkou na místě popřípadě odebráním vzorků pro laboratorní zkoušky.

#### 8.2 Způsob skladování neupravené znovuzískané asfaltové směsi

Pro skladování jsou používány oddělené skládky se zpevněným betonovým nebo asfaltovým podkladem. Výška hromad může být max. 3,5 m. R-materiál, obsahující polymerem modifikovaný asfalt je nutno skladovat odděleně.

Znovuzískaná asfaltová směs, která vzniká při selektivním frézování jednotlivých konstrukčních vrstev, se skládá též odděleně a to podle typu konstrukční vrstvy.

V průběhu ukládání znovuzískané asfaltové směsi na skládky jsou odstraňovány případné znečišťující součásti (beton, části obrubníků, atd.). Ukládané materiály jsou shrnovány do potřebné výšky nakladačem nebo buldozerem s cílem – zajištění 1. stupně homogenizace. Velké kusy vybouraného materiálu jsou rozpojovány pomocí bouracích kladiv. V případě asfaltových směsí z neshodné nebo nadbytečné výroby a pokládky se ještě teplá asfaltová směs rozhrne na malou tloušťku a po ochlazení shrne nakladačem do požadované výšky hromady.

### 8.3 Úprava a vznik R-materiálu

Úprava na asfaltový R-materiál spočívá v rozpojování a drcení znovuzískané asfaltové směsi na frakce, používané při výrobě nové asfaltové směsi. Rozpojování a drcení probíhá v drtičích, které jsou konstruovány, příp. seřizovány tak, aby nedocházelo k nežádoucímu drcení zrn HDK a k podstatnému zvyšování množství filerických částic. Hlavní technologickou součástí procesu je rozpojování shluků zpracovávaného materiálu.

Neupravený materiál je odebírán a k drtiči dopravován nakladačem. Pro zajištění 2. stupně homogenizace musí odebírání znovuzískané asfaltové směsi probíhat buď:

- a) způsobem „po výšce skládky“,
- b) nepravidelným nakládáním materiálu po celém obvodu skládky.

Po rozpojení se materiál třídí na požadované široká frakce a je dopravován na skládku R-materiálu. Způsob ukládání musí být zvolen tak, aby byla zajištěna další fáze homogenizace materiálu. Jako vhodné řešení se jeví např. ukládání stejného materiálu na dvě oddělené hromady a následné postupné odebírání z těchto dvou hromad (příznivý vliv na stejnozrnnost).

### 8.4 Způsob skladování upraveného R-materiálu

Pro skladování upraveného R-materiálu jsou na jednotlivé frakce používány oddělené skládky se zpevněným asfaltovým nebo betonovým podkladem a betonovými dělicími stěnami. Za vhodné se považuje vyspárování podkladu směrem ven ze skládky pro zajištění odtoku dešťové vody či zastřešení skládky.

R-materiál s velikostí zrna menší nebo rovem 8 mm se musí vždy skladovat zastřešený. Výška jednotlivých hromad nesmí přesáhnout 3,5 m.

Frakce R-materiálu, obsahující polymerem modifikovaný asfalt nebo asfalt modifikovaný drcenou či mletou pryží je nutno skladovat vždy odděleně.

### 8.5 Homogenizace R-materiálu

Homogenizace R-materiálu před jeho použitím pro výrobu asfaltových směsí je klíčovou záležitostí pro zajištění kvality nově vyráběných asfaltových směsí. Může být zajištěna např. postupy, uvedenými v kapitolách 8.2 až 8.4.

### 8.6 Způsoby oživení zestárlého pojiva v R-materiálu

Zestárlé pojivo v R-materiálu musí být ošetřeno při výrobě nové asfaltové směsi tak, aby základní parametry pojiva (penetrace, bod měknutí) byly co nejvíce shodné s nově přidávaným pojivem.

Za ošetření R-materiálu lze považovat některý z níže uvedených postupů:

- a) použití změkčovací nebo rejuvenační přísady v ověřeném množství,
- b) přidání měkčího asfaltového pojiva (gradace 70/100, 100/150, případně 160/220),
- c) použití modifikovaného asfaltového pojiva (PMB) typu RC v souladu s ČSN 65 7222-1.

## 9 Požadavky na asfaltové směsi s R-materiálem

„Na asfaltové směsi s obsahem R-materiálu jsou kladeny stejné požadavky z hlediska empirických, mechanických a funkčních charakteristik jako na asfaltové směsi neobsahující R-materiál“.

Pro prokázání účinnosti vybrané metody ošetření zestárlého asfaltového pojiva je nutno navíc provést v rámci kontrolních zkoušek na zpětně získaném pojivu z hotové směsi:

- a) zkoušku stanovení penetrace dle ČSN EN 1426 s tím, že zjištěná výsledná hodnota penetrace pojiva se od deklarované hodnoty nově přidávaného pojiva nesmí lišit o více než (bude doplněno) p.j., a/nebo
- b) stanovení bodu měknutí metodou kroužek – kulička dle ČSN EN 1427 s tím, že zjištěná výsledná hodnota bodu měknutí pojiva se od deklarované hodnoty nově přidávaného pojiva nesmí lišit o více než (bude doplněno) °C.

## 10. Bibliografie

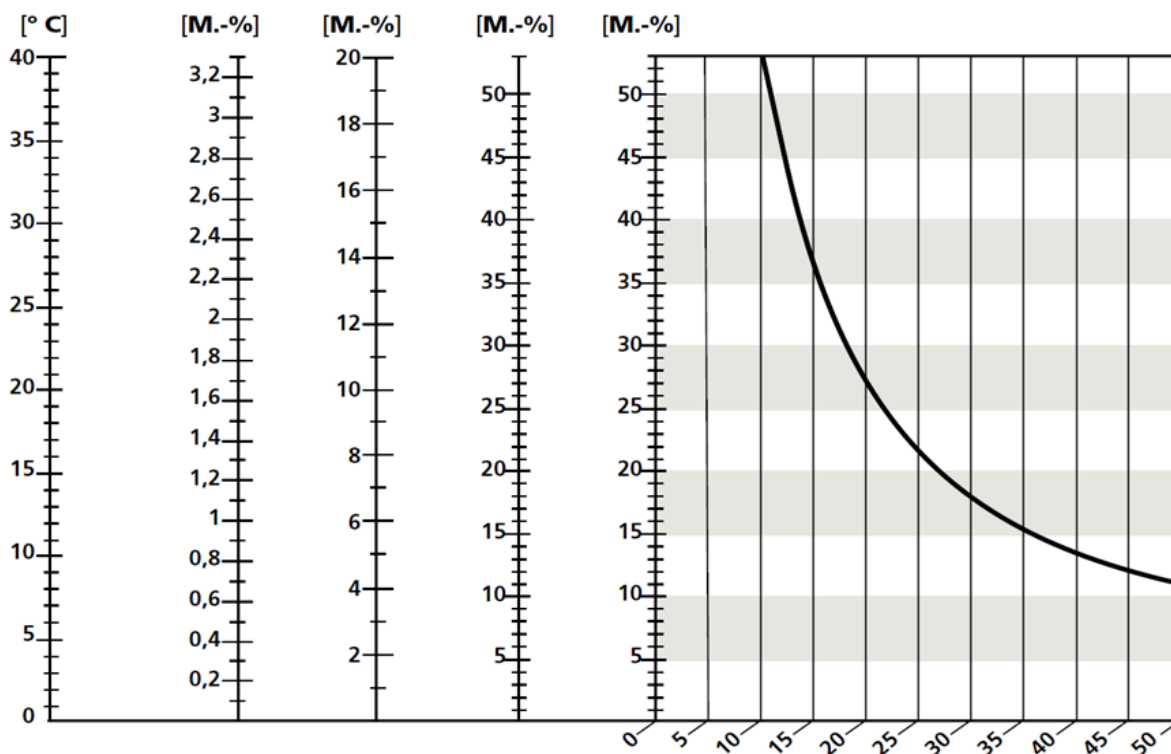
- [1] EN 13108 1, Bituminous mixtures – Material specifications – Part 1: Asphalt Concrete
  - [2] EN 13108 2, Bituminous mixtures – Material specifications – Part 2: Asphalt Concrete for very thin layers
  - [3] EN 13108 3, Bituminous mixtures – Material specifications – Part 3: Soft Asphalt
  - [4] EN 13108 4, Bituminous mixtures – Material specifications – Part 4: Hot Rolled Asphalt
  - [5] EN 13108 5, Bituminous mixtures – Material specifications – Part 5: Stone Mastic Asphalt
  - [6] EN 13108 6, Bituminous mixtures – Material specifications – Part 6: Mastic Asphalt
  - [7] EN 13108 7, Bituminous mixtures – Material specifications – Part 7: Porous Asphalt
  - [8] EN 13108 9, Bituminous mixtures – Material specifications – Part 9: Asphalt for Ultra-Thin Layer (AUTL)
  - [9] EN 13108-20, Bituminous mixtures – Material specifications – Part 20: Type Testing
- TP 151,  
TP 238

## Příloha 1: Nomogram pro stanovení maximálně možného přidávaného množství R-materiálu v asfaltové směsi

Maximálně možné přidání množství R-materiálu je možno stanovit graficky jako funkci rozsahu pěti charakteristik pomocí nomogramu, uvedeného níže.

### Rozsah charakteristických hodnot R-materiálu

Bod měknutí kroužek kulička	Obsah pojiva	Podíl zrn <0,063 mm	Podíl zrn 0,063 až 2 mm	Podíl zrn >2 mm
-----------------------------	--------------	---------------------	-------------------------	-----------------



Přidané množství R-materiálu [% hmotnosti]

**Obrázek P1:** Nomogram pro stanovení maximálně možného přidávaného množství R-materiálu v asfaltové směsi pro asfaltové obrusné a ložní vrstvy ve vztahu k pěti charakteristikám R-materiálu (podle Informačního listu pro zhodnocení R-materiálu – M VAG, 2000)

**Příklad** pro výpočet maximálně možného přidávaného množství R-materiálu ve vztahu k homogenitě charakteristik R-materiálu.

V tomto příkladu je R-materiál používán k výrobě asfaltové směsi pro asfaltové ložní vrstvy. Jeho charakteristiky jsou uvedeny dále v tabulce T1.

Rozsahy jednotlivých hodnot charakteristik jsou zaneseny v nomogramu na ose y (obrázek P2). Rozhodující pro zjištění maximálně možného přidávaného množství R-materiálu ve vztahu k homogenitě je nejvyšší rozpětí určité charakteristiky, ležící na osách y, které potom vede k nejnižšímu přidávanému množství R-materiálu.

Tabulka T1: Příklad pro charakteristiky R-materiálu, který je vhodný pro přidání do směsi pro asfaltovou ložní vrstvu

Charakteristika	Bod měknutí kroužek a kulička (T <sub>K&amp;K</sub> )	Obsah pojiva	Podíl zrn <0,063 mm	Podíl zrn 0,063 až 2 mm	Podíl zrn >2 mm
	[°C]	[% hm.]	[% hm.]	[% hm.]	[% hm.]
Vzorek č. 1	68,6	5,8	9,8	27,7	62,4
Vzorek č. 2	64,0	5,8	11,3	25,2	63,5
Vzorek č. 3	64,8	5,2	9,2	19,8	70,9
Vzorek č. 4	68,0	4,7	6,7	21,5	71,8
Vzorek č. 5	66,4	5,1	12,1	23,8	64,1
<b>Střední hodnota</b>	<b>66,4</b>	<b>5,3</b>	<b>9,8</b>	<b>23,6</b>	<b>66,5</b>
<b>Rozsah</b>	<b>4,6</b>	<b>1,1</b>	<b>5,4</b>	<b>7,9</b>	<b>9,4</b>

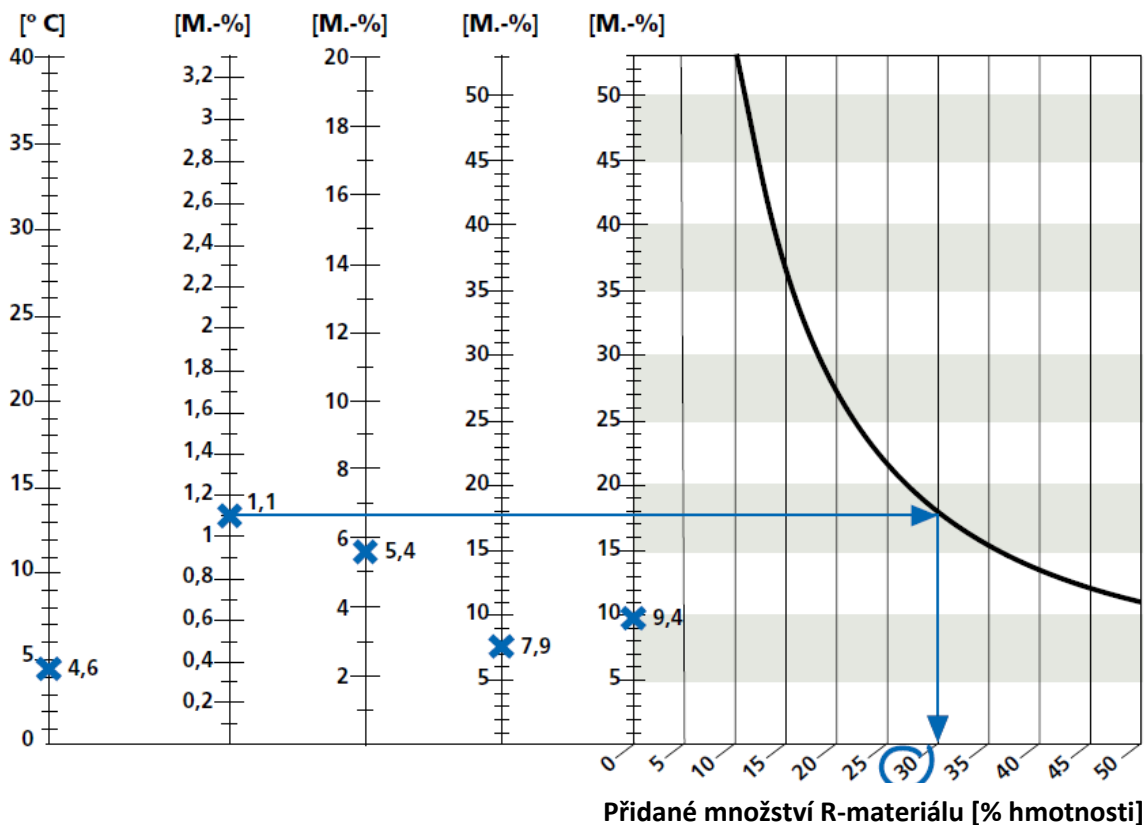
Bod měknutí kroužek kulička

Obsah pojiva

Podíl zrn <0,063 mm

Podíl zrn 0,063 až 2 mm

Podíl zrn >2 mm



Obrázek P2: Příklad využití nomogramu pro stanovení maximálního množství přidávaného R-materiálu



## **Příloha 2: Možnosti rejuvenace zestárlého pojiva**

Znovuzískaná asfaltová směs resp. R-materiál obsahuje asfaltové pojivo, které již nemá stejné parametry jako původně dávkované pojivo. Je to způsobeno procesy stárnutí. Z technického hlediska je tento asfalt mj. tvrdší a křehčí. Pokud bychom parametry pojiva zpětně získaného z R-materiálu sledovali základními empirickými zkouškami pojiva, pojivo bude mít obecně nižší hodnotu penetrace podle ČSN EN 1426, vyšší teplotu bodu měknutí dle ČSN EN 1427 a vyšší teplotu bodu lámavosti podle Fraasse dle ČSN EN 12593.

Pokud bychom dávkovali R-materiál do nově vyráběné asfaltové směsi bez jeho ošetření, od určitého množství dávkovaného R-materiálu bychom vybočili z deklarované gradace (nově dávkovaného) pojiva. Toto množství R-materiálu lze stanovit na základě výpočtu pomocí vzorců: (uvedených v normativní příloze A normy ČSN EN 13 108-1)

- Pro výpočet penetrace pojiva v asfaltové směsi se použije vzorec:

$$a \lg pen_1 + b \lg pen_2 = (a + b) \lg pen_{mix}$$

kde  $pen_{mix}$  je vypočítaná hodnota penetrace pojiva ve směsi obsahující R- materiál;  
 $pen_1$  je hodnota penetrace pojiva znovuzískaného z R-materiálu;  
 $pen_2$  je hodnota penetrace přidávaného pojiva;  
 $a$  a  $b$  jsou hmotnostní podíly pojiva z R-materiálu ( $a$ ) a z přidávaného pojiva ( $b$ ) ve směsi; přičemž:  $a + b = 1$ .

- Pro výpočet hodnoty bodu měknutí pojiva v asfaltové směsi se použije vzorec:

$$T_{R\&B\ mix} = a \times T_{R\&B1} + b \times T_{R\&B2}$$

kde  $T_{R\&B\ mix}$  je vypočítaná hodnota bodu měknutí pojiva ve směsi obsahující R-materiál;  
 $T_{R\&B1}$  je hodnota bodu měknutí pojiva znovuzískaného z R-materiálu;  
 $T_{R\&B2}$  je hodnota bodu měknutí přidávaného pojiva;  
 $a$  a  $b$  jsou hmotnostní podíly pojiva z R-materiálu ( $a$ ) a z přidávaného pojiva ( $b$ ) ve směsi; přičemž  $a + b = 1$ . [26]

Pozn.: Jde o vzorce, které jsou dle normy určeny pro výpočet parametrů silničních nemodifikovaných pojiv. V praxi je však často používán i pro modifikovaná asfaltová pojiva.

Možnosti rejuvenace zestárlého pojiva:

### **a) Přidání asfaltového pojiva s vyšší hodnotou penetrace**

Jde o poměrně jednoduchý způsob oživení zestárlého pojiva v R-materiálu. Při výrobě asfaltové směsi na obalovně je dávkováno nové pojivo, které má nižší viskozitu (vyšší hodnotu penetrace podle ČSN EN 1426). Na základě znalosti parametrů zestárlého pojiva a množství dávkovaného R-materiálu do nové směsi je možno výpočtem stanovit optimální dávkování pojiva s vyšší hodnotou penetrace. V České republice by bylo v případě požadavku na nově vyráběnou směs s pojivem gradace 50/70 možno uvažovat o použití „měkčího“ pojiva gradace 70/100, 100/150 nebo 160/220.

Výhoda této varianty ošetření R-materiálu spočívá v tom, že při aplikaci o jednu či dvě gradace měkčího pojiva a dokonalém promísení může dojít nejen ke změkčení zestárlého pojiva, ale i k obnově jeho fyzikálních a chemických vlastností. Za nevýhodu technologie přidávání pojiva o vyšší penetraci je možno považovat skutečnost, že je nutno obalovnu asfaltových směsí vybavit dalším zásobníkem pojiva (silem), ve kterém je toto pojivo s vyšší hodnotou penetrace skladováno.

## b) Použití změkčovací nebo rejuvenační přísady

Jde o metodu, které je v současné době v rámci odborné veřejnosti věnována značná pozornost. Výhodou těchto chemických látek je, že pokud je obalovna asfaltových směsí vybavena zařízením na dávkování tekutých, či sypkých přísad, není problém si vybrat některou z nich podle možností obalovny a finanční rentability. Dávkování těchto přísad se vždy řídí doporučením výrobce či dodavatele produktu a je většinou navázáno na míru zestárnutí pojiva v R-materiálu, vyjádřenou hodnotou penetrace nebo teplotou bodu měknutí.

Tabulka T2: Rozdělení rejuvenačních přísad

Kategorie	Typ	Popis a způsob získávání
Parafinické oleje	<ul style="list-style-type: none"><li>• Odpadní motorový olej (WEO)</li><li>• Destilační zbytky z rerafinace odpadních motorových olejů (WEOB, REOB)</li><li>• Valero VP 165®</li><li>• Storbit®</li></ul>	Rerafinace použitých mazacích olejů
Aromatické extrakty	<ul style="list-style-type: none"><li>• Hydrolene®</li><li>• Reclamite®</li><li>• Cyclogen L®</li><li>• ValAro 130A®</li></ul>	Rafinací ropných produktů se složkami polárních aromatických olejů
Naftenické oleje	<ul style="list-style-type: none"><li>• SonneWarmix RJ™</li><li>• Ergon HyPrene®</li></ul>	Uhlovodíky upravené pro modifikaci asfaltu
Triacylglyceridy a mastné kyseliny	<ul style="list-style-type: none"><li>• Odpadní rostlinný olej</li><li>• Odpadní rostlinné tuky</li><li>• Materiál z odlučovačů průmyslových kuchyní (brown grease)</li><li>• Kyselina olejová</li></ul>	Fytooleje získávané zpracováním rostlin
Tálové oleje	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sylvaroad™ RP1000</li><li>• Hydrogreen®</li></ul>	Destilované odpadní produkty papírenského průmyslu. Stejná chemická skupina jako tekuté přílnavostní přísady a emulgátory

## c) Použití modifikovaného asfaltového pojiva typu RC

Jde o způsob oživení zestárlého pojiva, u kterého se předpokládá využití především u R-materiálu obsahujícího modifikovaný asfalt. Pojiva pro tyto účely výrobci označují zkratkou „PMB RC“, která vychází z anglického názvu „Polymer modified bitumen for recycling“. U pojiv typu „RC“ se předpokládá, že budou mít vyšší míru modifikace (vyšší obsah modifikační přísady). Díky tomu dojde po smíchání se zestárlým modifikovaným pojivem z R-materiálu k „nápravě“ jeho modifikačního systému, narušeného vlivem stárnutí.