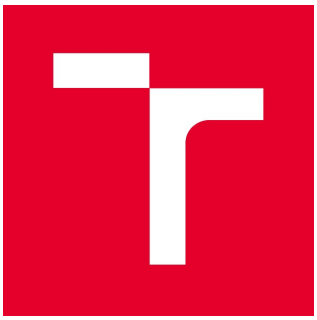


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ
INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

VLIV PŘÍDÁVÁNÍ ZESTÁRLÉHO ASFALTOVÉHO POJIVA NA VLASTNOSTI POLYMEREM MODIFIKOVANÝCH ASFALTŮ

INFLUENCE OF AGED BITUMINOUS BINDER ON THE PROPERTIES OF POLYMER MODIFIED BITUMENS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — Marek Pecha
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — doc. Dr. Ing. MICHAL VARAUS
SUPERVISOR

BRNO 2018

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	Marek Pecha
Název	Vliv přídávání zestárlého asfaltového pojiva na vlastnosti polymerem modifikovaných asfaltů
Vedoucí práce	doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Datum zadání	30. 11. 2017
Datum odevzdání	25. 5. 2018

V Brně dne 30. 11. 2017

doc. Dr. Ing. Michal Varaus	prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Vedoucí ústavu	Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

ČSN EN 13108-1 Asfaltový beton

ČSN EN 13108-8 R-materiál

ČSN EN 12697-35 Laboratorní výroba směsi

Kniha Technologie stavby vozovek - Jan Zajíček a kol.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Laboratorní příprava zestárlého pojiva a následné míchání s polymerem modifikovanými pojivy různé kategorie. Následné hodnocení polymerem modifikovaných pojiv v závislosti na množství přidaného zestárlého pojiva.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).

2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání 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 Varaus
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou polymerem modifikovaných pojiv, jež jsou speciálně určeny pro výrobu asfaltových směsí s obsahem R-materiálu. Tyto polymerem modifikovaná pojiva jsou v literatuře označována jako PMB RC (polymer modified bitumen for recycling). Během první části bakalářské práce byly získány různé druhy PMB RC od několika výrobců na evropském trhu. Tato pojiva byla následně zkoušena pomocí empirických zkoušek asfaltových pojiv za účelem jejich kategorizace podle ČSN EN 14023. V další části práce byl posuzován vliv přídavku zestárlého asfaltového pojiva na vlastnosti jednotlivých PMB RC. Míchání pojiv mělo za účel simulovat výrobu asfaltové směsi na obalovně, kdy dochází k míchání pojiva z R-materiálu a nově přidávaného čerstvého pojiva. Posouzení vlivu zestárlého pojiva na chování PMB RC bylo provedeno rovněž pomocí konvenčních zkoušek asfaltových pojiv.

KLÍČOVÁ SLOVA

Polymerem modifikovaný asfalt, recyklace, zestárlé pojivo, penetrace jehlou, bod měknutí, metoda kroužek a kulička, bod lámavosti podle Fraasse, vratná duktilita.

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with problematics of polymer-modified binders specially designed for production of asphalt mixtures containing Reclaimed Asphalt. These polymer-modified binders are referred to in the literature as PMB RC (polymer modified bitumen for recycling). The first part of the thesis is focused on obtaining different types of PMB RC from various european producers. These binders were subsequently tested using empirical tests of asphalt binders for the classification purposes according to ČSN EN 14023. In the next part of the thesis the influence of the addition of aged asphalt binder on the properties of individual PMB RC was assessed. Mixing of binders was done to simulate the production of asphalt mixture in a mixing plant, where the binder of the Reclaimed Asphalt and the freshly added binder are mixed together. An assessment of the effect of the aged binder on PMB RC behavior was also carried out using conventional asphalt binder tests.

KEYWORDS

Polymer modified bitumen, recycling, aged binder, needle penetration, softening point, ring and ball method, Fraasse breaking point, elastic recovery.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Marek Pecha *Vliv přídávání zestárlého asfaltového pojiva na vlastnosti polymerem modifikovaných asfaltů.* Brno, 2018. 52 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce doc. Dr. Ing. Michal Varaus

PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 22. 5. 2018

Marek Pecha
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce, doc. Dr. Ing. Michalovi Varausovi za vedení, při zpracování mojí práce. Velké poděkování patří Ing. Tomášovi Koudelkovi, za pomoc při zpracování práce. Dále děkuji všem zaměstnancům laboratoře Ústavu pozemních komunikací VUT FAST v Brně, především Pavlovi Strakovi za ochotu a rady. V neposlední řadě bych rád poděkoval celé své rodině, která mi byla oporou po dobu celého studia.

OBSAH

1. ÚVOD 10
2. TEORETICKÁ ČÁST 11
2.1. Asfaltová pojiva 11
2.1.1. Polymerem modifikovaná asfaltová pojiva 11
2.1.2. Výroba PMB 11
2.1.3. Produkce asfaltů 12
2.1.4. Recyklace asfaltových směsí s PMB a s R-materiálem 13
2.1.5. PMB RC 13
2.2. Konvenční zkoušky asfaltových pojiv 16
2.2.1. Příprava vzorků 16
2.2.2. Stanovení bodu měknutí – Metoda kroužek kulička 17
2.2.3. Stanovení penetrace jehlou 18
2.2.4. Stanovení vratné duktility 20
2.2.5. Stanovení bodu lámavosti podle Fraasse 22
3. CÍL PRÁCE 25
4. PRAKTICKÁ ČÁST 26
4.1. Použité materiály 26
4.2. Míchání PMB RC se zestárlým pojivem 26
4.3. Výsledky a vyhodnocení PMB RC pojiv 27
4.3.1. Stanovení bodu měknutí - Metoda kroužek a kulička 27
4.3.1.1. Pojiva kategorie 45/80 RC 27
4.3.1.2. Pojiva kategorie 25/55 RC 28
4.3.1.3. Shrnutí 29
4.3.2. Stanovení penetrace jehlou 29
4.3.2.1. Pojiva kategorie 45/80 RC 29
4.3.2.2. Pojiva kategorie 25/55 RC 31
4.3.2.3. Shrnutí 33

4.3.3. Stanovení vratné duktility 33
4.3.3.1. Pojiva kategorie 45/80 RC 33
4.3.3.2. Pojiva kategorie 25/55 RC 34
4.3.3.3. Shrnutí 35
4.3.4. Stanovení bodu lámavosti podle Fraasse 35
4.3.4.1. Pojiva kategorie 45/80 RC 35
4.3.4.2. Pojiva kategorie 25/55 RC 37
4.3.4.3. Shrnutí 39
4.4. Výsledky a vyhodnocení – vliv zestárlého pojiva 39
4.4.1. Stanovení bodu měknutí – Vliv zestárlého pojiva 39
4.4.1.1. Shrnutí 41
4.4.2. Stanovení penetrace jehlou – Vliv zestárlého pojiva 41
4.4.2.1. Shrnutí 43
4.4.3. Stanovení vratné duktility – Vliv zestárlého pojiva 43
4.4.3.1. Shrnutí 45
4.4.4. Stanovení bodu lámavosti podle Fraasse – Vliv zestárlého pojiva 45
4.4.4.1. Shrnutí 47
5. ZÁVĚR 48
6. POUŽITÁ LITERATURA 49
7. SEZNAM GRAFŮ 50
8. SEZNAM OBRÁZKŮ 51
9. SEZNAM TABULEK 52

1. ÚVOD

Stále rostoucí zatížení silniční sítě vyžaduje řádnou údržbu vozovek a kvalitní asfaltové směsi pro jejich výstavbu. V mnoha případech již klasická asfaltová pojiva nestačí a je proto třeba používat pojiva modifikovaná. Modifikované asfalty se v České republice začaly masově používat od devadesátých let minulého století. Používání modifikovaných asfaltů umožňuje zvyšovat únosnost a životnost asfaltových vozovek, čímž dochází i k splnění podmínky pro další rozvoj automobilové dopravy [1].

Hlavním trendem posledního desetiletí v Evropě je zpětné využití asfaltového R-materiálu, díky němuž může dojít jak k ekonomické úspoře, tak i k ekologické šetrnosti vůči přírodě. V České republice bohužel R-materiál není využíván, tak jako v některých zemích západní Evropy . To může být způsobeno jednak pochybami investorů o kvalitě směsí s R-materiálem, dále nezájmem zhotovitelů a nedostačující motivací zhotovitelů investovat do nových, poměrně drahých, technologií. V případě recyklace na obalovně za horka, může výsledná směs, při správném zpracování a homogenizaci R-materiálu, dosáhnout výsledků srovnatelných s asfaltovou směsí, která jej neobsahuje [2].

V České republice se neustále zvyšuje výroba asfaltových směsí s použitím polymerem modifikovaného asfaltového pojiva (PMB - Polymer Modified Bitumen). Z tohoto důvodu je patrné, že v následujících letech bude zvyšovat i množství R-materiálu s obsahem PMB. Máme-li zájem správně využít potenciál R-materiálu s obsahem PMB, bude nutné určit předpisy, jak je co nejefektivněji použít při výrobě asfaltových směsí s PMB tak, aby kvalita těchto směsí odpovídala kvalitě konvenčních směsí, což jsou směsi bez podílu jakéhokoli druhu R-materiálu [3].

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1. Asfaltová pojiva

2.1.1. Polymerem modifikovaná asfaltová pojiva

Jedná se o asfaltové pojivo, jehož reologické vlastnosti jsou při výrobě upraveny polymerem. Díky použití polymerů se snižuje teplotní citlivost asfaltů, zvyšuje soudržnost směsi a zlepšují se reologické vlastnosti (větší odolnost na mechanické namáhání). Takové pojivo je v anglických textech označeno zkratku PMB.

2.1.2. Výroba PMB

Pro modifikaci asfaltů se v dnešní době používají především speciálně vyrobené polymery. Polymerem modifikované asfalty se získávají příslušnou metodou, buď přímo při výrobě v rafinérii, nebo výrobou ve speciálních modifikačních stanicích. Polymerem modifikovaný asfalt se dodává jako finální výrobek, připravený k okamžitému použití. Pro dopravu, skladování a zpracování jsou zapotřebí stejná bezpečnostní opatření, která jsou obvyklá pro běžná asfaltová pojiva. Ovšem teploty pro manipulaci s PMB bývají obecně vyšší.. Polymery používané k modifikaci lze rozdělit na elastomery a plastomery. Jako nejčastěji používaný modifikátor ze skupiny elastomerů se používá kombinace styren/butadien (SBS, SBR apod.). Ze skupiny elastomerů je hojně používán etylen vinil acetát (EVA). Dále lze použít i reaktivní terpolymery (RET), pryžový granulát (CR). Polymer se zpravidla přidává jako pevná látka granulát nebo prášek, popřípadě také jako kapalina ve formě emulze nebo roztoku [3].

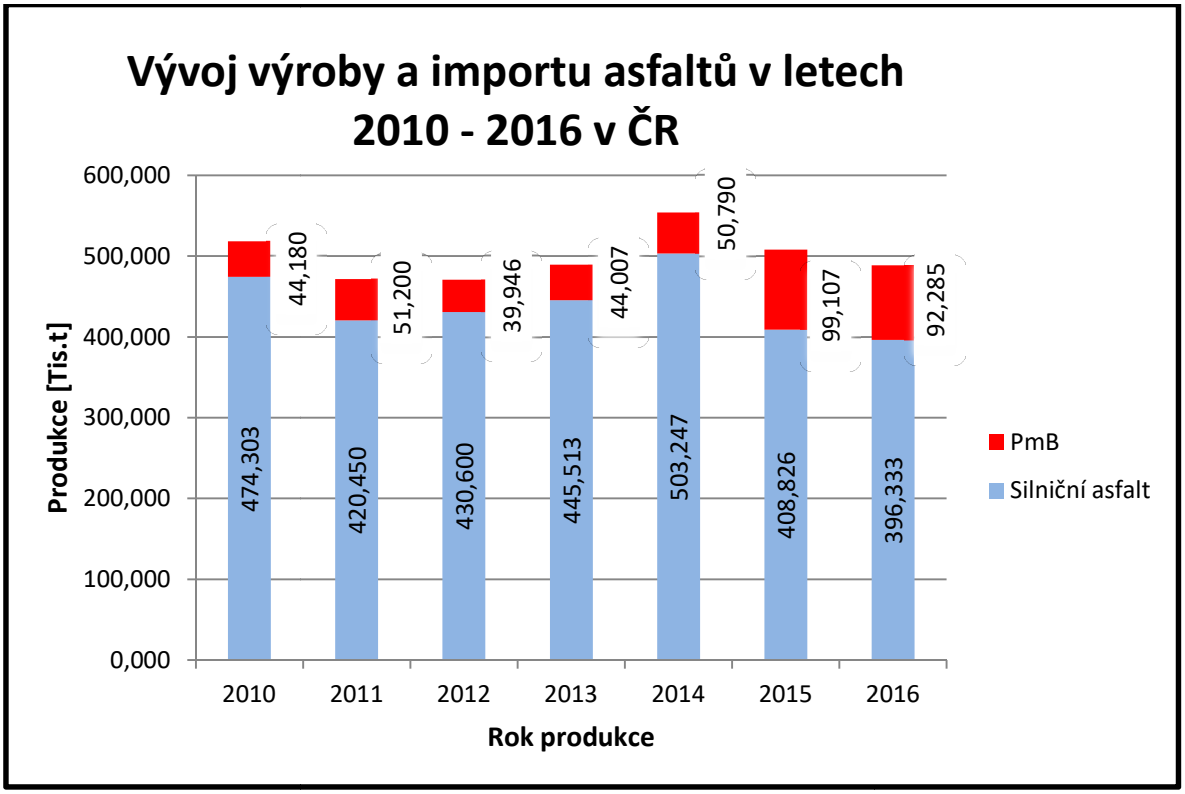
2.1.3. Produkce asfaltů

V tabulce 1 a grafu 1 můžeme zaznamenat vývoj výroby a importu silničních asfaltu a polymerem modifikovaných asfaltů (PMB) v České republice v letech 2010 – 2016.

Tabulka 1: Vývoj výroby a importu asfaltů v letech 2010 -2016 v ČR [4]

Vývoj výroby a importu asfaltů v letech 2010 – 2016 v ČR				
Rok	Silniční asfalt [Tis. t]	PMB [Tis. t]	Poměr výroby [%]	
2010	474,303	44,180	91,5	8,5
2011	420,450	51,200	89,1	10,9
2012	430,600	39,946	91,5	8,5
2013	445,513	44,007	91,0	9,0
2014	503,247	50,790	90,8	9,2
2015	408,826	99,107	80,5	19,5
2016	396,333	92,285	81,1	18,9

Graf 1: Vývoj výroby a importu asfaltů v letech 2010 -2016 v ČR [4]



Při pohledu na údaje v tabulce 1 a grafu 1, je patrné, že produkce asfaltů spíše stagnuje. Ovšem výroba asfaltů polymerem modifikovaných v posledních dvou letech rapidně vzrostla, přičemž produkce silničních asfaltů poklesla.

2.1.4. Recyklace asfaltových směsí s PMB a s R-materiálem

Použití R-materiálu v asfaltových směsích s PMB se sebou přináší několik specifik a omezení. Nejdůležitější informací je, zda je R-materiál s modifikovaným asfaltem, popřípadě zjištění vlivu degradace R-materiálu s PMB. Tento fakt, může zásadně změnit výsledné funkční vlastnosti směsi. Z tohoto důvodu by se mělo s recyklovaným materiálem začít zacházet systematicky, jedná se o skladování a zacházení, aby nedošlo z promíchání s jiným typem R-materiálu. Problémem je i samotné frézování vozovek, z tohoto důvodu je nutné frézovat jednotlivé konstrukční vrstvy samostatně.

Jak je možné se dočíst výše v části 2.1.2., pojiva obsažená v R-materiálu mohou být velmi různorodá. Lišit se mohou z pohledu kvality, tak z pohledu složení, tedy způsobu modifikace, použitých přísad aj. Tyto odlišnosti a specifika není možné detekovat běžnými zkouškami R-materiálu. Pro určení může být pouze vypočítána hodnota penetračního indexu, kdy u modifikovaných pojiv často přesahuje 0,7 jednotek (běžná maximální hodnota u silničních asfaltů). Pokud by bylo vyžadováno ověření použití modifikovaného pojiva v R-materiálu, bylo by nutné použít například zkoušku vratné duktility dle ČSN EN 13398, zkoušku tažných vlastností metodou silové duktility dle ČSN EN 13589, měření na dynamickém smykovém reometru dle ČSN EN 14770 s následným vyhodnocením Blackova diagramu nebo použití některé z moderních analytických metod, mezi které se řadí například infračervená spektrometrie (FTIR) [3].

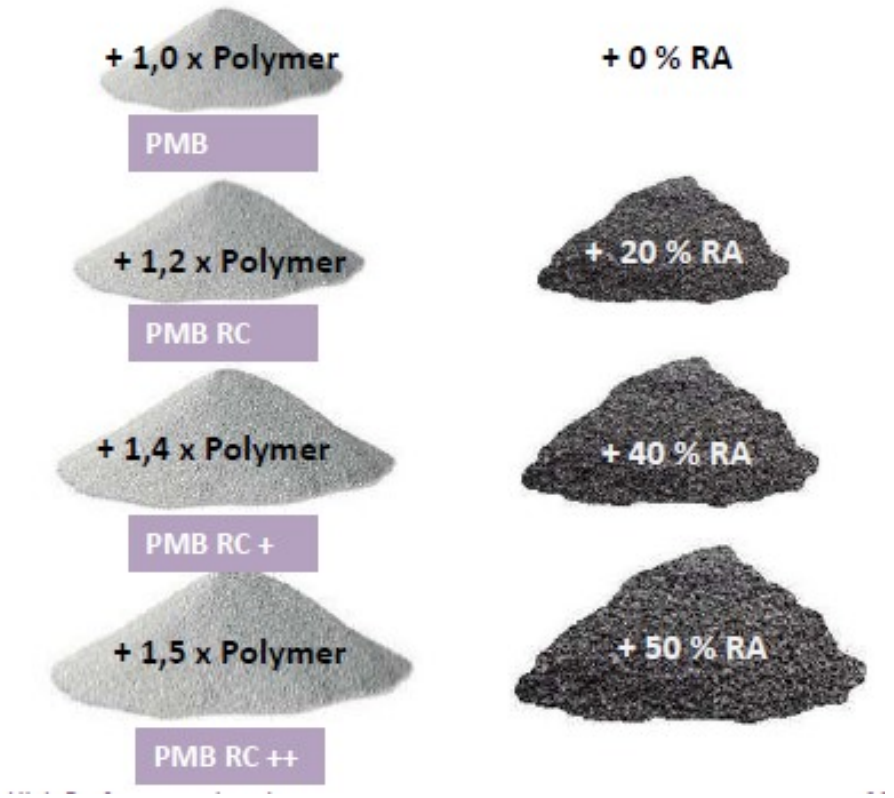
2.1.5. PMB RC

Jedná se o speciálně navržené modifikované pojivo určené pro účely recyklace. PMB RC se při porovnání s konvenčním PMB zpravidla vyznačuje vyšším stupněm modifikace, přičemž pro výrobu může být například použito měkčího vstupního asfaltu, rejuvenátoru nebo pojivo může být chemicky zesíťované. Výsledkem by měla být vyšší kvalita těchto pojiv, která se může projevit například vyšší elasticitou nebo lepšími nízkoteplotními vlastnostmi.

Princip výroby PMB RC můžeme vidět na obrázku 1. Použitím tohoto speciálního pojiva s R-materiálem, tak není nutně snížena kvalita vyráběné asfaltové směsi. Tabulka 2 nám specifikuje PMB pro výrobu směsi. V porovnání s běžnými polymerem modifikovanými pojivy jsou vlastnosti PMB RC:

- Bod měknutí se zvyšuje (vlivem vyššího stupně modifikace)
- Penetrace se nemění
- Bod lámavosti klesá
- Vratná duktilita se zvyšuje

Obrázek 1: Princip PMB RC [3]



Tabulka 2: Specifikace polymerem modifikovaných asfaltů pro asfaltové směsi [5]

Vlastnost	jednotky	zkušební metoda	**10/40-65**	**25/55-60**	**25/55-65**	**45/80-55**	**45/80-65**	**45/80-75**	**40/100-65**
penetrace, 25°C	0,1 mm	ČSN EN 1426	10-40	25-55	25-55	45-80	45-80	45-80	40-100
bod měknutí	°C	ČSN EN 1427	≥ 65	≥ 60	≥ 65	≥ 55	≥ 65	≥ 75 [b]	≥ 65
silová duktilita teplota zkoušky [a]	J/cm^2 °C	ČSN EN 13589	≥ 1 15	≥ 2 10	≥ 3 10	≥ 1 5	≥ 3 5	≥ 3 5	≥ 3 5
bod lámavosti	°C	ČSN EN 12593	≤ -5	≤ -12	≤ -12	≤ -15	≤ -15	≤ -18	≤ -18
vratná duktilita, 25 °C	%	ČSN EN 13398	≥ 50	≥ 60	≥ 70	≥ 60	≥ 70	≥ 80	≥ 70
odolnost proti stárnutí změna hmotnosti zbylá penetrace změna bodu měknutí vratná duktilita, 25 °C	 % % °C %	ČSN EN 12607-1	 ≤ 0,5 ≥ 60 -2/+8 ≥ 50	 ≤ 0,5 ≥ 60 -2/+8 ≥ 50	 ≤ 0,5 ≥ 60 -5/+10 ≥ 60	 ≤ 0,5 ≥ 60 -2/+8 ≥ 50	 ≤ 0,5 ≥ 60 -5/+10 ≥ 60	 ≤ 0,5 ≥ 60 -5/+10 ≥ 70	 ≤ 0,5 ≥ 60 -5/+10 ≥ 60
bod vzplanutí	°C	ČSN EN ISO 2592	≥ 235	≥ 235	≥ 235	≥ 235	≥ 235	≥ 235	≥ 235
skladovací stabilita rozdíl bodu měknutí	°C	ČSN EN 13399	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5

[a] Dojde-li k předčasnému přetržení, je dovoleno zvýšit zkušební teplotu o 5 °C.

[b] Zkouška bodu měknutí se provede v glycerínové lázni.

Použití PMB RC v okolních zemích

V okolních zemích mají zkušenost s používáním především v Německu, kde koncept PMB RC vznikl a dále pak v Rakousku.

NĚMECKO - Trend používání PMB RC pojiv je na německém trhu je všeobecně stoupající. Nejběžněji používané pojivo je kategorie 25/55-55 RC.

RAKOUSKO - V Rakousku je dominantně používaná kategorie pojiva 45/80-65. Trend v používání PMB RC je také stoupající. **Bližší informace o dosud nabitých zkušenostech s použitím PMB RC jsou uvedeny například [6].**

2.2. Konvenční zkoušky asfaltových pojiv

2.2.1. Příprava vzorků

Jako první krok při laboratorním měřením je rozlití pojiva do vhodných zkušebních forem. Nejprve musíme vložit nádobu s asfaltovým pojivem do laboratorní pece a zahřívat na předepsanou teplotu, v našem případě na 160°C, po dobu 120-150 minut. Při dosažení dostatečně nízké viskozity asfaltového pojiva je nezbytné pojivo důkladně promíchat, aby došlo k jeho homogenizaci. Následně bezpečnou manipulací odléváme pojivo do jednotlivých zkušebních forem. Tímto krokem máme připravený vzorek pro stanovení penetrace, bodu měknutí, silové i vratné duktility. Následně po vychladnutí pojiva ve zkušebních formách na běžnou laboratorní teplotu (cca 1-1,5 hodiny po nalití pojiva do forem), pomocí vhodného nástroje seřežeme přečnívající část vzorku.

Obrázek 2: Příprava forem s asfaltovým pojivem

2.2.2. Stanovení bodu měknutí – Metoda kroužek kulička

Tuto konveční zkoušku asfaltových pojiv popisuje norma ČSN EN 1427 - Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení bodu měknutí - Metoda kroužek a kulička.

Podstata metody

Podstatou této zkoušky je určení teploty bodu měknutí asfaltového pojiva. Dva mosazné kroužky naplněné asfaltovým pojivem, na které je umístěna ocelová kulička, jenž jsou umístěny do kapalinové lázně, kde dochází k jejich zahřívání řízenu rychlostí. Bod měknutí se zaznamenává jako průměr teplot, při kterých vrstva pojiva dosáhne takové konzistence, při které dojde k propadu ocelových kuliček asfaltovým pojivem o vzdálenost 25,0mm ±0,4mm [7]. Bod měknutí charakterizuje chování asfaltového pojiva za vysokých teplot. Během zkoušky dochází k deformaci vzorku pojiva, která se zvyšuje spolu se zvyšující se teplotou. Jedná se o empirickou zkoušku.

Postup zkoušky

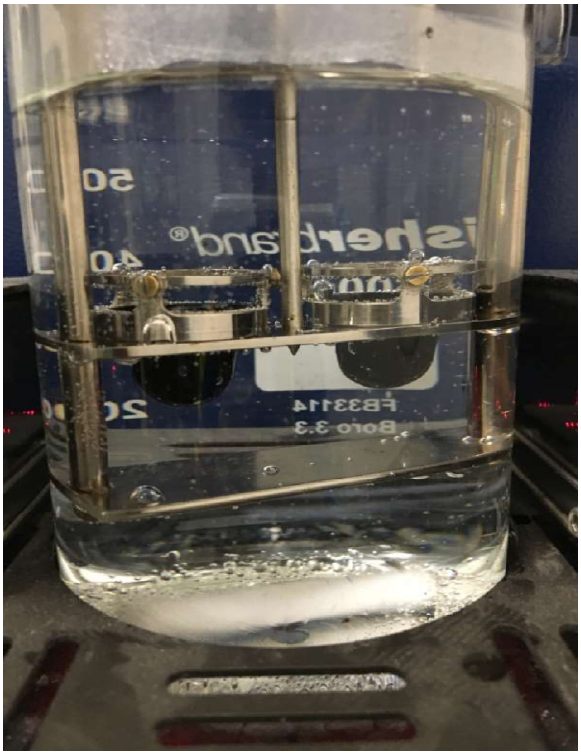
Nejdříve zvolíme kapalinu lázně a to s ohledem na předpokládanou teplotu bodu měknutí:

- Bod měknutí v rozmezí 28°C - 80°C - Převařená destilovaná voda nebo neionizovaná voda, počáteční teplota lázně 5°C ± 1°C
- Bod měknutí v rozmezí 80°C – 150°C – Glycerin, počáteční teplota lázně 30°C ± 1°C

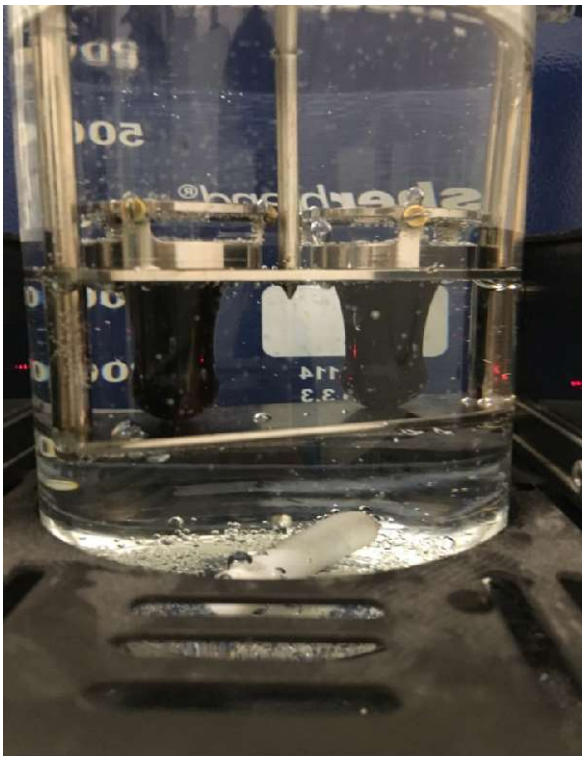
Následuje zasazení mosazných kroužků se seříznutými vzorky do držáku, následně nasadíme středící zařízení pro kuličky. Celou sestavu nyní můžeme vložit do skleněné kádinky naplněné vhodnou kapalinu lázně tak, aby povrch kapaliny byl 50mm ± 3mm nad horním okrajem kroužků. Sestavu je nutné nechat temperovat na předepsanou teplotu dle použité kapaliny po dobu 15minut. Po natemperování umístíme pomocí chemických kleští do každého ze středících zařízení ocelovou kuličku. Je důležité, aby ocelové kuličky měly předepsanou teplotu, jako celá sestava. Nyní sestavu umístěnou v kádince vložíme do laboratorního přístroje, ovšem nesmíme zapomenout vložit teploměr a magnetické tyčinku, díky které dochází k promíchávání kapaliny. Spuštěním přístroje začneme ohřívat kádinku s kapalinou konstantní rychlostí 5°C/min. Se zvyšující teplotou se asfaltové pojivo stává měkčí, zkouška končí v okamžiku, kdy se asfalt obklopující kuličku dotkne paprsku světla automatického přístroje.

Nyní je zkouška v konečné fázi, zapíšeme naměřené hodnoty a vyjmeme měřící sestavu [7].

Obrázek 3: Propad kroužek - kulička



Obrázek 4: Propad kroužek - kulička konec



2.2.3. Stanovení penetrace jehlou

Jedná se o konvenční zkoušku asfaltových pojiv, kterou nám popisuje norma ČSN EN 1426 - Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení penetrace jehlou.

Podstata metody

Podstatou této zkoušky je stanovení hloubky vpichu normalizované jehly do vzorku asfaltového pojiva. K provádění jsou přesně určeny zkušební podmínky:

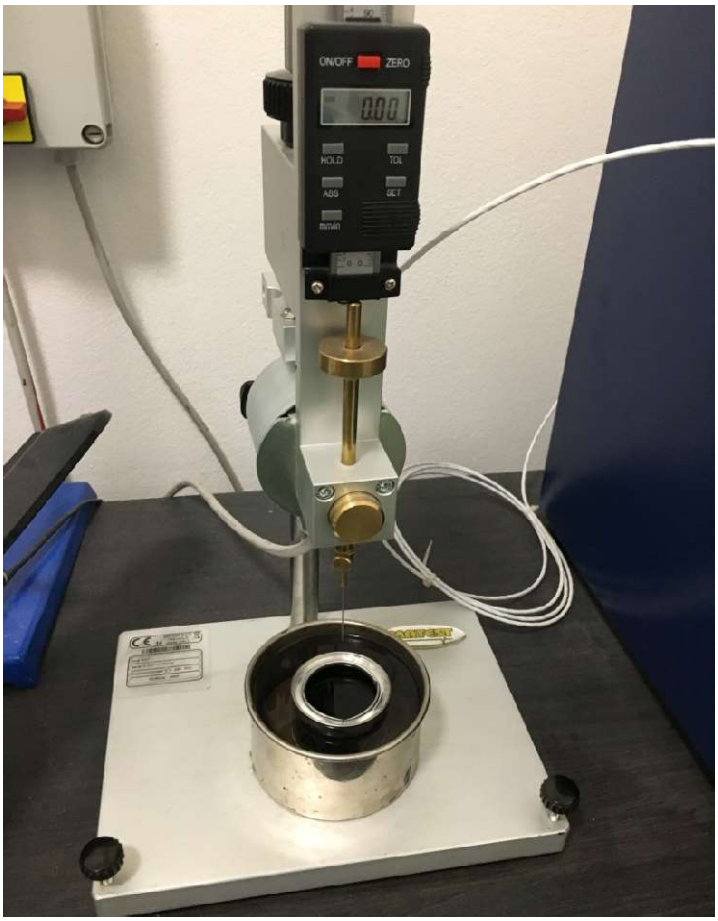
- Teplota vzorku 25°C
- Aplikované zatížení 100g
- Doba zatížení 5s

Zkouška penetrace probíhá na rozdíl od zkoušky bodu měknutí během přesně dané teploty po přesně stanovený čas. Popisuje chování asfaltového pojiva za středních teplot.

Postup zkoušky

Při zahájení zkoušky si připravíme vodní lázeň (doporučuje se destilovaná voda nebo deionizovanou vodu) s konstantní teplotou 25°C ± 0,15°C, do níž umístíme penetrační misku s asfaltovým pojivem. Temperujeme po dobu zhruba 120 minut. Dále připravíme měřící zařízení tzv. penetrometr a penetrační jehlu. Jehlu očistíme toluenem nebo jiným rozpouštědlem, osušíme čistým hadříkem a následně vložíme do držáku. Pokud vzorek asfaltového pojivo je řádně netemperovaný, můžeme přejít k samotnému měření. Penetrační misku umístíme do přenášecí misky, která byla umístěna s asfaltovým pojivem ve vodní lázni a došlo také k její temperaci. Miska s asfaltovým pojivem se zcela pokryje vodou, přenášecí miska se umístí na podstavec penetrometru. Důležitým krokem je vynulování měřidla penetrometru. Nyní můžeme začít pomalu snižovat výšku jehly, než se její hrot dotkne povrchu vzorku. Nastavíme dobu zatěžování na stanovených 5 s a spustíme měřící přístroj. Na měřícím zařízení nyní přečteme naměřenou hodnotu – hloubku vpichu jehly, tuto hodnotu si zapíšeme. První stanovení penetrace končí uvolněním jehly z držáku, následným vytažením a důkladným očistěním jehly. Tímto postupem nejméně tři platná stanovení na místech povrchu zkoušeného vzorku. Jednotlivé vpichy musí být však vzdálená nejméně 10mm od stran nádoby a nejméně 10mm od sebe. Hodnota penetrace je uvedena v penetračních jednotkách (1 p.j. = 0,1 mm). Výsledná hodnota penetrace je aritmetický průměr ze tří stanovení [8].

Obrázek 3: Penetrometr



2.2.4. Stanovení vratné duktility

Jedná se o konvenční zkoušku asfaltových pojiv, kterou nám popisuje norma ČSN EN 13398 - Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení vratné duktility modifikovaných asfaltů.

Podstata metody

Základním principem této zkoušky je stanovení vratné duktility jako míry elastického chování modifikovaných asfaltů. Zkouška musí probíhat za přesně daných podmínek:

- Teplota 25°C
- Rychlost prodlužení 50 mm/min
- Délka protažení 200 mm
- Doba pro navrácení 30 min

Asfaltové tělísko se protahuje za daných podmínek na předem určené prodloužení. Takto získané asfaltové vlákno se uprostřed přestřihne, aby se

získaly dvě polovlákna. Po uplynutí doby pro navrácení, se měří vzdálenost mezi polovlákny [9].

Zkouška vratné duktility byla a je používána pro určení, do jaké míry je pojivo modifikované, pokud vůbec. Před nástupem funkčních zkoušek byla tato zkouška jednou z mála možností, která umožňovala roztřídit modifikované a nemodifikované asfaltové pojivo.

Postup zkoušky

Jako u většiny konvenčních zkoušek, tak i u této je nutná temperance předem připravených zkušebních těles nalitých v odpovídajících formách a důkladně seříznutých, pomocí nahřátého nože. Temperace probíhá 90minut ± 10minut, následně tělesa sejmeme z podkladní destičky, odstraníme boční části forem a asfaltová tělíska umístíme na trny vodící desky protahovacího zařízení. Nyní vzorky protahujeme při zkušební teplotě 25°C ± 0,5°C, konstantní rychlostí 50mm/min ± 2,5mm/min na předepsané protažení 200mm ± 1mm. Při dosažení požadovaného protažení protahovací zařízení vypneme. Po dobu 10 sekund je nutné vlákna přestřihnout, vzniknou nám dvě polovlákna. Po 30 minutách od přestřižení asfaltových vláken pomocí měřidla změříme vzdálenost mezi konci polovláken. Nyní jednoduchým výpočtem určíme vratnou duktilitu asfaltového pojiva [9].

$$R_E = \frac{d}{200} \times 100 \quad [\%]$$

d..... vzdálenost mezi konci polovláken, uvedená v mm

Obrázek 4: Vlákna asfaltového pojiva

Obrázek 5: Polovlákna asfaltového pojiva

2.2.5. Stanovení bodu lámavosti podle Fraasse

Poslední prováděnou konvenční zkoušku nám popisuje norma ČSN EN 12593 - Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení bodu lámavosti podle Fraasse.

Podstata metody

Podstatou této zkoušky je stanovení bodu lámavosti, čímž měříme křehkost asfaltového pojiva při nízkých teplotách. Asfaltové pojivo naneseme rovnoměrně na kovový plíšek. Plíšek konstantní rychlostí ochlazujeme a zároveň ohýbáme, dokud vrstva asfaltového pojiva nepraskne. Tímto okamžikem zkouška končí, teplota, při které se objevila první prasklina, se zaznamená jako bod lámavosti podle Fraasse [10].

Příprava vzorků

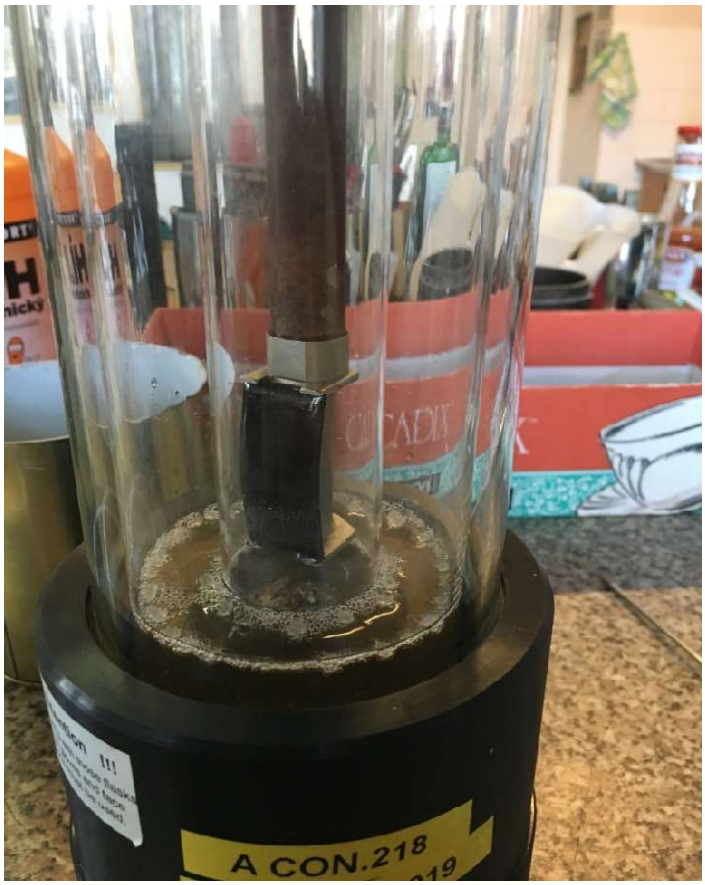
Připravíme si dva zkušební plíšky, které je nutno před zkouškou očistit vhodným odmašťovacím rozpouštědlem, potom se plíšky osuší a následně se

zváží s přesností ± 0,01g. Na zkušební plíšek navážíme 410mg ± 10mg asfaltového pojiva a plíšek umístíme na magnetický blok, který následně položíme na vyhřívanou část kovového podstavce. Teplota nepřekračuje bod měknutí asfaltového pojiva o více než 80 ℃. U polymerem modifikovaných asfaltů musí být teplota maximálně 200 ℃ bez ohledu na bod měknutí. Nyní je důležitý krokem rovnoměrné nanesení pojiva na plíšek a to postupným nakláněním vyhřívaného podstavce. Plíšek přesuneme na ocelovou podložku, kde necháme vzorek vychladnout po dobu 30 minut [10].

Postup měření

Plíšek pokrytý vzorkem asfaltového pojiva pomocí manipulačních kleští umístíme mezi patky ohýbacího zařízení. Manipulovat se vzorkem musíme opatrně, musíme plíšek pouze mírně ohnout, tak aby nedošlo ke zlomení vrstvy pojiva. V tomto případě je vzorek nepoužitelný a je nutné ho nahradit novým. Ohýbací zařízení zasuneme do vnitřní zkumavky chladícího zařízení a následně vložíme i teploměr. Nyní vlijeme do prostoru vnitřní a vnější zkumavky kapalinu, v našem případě technický líh. Můžeme zahájit ochlazovaní rychlostí 1°C/min pomocí přidávání malých kousků tuhého oxidu uhličitého. Ohýbání plíšku zahájíme při teplotě 10°C ± 2°C nad očekávaným bodem lámavosti. Ohýbaní provádíme pomocí otáčení kličky ohýbacího zařízení rychlostí 1ot/s až na doraz, prohlédneme vzorek, pokud se objeví prasklina, zaznamenáme teplotu s přesností 1°C, pokud je vzorek neporušen, otáčíme zpátky stejnou rychlostí. Mezi jednotlivými cykly je ohýbací zařízení ponecháno po dobu (38 ± 5)s ve výchozí pozici. Zkouška končí v okamžiku prasknutí vrstvy asfaltového pojiva na plíšku. Zkoušku opakujeme pro druhý plíšek stejným postupem, může dojít pouze k odlišné počáteční teplotě ohýbání vzorku [10].

Obrázek 6: Přístroj k měření bodu lámavosti



Obrázek 7: Bod lámavosti - prasklý vzorek

3. CÍL PRÁCE

Cílem bakalářské práce je provedení konvenčních zkoušek asfaltových pojiv. Všechna asfaltová pojiva jsou polymerem modifikována a jsou určena pro výrobu asfaltových směsí s R-materiálem. Jedním z cílů je porovnání naměřených hodnot s hodnotami deklarovanými od výrobců. Dalším cílem práce je zhodnocení vlastností polymerem modifikovaných pojiv po přidání zestárlého asfaltového pojiva.

Pojiva budou smíchána v předem určených poměrech. Výsledky jednotlivých zkoušek budou zpracovány do tabulek a grafů, následně vyhodnoceny a shrnuty v závěru práce.

4. PRAKTICKÁ ČÁST

4.1. Použité materiály

V bakalářské práci jsou použita pojiva dvou penetračních kategorií a to: kategorie 45/80 RC (viz tabulka 3) a kategorie 25/55 RC (viz tabulka 4). Všechny vzorky pojiv jsou výrobci doporučovány pro výrobu směsi s R-materiálem. Výrobci pojiv kategorie 45/80 RC jsou OMV, Shell, Total a Bitbau. Pojiva kategorie 25/55 RC jsou produkty společností Shell a VARO Energy.

Tabulka 3: Seznam vzorků kategorie pojiv 45/80 RC

Označení	Výrobce	Kategorie pojiva
A	1	45/80-70
B	2	45/80 - 50
C	3	45/80 - 50
D	4	45/80 - 65

Tabulka 4: Seznam vzorků kategorie pojiv 25/55 RC

Označení	Výrobce	Kategorie pojiva
E	5	25/55-55 -RC
F	6	RC 25/55 - 55

4.2. Míchání PMB RC se zestárlým pojivem

Zestárlé asfaltové pojivo bylo do PMB RC přidáno v množství 15 %, 25 % a 50 % z hmotnosti PMB RC. Proces míchání byl proveden pomocí vysokostřižné míchačky Silverson LM5. Celkové množství každého vyrobeného pojiva bylo 700 g. Míchání probíhalo v litrových nádobách. V prvním kroku došlo k ohřevu pojiv na teplotu (165 ± 5) °C, následně došlo k promíchávání PMB RC za konstantního dávkování zestárlého silničního asfaltu. Rychlost míchání byla stanovena na 3000 ot/min po dobu 30 minut. Zestárlé silniční pojivo bylo mícháno do pojiv s označením A a B [3]. V tabulce 5 můžeme vidět vlastnosti laboratorně zestárlého pojiva.

Tabulka 5: Vlastnosti laboratorně zestárlého pojiva

Vlastnosti laboratorně zestárlého pojiva					
Pojivo	Stupeň stárnutí	Penetrace [0,1mm]	Bod měknutí [°C]	Vratná duktilita [%]	Bod lámavosti [°C]
50/70	Čerstvé	56	48		
	3xRTFOT	23	61,6	22,5 *	-5

* Provedení zkoušky na nemodifikovaném pojivu je pouze orientační

4.3. Výsledky a vyhodnocení PMB RC pojiv

V této části práce jsou uvedeny výsledky jednotlivých modifikovaných asfaltových pojiv, které byly následně zpracovány do tabulek a grafů.

4.3.1. Stanovení bodu měknutí - Metoda kroužek a kulička

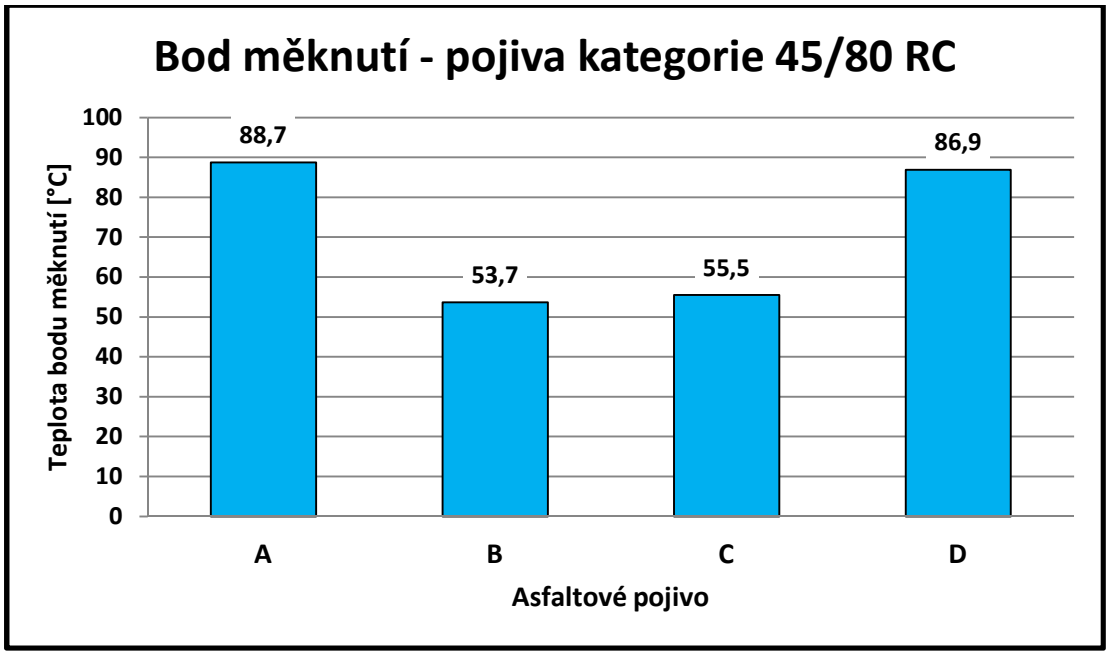
4.3.1.1. Pojiva kategorie 45/80 RC

Výsledky konvenční zkoušky, stanovení bodu měknutí pojiv kategorie 45/80 RC, jsou uvedeny v tabulce 6 a grafu 2. Jak můžeme vidět, pojiva s označením B, C a D vyhověla v porovnání s deklarovanými výsledky. Pojivo s označením A vyhovělo se značnou rezervou.

Tabulka 6: Stanovení bodu měknutí - pojiva kategorie 45/80 RC

Stanovení bodu měknutí - pojiva kategorie 45/80 RC			
Označení	Kategorie pojiva	Bod měknutí [°C]	Deklarovaný bod měknutí [°C]
A	45/80-70	88,7	> 70
B	45/80 – 50	53,7	> 50
C	45/80 – 50	55,5	> 50
D	45/80 – 65	86,9	> 85

Graf 2: Bod měknutí – pojiva kategorie 45/80 RC



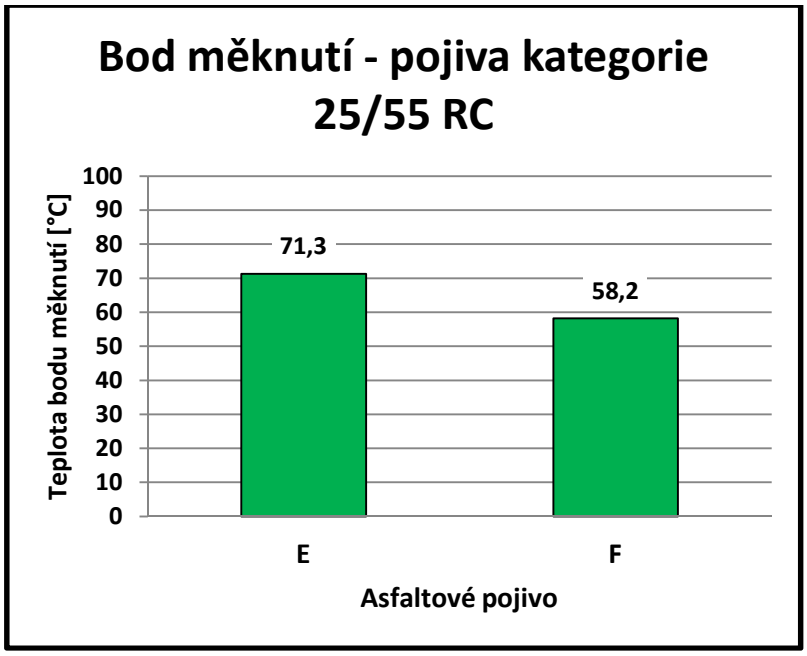
4.3.1.2. Pojiva kategorie 25/55 RC

Výsledky konvenční zkoušky, stanovení bodu měknutí pojiv kategorie 25/55 RC, jsou uvedeny v tabulce 7 a grafu 3. Jak můžeme vidět, pojivo s označením F vyhovělo v porovnání s deklarovanými výsledky, výsledek se pohyboval těsně nad hranicí deklarované hodnoty. Pojivo s označením E vyhovělo se značnou rezervou.

Tabulka 7: Stanovení bodu měknutí - pojiva kategorie 25/55 RC

Stanovení bodu měknutí - pojiva kategorie 25/55 RC			
Označení	Kategorie pojiva	Bod měknutí [°C]	Deklarovaný bod měknutí [°C]
E	25/55-55 -RC	71,3	> 55
F	RC 25/55 - 55	58,2	> 55

Graf 3: Bod měknutí - pojiva kategorie 25/55 RC



4.3.1.3. Shrnutí

Výsledky konvenční zkoušky, stanovení bodu měknutí – kroužek kulička pojiv obou kategorií dosahovali deklarovaných hodnot od výrobců. U pojiv s označením D a E bylo dosaženo poměrně vysokých rezerv a to u pojiva D 21,9°C a u pojiva E 16,3°C. Dále je vidět, že jednotlivá RC pojiva se poměrně značně liší v absolutních hodnotách dosahovaných bodů měknutí. RC pojiva kategorie 45/80 dosahovalo bodu měknutí 53,7°C až 88,7°C. Vlastnosti pojiv PMB RC, přestože se mohou nacházet v jedné kategorii, vykazují znatelně odlišné chování. U pojiv kategorie 25/55 se ukázalo, že přestože pojivo E má deklarovaný bod měknutí 55°C, pojivo by mohlo být podle bodu měknutí posunuto do kvalitativně vyšší třídy s bodem měknutí 65°C.

4.3.2. Stanovení penetrace jehlou

4.3.2.1. Pojiva kategorie 45/80 RC

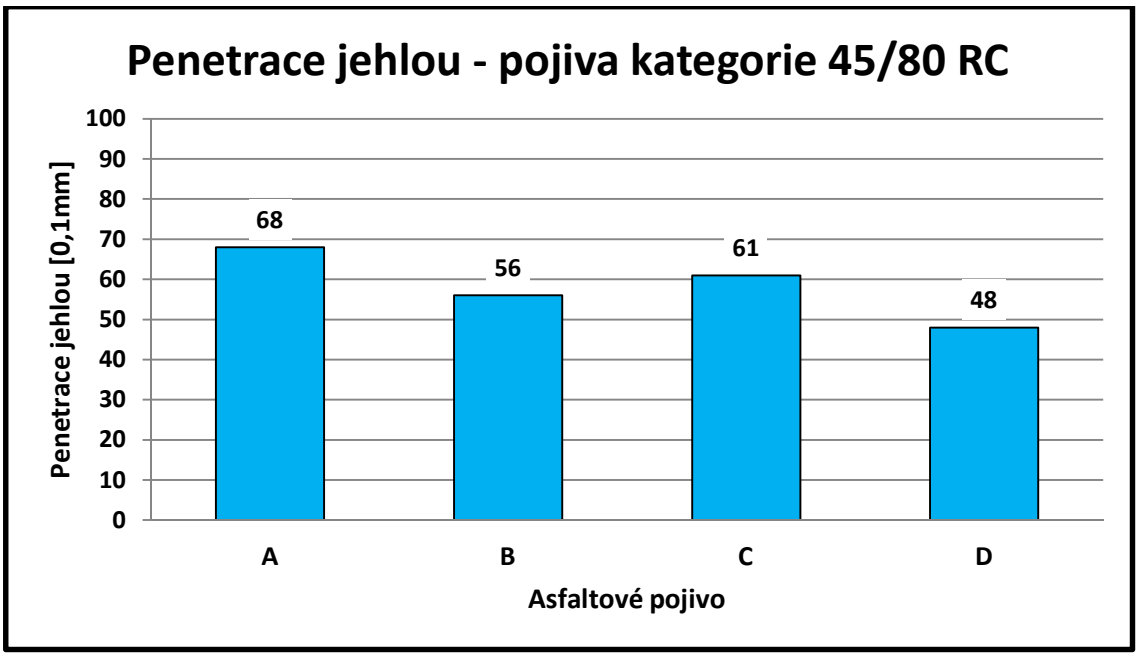
Výsledky konvenční zkoušky, stanovení penetrace jehlou pojiv kategorie 45/80 RC, jsou uvedeny v tabulce 8 a grafu 4. Z tabulky je zřejmé to, že všechny pojiva penetrační kategorie 45/80 RC vyhověla v porovnání s deklarovanými hodnotami od výrobců. Výsledek pojiva s označením A se blížil spíše horní deklarované hranici penetrace. Zatímco vzorek s označením D, vyhověl

s poměrně malou rezervou penetrace. Mezi jednotlivými vzorky je patrných rozdílu v hodnotách, přičemž všechny pojiva jsou stejné penetrační kategorie 45/80 RC. V grafu 5 můžeme vidět závislost mezi penetrací jehlou a teplotou bodu měknutí pojiv kategorie 45/80 RC, v grafu jsou zobrazeny hodnoty PMB RC a obyčejných PMB. Z důvodu srovnání výsledků, byla do těchto grafů zařazena náhodně vybraná konvenční polymerem modifikovaná pojiva.

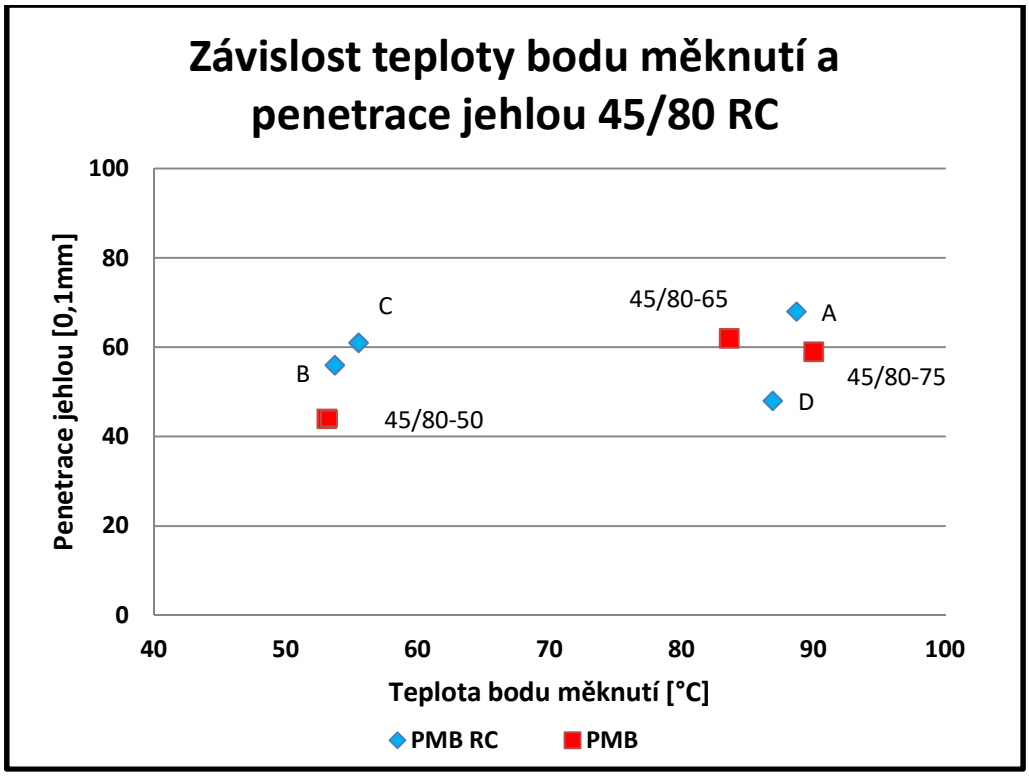
Tabulka 8: Stanovení penetrace jehlou - pojiva kategorie 45/80 RC

Stanovení penetrace jehlou - pojiva kategorie 45/80 RC			
Označení	Kategorie pojiva	Penetrace [0,1mm]	Deklarovaná penetrace [0,1mm]
A	45/80-70	68	45 - 80
B	45/80 - 50	56	45 - 80
C	45/80 - 50	61	45 - 80
D	45/80 - 65	48	45 - 70

Graf 4: Penetrace jehlou - pojiva kategorie 45/80 RC



Graf 5: Závislost teploty bodu měknutí a penetrace jehlou 45/80 RC



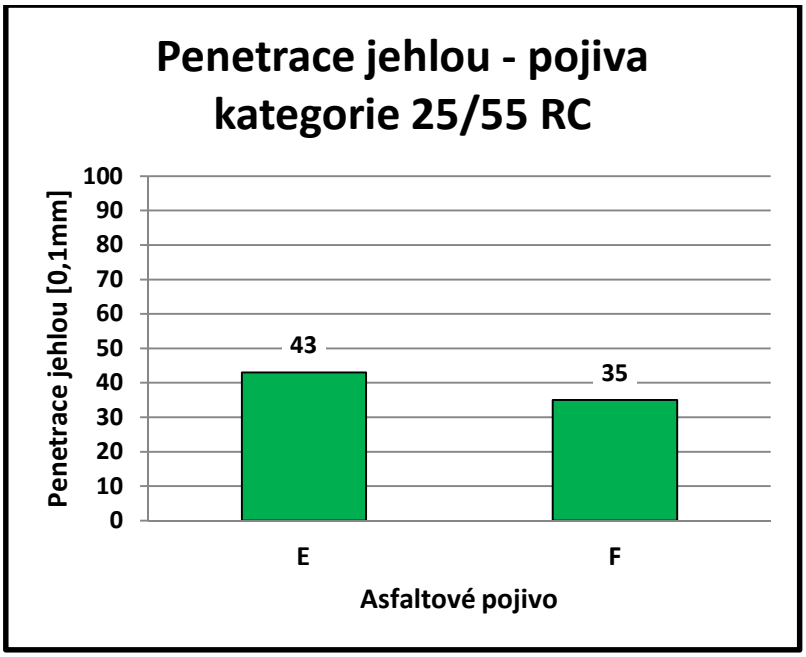
4.3.2.2. Pojiva kategorie 25/55 RC

Výsledky konvenční zkoušky, stanovení penetrace jehlou pojiv kategorie 25/55 RC, jsou uvedeny v tabulce 9 a grafu 6. Jak můžeme vidět, obě pojiva vyhověla deklarovaným hodnotám od výrobců. Pojivo s označením E je měkčí oproti pojivu s označením F. V grafu 7 můžeme vidět závislost mezi penetrací jehlou a teplotou bodu měknutí pojiv kategorie 25/55 RC, v grafu jsou zobrazeny hodnoty PMB RC a obyčejných PMB. Z důvodu srovnání výsledků, byla do těchto grafů zařazena náhodně vybraná konvenční polymerem modifikovaná pojiva.

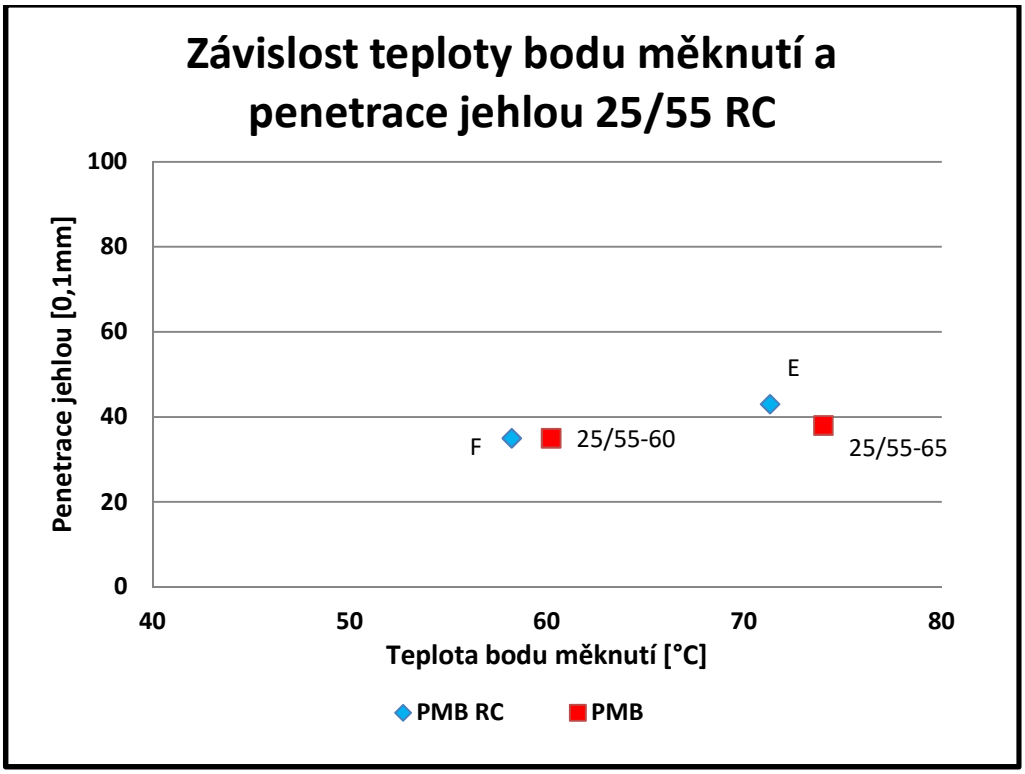
Tabulka 9: Stanovení penetrace jehlou - pojiva kategorie 25/55 RC

Stanovení penetrace jehlou - pojiva kategorie 25/55 RC			
Označení	Kategorie pojiva	Penetrace [0,1mm]	Deklarovaná penetrace [0,1mm]
E	25/55-55 -RC	43	25 - 55
F	RC 25/55 - 55	35	25 - 55

Graf 6: Penetrace jehlou - pojiva kategorie 25/55 RC



Graf 7: Závislost teploty bodu měknutí a penetrace jehlou 25/55 RC



4.3.2.3. Shrnutí

Výsledky konvenční zkoušky, stanovení penetrace jehlou pojiv obou kategorií dosahovaly deklarovaných hodnot od výrobců. Výsledky jednotlivých pojiv se mezi sebou lišily. Dále můžeme vidět, že jednotlivá RC pojiva se poměrně značně liší v hodnotách dosahovaných hodnot penetrace jehlou. RC pojiva kategorie 45/80 dosahovala hloubky penetrace jehlou 48 p.j. až 68 p.j.. U pojiv kategorie 25/55 se ukázalo, že rozsah hloubky penetrace je podstatně užší a to v rozmezí 35 p.j. až 43 p.j..

4.3.3. Stanovení vratné duktility

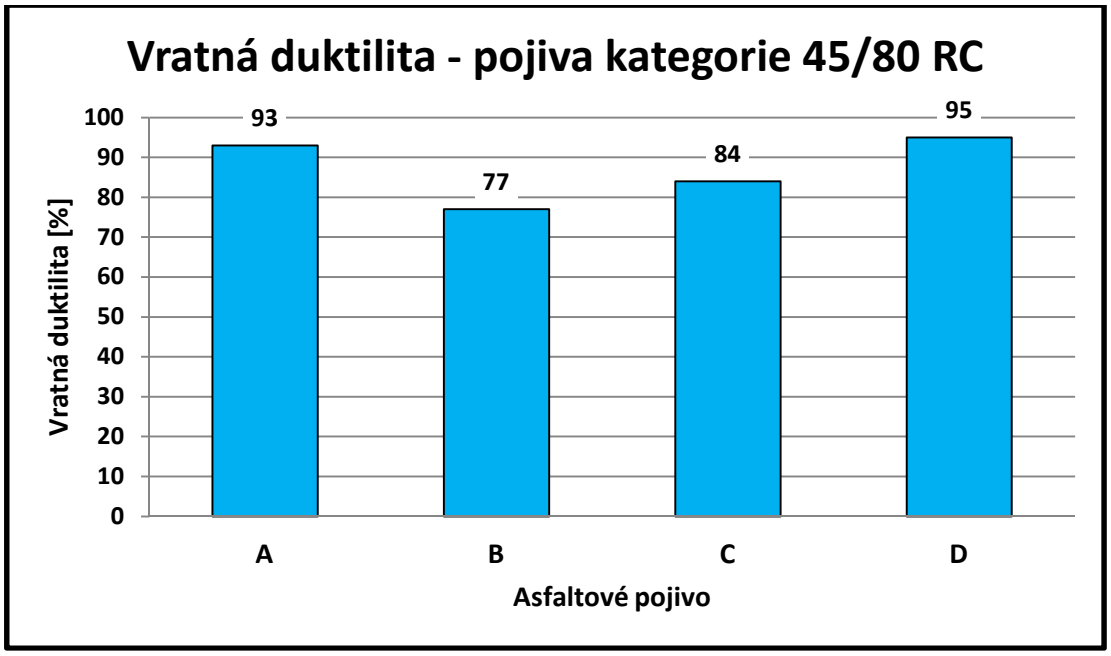
4.3.3.1. Pojiva kategorie 45/80 RC

Výsledky konvenční zkoušky, stanovení vratné duktility pojiv kategorie 45/80 RC, jsou uvedeny v tabulce 10 a grafu 8. Jak můžeme vidět, všechna pojiva vyhověla se značnou rezervou, oproti minimální deklarovaným hodnotám výrobců. Pojiva A a D jsou velmi elastická pojiva. Pojiva B a C jsou méně elastická.

Tabulka 10: Stanovení vratné duktility - pojiva kategorie 45/80 RC

Stanovení vratné duktility - pojiva kategorie 45/80 RC			
Označení	Kategorie pojiva	Vratná duktilita [%]	Deklarovaná hodnota [%]
A	45/80-70	93	> 70
B	45/80 - 50	77	> 50
C	45/80 - 50	84	> 50
D	45/80 - 65	95	> 80

Graf 8: Vratná duktilita - pojiva kategorie 45/80 RC



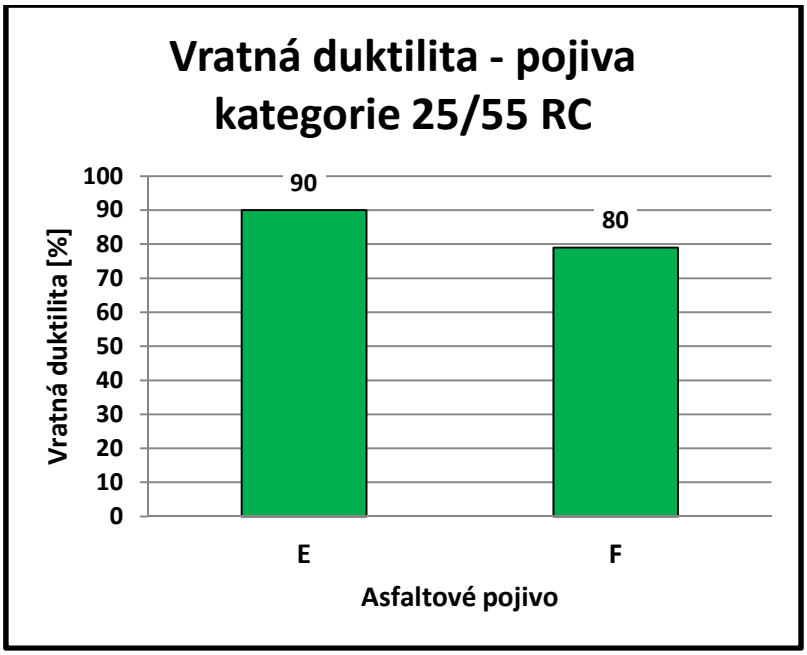
4.3.3.2. Pojiva kategorie 25/55 RC

Výsledky konvenční zkoušky, stanovení vratné duktility pojiv kategorie 25/55 RC, jsou uvedeny v tabulce 11 a grafu 9. Jak je z tabulky zřejmé, obě pojiva vyhověla v porovnání s deklarovanými výsledky. Obě pojiva vyhověla se značnou rezervou oproti deklarovaným hodnotám, které udávají výrobci jako minimální.

Tabulka 11: Stanovení vratné duktility - pojiva kategorie 25/55 RC

Stanovení vratné duktility - pojiva kategorie 25/55 RC			
Označení	Kategorie pojiva	Vratná duktilita [%]	Deklarovaná hodnota [%]
E	25/55-55 -RC	90	> 70
F	RC 25/55 - 55	80	> 60

Graf 9: Vratná duktilita - pojiva kategorie 25/55 RC



4.3.3.3. Shrnutí

Výsledky konvenční zkoušky, stanovení vratné duktility pojiv obou kategorií dosahovaly deklarovaných minimálních hodnot od výrobců. Dále můžeme vidět, že jednotlivá RC pojiva se poměrně značně liší v hodnotách dosahovaných hodnot vratné duktility. RC pojiva kategorie 45/80 dosahovala zpětného přetvoření 77 % až 95 %. U pojiv kategorie 25/55 se ukázalo, že rozmezí hodnot vratné duktility je ve stejné rozsahu a to od 80 % do 90 %. Pojiva obou kategorii, jsou velmi elastická, pojiva A, D a E dosahovala zpětného přetvoření blížících se k původní délce zkušebních vzorků.

4.3.4. Stanovení bodu lámavosti podle Fraasse

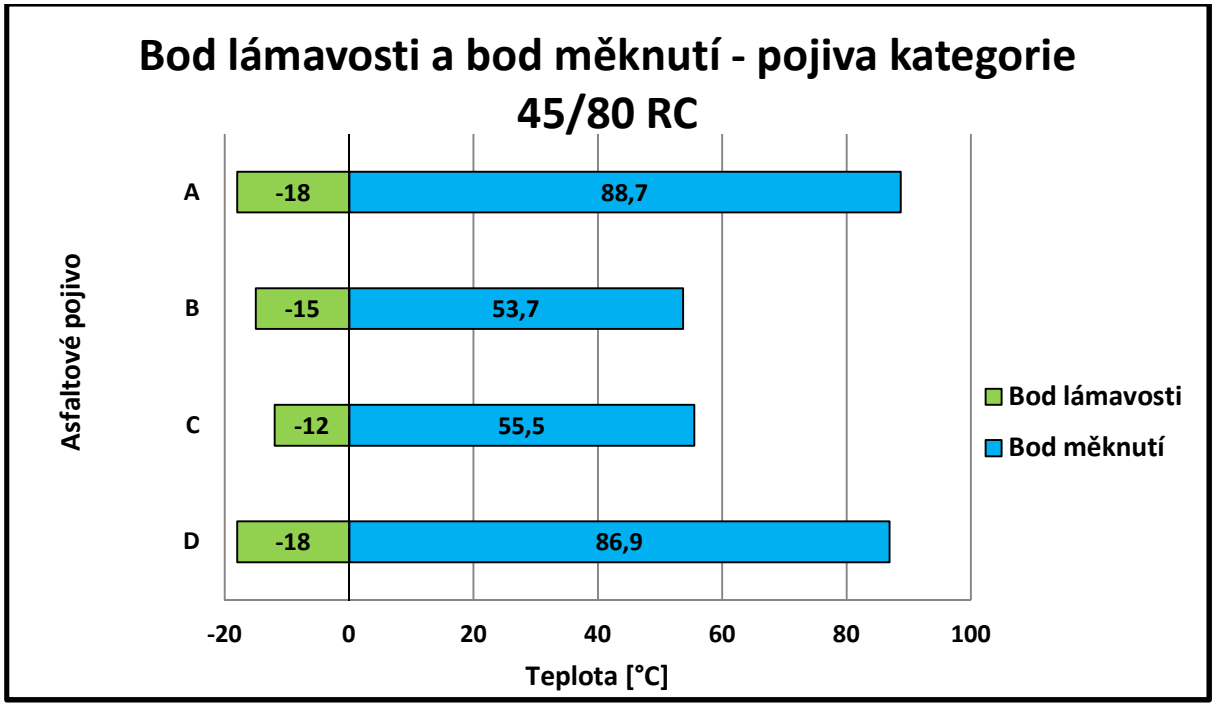
4.3.4.1. Pojiva kategorie 45/80 RC

Výsledky konvenční zkoušky, stanovení bodu lámavosti pojiv kategorie 45/80 RC, jsou uvedeny v tabulce 12. Jak můžeme vidět, všechny pojiva vyhověla v porovnání s maximálními deklarovanými hodnotami výrobců. Dále můžeme v grafu 10 vyčíst rozmezí teplot – obor použitelnosti pro jednotlivá asfaltová pojiva. V grafu 11 můžeme porovnat rozsahy teplot u každého z pojiv. Pojiva s označením A a D dosahují nejvyšší hodnoty oboru použitelnosti, zatímco hodnota pojiv B a C je nižší.

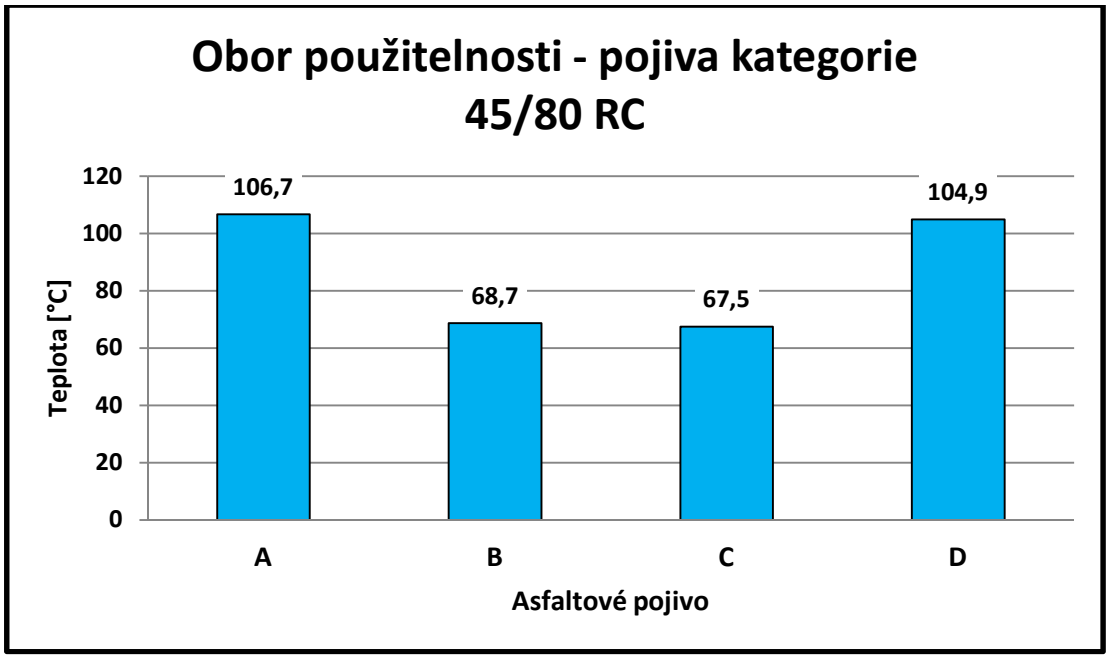
Tabulka 12: Stanovení bodu lámavosti - pojiva kategorie 45/80 RC

Stanovení bodu lámavosti - pojiva kategorie 45/80 RC				
Označení	Kategorie pojiva	Bod lámavosti [°C]	Deklarovaná hodnota bodu lámavosti [°C]	Bod měknutí [°C]
A	45/80-70	-18	max. -18	88,7
B	45/80 - 50	-15	max. -15	53,7
C	45/80 - 50	-12	max. -15	55,5
D	45/80 - 65	-18	max. -18	86,9

Graf 10: Bod lámavosti a bod měknutí - pojiva kategorie 45/80 RC



Graf 11: Obor použitelnosti - pojiva kategorie 45/80 RC



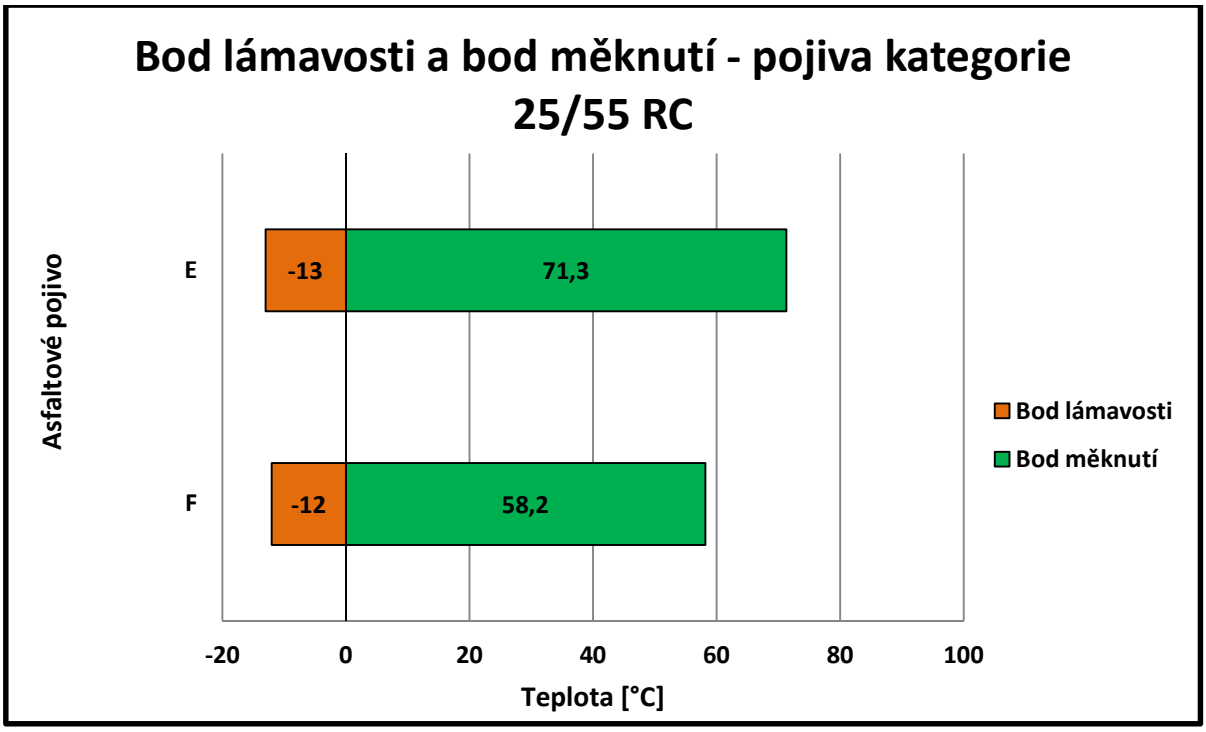
4.3.4.2. Pojiva kategorie 25/55 RC

Výsledky konvenční zkoušky, stanovení bodu lámavosti pojiv kategorie 25/55 RC, jsou uvedeny v tabulce 13. Pojivo s označením E nevyhovělo deklarované hodnotě výrobce. Naměřená hodnota je o 3°C vyšší než maximální deklarovaná hodnota. Hodnota pojiva s označením F taktéž nevyhověla, naměřená hodnota byla o 2°C vyšší než deklarovaná. V grafu 12 můžeme vyčíst rozmezí teplot – obor použitelnosti pro jednotlivá asfaltová pojiva. V grafu 13 můžeme porovnat rozsahy teplot u každého z pojiv. Pojivo s označením E dosahuje hodnoty vyšší jak pojivo s označením F.

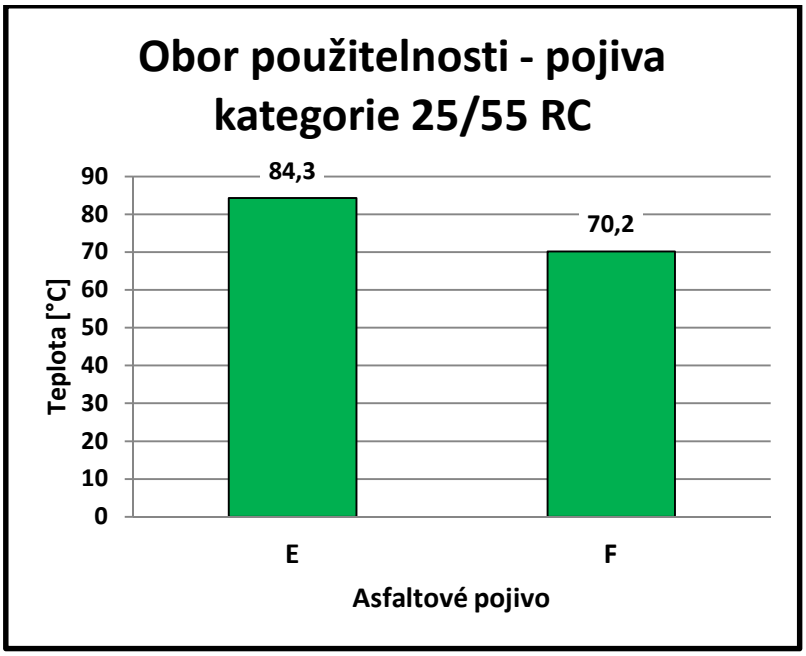
Tabulka 13: Stanovení bodu lámavosti - pojiva kategorie 25/55 RC

Stanovení bodu lámavosti - pojiva kategorie 25/55 RC				
Označení	Kategorie pojiva	Bod lámavosti [°C]	Deklarovaná hodnota bodu lámavosti [°C]	Bod měknutí [°C]
E	25/55-55 -RC	-13	max. -10	71,3
F	RC 25/55 - 55	-12	max. -10	58,2

Graf 12: Bod lámavosti a bod měknutí - pojiva kategorie 25/55 RC



Graf 13: Obor použitelnosti - pojiva kategorie 25/55 RC



4.3.4.3. Shrnutí

Výsledky konvenční zkoušky, stanovení bodu lámavosti podle Fraasse pojiv obou kategorií dosahovaly deklarovaných minimálních hodnot od výrobců, kromě pojiva s označením E. Jednotlivá pojiva, zejména v kategorie 45/80 vykazovala značné rozdíly v oboru použitelnosti, který nabýval hodnot 68,7°C (B) až 106,7°C (A).

4.4. Výsledky a vyhodnocení – vliv zestárlého pojiva

V této části práce jsou uvedeny výsledky dvou modifikovaných asfaltových pojiv, které byly smíchány s laboratorně zestarlým pojivem. Výsledky jsou následně zpracovány do tabulek a grafů.

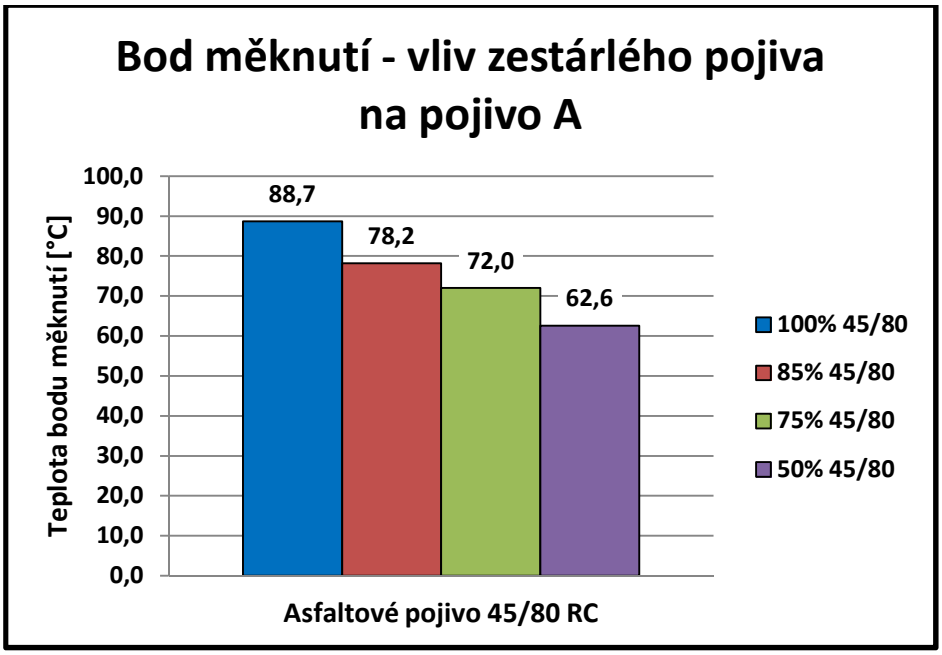
4.4.1. Stanovení bodu měknutí – Vliv zestárlého pojiva

Výsledky konvenční zkoušky, stanovení bodu měknutí pojiva A s přídavkem laboratorně zestárlého pojiva, můžeme vidět v tabulce 14. V tabulce dále můžeme vidět poměr dávkování pojiv. V tabulce 15 jsou zobrazeny výsledky pojiva B, taktéž s procentuálním dávkováním laboratorně zestárlého pojiva. Grafy 14 a 15 nám znázorňují změnu bodu měknutí asfaltového pojiva.

Tabulka 14: Stanovení bodu měknutí - vliv zestárlého pojiva na pojivo A

Stanovení bodu měknutí - vliv zestárlého pojiva na pojivo A			
Označení grafu	Kategorie pojiva	Poměr dávkování	Bod měknutí [°C]
100% 45/80	A	1:0	88,7
85% 45/80	A + 50/70 3xRTFOT	0,85:0,15	78,2
75% 45/80	A + 50/70 3xRTFOT	0,75:0,25	72,0
50% 45/80	A + 50/70 3xRTFOT	0,5:0,5	62,6

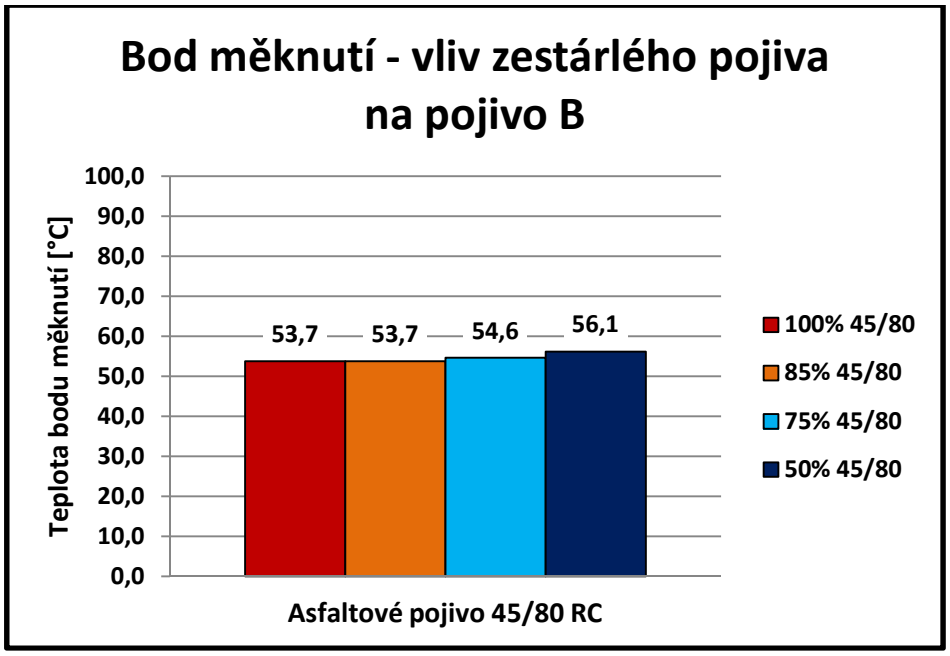
Graf 14: Bod měknutí - vliv zestárlého pojiva na pojivo A



Tabulka 15: Stanovení bodu měknutí - vliv zestárlého pojiva na pojivo B

Stanovení bodu měknutí - vliv zestárlého pojiva na pojivo B			
Označení grafu	Kategorie pojiva	Poměr dávkování	Bod měknutí [°C]
100% 45/80	B	1:0	53,7
85% 45/80	B + 50/70 3xRTFOT	0.85:0.15	53,7
75% 45/80	B + 50/70 3xRTFOT	0.75:0.25	54,6
50% 45/80	B + 50/70 3xRTFOT	0.5:0.5	56,1

Graf 15: Bod měknutí - vliv zestárlého pojiva na pojivo B



4.4.1.1. Shrnutí

Jak můžeme vidět v grafu 14, u pojiva A dojde přidáním zestárlého pojiva ke snížení bodu měknutí, pokles je přímo úměrný množství zestárlého pojiva. Zatímco u pojiva B, dochází vlivem přidání zestárlého pojiva ke zvýšení bodu měknutí, jak můžeme vidět v grafu 15.

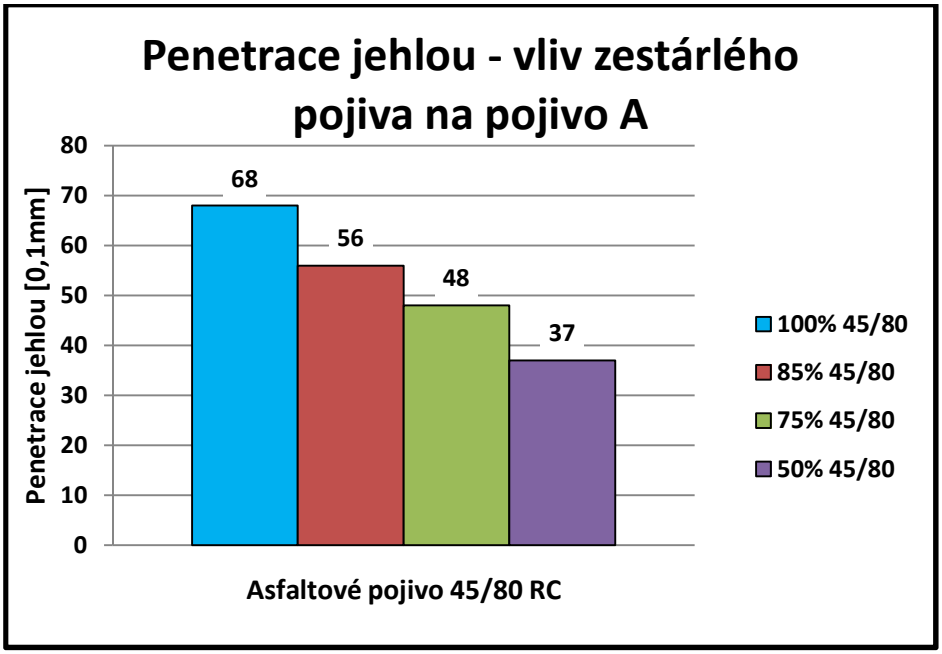
4.4.2. Stanovení penetrace jehlou – Vliv zestárlého pojiva

Výsledky konvenční zkoušky, stanovení penetrace jehlou pojiva A s přídavkem laboratorně zestárlého pojiva, můžeme vidět v tabulce 16. V tabulce dále můžeme vidět poměr dávkování pojiv. V tabulce 17 jsou zobrazeny výsledky pojiva B, taktéž s procentuálním dávkováním laboratorně zestárlého pojiva. Grafy 16 a 17 nám znázorňují změnu hloubky penetrace jehlou do asfaltového pojiva s různými poměry dávkování.

Tabulka 16: Stanovení penetrace jehlou - vliv zestárlého pojiva na pojivo A

Stanovení penetrace jehlou - vliv zestárlého pojiva na pojivo A			
Označení grafu	Kategorie pojiva	Poměr dávkování	Penetrace[0,1mm]
100% 45/80	A	1:0	68
85% 45/80	A + 50/70 3xRTFOT	0,85:0,15	56
75% 45/80	A + 50/70 3xRTFOT	0,75:0,25	48
50% 45/80	A + 50/70 3xRTFOT	0,5:0,5	37

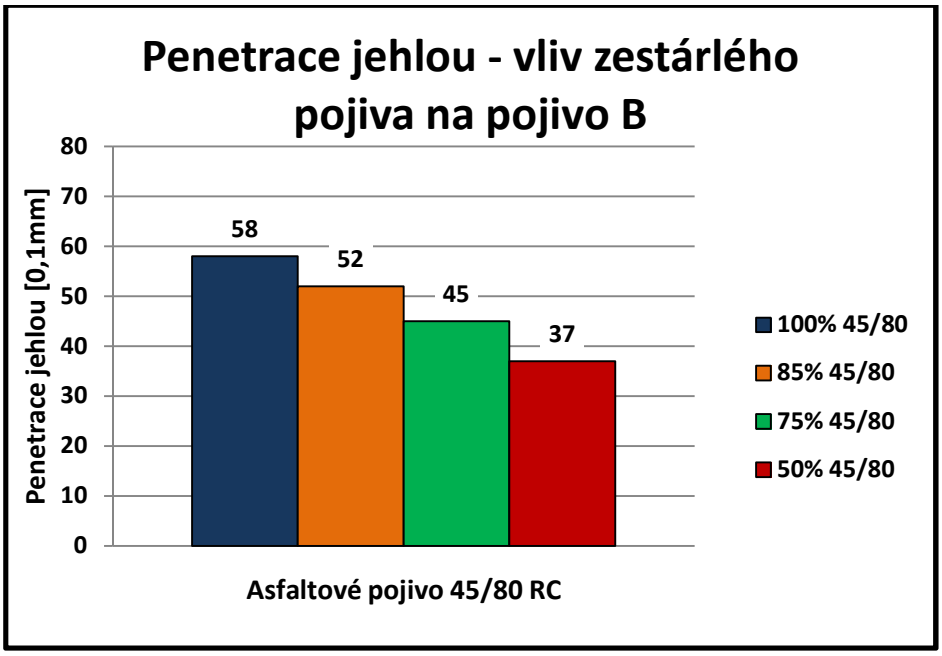
Graf 16: Penetrace jehlou - vliv zestárlého pojiva na pojivo A



Tabulka 17: Stanovení penetrace jehlou - vliv zestárlého pojiva na pojivo B

Stanovení penetrace jehlou - vliv zestárlého pojiva na pojivo B			
Označení grafu	Kategorie pojiva	Poměr dávkování	Penetrace[0,1mm]
100% 45/80	B	1:0	58
85% 45/80	B + 50/70 3xRTFOT	0,85:0,15	52
75% 45/80	B + 50/70 3xRTFOT	0,75:0,25	45
50% 45/80	B + 50/70 3xRTFOT	0,5:0,5	37

Graf 17: Penetrace jehlou - vliv zestárlého pojiva na pojivo B



4.4.2.1. Shrnutí

Jak můžeme vidět v grafu 16, u pojiva A vlivem přídavku zestárlého pojiva dochází, ke snížení penetrace. Pojivo se stává tvrdším, ovšem v porovnání s grafem 14, ve kterém je zobrazeno stanovení teploty bodu měknutí, jsou pro nás tyto hodnoty k zamyšlení. Bod měknutí je vlivem přidání zestárlého pojiva nižší (pojivo se stává měkčím), avšak dle hloubky penetrace vlivem zestárlého pojiva se stává pojivo tvrdší. U pojiva B dochází vlivem přidání zestárlého pojiva ke zvýšení bodu měknutí, zároveň dochází ke snížení penetrace – pojivo se stává měkčím.

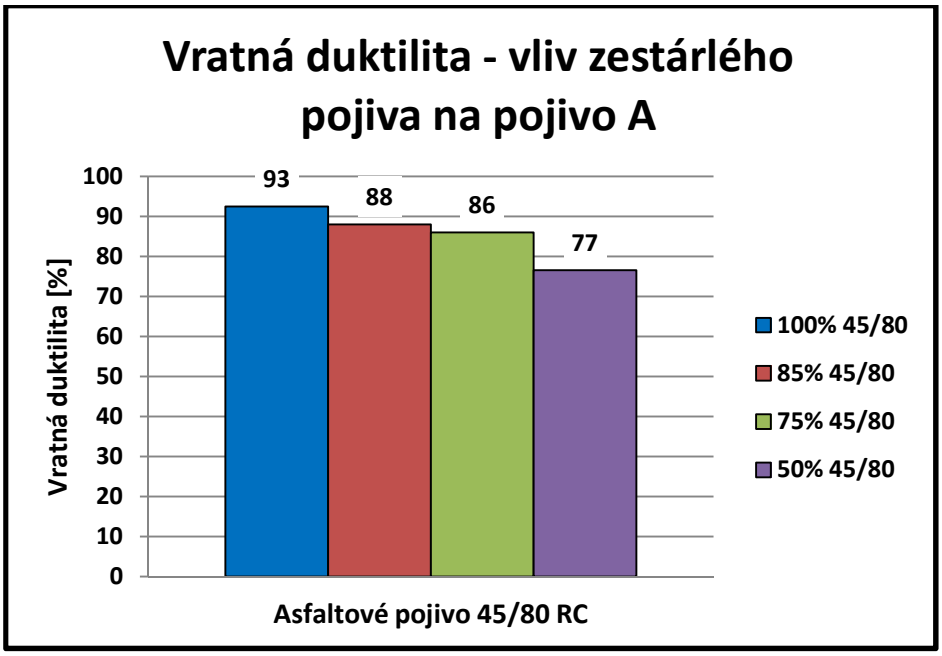
4.4.3. Stanovení vratné duktility – Vliv zestárlého pojiva

Výsledky konvenční zkoušky, stanovení vratné duktility pojiva A s přídavkem laboratorně zestárlého pojiva, můžeme vidět v tabulce 18. V tabulce dále můžeme vidět poměr dávkování pojiv. V tabulce 19 jsou zobrazeny výsledky pojiva B, taktéž s procentuálním dávkováním laboratorně zestárlého pojiva. Grafy 18 a 19 nám znázorňují změnu vratné duktility asfaltového pojiva s různými poměry dávkování.

Tabulka 18: Stanovení vratné duktility - vliv zestárlého pojiva na pojivo A

Stanovení vratné duktility - vliv zestárlého pojiva na pojivo A			
Označení grafu	Kategorie pojiva	Poměr dávkování	Vratná duktilita [%]
100% 45/80	A100/17	1:0	93
85% 45/80	A100/17 + A059/16 3xRTFOT	0,85:0,15	88
75% 45/80	A100/17 + A059/16 3xRTFOT	0,75:0,25	86
50% 45/80	A100/17 + A059/16 3xRTFOT	0,5:0,5	77

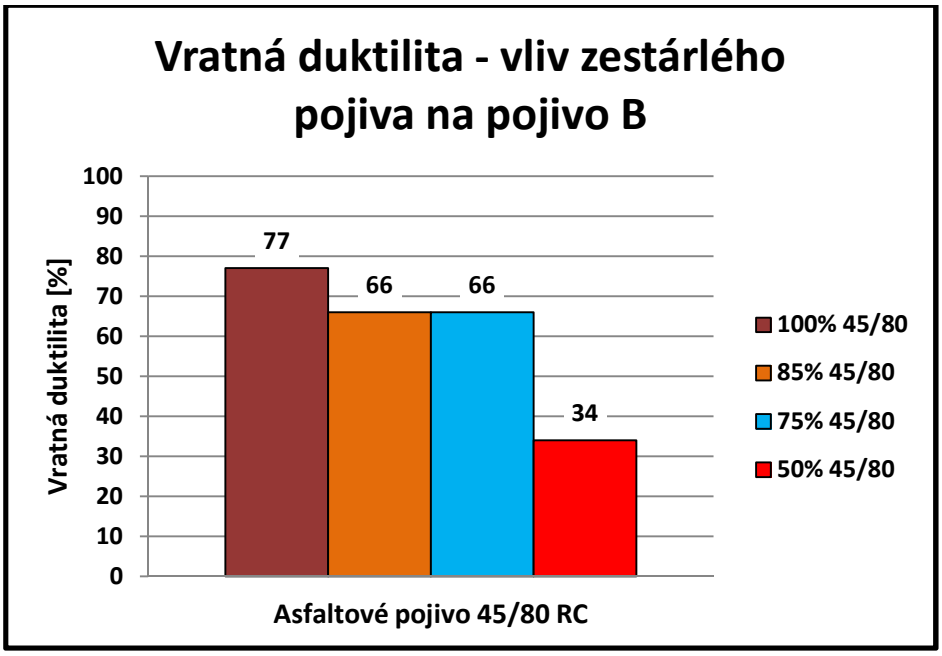
Graf 18: Vratná duktilita - vliv zestárlého pojiva na pojivo A



Tabulka 19: Stanovení vratné duktility - vliv zestárlého pojiva na pojivo B

Stanovení vratné duktility - vliv zestárlého pojiva na pojivo B			
Označení grafu	Kategorie pojiva	Poměr dávkování	Vratná duktilita [%]
100% 45/80	A125/17	1:0	77
85% 45/80	A125/17 + A059/16 3xRTFOT	0,85:0,15	66
75% 45/80	A125/17 + A059/16 3xRTFOT	0,75:0,25	66
50% 45/80	A125/17 + A059/16 3xRTFOT	0,5:0,5	34

Graf 19: Vratná duktilita - vliv zestárlého pojiva na pojivo B



4.4.3.1. Shrnutí

Jak můžeme vidět v grafu 18, u pojiva A dojde přidáním zestárlého pojiva ke snížení vratné duktility, což znamená, že je asfaltové pojivo méně elastické. U pojiva B, dochází vlivem přidání zestárlého pojiva ke stejné změně, jako u pojiva A, což můžeme vidět v grafu 19.

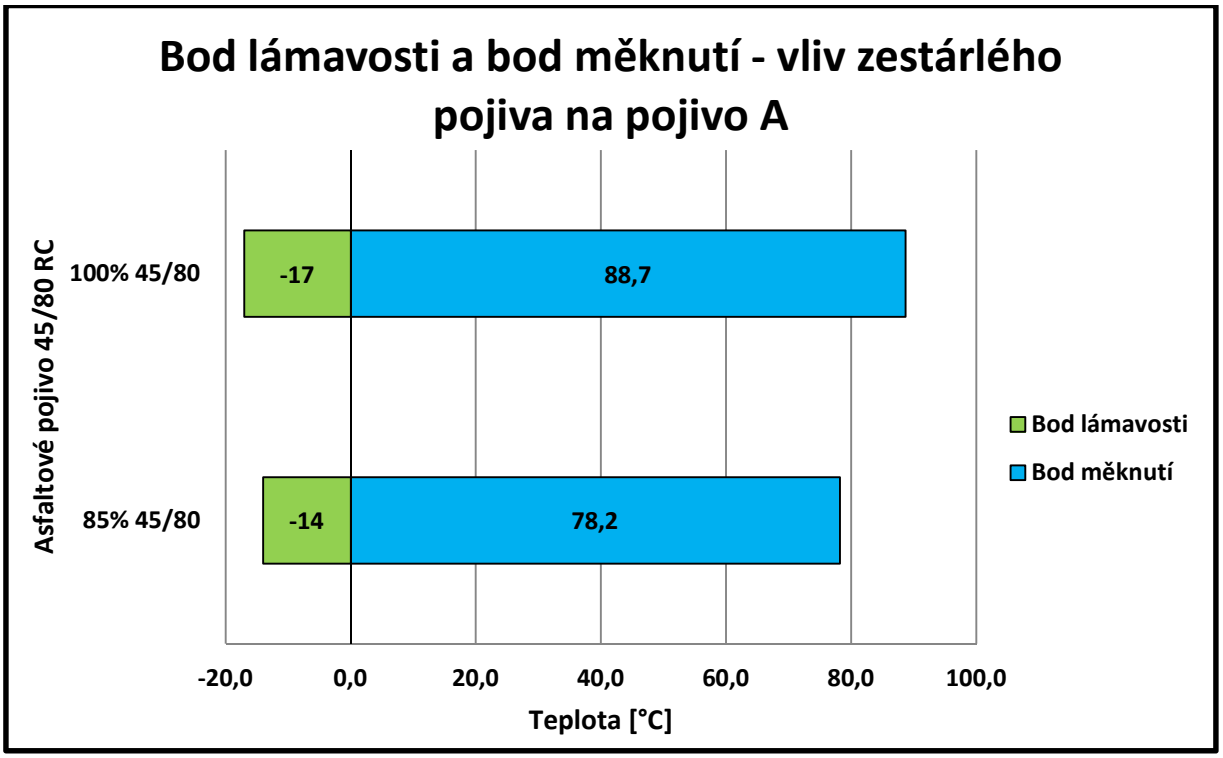
4.4.4. Stanovení bodu lámavosti podle Fraasse – Vliv zestárlého pojiva

Výsledky konvenční zkoušky, stanovení bodu lámavosti podle Fraasse pojiva A s přídavkem laboratorně zestárlého pojiva, můžeme vidět v tabulce 20. V tabulce dále můžeme vidět poměr dávkování pojiv. V tabulce 21 jsou zobrazeny výsledky pojiva B, taktéž s procentuálním dávkováním laboratorně zestárlého pojiva. Grafy 20 a 21 nám znázorňují změnu bodu lámavosti podle Fraasse a bod měknutí asfaltového pojiva s různými poměry dávkování. Tyto dvě mezní hodnoty nám slouží ke zjištění oboru použitelnosti.

Tabulka 20: Stanovení bodu lámavosti - vliv zestárlého pojiva na pojivo A

Stanovení bodu lámavosti - vliv zestárlého pojiva na pojivo A					
Označení grafu	Kategorie pojiva	Poměr dávkování	Bod lámavosti [°C]	Bod měknutí [°C]	Obor použitelnosti [°C]
100% 45/80	A	1:0	-17	88,7	105,7
85% 45/80	A + 50/70 3xRTFOT	0,85:0,15	-14	78,2	92,2

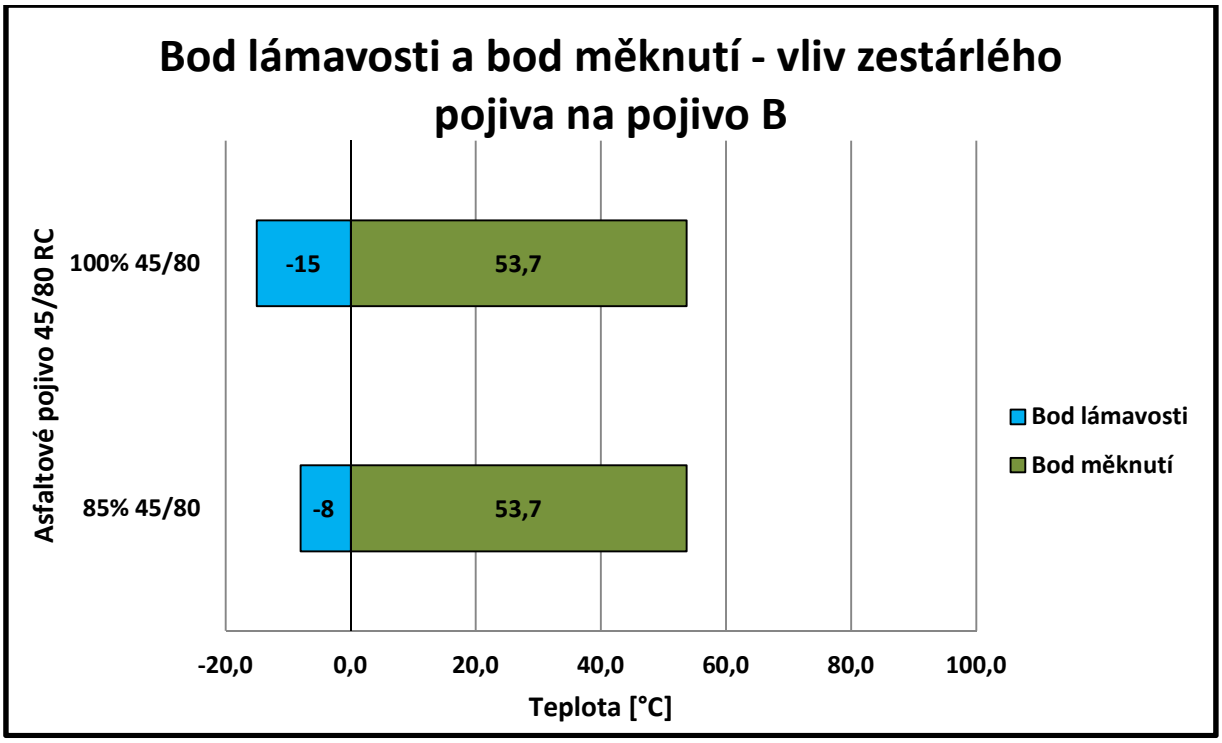
Graf 20: Bod lámavosti a bod měknutí - vliv zestárlého pojiva na pojivo A



Tabulka 21: Stanovení bodu lámavosti - vliv zestárlého pojiva na pojivo B

Stanovení bodu lámavosti - vliv zestárlého pojiva na pojivo B					
Označení grafu	Kategorie pojiva	Poměr dávkování	Bod lámavosti [°C]	Bod měknutí [°C]	Obor použitelnosti [°C]
100% 45/80	A	1:0	-15	53,7	68,7
85% 45/80	A + 50/70 3xRTFOT	0,85:0,15	-8	53,7	61,7

Graf 21: Bod lámavosti a bod měknutí - vliv zestárlého pojiva na pojivo B



4.4.4.1. Shrnutí

Jak můžeme vidět v grafu 20, u pojiva A dojde přidáním zestárlého pojiva ke zvýšení bodu lámavosti, zároveň dochází ke snížení bodu měknutí, což znamená, že je asfaltové pojivo má nižší obor použitelnosti. U pojiva B dochází vlivem přidání zestárlého pojiva ke stejné změně, ovšem bod měknutí zůstává stejný, obor použitelnosti je nižší, ve srovnání s pojivem bez přídavku zestárlého pojiva.

5. ZÁVĚR

V práci byly porovnány vlastnosti běžných PMB a PMB RC. Vlastnosti jednotlivých PMB RC se velice liší. Zkoumaná pojiva se dají na základě zkoušky stanovení bodu měknutí rozdělit na vysoce modifikovaná pojiva s bodem měknutí vyšším než 80°C a méně modifikovaná pojiva s bodem měknutí v rozmezí 50°C až 60°C. Při porovnání s konvenčními PMB můžeme vidět, že méně modifikovaná skupina PMB RC opravdu disponuje vyšším množstvím modifikační přísady, než konvenční pojivo se stejným deklarovaným bodem měknutí. Z hlediska vlivu přídavku laboratorně 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 pojiv je výrazně větší i s ohledem na chování za nízkých teplot [2].

6. POUŽITÁ LITERATURA

[1] Petroleum.cz [online]. 2007 [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: http://www.petroleum.cz/vyrobky/asfalty-silnicni.aspx

[2] Varaus M., Hýzl P., Mondschein P., Valentin J. a spol., Recyklace asfaltových směsí v paralelním sušicím bubnu při použití rejuvenátorů a přísad na snížení teploty zpracování, Článek z časopisu: Silniční obzor 02/2014.

[3] Koudelka T. Recyklace asfaltových směsí s polymerem modifikovanými asfalty, otázky a odpovědi, Brno, 2018.

[4] Sdružení pro výstavbu silnic Praha [online]. [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: http://www.sdruzeni-silnice.cz/

[5] ČSN 65 7222-1 – Asfalty a asfaltová pojiva – Silniční modifikované asfalty – Část 1: Polymerem modifikované asfalty. Praha: Český normalizační institut, 2017

[6] Thomas Sandmann. PMB AND RECYCLING EXPERIENCES FROM GERMANY. Brunsbüttel: TOTAL Bitumen Deutschland GmbH. 2015

[7] ČSN EN 1427. Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení bodu měknutí - Metoda kroužek a kulička. Praha: Český normalizační institut, 2015

[8] ČSN EN 1426. Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení penetrace jehlou. Praha: Český normalizační institut, 2015.

[9] ČSN EN 13398. Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení vratné duktility modifikovaných asfaltů. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, 2010.

[10] ČSN EN 12593. Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení bodu lámavosti podle Fraasse. Praha: Český normalizační institut, 2015.

7. SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Vývoj výroby asfaltů v letech 2010 -2016 v ČR [3] 12
Graf 2: Bod měknutí – pojiva kategorie 45/80 RC 28
Graf 3: Bod měknutí - pojiva kategorie 25/55 RC 29
Graf 4: Penetrace jehlou - pojiva kategorie 45/80 RC 30
Graf 5: Penetrace jehlou - pojiva kategorie 25/55 RC 32
Graf 6: Vratná duktilita - pojiva kategorie 45/80 RC 34
Graf 7: Vratná duktilita - pojiva kategorie 25/55 RC 35
Graf 8: Bod lámavosti a bod měknutí - pojiva kategorie 45/80 RC 36
Graf 9: Obor použitelnosti - pojiva kategorie 45/80 RC 37
Graf 10: Bod lámavosti a bod měknutí - pojiva kategorie 25/55 RC 38
Graf 11: Obor použitelnosti - pojiva kategorie 25/55 RC 38
Graf 12: Bod měknutí - vliv zestárlého pojiva na pojivo A 40
Graf 13: Bod měknutí - vliv zestárlého pojiva na pojivo B 41
Graf 14: Penetrace jehlou - vliv zestárlého pojiva na pojivo A 42
Graf 15: Penetrace jehlou - vliv zestárlého pojiva na pojivo B 43
Graf 16: Vratná duktilita - vliv zestárlého pojiva na pojivo A 44
Graf 17: Vratná duktilita - vliv zestárlého pojiva na pojivo B 45
Graf 18: Bod lámavosti a bod měknutí - vliv zestárlého pojiva na pojivo A 46
Graf 19: Bod lámavosti a bod měknutí - vliv zestárlého pojiva na pojivo B 47

8. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Princip PMB RC 14
Obrázek 2: Příprava forem s asfaltovým pojivem 16
Obrázek 3: Propad kroužek - kulička 18
Obrázek 4: Propad kroužek - kulička konec 18
Obrázek 5: Penetrometr 20
Obrázek 6: Polovlákna asfaltového pojiva 22
Obrázek 7: Vlákna asfaltového pojiva 22
Obrázek 8: Přístroj k měření bodu lámavosti 24
Obrázek 9: Bod lámavosti - prasklý vzorek 24

9. SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Vývoj výroby a importu asfaltů v letech 2010 -2016 v ČR [4] 12
Tabulka 2: Specifikace polymerem modifikovaných asfaltů pro asfaltové směsi [5] 15
Tabulka 3: Seznam vzorků kategorie pojiv 45/80 RC 26
Tabulka 4: Seznam vzorků kategorie pojiv 25/55 RC 26
Tabulka 5: Vlastnosti laboratorně zestárlého pojiva ..... **Chyba! Záložka není definována.**
Tabulka 6: Stanovení bodu měknutí - pojiva kategorie 45/80 RC 27
Tabulka 7: Stanovení bodu měknutí - pojiva kategorie 25/55 RC 28
Tabulka 8: Stanovení penetrace jehlou - pojiva kategorie 45/80 RC 30
Tabulka 9: Stanovení penetrace jehlou - pojiva kategorie 25/55 RC 31
Tabulka 10: Stanovení vratné duktility - pojiva kategorie 45/80 RC 33
Tabulka 11: Stanovení vratné duktility - pojiva kategorie 25/55 RC 34
Tabulka 12: Stanovení bodu lámavosti - pojiva kategorie 45/80 RC 36
Tabulka 13: Stanovení bodu lámavosti - pojiva kategorie 25/55 RC 37
Tabulka 14: Stanovení bodu měknutí - vliv zestárlého pojiva na pojivo A 39
Tabulka 15: Stanovení bodu měknutí - vliv zestárlého pojiva na pojivo B 40
Tabulka 16: Stanovení penetrace jehlou - vliv zestárlého pojiva na pojivo A 42
Tabulka 17: Stanovení penetrace jehlou - vliv zestárlého pojiva na pojivo B 42
Tabulka 18: Stanovení vratné duktility - vliv zestárlého pojiva na pojivo A 44
Tabulka 19: Stanovení vratné duktility - vliv zestárlého pojiva na pojivo B 44
Tabulka 20: Stanovení bodu lámavosti - vliv zestárlého pojiva na pojivo A 46
Tabulka 21: Stanovení bodu lámavosti - vliv zestárlého pojiva na pojivo B 46