



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

# SLEDOVÁNÍ VÝVOJE VLASTNOSTÍ ASFALTOVÉHO POJIVA ZÍSKANÉHO Z ASFALTOVÉ SMĚSI S R-MATERIÁLEM

OBSERVATION OF THE DEVELOPMENT OF BITUMINOUS BINDER FROM ASPHALT MIXTURE WITH  
RAP.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

RADIM ELIÁŠ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Dr. Ing. MICHAL VARAUS

BRNO 2016



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
FAKULTA STAVEBNÍ

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

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

**Student** Radim Eliáš

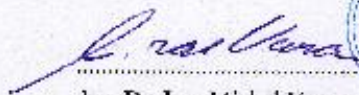
**Název** Sledování vývoje vlastností asfaltového pojiva získaného z asfaltové směsi s R-materiálem

**Vedoucí bakalářské práce** doc. Dr. Ing. Michal Varaus

**Datum zadání bakalářské práce** 30. 11. 2015

**Datum odevzdání bakalářské práce** 27. 5. 2016

V Brně dne 30. 11. 2015

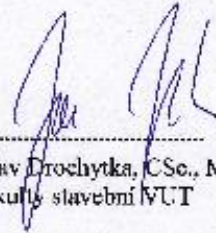


doc. Dr. Ing. Michal Varaus  
Vedoucí ústavu



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

N.R.



### **Podklady a literatura**

ČSN EN 13108-8 Asfaltové směsi - Specifikace pro materiály - Část 8:R-materiál

ČSN EN 13108-1 Asfaltové směsi - Specifikace pro materiály -

Část 5: Asfaltový beton

ČSN 73 6121 Stavba vozovek - Vrstvy z hutněných asfaltových směsí - Provádění a kontrola shody

Firemní materiály

Internetové zdroje

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

Bakalářská práce je zaměřena na stanovení vlastnosti asfaltového pojiva získaného z asfaltové směsi s R-materiálem. Do asfaltové směsi byl přidán speciální druh pojiva obsahující rejuvenátory. Cílem je zjistit vlastnosti směsného pojiva (přidávaného a pojiva z R-materiálu) s časovým odstupem 0,5 roku.

### **Struktura bakalářské/diplomové práce**

VŠKP vypracujte a rozdělte podle dále uvedené struktury:

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



doc. Dr. Ing. Michal Varauš  
Vedoucí bakalářské práce

## **Bibliografická citace VŠKP**

Radim Eliáš *Sledování vývoje vlastností asfaltového pojiva získaného z asfaltové směsi s R-materiálem*. Brno, 2015. 66 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce doc. Dr. Ing. Michal Varaus.

**Abstrakt**

Práce je zaměřena na vývoj vlastností asfaltového pojiva získaného z asfaltové směsi s R - materiálem, kdy sledujeme rozdíl vlastností pojiva při pokládce a poté po uplynutí doby 6 měsíců po pokládce asfaltové směsi. V teoretické části práce jsou zjednodušeně popsány jednotlivé způsoby recyklace netuhých vozovek, výroba asfaltové směsi s přidáním obsahu 25 % R-materiálu za studena a metody jednotlivých zkoušek pro určení vlastností asfaltového pojiva. V praktické části se práce zabývá porovnáním výsledků vlastností asfaltového pojiva popsaných v teoretické části a je vyhodnoceno celkové stárnutí asfaltové směsi.

**Klíčová slova**

R - materiál, problémy s R - materiálem, výroba asfaltové směsi s R – materiálem, zkoušky asfaltových pojiv, zestárnutí asfaltového pojiva

**Abstract**

The work is focused on the development of properties of asphalt binder extracted from an asphalt mixture with RAP, which monitors the difference between properties of the binder during laying and then after a period of 6 months after laying of asphalt. In the theoretical part are simply described the various ways of recycling of a flexible pavement, asphalt mix production with the addition of 25% R-cold material and methods of individual tests to determine the properties of the asphalt binder. The practical part deals with the comparison of the results of asphalt binder properties described in the theoretical part is evaluated and the overall aging of the asphalt mix.

**Keywords**

RAP, problems with RAP, production of asphalt mixtures with RAP, testing asphalt cement, aging asphalt binder

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 26.5.2016

.....  
podpis autora  
Radim Eliáš

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce doc. Dr. Ing. Michalu Varausovi a Ing. Tomášovi Koudelkovi za jejich profesionální přístup, ochotu, čas, cenné rady a poskytnuté informace k vypracování mé bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat všem zaměstnancům školní laboratoře VUT FAST v Brně za jejich ochotu a rady při zpracovávání mé praktické části bakalářské práce. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat mé rodině, která mě po celou dobu mého studia podporovala.

# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>CÍL PRÁCE</b> .....	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>13</b>
<b>3.1</b>	<b>R-MATERIÁL</b> .....	<b>13</b>
<b>3.2</b>	<b>ZPŮSOBY RECYKLACE NETUHÝCH VOZOVEK</b> .....	<b>13</b>
3.2.1	Recyklace v míchacím centru za horka.....	13
3.2.2	Recyklace na místě za horka.....	15
3.2.3	Recyklace v míchacím centru za studena .....	17
3.2.4	Recyklace na místě za studena.....	17
<b>3.3</b>	<b>ZPŮSOBY PŘIDÁVÁNÍ R – MATERIÁLU V MÍCHACÍCH CENTRECH</b> .....	<b>18</b>
3.3.1	Základní specifikace .....	18
3.3.2	Postup technologie zpracování R - materiálu .....	19
3.3.3	Postup výroby asfaltové směsi s přidání 25 % R - materiálu.....	25
3.3.4	Problémy se zacházením R – materiálu v České republice.....	27
3.3.5	Současný stav používání R – materiálu v České republice.....	28
<b>3.4</b>	<b>ASFALTOVÁ POJIVA POUŽÍVANÉ S R – MATERIÁLEM</b> .....	<b>29</b>
3.4.1	Druhy asfaltových pojiv.....	29
3.4.2	Rozdílné vlastnosti PmB 45/80, PmB 45/80 RC .....	30
3.4.3	Stárnutí asfaltového pojiva .....	31
<b>4</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>34</b>
<b>4.1</b>	<b>ODBĚR VZORKŮ SMĚSI S R - MATERIÁLEM</b> .....	<b>34</b>
<b>4.2</b>	<b>ZKOUŠKY ASFALTOVÝCH POJIV</b> .....	<b>35</b>
4.2.1	Znovu získání extrahovaného pojiva .....	35
4.2.2	Stanovení zrnitosti – síťový rozbor .....	37
4.2.3	Stanovení bodu měknutí – metoda kroužek a kulička .....	39
4.2.4	Stanovení penetrace jehlou .....	40
4.2.5	Stanovení komplexního modulu ve smyku a fázového úhlu (DSR) .....	42
4.2.6	Stanovení modulu tuhosti za ohybu pomocí průhybového trámečkového reometru (BBR).....	44
<b>5</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST – VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ</b> .....	<b>47</b>
5.1.1	Vyhodnocení výsledků zkoušek ACO 11+ (Domašov) .....	47
5.1.2	Vyhodnocení výsledků zkoušek ACL 22S (Lednice).....	53
<b>6</b>	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>59</b>
<b>7</b>	<b>POUŽITÁ LITERATURA</b> .....	<b>61</b>
	<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>63</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>64</b>

<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ .....</b>	<b>66</b>
---	-----------

# 1 ÚVOD

V dnešní době, kdy doprava je nedílnou součástí našeho každodenního života, se klade čím dál větší důraz na kvalitu, životnost, nízké náklady na stavbu a ekologii. Je zájem vyvíjet nové technologie, které se snaží v co největší míře tato kritéria splnit.

V současné době se na kvalitě asfaltových směsí ve velké míře podílí druh použitého asfaltového pojiva. Většina asfaltových směsí tvoří až 8 % hmotnosti pojiva, kdy asfalt plní funkci pojení zrn kameniva k sobě, dále chrání vozovku před povětrnostními vlivy a proti mechanickému porušení. Z důvodu zkvalitnění těchto pojiv se začaly přidávat do asfaltů různé modifikátory a z toho vznikl nový druh pojiva modifikovaný asfalt, který má zlepšené fyzikální a mechanické vlastnosti. [1]

Díky vlastnostem modifikovaných asfaltů získáme:

- Zvýšení odolnosti proti vzniku trhlin
- Snížení stárnutí
- Zvýšení přilnavosti
- Zvýšení teploty měknutí
- Snížení teploty lámavosti
- Prodloužení životnosti
- Zvýšení odolnosti proti trvalým deformacím

Další aspekt, který se v dnešní době řeší s ohledem na budoucnost, je, jak dlouho se budou moci čerpat přírodní zdroje kameniva pro výrobu asfaltových směsí, neboť Zeměkoule není nafukovací a tyto přírodní zdroje kameniva neumí znovu vytvořit. Z tohoto důvodu je v poslední době snahou recyklovat asfaltové vozovky neboli je úsilím obnovit konstrukční vrstvy vozovky bez použití dalších nových přírodních zdrojů kameniva.

Materiál získaný recyklací neboli odfrézováním nebo vybouráním a následným drcením asfaltových vozovek se označuje jako R – materiál, který se může do nových asfaltových směsí přidávat metodou za horka nebo za studena.

Mezi hlavní výhody použití recyklace asfaltových vozovek patří: [2]

- Zachování materiálových a energetických zdrojů
  - materiálových (kamenivo, asfalt)
  - energetických (pohonné hmoty, topná media, atd.)
- Ochrana životního prostředí
  - redukce skleníkových plynů, zejména oxidu uhličitého CO<sub>2</sub>
  - snížení znečištění ovzduší (výfukové plyny, hluk)
  - omezení skládek
- Ekonomický přínos
  - snížení nákladů
  - snížení zatížení komunikací, zkrácení doby výstavby

V České republice se R - materiál nevyužívá v takové míře jako v západoevropských zemích. Velkým důvodem, proč se u nás moc nevyužívá, je neinformovanost o této technologii a dále také neznalost provádění, kdy většina firem se drží tradičních postupů při výstavbě asfaltových vozovek. Z tohoto důvodu je stále potřeba přesvědčovat investory a stavební firmy, že použití R – materiálu na stavbu nových nebo rekonstruovaných asfaltových vozovek přináší řadu výhod. [3]

Praktická část mé bakalářské práce používá vzorky asfaltové směsi, které jsou dovezené ze dvou pokusných úseků komunikace obcí Domašov a Lednice. Jedná se o projekty nových technologií v silničním stavitelství, které určila Správa a údržba silnic (SÚS). Tyto úseky jsou hrazené ze Státního fondu dopravní infrastruktury (SFDI) ze 75 %.

## 2 CÍL PRÁCE

Cílem této bakalářské práce je sledovat vývoj vlastností asfaltového pojiva získaného z asfaltové směsi s R-materiálem v čase, kdy první vzorek byl odebrán po výrobě před pokládkou asfaltové směsi a druhý vzorek po 6 měsících na provozované komunikaci. Vzorky byly odebírány na dvou rozdílných místech České republiky. Jedná se o vzorky asfaltové směsi ACO 11+ získané během rekonstrukce průtahu obce silnice II/302 Domašov, neboli asfaltový beton pro obrusné vrstvy s maximální velikostí zrna 11 mm s vyšším podílem asfaltu. Dále se jedná o asfaltové směsi ACL 22S získané během rekonstrukce průtahu obce silnice III/42117 Lednice, neboli asfaltový beton pro ložné vrstvy s maximální velikostí zrna 22 mm se zvýšenou odolností proti tvorbě trvalých deformací. Na těchto vzorcích se provedly empirické a funkční zkoušky asfaltového pojiva, kdy mezi ty empirické patří metoda kroužek a kulička a metoda stanovení penetrace. Funkčními zkouškami byly zvoleny metody měřené pomocí přístroje DSR (dynamic shear rheometer) neboli stanovení komplexního smykového modulu a fázového úhlu, a BBR (bending beam rheometer) neboli stanovení modulu tuhosti za ohybu pomocí průhybového trámečkového reometru.

Naším výsledkem je porovnání jednotlivých hodnot asfaltového pojiva z výše uvedených zkoušek po 6 měsících od uvedení komunikace do provozu.

## 3 TEORETICKÁ ČÁST

### 3.1 R-MATERIÁL

Jedná se o asfaltovou směs znovuzískanou odfrézováním asfaltových vrstev nebo drcením desek vybouraných z asfaltových vozovek. Často v praxi se zaměňují pojmy jako recyklát a R – materiál. [4]

- R – materiál je homogenizovaná směs kameniva a asfaltu získaná frézováním z různých krytových vrstev vozovek a je určený pro další použití zejména v technologiích recyklace za horka. [5]
- Recyklát je asfaltová směs v místě vysrávky získaná nahřáním a rozpojením z původní hutněné asfaltové vrstvy vozovky neboli jinak řečeno se jedná o materiál původní konstrukce vozovky. [5]

### 3.2 ZPŮSOBY RECYKLACE NETUHÝCH VOZOVEK

Recyklace asfaltových vozovek se rozděluje podle místa provádění, kdy se rozeznává vykonávání v míchacím centru (obalovna, mobilní jednotka) nebo přímo na místě stavby, a dále jsou rozděleny podle teploty zpracování za horka nebo za tepla. Z toho nám vychází, že recyklovat netuhou vozovku se dá čtyřmi způsoby: [2]

- v míchacím centru za horka
- na místě za horka
- v míchacím centru za studena
- na místě za studena

#### 3.2.1 Recyklace v míchacím centru za horka

Jedná se o metodu, kdy R – materiál je vybouraný nebo vyfrézovaný asfaltová směs z opotřebované vozovky, která je odvezena do obalovny k novému zpracování neboli k drcení, třídění a následnému dávkování. [2]

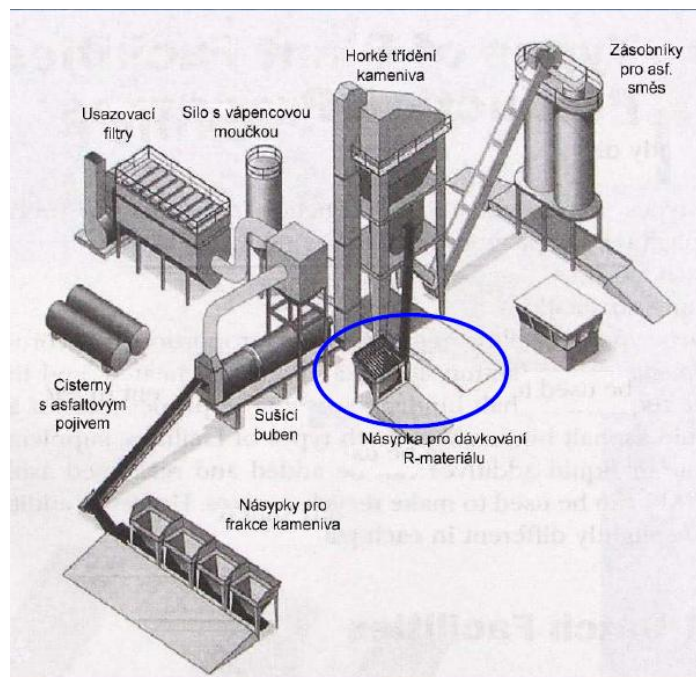
Dávkování se provádí třemi způsoby: [2]

- přímo do míchačky šaržové obalovny
- předehřívání v paralelním bubnu šaržové obalovny
- metoda Drum – mix – kontinuální obalovny

#### *Dávkování přímo do míchačky šaržové obalovny*

Tato metoda začíná tím, že na obalovnu se přiveze určitá vyfrézovaná asfaltová směs, která se podrtí a rozdělí na jednotlivé frakce. Poté dle druhu asfaltové směsi se přidává buď jemnější, nebo hrubší frakce R – materiálu bez předehřátí přímo do míchačky šaržové obalovny, z tohoto důvodu se musí kamenivo předehřívát na vyšší teplotu, než je předepsaná teplota míchání (viz obr. 3.1). Při této metodě se přidává maximálně 25 % R – materiálu, pokud chceme přidat více, doporučuje se provést výpočet gradace přidávaného pojiva. Tato

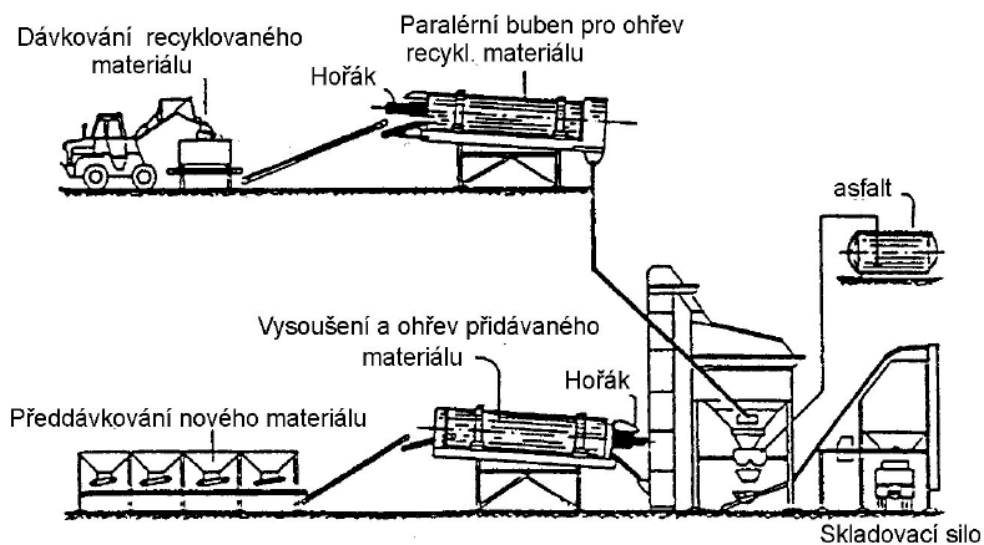
metoda je nevhodná z hlediska vlhkosti recyklátu, kdy při míchání vznikají vodní páry. Z tohoto důvodu je třeba do výrobního cyklu zařadit odvětrávání. [2]



Obr. 3.1 Dávkování přímo do míchačky šaržové obalovny [2]

### *Předehřívání v paralelním bubnu šaržové obalovny*

Tento způsob spočívá v tom, kdy R – materiál má svůj paralelní sušící bublen (viz obr. 3.2). Při tomto způsobu se může přidávat i vyšší obsah R – materiálu, než při předchozí metodě. V Německu se dokonce při této metodě přidává do podkladních vrstev až 80 % R - materiálu. V České republice není mnoho obaloven opatřeno touto technologií, z tohoto důvodu se tato metoda u nás moc nepoužívá (do roku 2015 je to cca 5 % obaloven). [2]

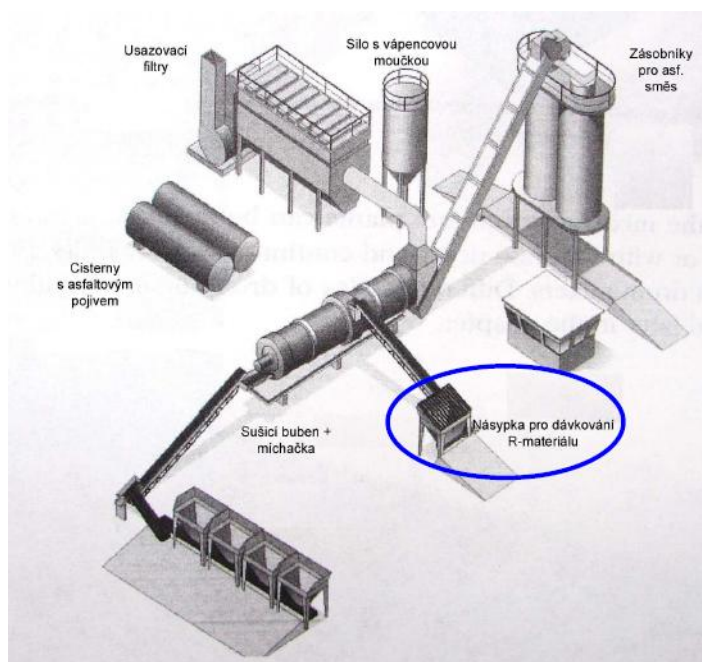


Obr. 3.2 Předehřívání v paralelním bubnu šaržové obalovny [2]

### ***Metoda Drum – mix, kontinuální obalovny***

Tato metoda je spíše rozvinutá v USA, kdy R – materiál je přímo dávkován do sušícího bubnu horkého přehřívání kameniva asfaltové směsi, kde se takto zpracovává až 80 % asfaltových směsí (viz obr. 3.3). Tento způsob hlavně vyžaduje konstantní kvalitu vstupních materiálů, což má za následek, že nelze operativně měnit receptury asfaltových směsí. R – materiál lze dávkovat třemi možnými způsoby: [2]

- souběžně s proudem horkého vzduchu
- proti proudu horkého vzduchu
- separátním vysoušením R – materiálu, míchání v míchačce



Obr. 3.3 Metoda Drum – mix, kontinuální obalovny [2]

### **3.2.2 Recyklace na místě za horka**

Tato metoda je popsána v technických podmínkách TP 209 – Recyklace asfaltových vrstev netuhých vozovek na místě za horka. Metoda spočívá v ohřátí asfaltové směsi pomocí infrazářičů, rozpojení remixerem, promíchání s přidávanými materiály (pojivo, kamenivo, asfaltová směs), zpětné položení finišerem a zhutnění válci (viz obr. 3.4).

Může se provádět pěti různými způsoby: [6]

- Reshape
- Repave
- Remix
- Remix plus
- Recyklace v mobilním nízko kapacitním zařízení (Regrip)

## ***Reshape***

Jedná se o reprofilaci stávající obrusné vrstvy, kdy při míchání se nepřidávají už žádné materiály. [2]

## ***Repave***

Z recyklované stávající obrusné vrstvy se stane ložní vrstva krytu, na kterou se současně pokládá nová obrusná vrstva z nové asfaltové směsi.

## ***Remix***

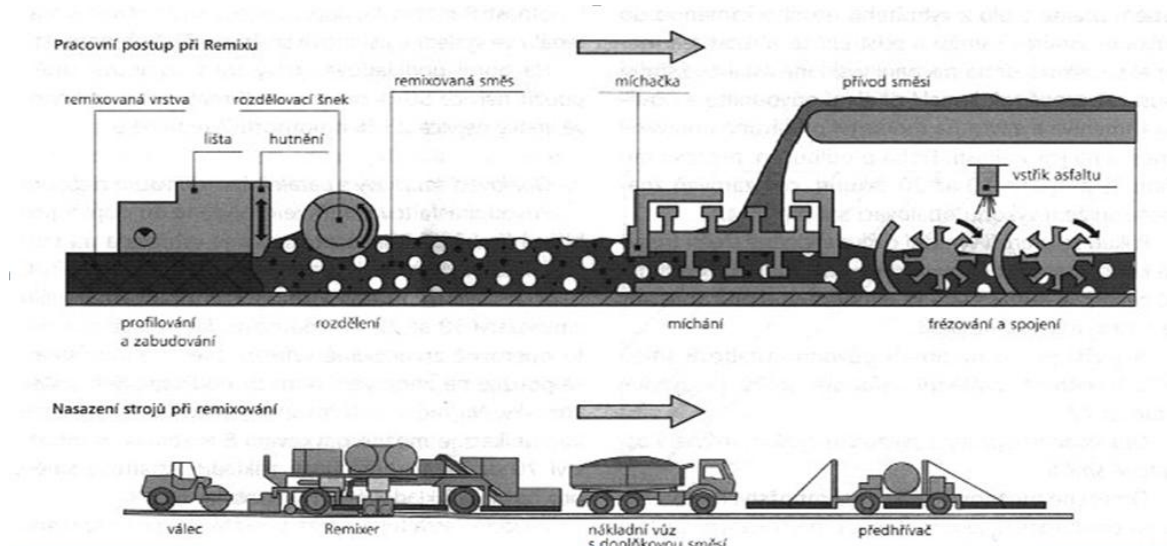
Tento způsob provádění je obdobný jako Reshape, kdy navíc při míchání se přidává nové asfaltové pojivo nebo asfaltová směs. [2]

## ***Remix plus***

Metoda je obdobná jako Remix, kdy navíc přidáme novou obrusnou vrstvu z nové asfaltové směsi. [2]

## ***Recyklace v mobilním nízko kapacitním zařízení (Regrip)***

Tato technologie se skládá z nahřátí stávajícího povrchu vozovky, následného podrcení kameniva úzké frakce a zaválcování kameniva do povrchu vozovky. [2]



Obr. 3.4 Schéma recyklace na místě za horka [7]

### 3.2.3 Recyklace v míchacím centru za studena

Tato metoda je popsána v technických podmínkách TP 208 – Recyklace konstrukčních vrstev netuhých vozovek za studena (viz obr. 3.5). Metoda začíná tím, že se na obalovnu přiveze určitá vyfrézovaná asfaltová směs, která se podrtí a rozdělí na jednotlivé frakce. R – materiál se smíchá s asfaltovou emulzí nebo pěnou, případně se přidává cement nebo vápenný hydrát. Obalovny mohou být buď stacionární, které jsou postavené nastálo po dobu své životnosti, nebo mobilní, které jsou postavené po dobu výstavby komunikace. Pokládka se provádí běžnými finišery. Po položení té vrstvy dochází k jejímu zrání, které závisí na vlhkosti vzduchu, množství vody ve směsi a mezerovitosti. Na vyzrálou vrstvu se položí nová horká asfaltová směs nebo nátěr. [2]



Obr. 3.5 Recyklace v míchacím centru za studena [8]

### 3.2.4 Recyklace na místě za studena

Tato metoda je popsána v technických podmínkách TP 208 – Recyklace konstrukčních vrstev netuhých vozovek za studena. Tento způsob provádění se u nás začal uplatňovat až po roce 1989. Používá se pro recyklaci nestmelených, částečně stmelených a asfaltových vrstev. Vozovku lze recyklovat buď s přidáním pojiva nebo bez pojiva. Schéma recyklace je vidět na obr. 3.6.

Recyklace bez pojiva se využívá jen pro podkladní nebo ochranné vrstvy. Výsledné vrstvy jako jsou šterkodrt' (ŠD) nebo mechanicky zpevněné kamenivo (MZK) se chovají jako vrstvy z drčeného kameniva. Při této metodě se jedná o reprofilaci nebo vrstvu z recyklovaného kameniva.

Pokud je použita recyklace s použitím pojiva, tak je snahou dosáhnout vyšší únosnosti celé konstrukce vozovky a také úspory tloušťek kladených konstrukčních vrstev. Jako pojivo se používá cement, vápno, asfaltová emulze, pěnoasfalt. [9]



Obr. 3.6 Schéma recyklace na místě za studena [10]

Podle hloubky provádění recyklace se technologie rozlišuje na dva typy: [2]

- Celková
- Částečná

### *Celková*

Obnovuje se do hloubky 150 – 250 mm. Většinou se provádí u vozovek s penetračním makadamek a tam, kde vozovka ztratila svoji únosnost (síťové trhliny, deformace). Recyklace se koná bez drcení a třídění frézovaného materiálu. [2]

### *Částečná*

Obnovuje se do hloubky 80 – 150 mm. Většinou se provádí pro ztuhlé asfaltové vrstvy a tam, kde vozovka vykazuje jen povrchové poruchy (mozaikové trhliny, hloubková koroze, výtluky). Recyklace se koná s předrcením frézovaného materiálu. [2]

## 3.3 ZPŮSOBY PŘIDÁVÁNÍ R – MATERIÁLU V MÍCHACÍCH CENTRECH

### 3.3.1 Základní specifikace

Tyto recyklace jsou nejpoužívanější metodou v České republice a jsou považované za velmi užitečnou a osvědčenou metodu. Tato metoda může být použita pro návrh nových podkladních a ochranných vrstev a při stanovení určitého množství kameniva a asfaltového pojiva se lépe využívá při výrobě nových asfaltových směsí. [11]

### 3.3.2 Postup technologie zpracování R - materiálu

Postup:

- Odstranění stávající vozovky
- Drcení a třídění
- Skladování
- Dávkování
- Pokládka recyklované vrstvy

#### *Odstranění stávající vozovky*

Pro odstranění stávající vozovky se používá buď frézování nebo trhací práce (ripping).

V dnešní době je nejvíce používána metoda frézování, kdy odstraňuje automaticky vozovku do požadované hloubky, sklonu, bez vyjetých kolejí a dalších nedostatků (viz obr. 3.7).

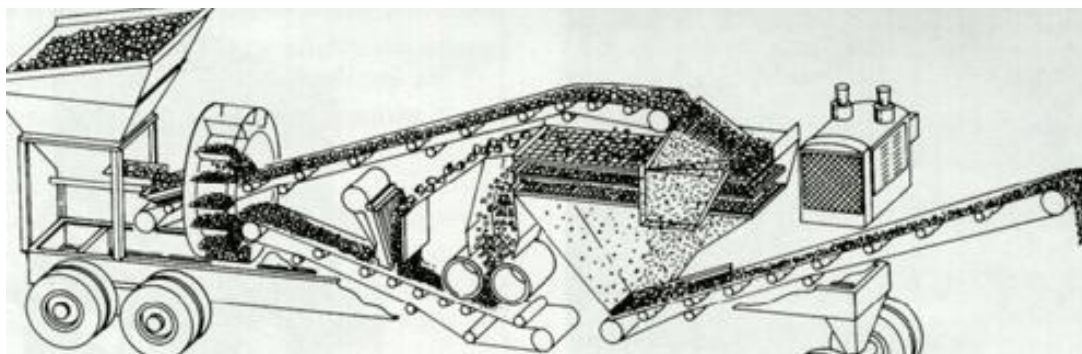
Alternativou k frézování jsou trhací práce pomocí trhacích strojů nebo rozrývačů. Výhodou je rychlejší odstranění vozovky a malá prašnost. Nevýhodou oproti frézování je produkce většího množství jemných částic. [12]



Obr. 3.7 Metoda frézování [12]

#### *Drcení a třídění*

Cílem drcení a třídění je redukovat vyfrézovanou nebo vybouranou asfaltovou směs na maximální přípustnou velikost frakce. Zpravidla se předrcený materiál třídí na dvě základní frakce 0/11 a 0/22. Ideálnější období pro drcení a třídění je podzim nebo zima, kdy R – materiál tolik nelepí a lépe se zpracovává. Moderní zařízení, které obsahuje obě funkce drcení a třídění R – materiálu, se nazývá Granulátor (viz obr. 3.8, 3.9). [13]



Obr. 3.8 Schéma Granulátoru [12]



Obr. 3.9 Granulátor R-materiálu [25]

### *Skladování*

R – materiál je dobré skladovat ve tvaru kužele s výškou maximálně 6 m a opatřit je zastřešením z důvodu snížení vlhkosti (viz obr. 3.10). Skladování by mělo probíhat na zpevněném povrchu, aby se zabránilo kontaminaci nebo sedání podkladového povrchu. [12]

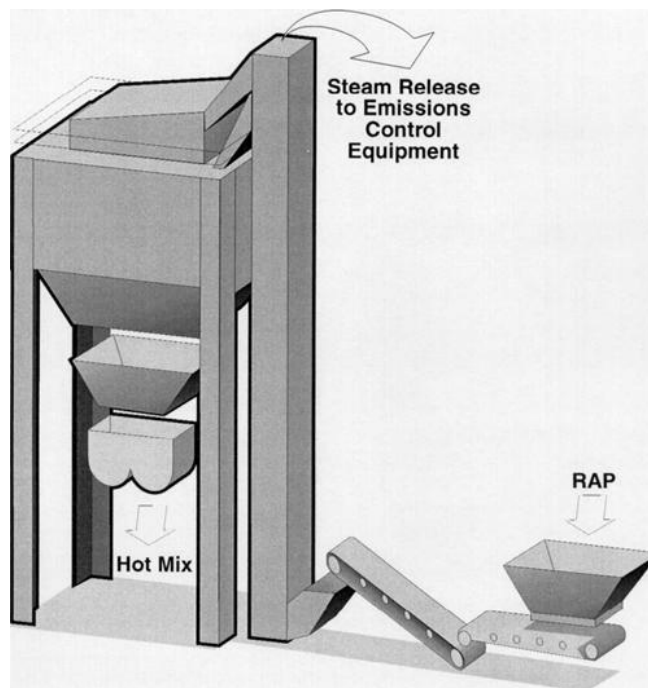


Obr. 3.10 Skladování R-materiálu [12]

### *Dávkování*

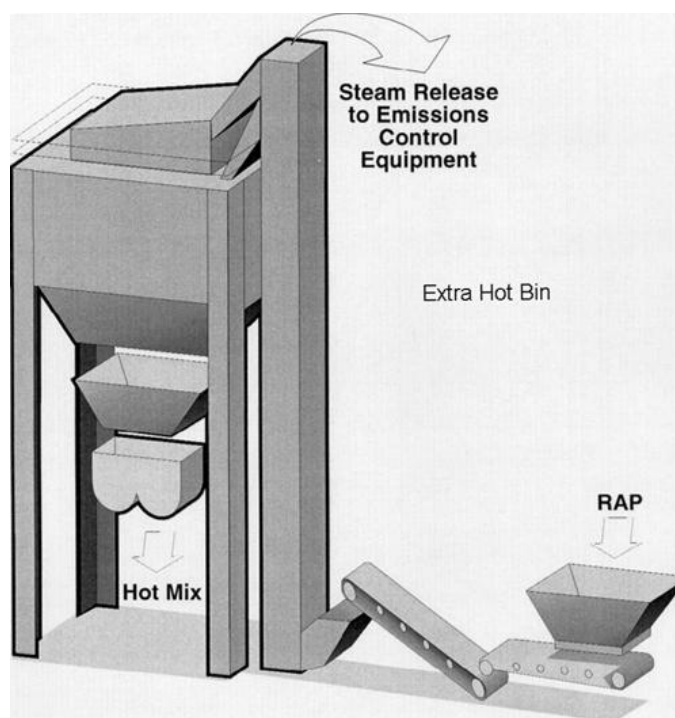
Výrobu asfaltových směsí s R – materiálem je možné provádět na obalovnách s odlišným způsobem dávkování či případného ohřevu. Faktory ovlivňující přidání R – materiálu závisí na teplotě ohřevu přírodního kameniva a na způsobu dávkování. Máme pět metod dávkování.

- **Metoda 1:** Při této metodě je R – materiál smíchán s přírodním kamenivem v korečkovém dopravníku, který je vytáhne do věže obalovny (viz obr 3.11). Zde dojde k horkému třídění kameniva na jednotlivé frakce. Přírodní kamenivo musí být přehřáté na vyšší teplotu, aby došlo k odpaření přebytečné vlhkosti z R – materiálu. Poté se frakce kameniva přidávají z horkého třídícího systému v závislosti na typu směsi v určitém množství do navažovacího zásobníku a odtud do míchačky, kde se spojí s novým asfaltovým pojivem. Po smíchání vznikne nová asfaltová směs, která se plní do nákladních vozů a odváží na stavbu. [12]



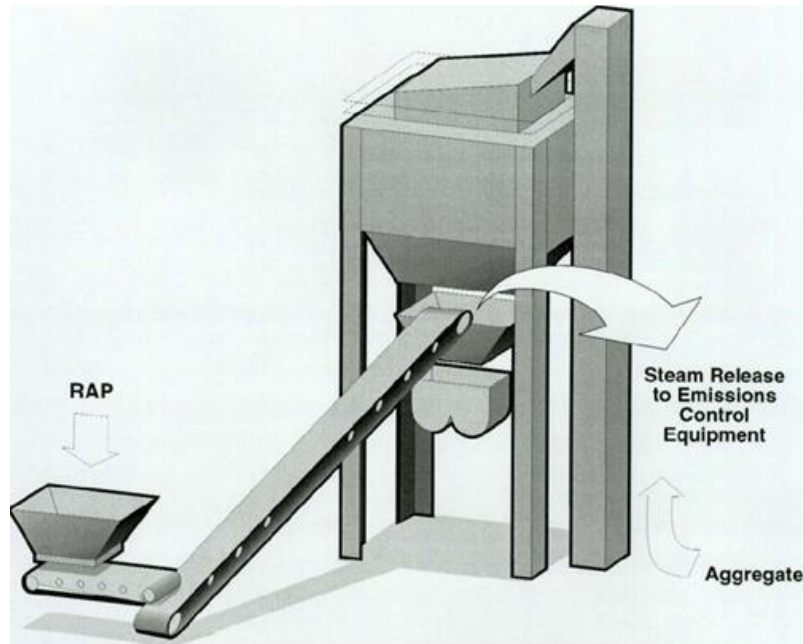
Obr. 3.11 Společné dávkování R-materiálu s přehřátým kamenivem [12]

- **Metoda 2:** Tato metoda je obdobná jako metoda 1. Rozdíl je pouze v tom, že smíchaný R – materiál s přírodním kamenivem bez použití sít se plní rovnou do takzvaného horkého zásobníku (viz obr. 3.12). Tento postup umožňuje použít až 40 % R– materiálu a také je tato obalovna schopna vyrábět přechodně asfaltovou směs s přidáním a bez přidání R – materiálu. [12]



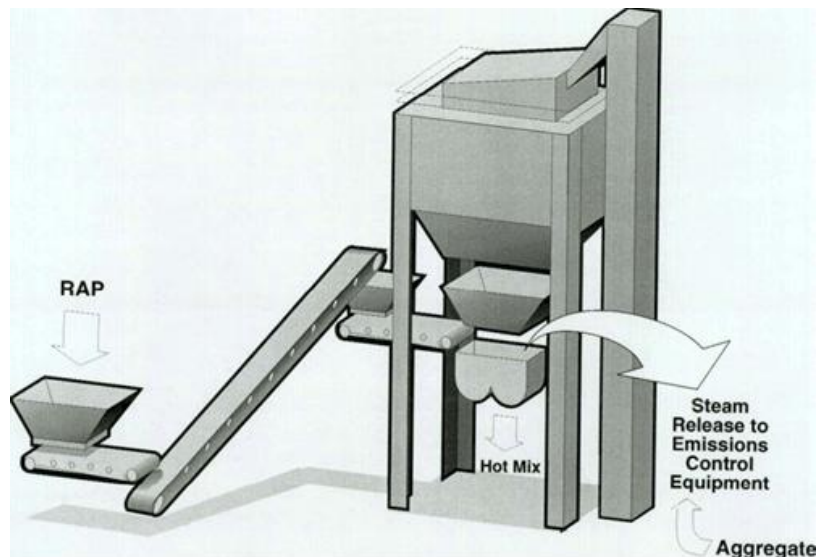
Obr. 3.12 Dávkování R-materiálu přes tzv. horký zásobník [12]

- **Metoda 3:** Při tomto způsobu je R – materiál přidáván za studena přímo do navažovacího zásobníku na věži obalovny spolu s vyhřátým kamenivem na vyšší teplotu (viz obr. 3.13). Tímto způsobem je R – materiál vložen mezi horké přírodní kamenivo a má více času na zahřátí, což má za následek okamžité odpaření přebytečné vlhkosti z R – materiálu. [12]



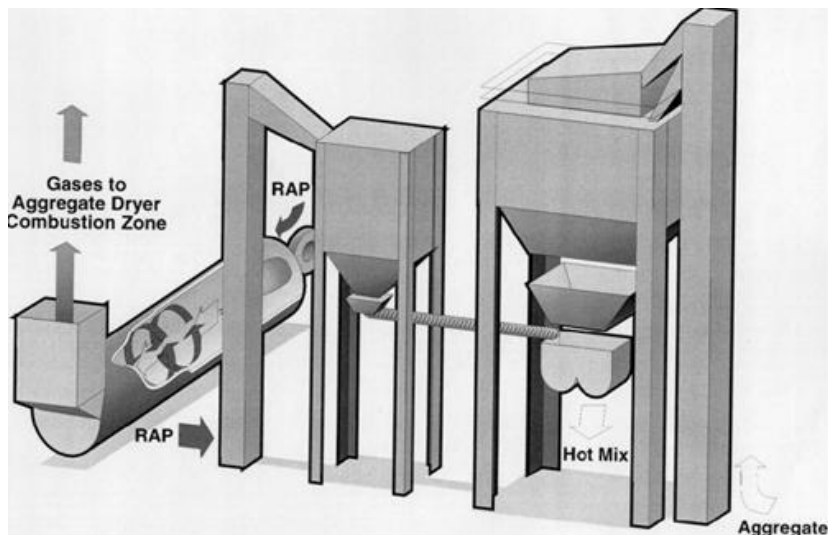
Obr. 3.13 Dávkování R-materiálu do tzv. navažovacího zásobníku [12]

- **Metoda 4:** Tento způsob spočívá v tom, že R – materiál má svůj dávkovací zásobník, ze kterého se přidává přímo za studena do míchacího zařízení po dobu 20 až 30 sekund míchání (viz obr. 3.14). Tato metoda umožňuje větší regulaci odpařování vlhkosti pomocí zpomaleného dávkovacího cyklu. [12]



Obr. 3.14 Dávkování R-materiálu přes tzv. dávkovací zásobník přímo do míchačky [12]

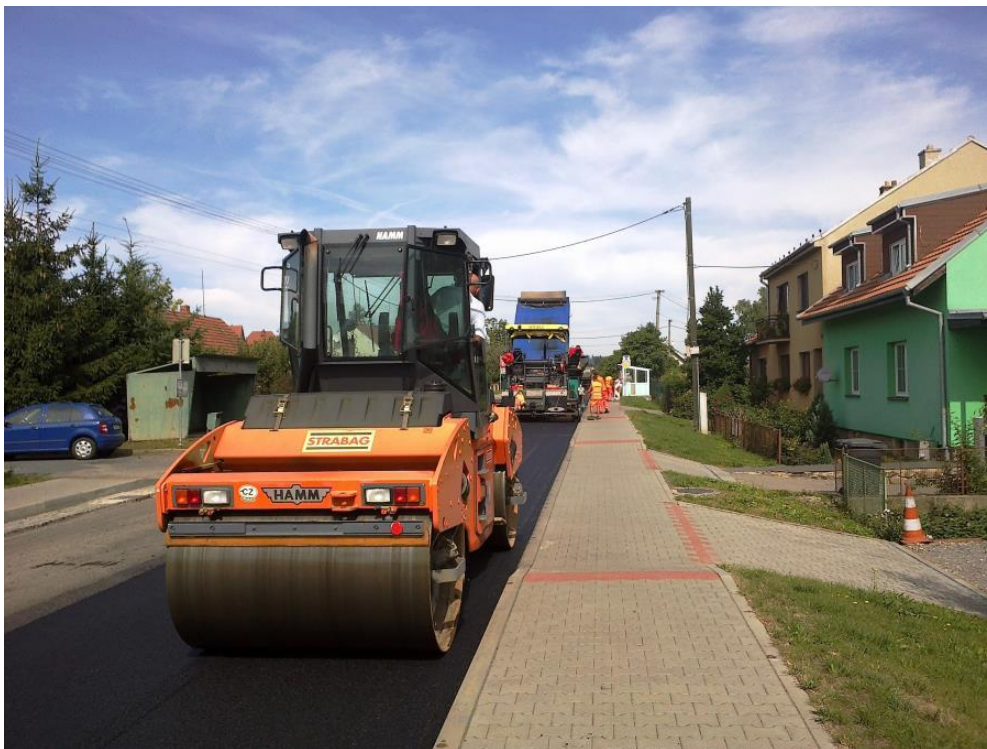
- **Metoda 5:** Jedná se o velice drahý a složitý systém, ale na rozdíl od ostatních metod dovoluje přidat až 80 % R – materiálu do asfaltové směsi. Tato metoda je specifická v tom, že R – materiál je opatřen vlastním paralelním sušícím bubnem, kde se přehřeje na určitou teplotu a odstraní přebytečnou vlhkost. Poté je R – materiál korečkovým dopravníkem uložen do vlastního vyhřívaného zásobníku s vlastním dávkovacím zařízením, odkud je dávčován přímo do míchacího zařízení, kde se spojí s ostatním přírodním kamenivem (viz obr. 3.15). [12]



Obr. 3.15 Dávkování R-materiálu s vlastním paralelním sušícím bubnem [12]

## ***Pokládka recyklované směsi***

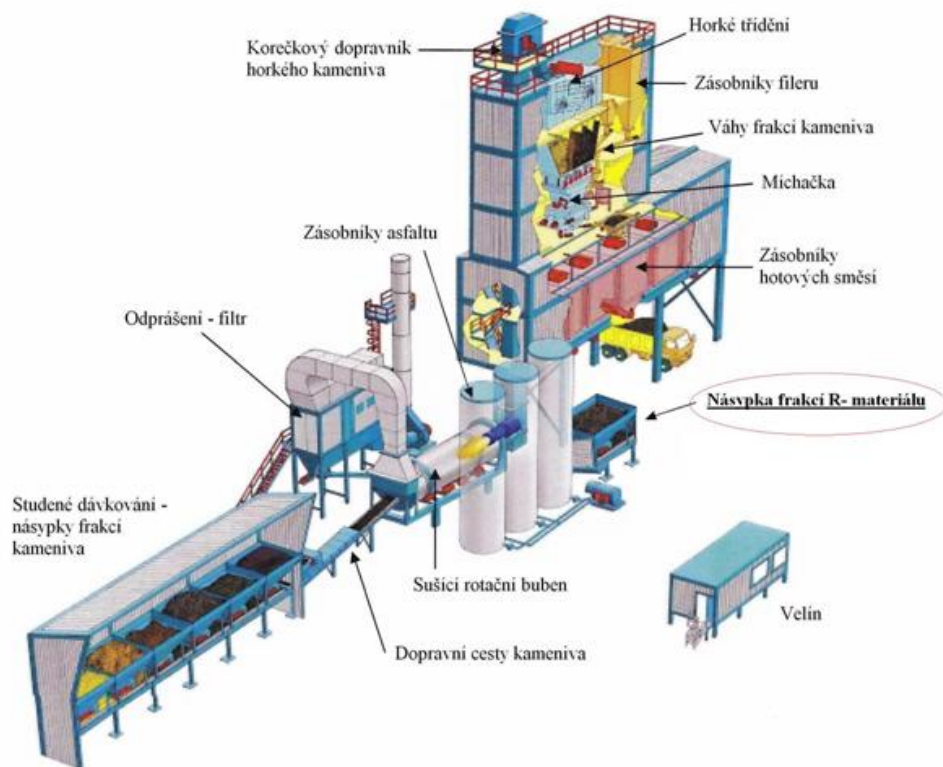
Pokládka asfaltové směsi probíhá finišery. Po pokládce dochází k hutnění asfaltové směsi s požadovanou teplotou. Na vyzrálou vrstvu se poté klade nová horká asfaltová směs nebo nátěr (viz obr. 3.16). [2]



**Obr. 3.16 Pokládka asfaltové vrstvy [25]**

### **3.3.3 Postup výroby asfaltové směsi s přidání 25 % R - materiálu**

Do násypek se nadávkuje kamenivo různých frakcí. Z jednotlivých násypek odchází určité množství kameniva po pásových dopravnících až do sušícího bubnu. Zde se kamenivo suší a ohřívá na maximální předepsanou teplotu, abychom dokázali ohřát i později přidaný R – materiál. Zplodiny spolu s prachem kameniva odcházejí do filtračního zařízení, kde se odfiltrují. Odfiltrované prachové částice (vratný filer) se nadále používá při výrobě. Po vysušení je horké kamenivo dopravováno korečkovým dopravníkem do horkého třídění, kde se roztřídí zpět na jednotlivé frakce. Poté se pomocí vah naváží na přesný poměr jednotlivých frakcí a vloží do dávkovacího zařízení. V tomto okamžiku se přidá ke kamenivu i studený R – materiál (viz Metoda 3), který společně s předehřátým kamenivem putuje do míchačky. V míchačce se vše smíchá s asfaltem o teplotě 150 °C až 190 °C. Hotová asfaltová směs se nasype do zásobníku, kde čeká na expedici při teplotě 160 °C (viz obr. 3.17, 3.18). [15]



Obr. 3.17 Schéma obalovny [15]



Obr. 3.18 Obalovna [25]

### **3.3.4 Problémy se zacházením R – materiálu v České republice**

Kvalitní příprava R – materiálu před zpracováním může vést k vyššímu dávkování a tím i k vyšší úspoře finančních prostředků. V České republice se tomuto problému nevěnuje patřičná pozornost. Aby se eliminovaly tyto problémy, je nutné provádět tyto aspekty: [3]

- Frézování po vrstvách a oddělené skladování R – materiálu
- Homogenizace R – materiálu před jeho dalším zpracováním
- Drcení R – materiálu
- Zastřešení skládek R – materiálu
- Průběžná kontrola parametrů pojiva a zrnitosti na skládce R – materiálu
- Sledování přítomnosti dehtu u R – materiálu

#### ***Frézování po vrstvách a oddělené skladování R – materiálu***

Pokud se oddělují jednotlivé konstrukční vrstvy zvláště, pak při výrobě asfaltové směsi určité vrstvy vozovky se použije R – materiál stejné konstrukční vrstvy, což se v tomto případě může dávkovat větší množství R – materiálu. [3]

#### ***Homogenizace R – materiálu před jeho dalším zpracováním***

Při skladování R – materiálu dochází k jeho sedání, kdy na povrchu kužele se vyskytují větší zrna a vespod menší zrna. Z tohoto důvodu se provede homogenizace, kdy dojde k rovnoměrnému rozložení jednotlivých zrn R – materiálu. Jedná se o jeden z klíčových faktorů, který ovlivňuje kvalitu výsledné asfaltové směsi. [3]

#### ***Drcení R – materiálu***

Vyfrézovaný a vybouraný R – materiál by měl projít před drtič a třídič, kdy v běžné praxi se rozdrtí na dvě základní frakce 0/11 a 0/22. Tyto frakce se poté přidávají do jednotlivých směsí dle velikosti maximálního zrna. Výhodou drcení je odstranění cizích materiálů (kovy, dřevo, plasty) a získání zrn R – materiálu na požadovanou velikost frakce. [3]

#### ***Zastřešení skládek R – materiálu***

Při zastřešení nedojde k pronikání srážkové vody skladovaným R – materiálem. Tímto způsobem se docílí snížení vlhkosti R - materiálu, kdy následně se může přidat větší množství dávky R – materiálu do asfaltové směsi a docílí se tím i úspory paliva. Z toho vyplývá, že přírodní kamenivo se nemusí předehtřívát na vyšší teplotu. [3]

#### ***Průběžná kontrola parametrů pojiva a zrnitosti na skládce R – materiálu***

Při skladování R – materiálu je zapotřebí průběžně sledovat jeho bod měknutí, penetraci, obsah pojiva a zrnitost. Pokud je hodnota bodu měknutí vyšší než 70 °C (jednotlivé hodnoty pak max. 77 °C) a penetrace nižší než 15 mm, tak následně R – materiál není vhodný pro výrobu asfaltové směsi. Pokud dojde k tomuto problému, je zapotřebí provést zkoušku odolnosti proti vzniku mrazových trhlin s ohledem na příliš vysokou tuhost pojiva a asfaltové směsi a tím porovnat vlastnosti asfaltové směsi se směsí, v níž bylo použito nových surovin.

Pokud vlastnosti vycházejí obdobně, lze i tento R – materiál použít. Dále se sleduje obsah pojiva a zrnitost, kdy je potřeba dosáhnout co nejmenších odchylek v zrnitosti od zrnitosti po extrakci pojiva. Pomocí těchto parametrů lze odvodit takzvaný nomogram, který nám přibližně určí, kolik se může přidat R – materiálu do asfaltové směsi. [3]

### ***Sledování přítomnosti dehtu u R – materiálu***

Přítomnost dehtu se vyhodnotí rychlou a jednoduchou metodou pomocí bílé barvy, kdy je nižší nebo vyšší množství dehtu zbarveno do hněda. Vyšší přítomnost dehtu škodí zdraví. [3]

### **3.3.5 Současný stav používání R – materiálu v České republice**

V České republice je 70 % (r. 2014) obaloven vybaveno zařízením pro přidávání R – materiálu za studena do 25 % a pouze 5 obaloven z toho je vybaveno paralelním bubnem pro přehřívání R – materiálu, kde ho lze dávkovat až 80 % z celkového množství kameniva. Velkou překážkou pro rozvoj recyklace je nedůvěra investorů, kteří často považují R – materiál za odpadní surovinu zhoršující výslednou směs, a také příslušné normy, které stanovují maximální množství přidávaného R – materiálu pomocí tabulky (viz tabulka 3.1). [3] [31]

**Tab. 3.1 Nejvyšší přípustný obsah R-materiálu v % hmotnosti asfaltové směsi [16]**

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.

Z výše uvedené tabulky vyplývá, že R – materiál nelze použít pro asfaltovou směs ACO 11+. Naše praktická část dává za pravdu, že lze R – materiál přidat i do směsi ACO 11+.

### ***Využívání R – materiálu v ČR a zahraničí***

Česká republika oproti Německu a Nizozemsku zcela zaostává, což je patrné i z níže uvedené tabulky 3.2. V sousedním Německu je dokonce R – materiál přímo předepsaný v zadávací dokumentaci stavby a to je právě ten aspekt, který je třeba provádět i v České republice. [3]

Tab. 3.2 Objem recyklace ve vybraných státech Evropy (r. 2011) [17]

Stát	R-materiál k dispozici v tis. t	% použití R-materiálu v technologiích			% použití R-materiálu v nových směsích
		za horka	za studena	nestmelené	
Belgie	1 300	57	-	-	43
Česká republika	1 500	20	30	30	10
Dánsko	307	55	-	45	46
Německo	14 000	82	-	18	60
Nizozemsko	4 500	74	-	-	72
Polsko	1 100	5	-	-	0,2
Rakousko	400	85	5	10	-
Švédsko	1 000	75	10	5	50

### 3.4 ASFALTOVÁ POJIVA POUŽÍVANÉ S R – MATERIÁLEM

#### 3.4.1 Druhy asfaltových pojiv

Asfalty jsou černé amorfni hmoty koloidního charakteru, které obsahují uhlíkaté organické látky, mezi které patří asfalteny a malteny. Maltenem rozumíme rozpustné složky asfaltu, které se skládají z nasycených pryskyřic a olejů. Asfalteny jsou nerozpustné ropné složky asfaltu. [1]

Asfalty se dělí dle původu: [1]

- Přírodní – vznikly z ropy pomalou přeměnou, při které se odpařovaly těkavé látky.
- Umělé – vznikají z frakční atmosféricko – vakuové destilace ropy.

Dále je dělíme dle způsobu výroby a použití: [1]

- Primární
- Polofoukané
- Oxidované
- Silniční
- Průmyslové
- Modifikované
- Ředěné
- Asfaltové emulze

#### *Primární asfalty*

Tyto asfalty jsou získané z ropy jako destilační zbytek z vakuové destilace. Používají se v silničním stavitelství. [1]

### ***Polofoukané asfalty***

Vyrábí se polofoukáním (oxidací) vakuových zbytků z ropy. Reakční teplota, při které probíhá oxidace, je 220 °C – 250 °C. [1]

### ***Oxidované asfalty***

Vyrábějí se podobným způsobem jako polofoukané asfalty. Jejich reakční teplota oxidace je 250 °C – 300 °C. Hojně se používají na izolace. [1]

### ***Silniční asfalty***

Využívají se při výstavbě a opravách silničních staveb. Většinou tvoří 3,5 % - 8 % hmotnosti asfaltové směsi. Tyto asfalty se používají pro svou odolnost proti mechanickému poškození a zabraňují odlupování kameniva z vrchní části vozovky. [1]

### ***Průmyslové asfalty***

Jsou používány jako izolační materiál. Z tohoto důvodu se používají jako izolace střeš a dalších částí stavby. Tyto hydroizolační pásy jsou tvořené z výztužné vložky, krycí vrstvy asfaltu a povrchových úprav. [1]

### ***Modifikované asfalty***

Tyto asfalty jsou specifické tím, že se k nim přidávají takzvané modifikátory, což jsou elastomery (kaučuky) a plastomery (termoplasty). Díky těmto modifikátorům mají ještě lepší vlastnosti než silniční asfalty. Hlavními přínosy je zvýšení bodu měknutí, odolnost proti trvalým deformacím, zvýšení adheze, zlepšení únavových vlastností a odolnost proti stárnutí. Značí se podle evropských norem jako PmB (Polymer modified Bitumen). [1]

### ***Ředěné asfalty***

Jedná se o asfalty, které jsou rozpouštěné v lehkých ropných frakcích. Používají se jako nátěrové hmoty. [1]

### ***Asfaltové emulze***

Jsou specifické jemně rozptýlenými částicemi asfaltu ve vodě stabilizované vhodnou chemickou přísadou neboli takzvaným emulgátorem. Jako emulgátory se používají například mýdla a amonné soli vyšších mastných kyselin. [1]

## **3.4.2 Rozdílné vlastnosti PmB 45/80, PmB 45/80 RC**

Při výrobě naší posuzované asfaltové směsi ACO 11+ a ACL 22S bylo použito modifikované pojivo s označením PmB 45/80 RC od výrobce OMV. Zkratka RC znamená, že asfaltové pojivo má upravené vlastnosti při použití R – materiálu v asfaltové směsi. [18]

**Tab. 3.3 Vlastnosti jednotlivých asfaltových pojiv [18]**

Pojivo	Penetrace	Bod měknutí (voda)	Bod měknutí (glycerin)
	[0,1 mm]	[°C]	[°C]
OMV 45/80	52	82,3	86,4
OMV 45/80 RC	66	80,6	83,0

V tabulce 3.3 byla obě pojiva vystavena laboratornímu měření empirickými zkouškami, kdy byly zkoumány jejich empirické vlastnosti. Z tabulky je možno usoudit, že pojivo OMV 45/80 RC vykazuje mírně nižší viskozitu a bod měknutí než pojivo OMV 45/80. [18]

V následující tabulce byl proveden vliv stárnutí metodou RTFOT na pojiva OMV 45/80 a OMV 45/80 RC.

**Tab. 3.4 Hodnoty penetrace, bodu měknutí a vratné duktility jednotlivých asfaltových pojiv [18]**

Pojivo	Penetrace		Bod měknutí (voda)		Bod měknutí (glycerin)		Vratná duktilita	
	ČSN EN 1426		ČSN EN 1427				ČSN EN 13398	
	Hodnota	Rozdíl	Hodnota	Rozdíl	Hodnota	Rozdíl	Hodnota	Rozdíl
	[0,1 mm]		[°C]				[%]	
OMV 45/80 RC	66	-24	80,6	-4,2	83,0	-1,5	97,0	-4,5
OMV 45/80 RC (RTFOT)	42		76,4		81,5		92,5	
OMV 45/80-65	52	-16	82,3	-5,1	86,4	-4,1	95,0	-6,5
OMV 45/80-65 (RTFOT)	36		77,2		82,3		88,5	

V této tabulce 3.4 je vidět, že u polymerem modifikovaného pojiva bez značení RC byl pozorován nižší vliv stárnutí, kdy metodou krátkodobého stárnutí RTFOT se pojivo OMV 45/80 snížilo o 16 jednotek a pojivo OMV 45/80 RC se snížilo o 24 jednotek penetrace. Bod měknutí se snížil o 4,2 °C a 5,1 °C, což zapříčinila změna vlastností polymerní přísady. Vratná duktilita byla stárnutím ovlivněna negativně, neboli se snížila o 4,5 % u OMV 45/80 RC a o 6,5 % u OMV 45/80. [18]

Z jednotlivých zkoušek na vlastnosti těchto dvou pojiv vyplývá, že vlivem stárnutí metodou RTFOT hodnota penetrace vyšla lépe u pojiva OMV 45/80, ale bod měknutí a hodnota vratné duktility vyšla lépe u pojiva OMV 45/80 RC. [18]

### 3.4.3 Stárnutí asfaltového pojiva

Trvanlivost neboli stárnutí asfaltových pojiv má značný podíl na změně mechanických vlastností pojiva. Odolnost proti stárnutí je do značné míry ovlivňována použitím správného asfaltového pojiva a způsobem výroby. Procesy, které přispívají ke stárnutí, jsou špatné skladování, míchání s kamenivem a pokládka asfaltové směsi. Dále se jedná o působení vnějších vlivů jako je teplota, působení vody, mráz a zatížení osobními a nákladními vozidly.

Dalšími procesy, které přispívají ke stárnutí, jsou oxidace, ztráta těkavých složek, migrace olejových složek a fyzikální stárnutí (reorganizace asfaltových molekul). Vlivem stárnutí dochází zejména ke zvyšování tuhosti a ztrátě elastických vlastností pojiva, což způsobuje větší deformační reakce. [1]

### ***Metoda krátkodobého stárnutí***

V dnešní době nejpreferovanější metoda krátkodobého stárnutí je metoda RTFOT (viz obr. 3.19), která simuluje stárnutí pojiva při přípravě asfaltové směsi na obalovně, kdy tenká vrstva asfaltu je vystavena vysokým teplotám a působení vzdušného kyslíku. Další metody, které simulují krátkodobé stárnutí, jsou TFOT a RFT. Metoda RTFOT spočívá v tom, že tenká vrstva pohybujícího se filmu se ohřívá v sušárně při teplotě 163 °C za přívodu přehřátého vzduchu, který činí 4,0 litry za minutu po dobu 75 minut. Aby se zabránilo vytvoření povrchové vrstvičky, nádoba rotuje v přístroji rychlostí 15 otáček za minutu. Poté se nechá vzorek vychladnout na maximálně 72 hodin a po vychladnutí se provedou empirické zkoušky (penetrace a bod měknutí) a funkční zkoušky (BBR a DSR). Hodnoty se porovnávají s výsledky nezestárlého vzorku. [1]



**Obr. 3.19** Zkušební zařízení pro metodu RTFOT [19]

### ***Metoda dlouhodobého stárnutí***

Metoda dlouhodobého stárnutí se simuluje metodami PAV, 3xRTFOT nebo RCAT. Tyto postupy simulují dopravní zatížení a povětrnostní vlivy, kdy během provozu dochází k různému popraskání, vyjíždění kolejí a dalším nepříjemným deformacím asfaltových vozovek. [1]

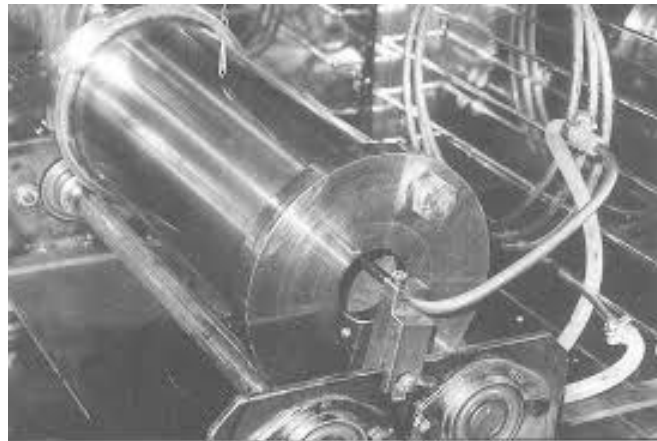
Metoda PAV simuluje stárnutí vozovky po 7 – 10 letech, kdy vzorek je uzavřen v tlakové nádobě při teplotě 90 °C – 100 °C a tlaku 2,1 MPa po dobu 20 – 65 hodin (viz obr. 3.20). Jako vzorek se může použít pojivo, které už bylo podrobeno zkoušce RTFOT. Po ukončení zkoušky se mohou provést na vzorku empirické a funkční zkoušky. [1]



**Obr. 3.20 Zkušební zařízení pro metodu PAV [20]**

Metoda 3xRTFOT se provádí stejně jako při krátkodobém stárnutí, jen je třikrát prodloužená doba této zkoušky, a to ze 75 minut na 225 minut. Provádí se s originálním vzorkem. [1]

Metoda RCAT je založena na rotačním válci, do kterého je přiváděn vzduch o teplotě 85 °C s průtokem 4,5 litru za hodinu (viz obr. 3.21). Zkouška trvá 140 minut. V průběhu zkoušky se odebírá vzorek pojiva o hmotnosti 25 – 30 g, na kterém se zkouší změny vlastností vzorku asfaltového pojiva. Výstupem této zkoušky jsou simulující empirické vlastnosti po dvacetiletém provozu vozovky. [1]



**Obr. 3.21 Zkušební zařízení pro metodu RCAT [21]**

## 4 PRAKTICKÁ ČÁST

### 4.1 ODBĚR VZORKŮ SMĚSI S R - MATERIÁLEM

Tato metoda je popsána normou ČSN EN 932 – 1 Zkoušení všeobecných vlastností kameniva – Část 1: Metody odběru vzorků. Tato norma podrobněji uvádí metody odběrů vzorků z dodávek, z přípravného a výrobního zařízení i ze skládek. V této normě jsou metody založené na ručním odběru vzorků, jsou vhodné jak pro získání souhrnného vzorku, tak i pro odběr dílčích vzorků. Dále je zde uvedena i metoda zmenšování vzorků. [22]

#### *Zásady odběru vzorků*

Jednotlivé vzorky jsou odebírané ze všech částí dávky kameniva tak, aby byl vzorek reprezentativní. Množství souhrnného vzorku závisí na druhu a počtu zkoušek, velikosti kameniva a měrné hmotnosti kameniva. Pro stanovení našeho nejmenšího množství vzorku se doporučuje vypočítat tento vzorec: [22]

$$M = 6 \times \sqrt{D} \times \rho_b, \quad (4.1)$$

kde M ... hmotnost vzorku [kg],

D ... maximální zrno kameniva [mm]

$\rho_b$ ...objemová hmotnost volně sypaného kameniva [Mg/m<sup>3</sup>].

#### *Zkušební zařízení a pomůcky*

Vzorkovací lopatka

#### *Postup odběru vzorků*

Vzorky se mohou odebírat z různých míst: [22]

- Ze zastaveného dopravního pasu
- Z pasu a v místě přepadu pasu
- Při pneumatické dopravě kameniva
- Baleného kameniva
- Z korečkových dopravníků, nakladačů nebo drapáků
- Ze sila
- Ze skládek
- Z železničních vagónů, nákladních aut a lodí

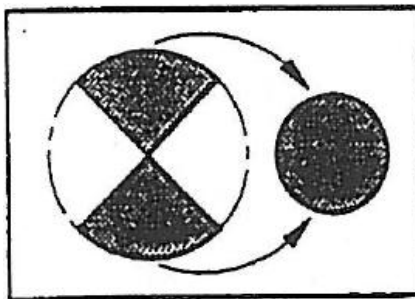
V mém případě jsou vzorky odebrány z různých výšek a hloubek ze skládky kameniva, které byly vloženy do pytlů a očíslovány. [22]

## **Zmenšování vzorků**

Zmenšování může probíhat několika způsoby: [22]

- S použitím žlábkového děliče
- Kvartací
- Dělením lopatou

V mém případě používám metodu kvartace, která spočívá v tom, že vzorek se vysype na pracovní plochu, důkladně promíchá a vytvoří se kužel. Pomocí lopatky se tento kužel přeloží a vytvoří se nový kužel. Tento postup se opakuje třikrát. Při přeložení se materiál sype vždy rovnoměrně na vrchol kužele, třetí kužel se zploští a rozdělí na čtyři stejné části, kdy jeden pár protilehlých čtvrtin se odstraní a zbylé dvě čtvrtiny se použijí jako náš vzorek materiálu (viz obr. 4.1). [22]



Obr. 4.1 Zmenšování vzorku kvartací [22]

## **4.2 ZKOUŠKY ASFALTOVÝCH POJIV**

### **4.2.1 Znovu získání extrahovaného pojiva**

Tato zkouška je popsána normou ČSN EN 12697 – 1 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 1: Obsah rozpustného pojiva a také je popsána normou ČSN EN 12697 – 3 Asfaltové směsi – Zkušební směsi pro asfaltové směsi za horka – Část 3: Znovu získání extrahovaného pojiva: Rotační vakuové destilační zařízení. Tyto evropské normy nás informují o tom, jak znovu získat asfaltové pojivo z asfaltových směsí vozovek. [23][24]

### ***Podstata zkoušky***

Asfaltové pojivo se od pevných částí oddělí pomocí rozpouštědla (v našem případě jsme použili trichloretylen). Poté se prostřednictvím odstředivky odstraní pevné částice z asfaltového roztoku a následně se destilací pomocí rotačního vakuového destilačního přístroje znovu získá asfaltové pojivo. Důležitou poznámkou je, že asfalt nesmí být v rozpouštědle déle než 24 hodin. [24]

## ***Zkušební zařízení a pomůcky***

Je zapotřebí přístroj pro extrakci rozpustného asfaltu, kdy se používá vhodná nádoba s uzávěrem (plechovka), do které se může umístit vzorek společně s rozpouštědlem. Dále je zapotřebí průtoková odstředivka a destilační přístroj obsahující rotující baňku pro destilaci pod vakuem (viz obr. 4.2). [24]

### ***Postup extrakce***

Vzorek asfaltové směsi se vloží do vhodné nádoby v takovém množství, aby obsahoval 120 g až 150 g zpětně získaného pojiva. Ke směsi se přilije 1500 ml rozpouštědla a poté se mísí do doby, než je kamenivo čisté. Nechá se 10 minut odstát a poté se proseje sítím o velikosti oka 0,063 mm. Dále pomocí průtokové odstředivky při minimálním zrychlení  $25\,000\text{ m/s}^2$  a rychlosti výtoku maximálně 150 ml/min se uskuteční oddělení pevných částí od asfaltového roztoku. [24]

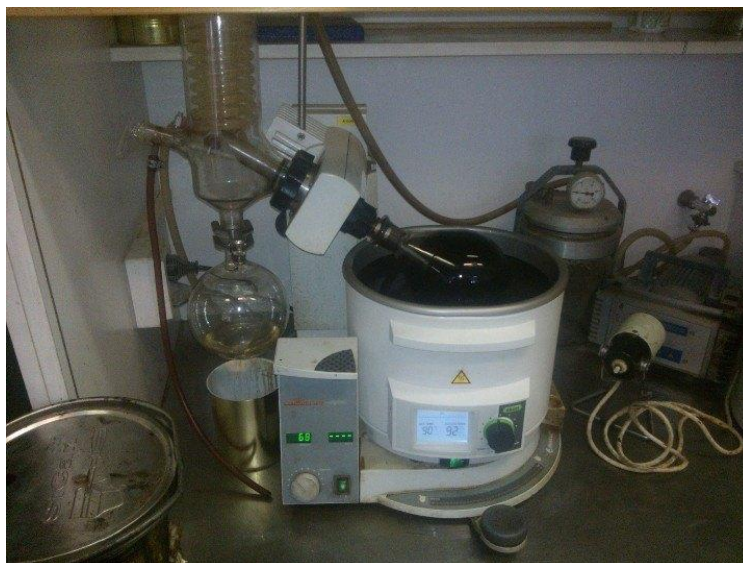


Obr. 4.2 Přístroj pro extrakci rozpustného asfaltu [25]

### ***Postup destilace***

Než se začne nasávat asfaltový roztok do destilační baňky, je zapotřebí zajistit průtok studené vody chladičem, rotaci destilační baňky v olejové lázni při  $(75 \pm 15)$  otáčkách za minutu, teplotu olejové lázně je potřeba udržovat při teplotě  $(T_1 \pm 5)$  °C a tlak v přístroji se sníží na hodnotu  $(P_1 \pm 5)$  kPa dle použitého rozpouštědla (v našem případě se jedná o trichloretylen, kdy  $T_1 = 90$  °C a  $P_1 = 40$  kPa). Poté se začne s nasáváním asfaltového roztoku, kdy nesmí být v destilační baňce více než 400 ml roztoku, nebo tlak nesmí klesnout pod 80 kPa. Po nasátí veškerého asfaltového roztoku je zapotřebí zvýšit teplotu olejové lázně na  $(T_2 \pm 5)$  °C a tlak snížit na  $(P_2 \pm 5)$  kPa dle použitého rozpouštědla (v našem případě se jedná o trichloretylen, kdy  $T_2 = 160$  °C a  $P_2 = 2,0$  kPa), takto je nezbytné nechat přístroj běžet po dobu 10 minut (viz obr. 4.3). Pokud se i po této době vyskytují na asfaltovém pojivu bubliny, tak je teplota zvýšena na  $(T_3 \pm 5)$  °C (v našem případě se jedná o 185 °C) a při této teplotě se udržuje olejová lázeň, dokud bubliny zcela nezmizí. Poté se vyrovná tlak na atmosférický a destilační

baňka se zastaví, tedy je vytažena z olejové lázně a utírána z vnější strany od oleje. Následně se baňka s pojivem vylije do nádoby, kterou lze využít pro další zkoušky (viz obr. 4.3). [24]



Obr. 4.3 Destilační přístroj [25]

#### **4.2.2 Stanovení zrnitosti – síťový rozbor**

Tato zkouška je popsána normou ČSN EN 933 – 1 Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Síťový rozbor. Tato norma udává postup pro stanovení zrnitosti kameniva s použitím zkušebních sít. [26]

##### ***Podstata zkoušky***

Podstatou je prosévání kameniva přes sadu sít s různou velikostí otvorů, kdy se zaznamenávají hmotnosti částic na jednotlivých sítích, které se porovnávají s původní hmotností veškerého kameniva. Propad kameniva se vyjádří v procentech. [26]

##### ***Zkušební zařízení a pomůcky***

K této zkoušce jsou zapotřebí zkušební síta s normovanými velikostmi otvorů, pevně líčující víko a dno sady sít, sušárnu na vysušení kameniva, váhy s přesností  $\pm 0,1$  % hmotnosti zkušební navážky, nádoby, kartáče, štětce a prosévací přístroj (viz obr. 4.4). [26]

##### ***Postup zkoušky***

Zkušební navážka se nechá vysušit do ustálené hmotnosti  $(110 \pm 5)$  °C, poté vychladnout a následně zvážit, kdy se zaznamená hmotnost  $M_1$ . Zvážená navážka se nasype na horní síto sady sít s největšími otvory. Velikost jednotlivých sít se směrem ke dnu zmenšuje. Na horní síto se položí šrouby upevněné víko a poté se spustí prosévací přístroj po dobu asi dvou minut, který se mechanicky otřásá. Po skončení otřásání se horní síto odebere a poté na jednotlivých sítích se provede ještě ruční prosévání tak, aby nedošlo ke ztrátám materiálu.

Všechny propadlý materiál se nasype na další síto, kde se provede celý postup znovu. Než se ale tento postup zopakuje, zváží se materiál, který nepropadl sítím, a zaznamená se jeho hmotnost  $R_i$ . Pokud propadl až na dno, zapíše se hmotnost  $P$ . [26]

Aby nedošlo k přetížení sítí, množství materiálu na každém síti nesmí být po ukončení prosévání větší než: [26]

$$\frac{A \times \sqrt{d}}{200}, \quad (4.2.2)$$

kde  $A$  ... je plocha síta [ $\text{mm}^2$ ],

$d$  ... velikost otvoru síta [mm].

### ***Výpočet a vyjádření výsledků***

Všechny hmotnosti se zaznamenají do zkušební protokolu, z hmotnosti zůstatků na každém síti se vypočítá procento původní vysušené hmotnosti  $M_1$ . Poté se spočítá součtová procenta hmotnosti původní navážky, která propadla každým sítem od shora až dolů kromě síta 0,063 mm. [13]

Procento jemných částic ( $f$ ), které propadly sítím 0,063 mm, se spočte podle následujícího vztahu: [26]

$$f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100, \quad (4.2.2)$$

kde  $M_1$  ... hmotnost vysušené zkušební navážky [kg],

$M_2$ ... hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063 mm [kg],

$P$  ... hmotnost propadu jemných částic na dně [kg],

$f$  ... procento jemných částic [%].

Jestliže součet hmotností  $R_i$  a  $P$  se liší o více než 1 % od hmotnosti  $M_2$ , zkouška se musí opakovat. [26]



Obr. 4.4 Zkušební síta [25]

### 4.2.3 Stanovení bodu měknutí – metoda kroužek a kulička

Tato zkouška je popsána normou ČSN EN 1427 Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení bodu měknutí – Metoda kroužek a kulička. Norma nám určuje stanovení bodu měknutí asfaltu a asfaltových pojiv v rozmezí od 28 °C do 150 °C. [27]

#### *Podstata metody*

Podstatou je zahřívání dvou kotoučků z asfaltového pojiva odlité v mosazných kroužcích s osazením v kapalinové lázni. Na každém kotoučku je umístěna ocelová kulička. Jakmile kotoučky změknu natolik, že kuličky propadnou o vzdálenost  $25,0 \text{ mm} \pm 0,4 \text{ mm}$ , zaznamenaná se teplota lázně, což je pro nás bod měknutí asfaltového pojiva. [27]

#### *Zkušební zařízení a pomůcky*

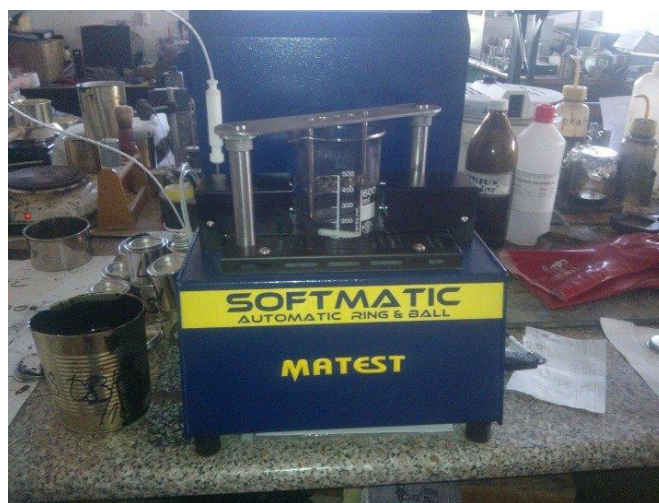
K této zkoušce je potřeba kapalinovou lázeň (pro nás používaná destilovaná voda, která musí být zbavena všech vzduchových bublinek). Dále je využíváno zkušebního zařízení pro kroužek a kuličku, dva mosazné kroužky s osazením, odlévací destičku (rovný hladký plech o rozměrech  $50,0 \text{ mm} \times 75,0 \text{ mm} \times 2,0 \text{ mm}$  s dolů zahnutými hranami), dvě kuličky z korozivzdorné oceli o průměru  $9,50 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$  a hmotnosti  $3,50 \text{ g} \pm 0,05 \text{ g}$ , dále středící prstence pro kuličky, držák kroužků sloužící pro upevnění kroužků ve vodorovné poloze, skleněnou kádinku s vnitřním průměrem nejméně 85 mm a výškou 120 mm, teploměr osazený tak, aby spodní konec teploměrové nádoby byl ve stejné úrovni se spodní hranou kroužků a ve vzdálenosti maximálně 13 mm od kroužků, dále ještě potřebujeme míchadlo (pro nás používané magnetické s topnou plotýnkou délky 40 mm a průměru 8 mm) a separační prostředek (viz obr. 4.5). [27]

## ***Postup zkoušky***

Naše dva mosazné kroužky se zahřejí na teplotu asi o 90 °C vyšší než je předpokládaný bod měknutí a osadí se na odlévací destičku pokrytou separačním prostředkem. Stejně tak se nahřeje asfaltové pojivo, které se odlije do kroužků a nechá se zchladnout 30 minut na laboratorní teplotu. Po zchladnutí se odřízne přebytečné množství asfaltového pojiva nahřátým nožem tak, aby povrch vzorku byl zarovnan s okrajem kroužku. Kroužky se vloží do stojanu na kroužky, na ně se umístí středící prstence a poté se celá sestava vloží do nádoby s kapalinou (destilovaná voda). Na dno nádoby se vloží magnetické míchadlo. Lázeň by měla být 50 mm ± 3 mm nad horním okrajem kroužků. Poté je celá sestava vložena do lednice, kde je zchlazena na 5 °C ± 1 °C na dobu 15 minut. Před vložení sestavy do automatického zařízení se umístí kuličky do středících prstenců a vloží se teploměr. Lázeň se zahřívá rychlostí 5 °C za min. do doby, kdy kulička propadne asfaltovým pojivem. V tomto okamžiku se zaznamená teplota lázně. [27]

## ***Vyjádření výsledků***

Bod měknutí se získá jako aritmetický průměr obou teplot lázně při propadu kuliček. Pro bod měknutí nižší nebo rovný 80 °C se hodnota zaokrouhlí na nejbližší 0,2 °C. Pokud rozdíl mezi dvěma teplotami je větší než 1 °C a pro bod měknutí menší nebo rovno 80 °C, musí se zkouška provádět znovu. [27]



Obr. 4.5 Zkušební zařízení pro metodu Kroužek a kulička [25]

## **4.2.4 Stanovení penetrace jehlou**

Tato zkouška je popsána normou ČSN EN 1426 Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení penetrace jehlou. Podle této metody se stanoví konzistence asfaltů a asfaltových pojiv. [28]

### ***Podstata metody***

Měří se průnik normalizované jehly do vytemperovaného vzorku asfaltového pojiva. Penetrační jehla zatížená 100 g se nechá vnikat do vzorku 5 s při teplotě 25 °C. [28]

## ***Zkušební zařízení a pomůcky***

K této zkoušce je zapotřebí penetrometr (přístroj pro měření penetrace na nejbližších 0,1 mm), penetrační jehla předepsaných vlastností, nádoba na zkušební vzorek (minimální vnitřní průměr je 55 mm a maximální je 70 mm), vodní lázeň (s kapacitou 10 l a schopná udržovat teplotu  $\pm 0,15$  °C), přenášecí miska (s objemem minimálně 350 ml), zařízení na měření času a teploměry (viz obr. 4.6). [28]

## ***Postup zkoušky***

Asfaltové pojivo se nechá zahřát na teplotu až o 90 °C vyšší nad předpokládaný bod měknutí a naplní se do čisté nádoby na vzorky, která se naplní do výšky nejméně o 10 mm větší, než je předpokládaný průnik jehly. Jakmile se naplní nádobka, zakryje se z důvodu vyloučení vzduchových bublinek a zabránění znečištění povrchu prachem. Vzorky se zchladí na teplotu 15 °C až 30 °C a poté se umístí do vodní lázně s konstantní teplotou 25 °C na dobu 90 minut společně s přenášecí miskou.

Před provedením samotné penetrace jehlou je zapotřebí zkontrolovat jehlu, jestli se pohybuje volně ve vodícím zařízení. Penetrační jehla se očistí pomocí vhodného rozpouštědla a otře se čistým hadříkem. Vzorek se vloží do přenášecí misky, zalije se vodou z lázně a poté se miska se vzorkem umístí na podstavec penetrometru. Dále se jehla přiblíží do takové polohy, kdy se její hrot lehce dotkne povrchu vzorku. V tomto okamžiku se zaznamená nulová pozice jehly a nastaví se doba zatěžování 5 s a provede první stanovení. Na stupnici penetrometru se přečte naše hodnota penetrace. Poté se jehla vytáhne, očistí a provedou se další dvě stanovení penetrace. Vzdálenost jednotlivých vpichů od sebe by mělo být minimálně 10 mm. [28]

## ***Vyjádření výsledků***

Hodnota penetrace se určí jako aritmetický průměr platných stanovení penetrace. Maximální rozdíl mezi nejnižším a nejvyšším stanovením jsou maximálně dvě penetrační jednotky pro asfalty do 49. hodnoty, které se uvádí v desetínách milimetru zaokrouhlené na nejbližší celé číslo. [28]



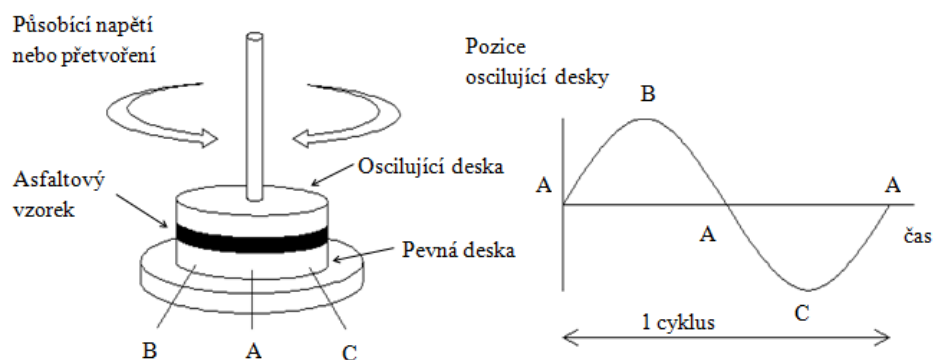
**Obr. 4.6 Penetrometr [25]**

## 4.2.5 Stanovení komplexního modulu ve smyku a fázového úhlu (DSR)

Tato zkouška je popsána normou ČSN EN 14770 Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení komplexního modulu ve smyku a fázového úhlu – Dynamický smykový reometr (DSR). Podle této metody lze stanovit komplexní smykový modul ( $|G^*|$ ) a úhel fázového posunu ( $\delta$ ) při různých zkušebních frekvencích a teplot. Metoda je použitelná pro nezestárlá, zestárlá a zpětně získaná pojiva. [29]

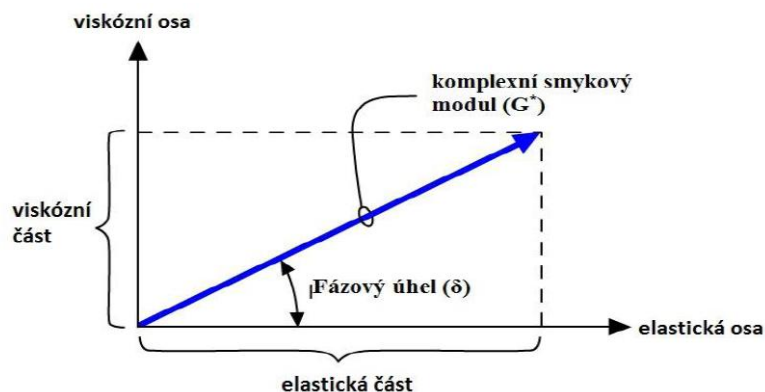
### Podstata metody

Na temperovanou zkušební soupravu se vzorkem asfaltu je aplikováno oscilující smykové napětí určité velikosti, kde se zjišťuje odezva deformace a smykového napětí vzniklé právě působícím točivým momentem a úhlovým pootočením (viz obr. 4.7). [29] [21]

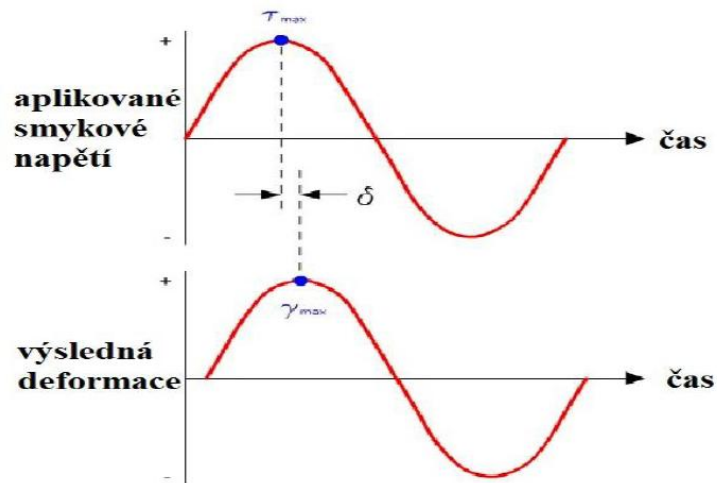


Obr. 4.7 Princip oscilace v DSR [21]

Asfaltové pojivo se chová jako viskoelastický materiál, kdy viskoelastická je vyjádřena pomocí komplexního smykového modulu ( $|G^*|$ ) a fázového úhlu ( $\delta$ ). Komplexní smykový modul určuje celkový odpor pojiva proti deformaci vystavený opakujícím smykovým zatížením. Skládá se ze složky elastické ( $G'$ ) a viskózní ( $G''$ ). Poměr mezi těmito složkami určuje fázový úhel ( $\delta$ ) (viz obr. 4.8, 4.9). Jak fázový úhel, tak i komplexní smykový modul je závislý na teplotě a frekvenci zatěžování, kdy za nízkých teplot se pojivo chová elasticky a za vysokých teplot viskózně. [21]



Obr. 4.8 Složky komplexního smykového modulu [1]



Obr. 4.9 Znáznornění fázového úhlu pomocí napětí a deformace [1]

### *Zkušební zařízení a pomůcky*

K této zkoušce je zapotřebí dynamický smykový reometr (DSR), formy, podložky nebo nádoby (v našem případě se jedná o podložky ze silikonu) a sušárna (umožňující regulaci teplot od 50 °C do 200 °C).

V našem případě byl použit reometr Kinexus britského výrobce Malvern, který umožňuje měření komplexního smykového modulu a úhlu fázového posunu při frekvencích 1 μHz až 150 Hz a teplot od -40 °C do 200 °C, krouticí moment přístroje je 0,05 μNm až 200 mNm při měření viskozity a oscilačních zkouškách. Reometr je schopen stanovit  $G^*$  v rozmezí od 1 kPa do 10 MPa a  $\delta$  v rozmezí od 0 ° do 90 ° (viz obr. 4.10). [29] [18]



Obr. 4.10 Rotační reometr KINEXUS [18]

## Postup zkoušky

Pro určení úhlu fázového posunu a komplexního smykového modulu je použita geometrie deska – deska. Nejčastěji jsou používány dvě základní geometrie průměru 25 mm a 8 mm. Zkouška začíná tím, že se nastaví nulová mezera mezi geometriemi. Ještě před vlastním vložením vzorku do reometru je potřeba destičky nahřát na teplotu 75 °C pro průměr 25 mm a 45 °C pro průměr 8 mm. Poté se vzorek pojiva umístí na spodní desku a horní deska je přimáčknuta na vzorek tak, aby byla zachována jeho předepsaná tloušťka. Přebytečné pojivo se seřízne zahřátým nožem. Pak spustíme přístroj, kdy nejprve se temperuje na zkušební teplotu a poté měření probíhá při frekvencích od 10 Hz do 0,1 Hz. Jakmile se dosáhne frekvence 10 Hz, sníží se zkušební teplota o 5 °C a proběhne znovu měření při snižující se frekvenci. Tento postup se opakuje až do konce zkoušky. [21]

## Vyjádření výsledků

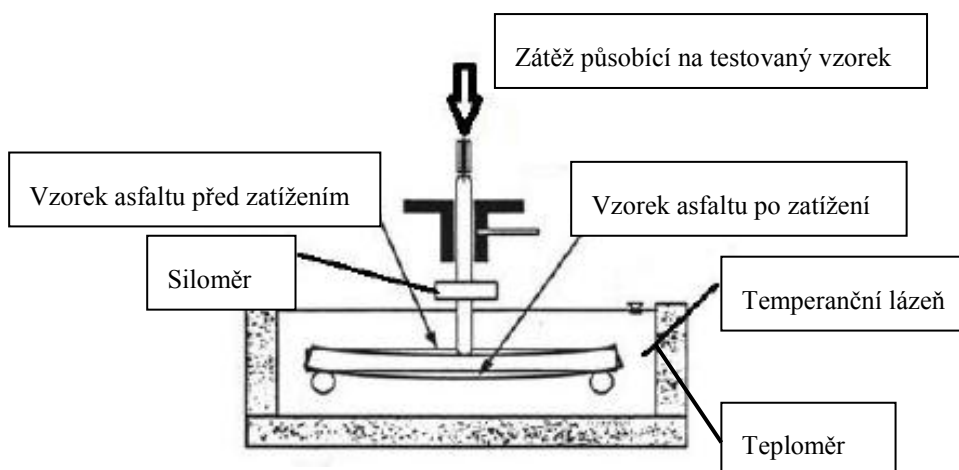
Výsledky se nejčastěji zobrazují pomocí tří grafů, kdy první diagram nám udává závislost mezi komplexním smykovým modulem a frekvencí, druhý diagram udává závislost mezi fázovým úhlem a frekvencí a třetí, který se již nazývá Blackův diagram, udává závislost mezi komplexním smykovým modulem a fázovým úhlem. [21]

### 4.2.6 Stanovení modulu tuhosti za ohybu pomocí průhybového trámečkového reometru (BBR)

Tato zkouška je popsána normou ČSN EN 14771 Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení modulu tuhosti za ohybu pomocí průhybového trámečkového reometru (BBR). Norma se zaměřuje na stanovení modulu tuhosti za ohybu při pomalém toku asfaltového pojiva v rozmezí od 30 MPa do 1 GPa za použití průhybového trámečkového reometru (viz obr. 4.11). [30]

#### Podstata metody

Podstatou je získání odolnosti asfaltu proti praskání za nízkých teplot. Průhyb se měří ve středu trámečku z asfaltového pojiva, kdy na střed se postupně vkládá konstantní zatížení. Modul tuhosti za ohybu se získá z ohybového napětí a deformace v čase. [30]



Obr. 4.11 Schéma průhybového trámečkového reometru [1]

## ***Zkušební zařízení a pomůcky***

K této zkoušce je zapotřebí průhybový trámečkový reometr, který se skládá ze zatěžovacího rámu, přístroje k měření teploty, kapalinové lázně, snímače dat a řídicího systému. Zatěžovací rám je složen z podpěr vzorku, zatěžovacího dřívku (o poloměru  $6,3 \text{ mm} \pm 0,3 \text{ mm}$ ), zatěžovacího článku (kapacita 2,5 mN až 2,0 N), prostředku k nulování zatížení, zařízení pro vkládání konstantního zatížení, převodníku k měření průhybu. Dále jsou ještě zapotřebí formy pro zkušební tělíska (velikosti  $6,4 \times 12,7 \times 127 \text{ mm}$ ). [30]

## ***Postup zkoušky***

Před samotným zkoušením je třeba vytvořit zkušební trámeček, který se vytvoří v normalizované kovové formě, která se před nalitím pojiva opatří separačním činidlem, aby poté vzorek vyklouzl z formy. Po nalití do formy a vychladnutí se horní část vzorku seřízne. Poté se vzorek vyjme z formy a uloží do kapalinové lázně a po dobu 60 minut se nechá vytemperovat na zvolenou teplotu zkoušení. Bezprostředně před zkoušením se změří tloušťka trámečku a pak se začne po dobu 240 s zatěžovat trámeček 100 g zatížením. Poté se změří průhyb, který by měl být v mezích od 0,08 mm do 4,0 mm, pokud není, je výsledek zkoušky nevěrohodný. [30]

## ***Výpočet a vyjádření výsledků***

Vytvoří se graf v závislosti naměřeného zatížení a naměřeného průhybu a vypočítá se modul tuhosti za ohybu v časech zatížení 8 s, 15 s, 30 s, 60 s, 120 s a 240 s podle následujícího vztahu (viz obr. 4.12): [30]

$$S(t) = \frac{PL^3}{4bh^3\delta(t)}, \quad (4.2.6)$$

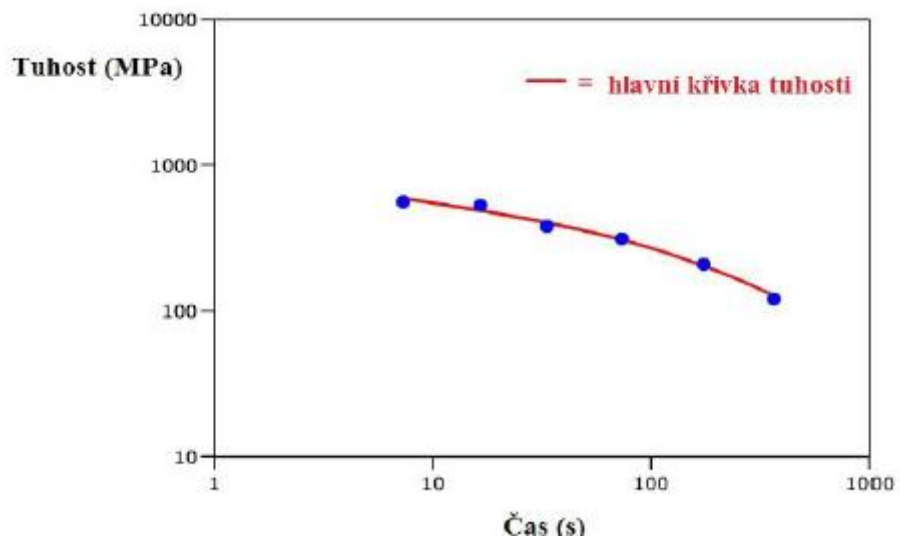
kde  $S(t)$  ... modul tuhosti za ohybu v čase  $t$  [MPa],  
 $L$  ... vzdálenost mezi podpěrami [mm],  
 $b$  ... šířka zkušebního tělíska [mm],  
 $h$  ... tloušťka zkušebního tělíska [mm],  
 $\delta(t)$  ... průhyb zkušebního tělíska v čase  $t$  [mm].

$M$  – hodnotu vypočítáme podle následujícího vzorce: [30]

$$m(t) = |B + 2 \times C \times \log(t)|, \quad (4.2.6)$$

kde  $B$  a  $C$  ... regresní koeficienty,  
 $t$  ... doba zatěžování [t].

V našem případě se použijí hodnoty v čase zatížení 60 s pro uvádění modulu tuhosti i pro  $m$  – hodnotu. Výsledek zaokrouhlíme na tři platná místa.



Obr. 4.12 Křivka tuhosti [1]

## 5 PRAKTICKÁ ČÁST – VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

### 5.1.1 Vyhodnocení výsledků zkoušek ACO 11+ (Domašov)

Hodnocená asfaltová směs ACO 11+ je asfaltový beton pro obrusnou vrstvu s maximální velikostí zrna 11 mm s vyšším podílem asfaltu. V této směsi je jako pojivo použitý modifikovaný asfalt PmB 45/80 RC od výrobce OMV. Směs obsahuje 15% R – materiálu, který byl dávkován při výrobě směsi za studena.

#### *Údaje o projektu*

Obec Domašov se nachází v Jihomoravském kraji, přes kterou vede silnice II/302, na které byl proveden zkušební úsek v délce 1,45 km. Při rekonstrukci došlo k výměně krytu v celé šíři hlavního dopravního prostoru. Navržená směs byla položena v tloušťce 4,0 cm.

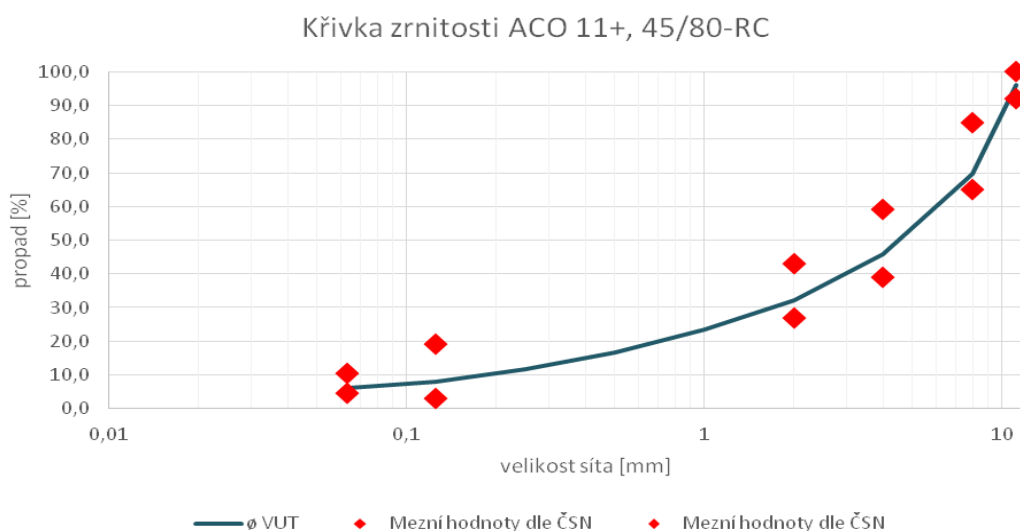
Základní údaje o pokládané vrstvě:

- Označení ACO 11+
- Obsah R – materiálu 15 %
- Použité pojivo OMV Starfalt PmB 45/80 RC
- Obsah nového pojiva 4,9 %
- Celkový obsah pojiva 6,0 %

#### *Obsah rozpustného pojiva*

Obsah rozpustného pojiva vyšel 6,1 % z celkové hmotnosti asfaltové směsi. Minimální obsah rozpustného pojiva u asfaltové směsi ACO 11+ je 5,6 %, což v tomto případě bylo použito o 8 % více pojiva, než je požadované minimum.

#### *Sítový rozbor*



Obr. 5.1 Křivka zrnitosti asfaltové směsi ACO 11+

Z obrázku 5.1 je patrné, že křivka zrnitosti kameniva asfaltové směsi je plynulá a pohybuje se v mezních hodnotách zrnitosti dle ČSN EN 13 108 – 1.

### ***Empirické zkoušky (penetrace a bod měknutí)***

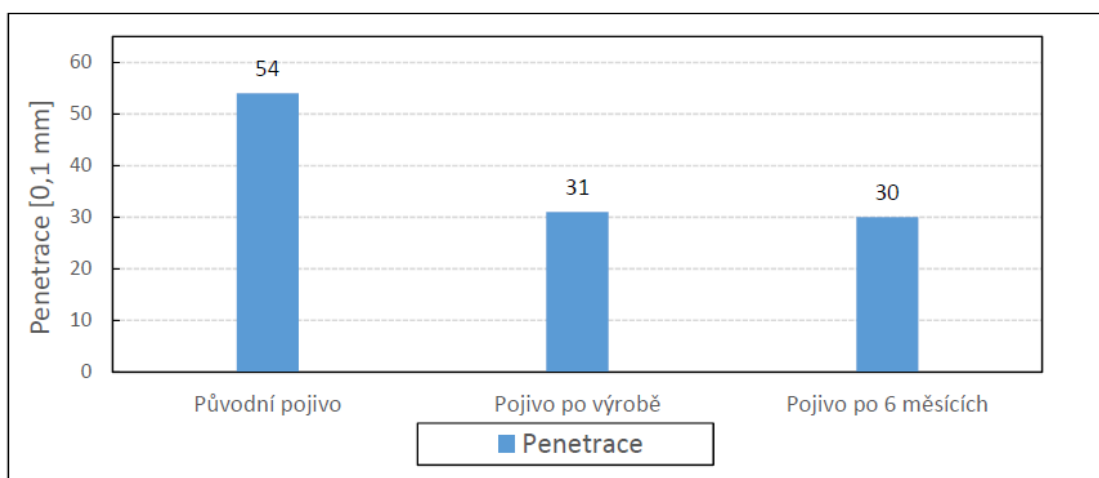
Nejprve byly porovnávány vzorky pojiva před pokládkou a poté po 6 měsících od pokládky asfaltové směsi pomocí empirických zkoušek, kdy byla stanovena hodnota penetrace a bodu měknutí.

Z tabulky 5.1 je zřejmé, že konzistence pojiva při zkoušce penetrace při 25 °C po 6 měsících vykazuje skoro stejnou hodnotu lišící se jen o 1 jednotku. Z normy ČSN EN 1426, která připouští rozdíl dvou jednotek pro pojiva s penetrací <49 jednotek na stejném materiálu, lze usoudit, že z hlediska penetrace nedošlo během sledovaného časového horizontu ke změně v konzistenci. Dále se hodnota bodu měknutí snížila o necelých 1,5 %, z čehož vyplývá, že u bodu měknutí také nedošlo k razantní změně během našeho sledovaného období. Hodnoty penetrace a bodu měknutí jsou uvedené v tabulce 5.1 a obrázku 5.2 a 5.3.

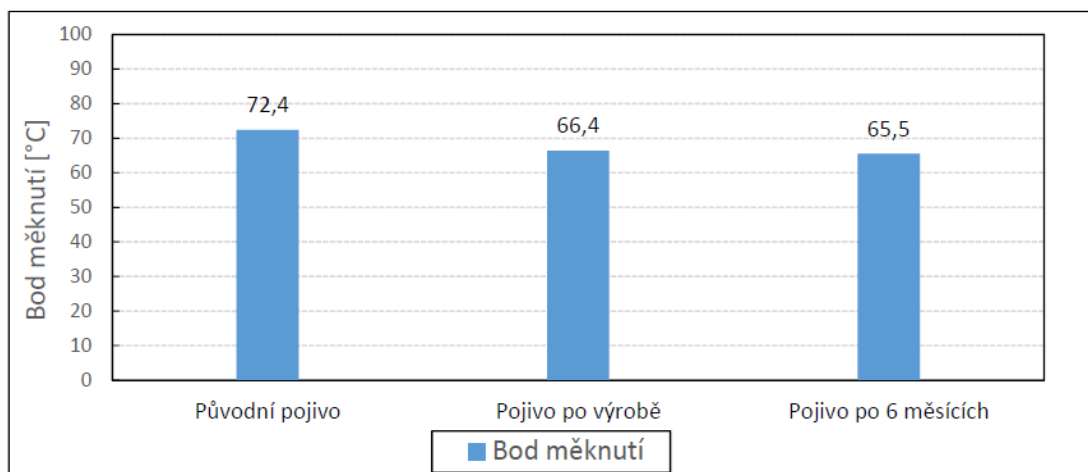
**Tab. 5.1 Výsledky empirických zkoušek penetrace a bodu měknutí**

Materiál	Penetrace [25 °C; 0,1 mm]	Bod měknutí [°C]
Původní pojivo	54	72,4
RAP	-	56
Pojivo po výrobě	31	66,4
Pojivo po 6 měsících	30	65,5

Vzhledem k naměřené penetraci je potřeba upozornit fakt, že hodnota penetrace po výrobě asfaltové směsi klesla o 42 % na 31 jednotek oproti naměřené hodnotě 54 jednotek původního pojiva před výrobou směsi. Toto snížení bylo způsobené při výrobě vlivem vysoké teploty, kdy dochází ke stárnutí pojiva, což má vliv na degradaci asfaltové směsi. Během výroby ztratí penetrace až 30 % své původní hodnoty. Podle ČSN EN 14023 splňuje polymerem modifikované pojivo, že rozdíl hodnoty penetrace před a po výrobě nebude větší než 45 %.



**Obr. 5.2 Graf jednotlivých penetrací**



Obr. 5.3 Graf jednotlivých bodů měknutí

### *Funkční zkouška DSR*

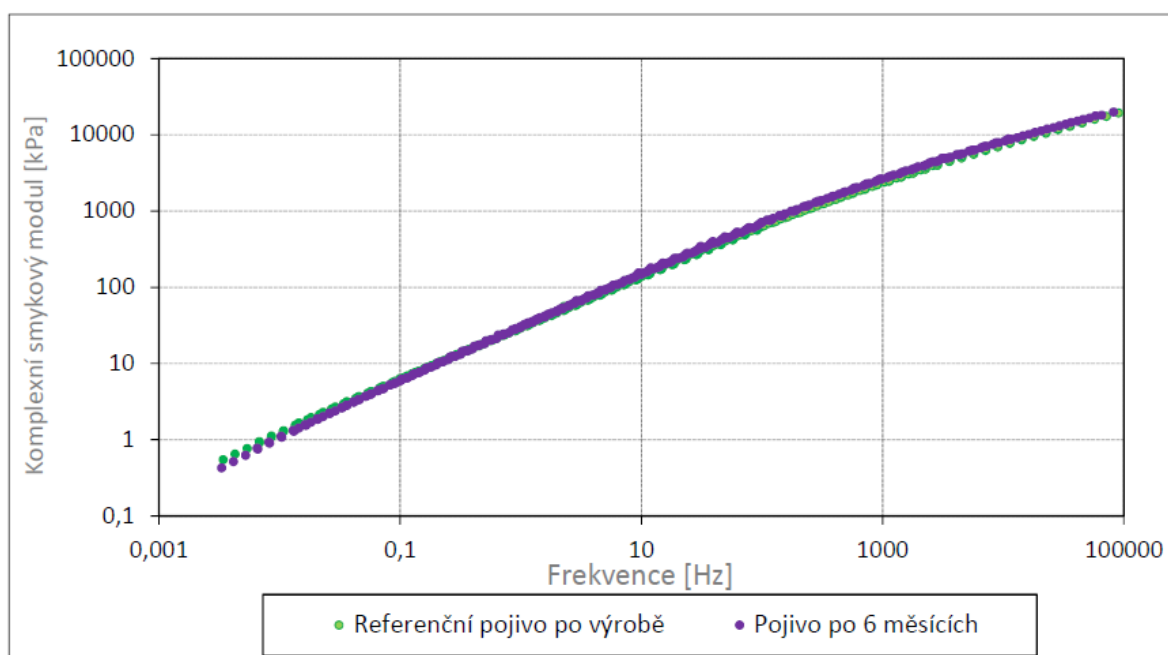
Stanovení komplexního smykového modulu  $G^*$  a fázového úhlu  $\delta$  bylo provedeno na dynamickém smykovém reometru při teplotním rozmezí 10 °C – 70 °C, v rozsahu zatěžování 0,1 Hz – 10 Hz.

Tab. 5.2 Srovnání hodnot komplexního smykového modulu a fázového úhlu při frekvenci zatěžování 1,59 Hz

Pojivo	OMV 45/80 RC							
	referenční				6 měsíců			
Stárnutí								
Parametr, 1,59 Hz	$G^*$ [kPa]	$G'$ [kPa]	$G''$ [kPa]	$\delta$ [°]	$G^*$ [kPa]	$G'$ [kPa]	$G''$ [kPa]	$\delta$ [°]
10 °C	11959,3	9220,7	7616,0	39,6	15060,7	11798,6	9360,4	38,4
15 °C	6211,9	4480,7	4302,4	43,8	7861,5	5763,4	5346,6	42,9
20 °C	2794,8	1828,3	2113,8	49,1	3494,2	2314,6	2617,6	48,5
25 °C	1427,0	867,3	1133,2	52,6	1786,6	1094,9	1411,8	52,2
30 °C	712,2	401,8	588,0	55,7	886,4	499,8	732,1	55,7
35 °C	339,7	178,1	289,3	58,4	416,8	215,0	357,1	59,0
40 °C	171,9	89,0	147,1	58,8	181,8	90,0	157,9	60,3
45 °C	81,1	40,7	70,1	59,9	84,4	40,0	74,3	61,7
50 °C	39,8	19,4	34,8	60,8	40,9	18,4	36,6	63,2
55 °C	20,0	9,6	17,5	61,3	20,4	8,9	18,4	64,2
60 °C	11,0	5,2	9,7	61,6	10,7	4,5	9,7	65,1
65 °C	6,6	3,1	5,8	62,4	6,2	2,5	5,7	66,2
70 °C	4,0	1,8	3,6	63,6	3,7	1,4	3,4	67,8

V tabulce 5.2 jsou zobrazeny parametry pojiva pro zatížení 1,59 Hz, které ukazují, že vlivem vysokých teplot dochází k poklesu modulu tuhosti u pojiva po 6 měsících. Tato skutečnost je v souladu se zkouškou Kroužek kulička. Nejpravděpodobněji bylo snížení tuhosti způsobené změnou vlastností polymerní přísady v asfaltovém pojivu. Chování polymerem modifikovaného asfaltu tak neodpovídá chování silničního asfaltu, kdy vlivem stárnutí dochází k opačnému efektu neboli ke zvýšení tuhosti pojiva. Při vysokých teplotách je vidět, že reálná složka komplexního modulu tuhosti  $G'$  je vyšší u referenčního pojiva, což má za následek, že pojivo je více elastické a dokáže lépe odolávat trvalým deformacím.

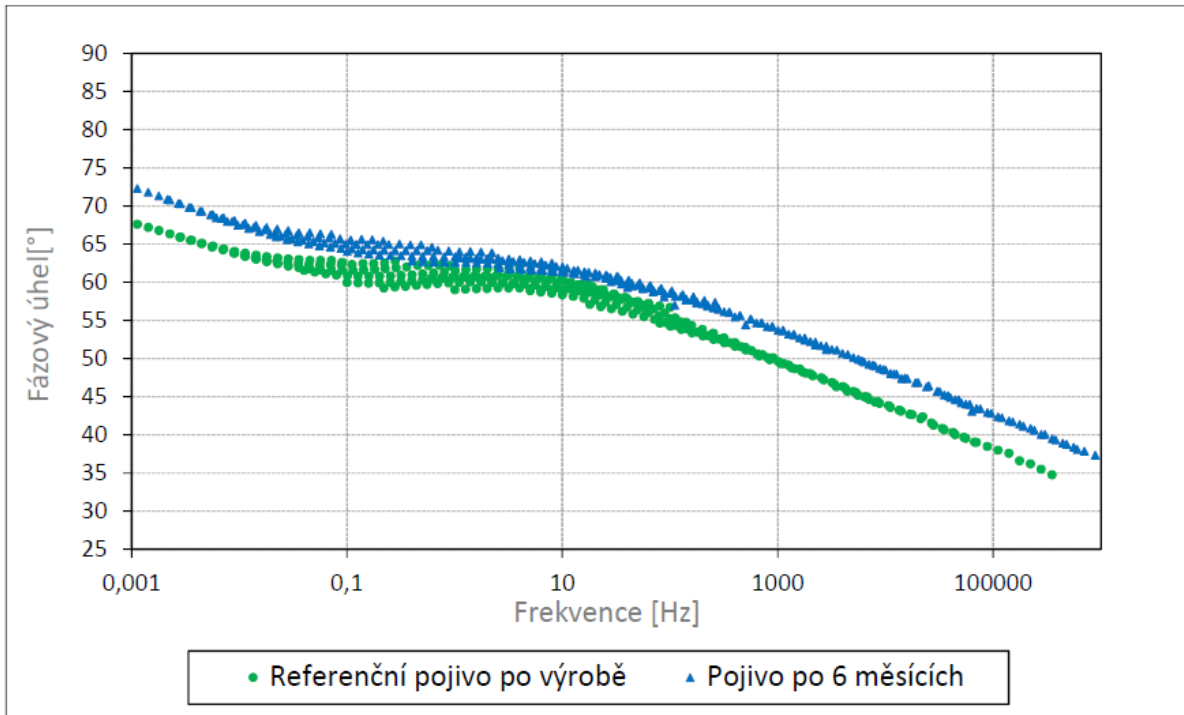
Na obrázku 5.4 je vidět porovnání hlavních kmenových křivek komplexních smykových modulů referenčního pojiva a pojiva po 6 měsících. Křivky jsou vytvořené metodou volného posunu pro teploty 10 °C – 70 °C a při zatěžovacích frekvencích 0,1 Hz – 10 Hz.



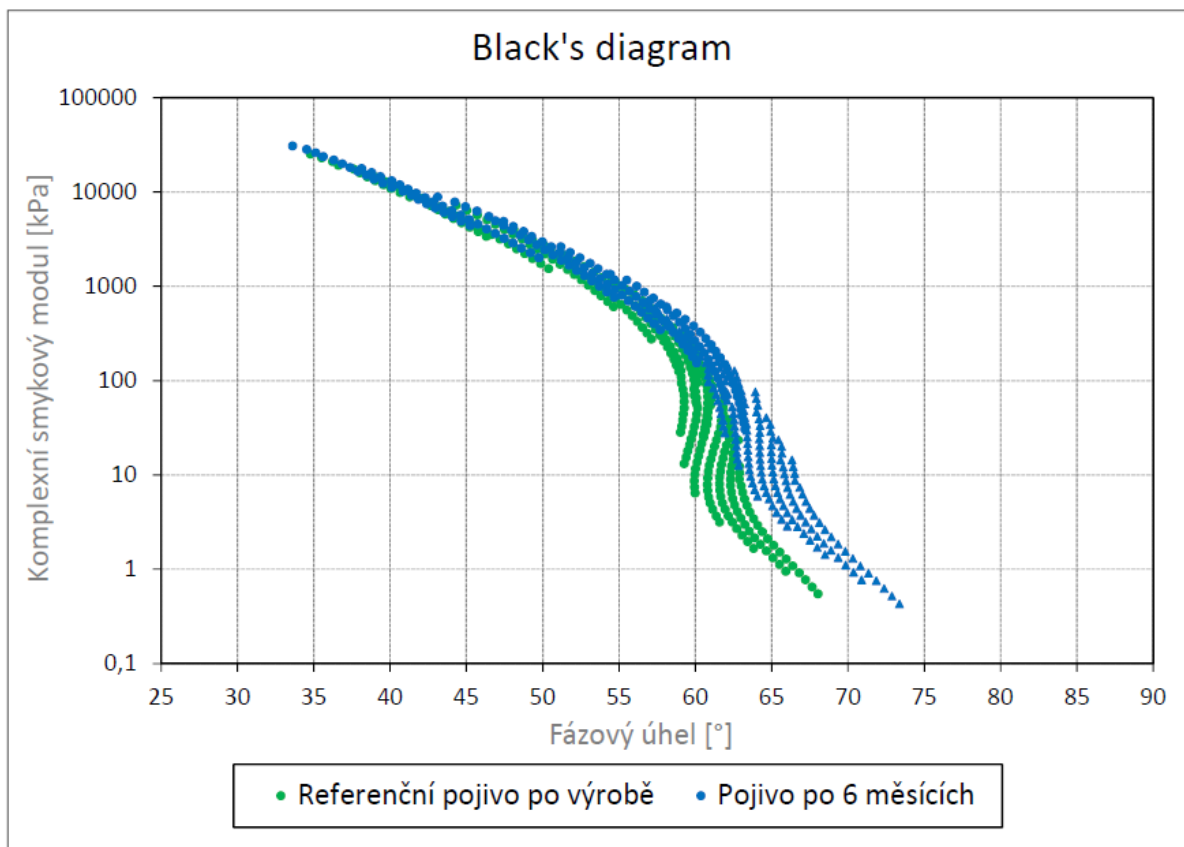
**Obr. 5.4 Porovnání hlavních křivek komplexních modulů pojiv (Master curves)**

Z obrázku 5.4 je vidět, že obě pojiva vykazují poměrně stejné tuhosti, z toho vyplývá, že pojivo po 6 měsících až tak mnoho nezestárla. Vykazuje jen při nízkých frekvencích a teplotách nepatrně nižší tuhost, což svědčí o vyšší teplotní citlivosti.

Na obrázku 5.5 jsou zobrazeny hlavní křivky fázového posunu, kdy referenční pojivo vykazuje nižší hodnotu fázového úhlu než pojivo po 6 měsících. To má za následek, že referenční pojivo po výrobě disponuje větší pružností, což vypovídá o tom, že čím menší fázový úhel, tím je materiál pružnější neboli elastičtější, kdy materiál se po odtížení vrací do původního stavu.



Obr. 5.5 Hlavní křivky fázového úhlu pojiv



Obr. 5.6 Blackův diagram

Obrázek 5.6 dává závislost komplexního smykového modulu na fázovém úhlu. Z diagramu je vidět, že referenční pojivo po výrobě má menší fázový úhel stejného komplexního smykového modulu než pojivo po 6 měsících.

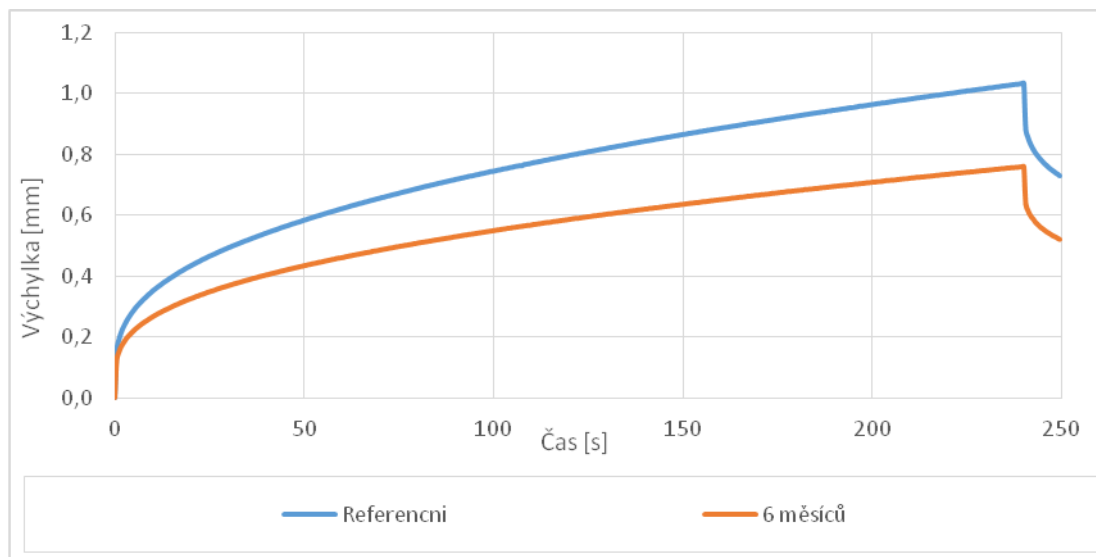
### ***Funkční zkouška BBR***

Měření nízkoteplotních vlastností pojiva bylo provedeno na průhybovém trámečkovém reometru, kdy střed trámečku byl zatěžován silou 950 mN po dobu 240 s. Z naměřených hodnot se vypočítal modul tuhosti za ohybu  $S_m$  neboli takzvaná m-hodnota. Zkouškou se zkoumala kritická teplota  $T_c$  při modulu tuhosti 300 MPa. Podle metodiky SHRP se uvažuje, že k tvorbě poruch ve vozovce formou mrazových trhlin dojde, když teplota klesne o 10 °C oproti kritické teplotě.

**Tab. 5.3 Porovnání nízkoteplotních vlastností a kritické teploty**

Pojivo	Hodnoty při teplotě -16°C		$T_c$	$T_c$
	m-hodnota [-]	modul tuhosti $S_m$ [MPa]	m-hodnota	$S_t$
Po výrobě	0,346	127,6	<b>-21,0</b>	-22,1
6 měsíců	0,337	170,5	<b>-20,3</b>	-21,1

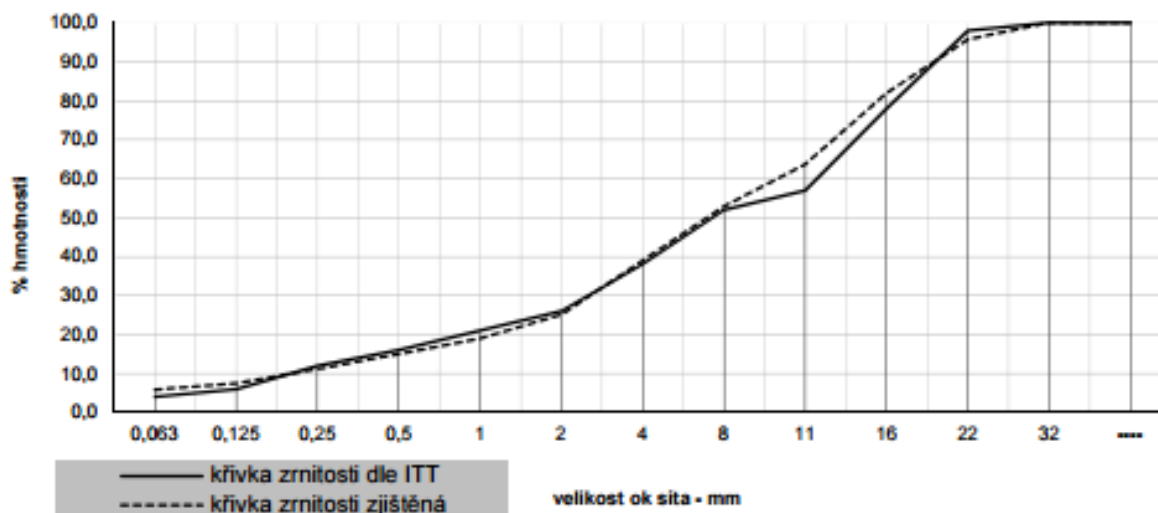
V tabulce 5.3 jsou shrnuty výsledky z měření nízkoteplotních vlastností, kdy zde je uvedeno srovnání m-hodnoty a modulu tuhosti při referenční teplotě -16 °C. Z výsledků je patrné, že u pojiva je po 6 měsících mírný pokles kritické teploty  $T_c$  a na druhou stranu je zřejmý vzrůst modulu tuhosti  $S_m$ , což vypovídá o tom, že pojivo se stalo křehčí.



**Obr. 5.7 Závislost nárůstu deformace na čase při teplotě -16 °C**



## Sítový rozbor



Obr. 5.9 Křivka zrnitosti asfaltové směsi ACL 22S [32]

Z obrázku 5.9 je patrné, že křivka zrnitosti zjištěná laboratoří M.S.I. je plynulá a odpovídá přibližně křivce zrnitosti dle ITT (Initial type testing), což jsou počáteční zkoušky pro všechny typy asfaltových směsí.

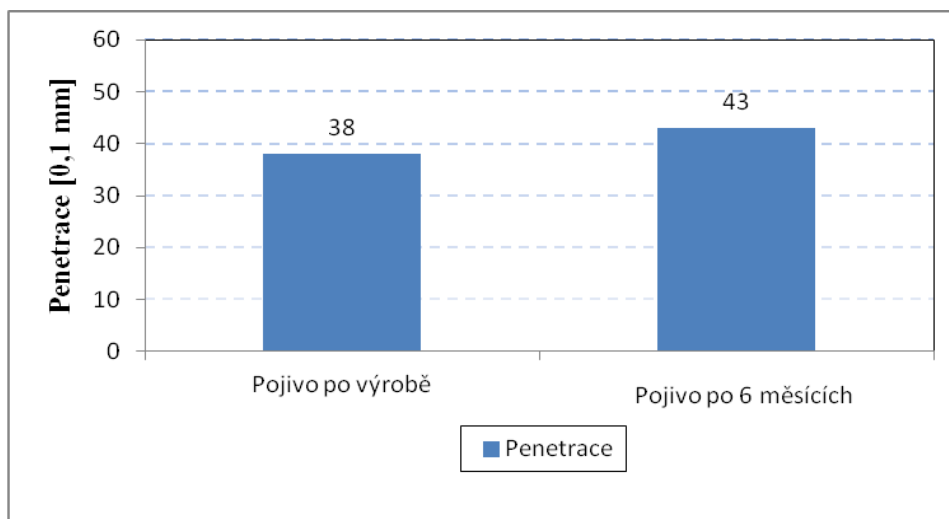
### *Empirické zkoušky (penetrace a bod měknutí)*

Nejprve byly porovnávány vzorky pojiva před pokládkou a poté po 6 měsících od pokládky asfaltové směsi pomocí empirických zkoušek, kdy byla stanovena hodnota penetrace a bodu měknutí.

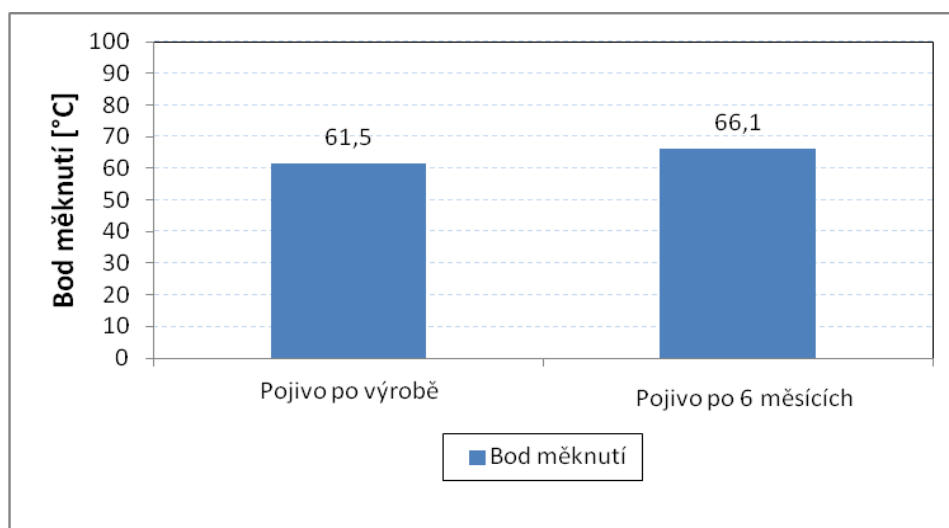
Z tabulky 5.4 je zřejmé, že konzistence pojiva při zkoušce penetrace při 25 °C po 6 měsících se liší o 5 jednotek, což nevyhovuje normou ČSN EN 1426, která připouští rozdíl 2 jednotek pro pojiva s penetrací <49 jednotek na stejném materiálu. Bod měknutí se zvýšil o 7 % oproti pojivu po výrobě. Hodnoty těchto empirických zkoušek vycházejí dosti odlišné, což nejspíše zapříčinilo odebrání vzorku směsi po 6 měsících, který byl vyroben v jiný den, než naše původní asfaltová směs těsně po výrobě. Hodnoty jsou znázorněné i v grafech (viz obr. 5.10, 5.11).

Tab. 5.4 Výsledky empirických zkoušek penetrace a bodu měknutí

Materiál	Penetrace [25 °C; 0,1 mm]	Bod měknutí [°C]
Pojivo po výrobě	38	61,5
Pojivo po 6 měsících	43	66,1



Obr. 5.10 Graf jednotlivých penetrací



Obr. 5.11 Graf jednotlivých bodů měknutí

### ***Funkční zkouška DSR***

Stanovení komplexního smykového modulu  $G^*$  a fázového úhlu  $\delta$  bylo provedeno na dynamickém smykovém reometru při teplotním rozmezí 10 °C – 70 °C, v rozsahu zatěžování 0,1 Hz – 10 Hz.

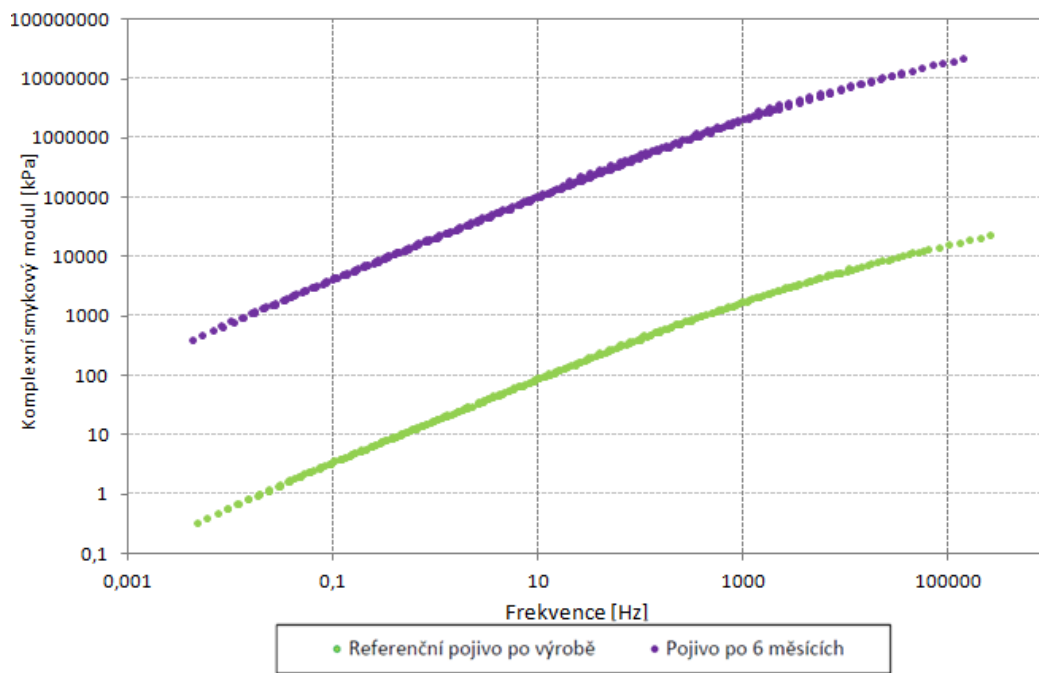
V tabulce 5.5 jsou zobrazeny parametry pojiva pro zatížení 1,59 Hz, které ukazují, že došlo k velkému nárůstu modulu tuhosti u pojiva po 6 měsících. Tato skutečnost je v souladu se zkouškou Kroužek a kulička. Toto velké zvýšení tuhosti bylo zapříčiněno nejspíše odebráním vzorku asfaltové směsi po 6 měsících z jiné části vozovky, který byl pokládán v jiný den, než odebraný vzorek asfaltové směsi těsně po výrobě. Z tohoto důvodu jsou výsledky kontraproduktivní.

**Tab. 5.5 Srovnání hodnot komplexního smykového modulu a fázového úhlu při frekvenci zatěžování 1,59 Hz**

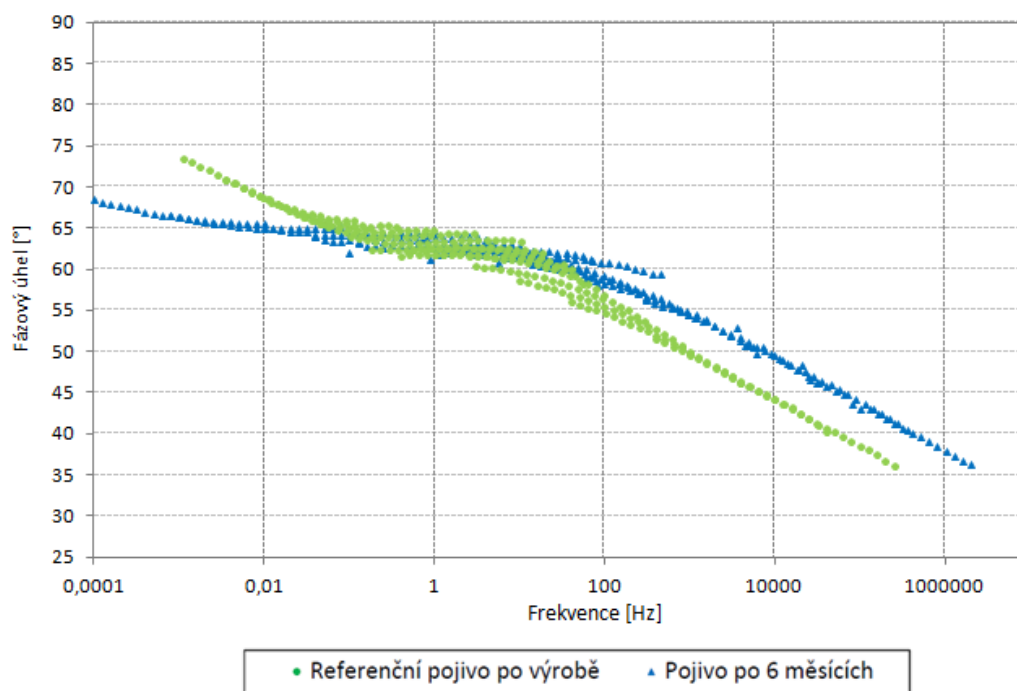
Pojivo	OMV 45/80 RC							
Stárnutí	referenční				6 měsíců			
Parametr, 1,59 Hz	$G^*$ [kPa]	$G'$ [kPa]	$G''$ [kPa]	$\delta$ [°]	$G^*$ [kPa]	$G'$ [kPa]	$G''$ [kPa]	$\delta$ [°]
10 °C	11116,3	8405,5	7274,6	40,9	10990000,0	8319000,0	7185000,0	40,8
15 °C	5598,8	3926,8	3990,8	45,5	5490000,0	3850000,0	3914000,0	45,5
20 °C	2384,2	1495,6	1856,7	51,2	2237000,0	1402000,0	1744000,0	51,2
25 °C	1166,3	672,7	952,8	54,8	1133000,0	655000,0	923900,0	54,7
30 °C	561,2	298,3	475,4	57,9	560200,0	299300,0	473500,0	57,7
35 °C	252,8	123,7	220,5	60,7	261200,0	129200,0	227100,0	60,4
40 °C	126,6	58,7	111,8	62,3	129300,0	60590,0	114200,0	62,1
45 °C	51,4	23,6	45,7	62,6	61330,0	28430,0	54350,0	62,4
50 °C	25,5	11,4	22,8	63,5	30670,0	13840,0	27370,0	63,2
55 °C	13,6	6,0	12,2	64,0	16080,0	7116,0	14420,0	63,7
60 °C	7,9	3,4	7,1	64,8	9194,0	3980,0	8288,0	64,4
65 °C	4,7	1,9	4,3	66,0	5403,0	2276,0	4901,0	65,1
70 °C	2,9	1,1	2,7	67,7	3291,0	1331,0	3010,0	66,1

Na obrázku 5.12 je vidět porovnání hlavních kmenových křivek komplexních smykových modulů referenčního pojiva a pojiva po 6 měsících. Křivky jsou vytvořené metodou volného posunu pro teploty 10 °C – 70 °C a při zatěžovacích frekvencích 0,1 Hz – 10 Hz. Hodnoty svědčí o tom, že modul tuhosti pojiva po 6 měsících se mnohonásobně zvětšil oproti původnímu referenčnímu pojivu po výrobě.

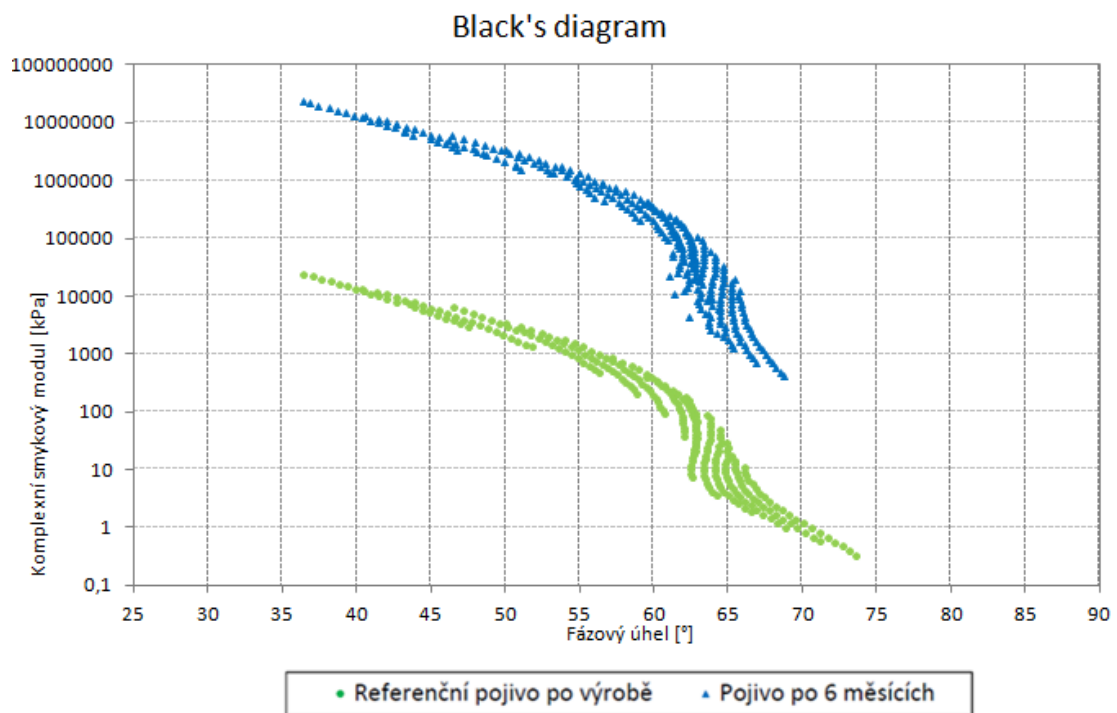
Na obrázku 5.13 je vidět srovnání hlavních křivek fázových úhlů jednotlivých pojiv s různou frekvencí zatěžování, kdy referenční pojivo po výrobě vykazuje při nízkých frekvencích větší fázový úhel, než pojivo po 6 měsících, jinak fázový úhel obou pojiv při stejné frekvenci se od sebe nijak moc neliší. Je fakt, že viskózní složky a elastické složky obou pojiv vykazují hodně odlišné hodnoty, proto se tyto hodnoty fázových úhlů nemůžou brát jako rovnocenné.



Obr. 5.12 Porovnání hlavních křivek komplexních modulů pojiv (Master curves)



Obr. 5.13 Hlavní křivky fázového úhlu pojiv



**Obr. 5.14 Blackův diagram**

Obrázek 5.14 udává závislost komplexního smykového modulu na fázovém úhlu. Z diagramu je vidět, že referenční pojivo po výrobě má mnohonásobně menší komplexní smykový modul a nepatrně vyšší fázový úhel než pojivo po 6 měsících, což je právě nejspíše způsobené kontraproduktivními výsledky.

## 6 ZÁVĚR

Pomocí provedených zkoušek byly porovnány vlastnosti polymerem modifikovaného pojiva OMV PMB 45/80 RC před výrobou asfaltové směsi, těsně po výrobě a po 6 měsících provozu.

Pro porovnání jednotlivých vlastností v čase byly použity následující zkoušky:

- Bod měknutí (metoda KK) dle ČSN EN 1427
- Penetrace jehlou dle ČSN EN 1426
- Komplexní modul ve smyku a fázový úhel pomocí DSR dle ČSN EN 14770
- Modul tuhosti v ohybu pomocí BBR dle ČSN EN 14771

### ***Pojivo OMV 45/80 RC na průtahu obce Domašov***

Empirickými zkouškami nebylo nic závratného zjištěno, pouze to, že penetrace asfaltového pojiva OMV 45/80 RC během výroby ztratila 42 % původní hodnoty penetrace před výrobou asfaltové směsi a bod měknutí se snížil celkově o 8 %. Tyto změny charakteristik pojiva byly vyvolané pravděpodobně pouze výrobou směsi a přidáním R – materiálu, který obsahoval zestárlé pojivo. Při zestárnutí asfaltového pojiva OMV 45/80 RC po 6 měsících nedošlo k výrazným změnám poklesu jejich hodnot.

Pomocí funkčních zkoušek, které jsou přesnější, bylo zjištěno, že komplexní smykový modul pojiva ( $G^*$ ) vyvolal po 6 měsících nepatrný pokles při nízké frekvenci zatěžování. Tento pokles vykazuje to, že se zvýšila teplotní citlivost pojiva, neboli se snížila tuhost pojiva. Fázový úhel ( $\delta$ ) se po 6 měsících zvýšil v celém průběhu teplot a frekvencí zatěžování, což má za následek, že referenční pojivo po výrobě bylo pružnější neboli více elastické. Dle zkoušky Stanovení modulu tuhosti na trámečkovém reometru byl zjištěn mírný nárůst modulu tuhosti pojiva, což je zapříčiněné změnou fyzikálních vlastností pojiva, kdy pojivo se stává křehčím a tužším.

### ***Pojivo OMV 45/80 RC na průtahu obce Lednice***

Vzhledem k tomu, že nám nebyly poslány výsledky penetrace a bodu měknutí před výrobou směsi, nemohli jsme provést porovnání ztráty hodnoty penetrace a bodu měknutí před výrobou asfaltové směsi a po výrobě směsi jako u komunikace II/302 Domašov. Dále u pojiva asfaltové směsi ACL 22S z Lednice nebyla provedena zkouška BBR, neboli Stanovení modulu tuhosti za ohybu pomocí průhybového trámečkového reometru.

Jak empirickými, tak funkční zkouškou DSR bylo zjištěno, že jednotlivé hodnoty referenčního pojiva po výrobě a pojiva po 6 měsících vykazují několikanásobné změny, kdy pomocí metody KK byl zjištěn rozdíl bodu měknutí o 7 % a metodou Penetrace jehlou byl zjištěn rozdíl o 12 %. Komplexní smykový modul pomocí zkoušky DSR byl posouzen tak, že pojivo po 6 měsících vyvolalo podstatně větší tuhost asfaltu než referenční pojivo po výrobě, což odpovídá i naměřené hodnotě bodu měknutí. Z těchto výsledků, které jsou dosti rozdílné, bylo usouzeno, že odebrání vzorku asfaltové směsi po 6 měsících bylo z jiné části vozovky, který byl pokládán v jiný den, než odebraný vzorek asfaltové směsi těsně po výrobě. Proto výsledky nemůžeme posoudit jako rovnocenné.

Na závěr bych chtěl doplnit, že doufám v to, že tyto dva zkušební úseky v České republice přinesou nové kvalitnější poznatky v oblasti použití nových technologií výroby asfaltových směsí s použitím modifikované asfaltu a R – materiálu a přimějí investory výstavby vozovek k využívání těchto technologií.

## 7 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] MATOUŠEK, Luboš. *Trvanlivost silničních asfaltů*. Praha, 2015. 58 s. Diplomová práce. Vysoká škola chemicko–technologická v Praze.
- [2] VARAUS, Michal. *Recyklace netuhých vozovek, Pozemní komunikace II*. Brno: VUT Brno, FAST, Ústav pozemních komunikací, 2012. Přednáška.
- [3] KOUDELKA, T.; VARAUS, M. Vliv variability asfaltového R-materiálu na jeho maximální dávkování. *Silniční obzor*, 2015, roč. 76, č. 12, s. 342-346. ISSN: 0322-7154.
- [4] ČSN EN 13108-8. *Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 8: R-materiál*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [5] *Úprava asfaltových vozovek firmy Siltek* [online]. 2016 [cit. 2016-05-13]. Dostupné z WWW: <siltek.cz>.
- [6] TP 209, *Recyklace asfaltových vrstev netuhých vozovek na místě za horka*. Praha: MINISTERSTVO DOPRAVY ČR, 2009.
- [7] ŘEZÁČ, Miloslav. *Systémy hospodaření s dopravní infrastrukturou*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební, Katedra dopravního stavitelství, 2013. Přednáška.
- [8] *Cold recycling in–plant firmy WIRTGEN* [online]. 2016 [cit. 2016-05-14]. Dostupné z WWW: <wirtgen-group.com>.
- [9] PAVLIČÍK, Petr. *Návrhy asfaltových směsí s využitím vyššího obsahu R-materiálu*. Brno, 2013. 97s., 12 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací.
- [10] *Recyklace asfaltových vozovek za studena* [online]. 2016 [cit. 2016-05-14]. Dostupné z WWW: <stavebni-technika.cz>.
- [11] TP 208, *Recyklace konstrukčních vrstev netuhých vozovek za studena*. Praha: MINISTERSTVO DOPRAVY ČR, 2009.
- [12] *Chapter 5. Hot mix asphalt recycling – Batch plant (Construction methods and equipment)* [online]. 2016 [cit. 2016-05-14]. Dostupné z WWW: <fhwa.dot.gov>.
- [13] TUHÁČEK, Martin. *Recyklace asfaltových směsí – variabilita vstupních parametrů R-materiálu*. Brno, 2015. 60 s., 14 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací.
- [14] *Finišery firmy AMMANN* [online]. 2016 [cit. 2016-05-14]. Dostupné z WWW: <ammann-group.cz>.
- [15] KARMÍN, Luboš. *R-materiál v asfaltových směsích*. Vysoké Mýto, 2010. 45 s. Odborná práce. Vyšší odborná škola stavební a Střední škola stavební ve Vysokém Mýtě.
- [16] ČSN EN 13108-1 OPRAVA 1. *Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 1: Asfaltový beton*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [17] MONDSCHNEIN, Petr; VALENTIN, Jan. *Problematika užití R-materiálu v asfaltových směsích za horka*. Konference asfaltové vozovky 2011, Praha. PRAGOPROJEKT 2011. ISBN 978-80-903925-2-6.

- [18] VARAUS, M. *Zkoušky asfaltových pojiv PmB 45/80 a PmB 45/80 RC*. 2013. s. 1-17.
- [19] *Zařízení pro stanovení odolnosti asfaltového pojiva proti stárnutí metodou RTFOT*. [online]. 2016 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z WWW: <admas.eu>.
- [20] *Tlaková nádoba pro zkoušku PAV*. [online]. 2016 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z WWW: <strojeprozkusebnictvi.cz>.
- [21] STRÁSAKOVÁ, Monika. *Stárnutí asfaltových pojiv*. Brno, 2016. 82 s., 98 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací.
- [22] ČSN EN 932-1. *Zkoušení všeobecných vlastností kameniva – Část 1: Metody odběru vzorků*. Praha: Český normalizační institut, 1997.
- [23] ČSN EN 12697-1. *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 1: Obsah rozpustného pojiva*. Praha: Český normalizační institut, 2001.
- [24] ČSN EN 12697-3. *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 3: Znovuzískání extrahovaného pojiva: Rotační vakuové destilační zařízení*. Praha: Český normalizační institut, 2001.
- [25] Vlastní fotodokumentace
- [26] ČSN EN 933-1. *Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor*. Praha: Český normalizační institut, 1998.
- [27] ČSN EN 1427. *Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení bodu měknutí – Metoda kroužek a kulička*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [28] ČSN EN 1426. *Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení penetrace jehlou*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [29] ČSN EN 14770. *Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení komplexního modulu ve smyku a fázového úhlu – Dynamický smykový reometr (DSR)*. Praha: Český normalizační institut, 2012.
- [30] ČSN EN 14771. *Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení modulu tuhosti za ohybu pomocí průhybového trámečkového reometru (BBR)*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [31] *Production sites firmy EAPA* [online]. 2016 [cit. 2016-05-23]. Dostupné z WWW: <eapa.org>.
- [32] PROTOKOL O ZKOUŠCE č. 424/15/ CL/RA, *Asfaltové směsi – stanovení obsahu rozpustného pojiva dle ČSN EN 12697-1, stanovení zrnitosti dle ČSN EN 12697-2+AI, objemová hmotnost asfaltového roztoku zkušebního tělesa dle ČSN EN 12697-6, maximální objemová hmotnost dle ČSN EN 12697-5, Opr. 1, mezerovitost dle ČSN EN 12698-8*. Hradec Králové: M.I.S. a.s., 2015.

## SEZNAM TABULEK

Tab. 3.1 Nejvyšší přípustný obsah R-materiálu v % hmotnosti asfaltové směsi [16].....	28
Tab. 3.2 Objem recyklace ve vybraných státech Evropy (r. 2011) [17].....	29
Tab. 3.3 Vlastnosti jednotlivých asfaltových pojiv [18].....	31
Tab. 3.4 Hodnoty penetrace, bodu měknutí a vratné duktility jednotlivých asfaltových pojiv [18].....	31
Tab. 5.1 Výsledky empirických zkoušek penetrace a bodu měknutí.....	48
Tab. 5.2 Srovnání hodnot komplexního smykového modulu a fázového úhlu při frekvenci zatěžování 1,59 Hz.....	49
Tab. 5.3 Porovnání nízkoteplotních vlastností a kritické teploty.....	52
Tab. 5.4 Výsledky empirických zkoušek penetrace a bodu měknutí.....	54
Tab. 5.5 Srovnání hodnot komplexního smykového modulu a fázového úhlu při frekvenci zatěžování 1,59 Hz.....	56

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 3.1 Dávkování přímo do míchačky šaržové obalovny [2].....	14
Obr. 3.2 Předehřívání v paralelním bubnu šaržové obalovny [2].....	14
Obr. 3.3 Metoda Drum – mix, kontinuální obalovny [2].....	15
Obr. 3.4 Schéma recyklace na místě za horka [7].....	16
Obr. 3.5 Recyklace v míchacím centru za studena [8].....	17
Obr. 3.6 Schéma recyklace na místě za studena [10].....	18
Obr. 3.7 Metoda frézování [12].....	19
Obr. 3.8 Schéma drtiče [12].....	20
Obr. 3.9 Granulátor R-materiálu [25].....	20
Obr. 3.10 Skladování R-materiálu [12].....	21
Obr. 3.11 Společné dávkování R-materiálu s předehřátým kamenivem [12].....	22
Obr. 3.12 Dávkování R-materiálu přes tzv. horký zásobník [12].....	22
Obr. 3.13 Dávkování R-materiálu do tzv. navažovacího zásobníku [12].....	23
Obr. 3.14 Dávkování R-materiálu přes tzv. dávkovací zásobník přímo do míchačky [12]....	24
Obr. 3.15 Dávkování R-materiálu s vlastním paralelním sušícím bubnem [12].....	24
Obr. 3.16 Pokládka asfaltové vrstvy [25].....	25
Obr. 3.17 Schéma obalovny [15].....	26
Obr. 3.18 Obalovna [25].....	26
Obr. 3.19 Zkušební zařízení pro metodu RTFOT [19].....	32
Obr. 3.20 Zkušební zařízení pro metodu PAV [20].....	33
Obr. 3.21 Zkušební zařízení pro metodu RCAT [21].....	33
Obr. 4.1 Zmenšování vzorku kvartací [22].....	35
Obr. 4.2 Přístroj pro extrakci rozpustného asfaltu [25].....	36
Obr. 4.3 Destilační přístroj [25].....	37
Obr. 4.4 Zkušební síta [25].....	39
Obr. 4.5 Zkušební zařízení pro metodu Kroužek a kulička [25].....	40
Obr. 4.6 Penetrometr [25].....	41
Obr. 4.7 Princip oscilace v DSR [21].....	42
Obr. 4.8 Složky komplexního smykového modulu [1].....	42
Obr. 4.9 Znázornění fázového úhlu pomocí napětí a deformace [1].....	43
Obr. 4.10 Rotační reometr KINEXUS [18].....	43
Obr. 4.11 Schéma průhybového trámečkového reometru [1].....	44
Obr. 4.12 Křivka tuhosti [1].....	46

Obr. 5.1 Křivka zrnitosti asfaltové směsi ACO 11+.....	47
Obr. 5.2 Graf jednotlivých penetrací.....	48
Obr. 5.3 Graf jednotlivých bodů měknutí.....	49
Obr. 5.4 Porovnání hlavních křivek komplexních modulů pojiv (Master curves).....	50
Obr. 5.5 Hlavní křivky fázového úhlu pojiv.....	51
Obr. 5.6 Blackův diagram.....	51
Obr. 5.7 Závislost nárůstu deformace na čase při teplotě -16 °C.....	52
Obr. 5.8 Závislost modulu tuhosti na čase při teplotě -16 °C.....	53
Obr. 5.9 Křivka zrnitosti asfaltové směsi ACL 22S [32].....	54
Obr. 5.10 Graf jednotlivých penetrací.....	55
Obr. 5.11 Graf jednotlivých bodů měknutí.....	55
Obr. 5.12 Porovnání hlavních křivek komplexních modulů pojiv (Master curves).....	57
Obr. 5.13 Hlavní křivky fázového úhlu pojiv.....	57
Obr. 5.14 Blackův diagram.....	58

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

cca ... cirka

Obr. ... obrázek

viz ... odkaz

Tab. ... tabulka

max. ... maximální

r. ... roku

KK ... Kroužek a kulička

tzv. ... takzvaný