



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

**VLIV SKLADOVÁNÍ POLYMEREM
MODIFIKOVANÝCH ASFALTŮ NA JEJICH
VLASTNOSTI**

INFLUENCE OF POLYMER MODIFIED BITUMENS STORAGE ON THEIR PROPERTIES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Petra Měšťanová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ONDŘEJ DAŠEK, Ph.D.

BRNO 2019



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	Petra Měšťanová
Název	Vliv skladování polymerem modifikovaných asfaltů na jejich vlastnosti
Vedoucí práce	Ing. Ondřej Dašek, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2018
Datum odevzdání	24. 5. 2019

V Brně dne 30. 11. 2018

doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Vedoucí ústavu

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

PODKLADY A LITERATURA

Předané vzorky asfaltových pojiv

Zkušební normy pro asfaltová pojiva

Specifikační normy pro asfaltová pojiva

Literatura z internetu

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Vybrané polymerem modifikované asfalty budou uloženy při vysoké teplotě a v průběhu tohoto skladování budou odebírány vzorky daných pojiv. Na těchto vzorcích budou provedeny vybrané vhodné laboratorní zkoušky, pomocí kterých bude sledován vývoj vlastností pojiv v závislosti na době skladování při vysoké teplotě.

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).

Ing. Ondřej Dašek, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Předmětem bakalářské práce je popsání vlivu dlouhodobého skladování polymerem modifikovaných asfaltů při teplotě 180 °C na jejich vlastnosti. V teoretické části bude popsána podstata modifikace pojiv a postup zkoušek penetrace jehlou, bodu měknutí, vratné duktility a dynamické viskozity v DSR. V praktické části budou vyhodnoceny a porovnány změny vlastností pěti zkoušených modifikovaných pojiv v průběhu skladování.

KLÍČOVÁ SLOVA

Asfalt, modifikovaný asfalt, polymerem modifikovaný asfalt, modifikovaná pojiva, penetrace jehlou, bod měknutí, metoda kroužek a kulička, vratná duktilita, dynamická viskozita, dynamický smykový reometr, stárnutí asfaltu.

ABSTRACT

Subject of this bachelor's thesis is to describe the influence of long-term storage of polymer modified bitumen at temperature of 180 °C on their properties. The principle of binder modification and test procedure of needle penetration, softening point, elastic recovery and dynamic viscosity in DSR will be explained in the theoretical part. The properties changes of five tested modified binders during storage will be evaluated and compared in the practical part.

KEYWORDS

Bitumen, modified bitumen, polymer modified bitumen, modified binders, needle penetration, softening point, ring and ball method, elastic recovery, dynamic viscosity, dynamic shear rheometer, bitumen ageing.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Petra Měšťanová. *Vliv skladování polymerem modifikovaných asfaltů na jejich vlastnosti*. Brno, 2019. 55 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce Ing. Ondřej Dašek, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne: 23. 5. 2019

Petra Měšťanová
autor práce

PODĚKOVÁNÍ:

Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Ondřeji Daškovi Ph.D. za jeho cenné rady, pomoc a čas při vypracovávání mé práce. Dále bych chtěla poděkovat panu Pavlovi Strakovi za pomoc při provádění zkoušek v laboratoři. Na závěr patří můj dík rodině a blízkým přátelům za podporu během studia.

Obsah:

1	ÚVOD	10
2	REŠERŠE LITERATURY	11
2.1	HISTORIE ASFALTŮ.....	11
2.2	POUŽÍVANÉ MODIFIKAČNÍ PŘÍSAKY	11
2.3	VÝROBA PMB.....	13
2.4	STÁRNUTÍ PMB.....	14
2.5	RECYKLACE PMB.....	15
2.6	VÝHODY A NEVÝHODY PMB.....	15
3	CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	16
4	POUŽITÉ ZKUŠEBNÍ METODY	17
4.1	SKLADOVÁNÍ POJIV PŘI VYSOKÉ TEPLOTĚ	17
4.2	PENETRACE JEHLOU	17
4.2.1	Podstata metody.....	17
4.2.2	Přístroje a pomůcky.....	17
4.2.3	Příprava vzorků.....	18
4.2.4	Postup zkoušky.....	18
4.2.5	Vyjádření výsledků.....	18
4.3	BOD MĚKNUTÍ – KROUŽEK A KULIČKA	19
4.3.1	Podstata metody.....	19
4.3.2	Přístroje a pomůcky.....	19
4.3.3	Příprava vzorků.....	19
4.3.4	Postup zkoušky.....	19
4.3.5	Vyjádření výsledků.....	20
4.4	VRATNÁ DUKTILITA.....	20
4.4.1	Podstata metody.....	20
4.4.2	Přístroje a pomůcky.....	20
4.4.3	Příprava vzorků.....	21
4.4.4	Postup zkoušky.....	21
4.4.5	Vyjádření výsledků.....	21
4.5	DYNAMICKÁ VISKOZITA V DSR	22
4.5.1	Podstata metody.....	22
4.5.2	Přístroje a pomůcky.....	22
4.5.3	Příprava vzorků.....	22
4.5.4	Postup zkoušky.....	23
4.5.5	Vyjádření výsledků.....	23
5	POUŽITÉ MATERIÁLY	24
5.1	VÝROBCE A.....	24

5.2	VÝROBCE B.....	25
6	VÝSLEDKY ZKOUŠEK	26
6.1	SKLADOVÁNÍ POJIV PŘI VYSOKÉ TEPLOTĚ	26
6.2	PENETRACE JEHLOU	26
6.2.1	Výrobce A	27
6.2.2	Výrobce B	28
6.2.3	Zhodnocení.....	28
6.3	BOD MĚKNUTÍ – KROUŽEK A KULIČKA	29
6.3.1	Výrobce A	30
6.3.2	Výrobce B	31
6.3.3	Zhodnocení.....	32
6.4	VRATNÁ DUKTILITA.....	33
6.4.1	Zhodnocení.....	34
6.5	DYNAMICKÁ VISKOZITA V DSR	35
6.5.1	Zhodnocení.....	38
6.6	VZÁJEMNÁ KORELACE	39
6.6.1	Dynamická viskozita - Penetrace jehlou.....	39
6.6.2	Dynamická viskozita - Bod měknutí (kroužek – kulička).....	40
6.6.3	Dynamická viskozita - Vratná duktilita	42
6.6.4	Penetrace jehlou - Bod měknutí (kroužek – kulička).....	44
6.6.5	Penetrace jehlou - Vratná duktilita	45
6.6.6	Vratná duktilita - Bod měknutí (kroužek – kulička).....	47
6.7	SOUHRNNÁ TABULKA VÝSLEDKŮ	49
7	ZÁVĚR	50
8	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	51
9	SEZNAM OBRÁZKŮ	53
10	SEZNAM TABULEK	54
11	SEZNAM GRAFŮ	55

1 ÚVOD

Vlivem stále narůstajícího dopravního zatížení a působení klimatických podmínek se tvoří poruchy vozovek ve velkém měřítku. Navíc z dlouhodobého hlediska stoupá cena ropy, a tím pádem i cena asfaltu, proto je náročnější sehnat finanční prostředky na kvalitní opravy a údržbu silnic. Zvyšují se tedy nároky na životnost pozemních komunikací a je potřeba dále zlepšovat vlastnosti asfaltových poživ. Jednou z možností je přidání modifikační přísady do asfaltového pojiva, která zlepšuje jeho fyzikálně mechanické vlastnosti a trvanlivost. Nejčastěji používanými modifikátory jsou polymery. [1] Dalšími modifikátory mohou být syntetické polymery, přírodní kaučuky, pryžový granulát, síra nebo organokovové sloučeniny. [2] Důležitým parametrem pro získání optimálního modifikovaného pojiva je také vhodná volba kvalitního základního asfaltu. [3]

Již v 19. století začaly experimenty s modifikací asfaltů. Ve Francii roku 1902 poprvé zkusili přidat pryž do asfaltu, za účelem zlepšení jeho fyzikálně mechanických vlastností. Zkoušení probíhá dodnes, nejen kvůli pokusům o zlepšení fyzikálně mechanických vlastností asfaltu, ale jedná se i o snahu zbavovat se odpadního pryžového materiálu (např. pneumatik). Na konci 40. let 20. století se začaly do asfaltu přidávat polymerní látky, které mají ve srovnání s pryží znatelně lepší výsledky. [4]

Modifikovaná asfaltová pojiva jsou zpracovávána při teplotách v rozmezí 150 až 180 °C. Při působení vyšších teplot než 200 °C může dojít k přehřátí pojiva a tím k degradaci polymeru. [5] Po výrobě jsou modifikované asfalty vystaveny zvýšeným teplotám při skladování a přepravě, což může mít za následek degradaci modifikátoru. Použití takových asfaltů může mít vliv na nedostatečnou kvalitu silnic. [6]

V mé bakalářské práci jsem zjišťovala vliv vysoké teploty při skladování na změny vlastností polymerem modifikovaných asfaltů.

2 REŠERŠE LITERATURY

2.1 HISTORIE ASFALTŮ

Přírodní asfalt se vyskytuje v přírodě v různém geologickém prostředí, nejčastěji jako sediment v uskupení známém jako naftonosné. Historie používání asfaltů sahá až do starověku, datuje se nejméně do pátého tisíciletí před naším letopočtem, jednalo se o přírodní asfalt těžený v oblasti Mrtvého moře, který se zde těží dodnes. Přírodní asfalty se těží skoro po celém světě, např. jezero PitchLake v Trinidadu a Tobagu, jezero Bermudez ve Venezuele, přírodní průsaky v Kalifornii atd. [7] Přírodní asfalt se zahřeje na 160 °C a následně se prolíje přes síta, čímž se odstraní hrubé nečistoty. Tento asfalt je příliš tuhý, proto se míchá s měkkým ropným asfaltem. [8]

Ropné asfalty se vyrábí ze surové ropy, jako zbytek po vakuové destilaci. Je to nejviskóznější složka ropy a má nejvyšší bod varu. [7] Může se dále zpracovávat oxidací a tím ovlivňovat některé vlastnosti asfaltu. Rozlišujeme: destilační (získaný přímo po destilaci), polofoukané (z destilačních asfaltů oxidací vakuového zbytku), foukané (z destilačních asfaltů oxidací k získání vysoce viskózních asfaltů) a modifikované (destilační nebo polofoukané asfalty s přídavkem modifikátorů). [8]

Asfalt se zpočátku používal především jako malta a těsnící tmel nebo jako izolace střech a budov proti vodě. Dokonce se asfalt používal k výrobě nádob na skladování potravin. V Egyptě využívali přírodní asfalt k mumifikaci zemřelých. Na dálném východě přírodní asfalt pomalu vařili, aby odstranili hrubé frakce a nečistoty, zůstal pouze termoplastický materiál, který měl vyšší molekulovou pevnost. Tím pokrývali předměty a objekty, které bylo potřeba chránit před vodou. Od 18. století našeho letopočtu se asfalt začal používat čím dál více. V současné době jde zhruba 85% z výroby do silničního stavitelství. [4], [7]

2.2 POUŽÍVANÉ MODIFIKAČNÍ PŘÍSAKY

Nejčastěji používanou modifikační přísadou jsou polymery. [1] Dalšími modifikátory mohou být syntetické polymery, přírodní kaučuky, pryžový granulát, síra, organokovové sloučeniny nebo odpadní materiál (např. staré pneumatiky). [2]

Polymerem modifikované asfalty jsou v angličtině označovány PMB (= Polymer modified bitumen). Asfalt je dále označen zlomkem vyjadřujícím jeho charakteristické hodnoty penetrace a také minimální hodnotou bodu měknutí. [9]

Podle uspořádání řetězce makromolekul dělíme polymery do dvou hlavních skupin, a to na termosetické polymery a termoplastické polymery. Termosetické polymery se pro modifikace nepoužívají, protože po zahřátí nenávratně tvrdnou. Termoplastické neboli jednorozměrné polymery se mohou ohřívat opakovaně a po zahřátí se stávají plastickými. Za vysokých teplot se přimíchávají do asfaltů, čímž vznikne vysoce viskózní směs. Tyto se dále dělí na elastomery a plastomery. [4], [8]

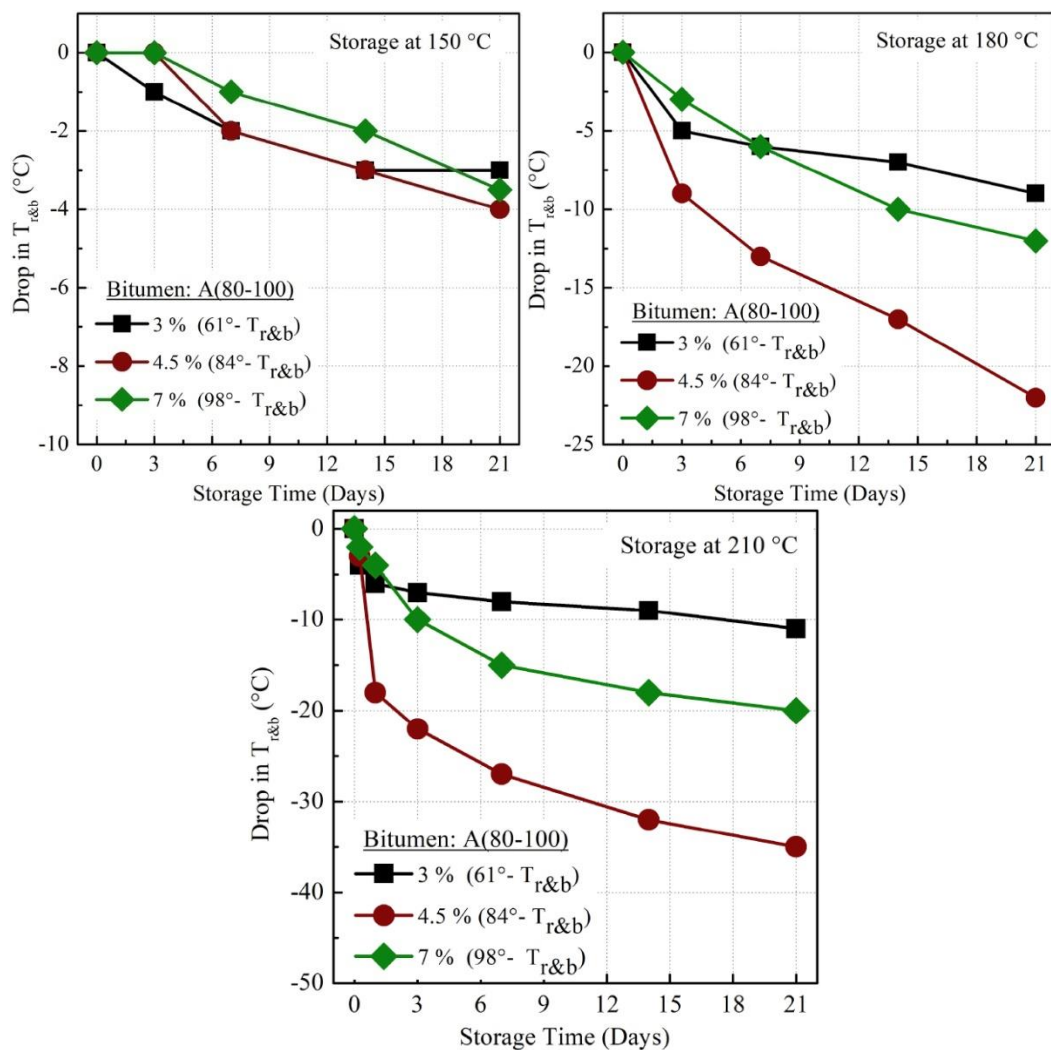
Nejčastěji používaným elastomerem je termoplastický kaučuk = styren-butadien-styren (SBS). Asfaltové pojivo se po přidání elastomeru chová pružněji. Stanovení vratné duktility je mírou elastického chování modifikovaných asfaltů. [9] Nevýhodou elastomerů je tendence se oddělovat od asfaltu. Z toho důvodu je nutné tato pojiva během skladování promíchávat. Přídavkem síry je možné provést stabilizování pojiv, protože síra má schopnost utvořit tzv. sírné můstky, které dokážou zabránit oddělování elastomeru. Přidávání síry je ale složité, protože při reakci vzniká sirovodík, který je třeba odvádět pryč, aby nedošlo k explozi. [5]

Z plastomerů jsou používány především kopolymery etylen/vinylacetát (EVA) a etylen/butylakrylát (EBA). Asfaltové pojivo zahušťují a zlepšují jeho chování za vysokých teplot (vyšší bod měknutí), ale za nízkých teplot jeho vlastnosti zhoršují. [9] Používání EVA v České Republice je zakázané.

V roce 1998 byl vyvinut reaktivní elastomerní terpolymer (RET). Jedná se o kombinaci plastomeru a elastomeru, tzv. termoplastický kaučuk (chemicky etylen-glycidyd-akrylát). Je schopen řádně propojit strukturu modifikovaného asfaltového pojiva, zabráňuje oddělování polymeru a stává se dokonale homogenním pojivem. [5]

Vhodná volba základního asfaltu je velmi důležitým parametrem pro získání optimálního modifikovaného pojiva, protože každý asfalt má jiné chemické složení a strukturu. [3] Kvalitní základní asfalt pomáhá zlepšovat účinky modifikace, zatímco použití špatné kvality asfaltu může učinit modifikaci zbytečnou. Vhodná volba se zpravidla určuje laboratorními zkouškami. [10]

Dle jedné turecké studie [6] se ukázalo, že zásadní vliv na degradaci polymeru má teplota skladování už při 180 °C. Byl zjišťován vliv skladovací teploty, koncentrace polymeru, typ polymeru a typ základního asfaltu na vlastnosti při skladování o zvýšených teplotách. Byl zkoumán především typ SBS, protože je jedním z nejčastěji používaných polymerů pro modifikaci. Při teplotě 150 °C se vlastnosti polymerem modifikovaných pojiv nezměnily ani po 21 dnech skladování. Při teplotě 180 °C byl pokles vlastností už po 3 dnech skladování. Nejhorší výsledky byly zaznamenány při teplotě 210 °C, kdy polymer začal degradovat už po pár hodinách. U vzorků s obsahem SBS pod 3 % není silně vytvořena trojrozměrná síť, a proto je omezeno i snížení vlastností. Ztráta vlastností je nejzřetelnější na vzorcích s obsahem 3 % až 6 % SBS. Zvýšení obsahu SBS nad 6 % přinesl nižší pokles vlastností. Typ základního asfaltu neměl vliv na pozorování ztráty vlastností. [6] Na obrázku 1 jsou grafy bodu měknutí pro různé koncentrace polymeru SBS a různé teploty.



Obrázek 1: Bod měknutí pro různé skladovací teploty a různé koncentrace SBS [6]

2.3 VÝROBA PMB

Polymery se do silničního asfaltu zpravidla přidávají jako pevná látka ve formě granulátu nebo prášku (Obrázek 2 a 3), případně také jako kapalina ve formě emulze nebo roztoku. K základnímu asfaltu jsou přidávány v požadovaném množství. [11]



Obrázek 2: Granule SBS [12]



Obrázek 3: Granule EVA [13]

Výroba PMB v rafinériích:

Polymerem modifikované asfalty se mohou vyrábět přímo v rafinériích. Při tomto způsobu výroby se v každé rafinérii používá pouze jeden typ polymeru. Pro stavby pozemních komunikací se používají především polymery typu styren-butadien nebo etylen/vinylacetát. Množství modifikační přísady se řídí podle požadavku na hotovou směs.

Speciální modifikační stanice:

Prvním typem speciální stanice je vysokorychlostní míchací zařízení. V tomto zařízení se velmi vysokou rychlostí protlačuje směs asfaltu a polymeru úzkou mezerou, která snadněji rozdrtí a smíchá jednotlivé segmenty dohromady. Polymer se tak v asfaltu jemně rozptýlí. Zároveň na směs působí i silné smykové síly, které zčásti ničí makromolekuly. Toto zařízení se používá, pokud je zapotřebí vyrobit menší množství anebo není dostatek místa k uskladnění. Takto vyrobený polymerem modifikovaný asfalt se vyznačuje především rychlou stabilizací.

Dalším typem speciální stanice je konvenční míchací zařízení, které pracuje na chemicko-fyzikálním principu. Důležité je přesné sladění základního asfaltu a polymeru. Použitím pomalu se otáčejících míchačů se vpravuje polymer, působí zde velmi malé smykové účinky, takže nehrozí nebezpečí zničení koloidního systému. Hotové směsi potřebují podstatně delší dobu pro stabilizaci, proto je tato metoda časově náročnější.

Polymerem modifikované asfalty se dodávají už jako hotové výrobky připravené k okamžitému spotřebování. Kvalita výsledné směsi podléhá přísné a nepřetržité kontrole na pracovišti i v laboratoři. Stejná bezpečnostní opatření platí i pro skladování, přepravu a následné zpracování. [11]

2.4 STÁRNUTÍ PMB

Stárnutí asfaltových pojiv je proces, při kterém dochází ke zhoršení jejich vlastností a tím i trvanlivosti. Ke stárnutí dochází už od počátku výroby, skladování, zpracování, dopravy, pokládce a během užívání. Kvůli působení tepla, ultrafialového záření a vzdušného kyslíku dochází k degradaci asfaltových vrstev, které pak méně odolávají účinkům zatížení a mohou se objevit poruchy, především za nízkých teplot. [14]

Za hlavní příčinu stárnutí, které ovlivňuje asfaltové pojivo, se považuje oxidace. Účinky oxidace jsou nevratné a mají vliv na chemické a fyzikální vlastnosti jako je pružnost, modul tuhosti a křehkost za nízkých teplot. Složky asfaltu absorbují atmosférický kyslík a tepelnými reakcemi se mění jeho chemické vlastnosti. Kyslík z atomů uhlíku odstraňuje atomy vodíku a tyto procesy vedou ke vzniku nových sloučenin. Teplota významně ovlivňuje rychlost stárnutí, rychlost oxidace se zdvojnásobuje s každým zvýšením teploty o 10 °C nad 100 °C. Asfalt dobře pohlcuje světlo a i přes nízké pronikání UV záření do vrstev asfaltu, zrychluje absorpci kyslíku a tím proces stárnutí. [15]

Stárnutí lze napodobit laboratorními zkouškami. Rozlišujeme krátkodobé a dlouhodobé stárnutí. Při krátkodobém stárnutí se simulují změny vlastností pojiva v průběhu míchání,

dopravy a pokládky. Při dlouhodobém stárnutí se simuluje změna vlastností v průběhu užívání ve vrstvě vozovky v důsledku působení klimatických podmínek. [4]

2.5 RECYKLACE PMB

V souladu se zásadou udržitelného rozvoje by se měly modifikované asfalty po skončení své životnosti recyklovat. Výzkumníci se snažili prozkoumat proveditelnost recyklace, zejména nejrozšířenějšího asfaltu modifikovaného SBS a přišli k závěru, že je možné recyklovat starý modifikovaný asfalt přidáním omlazovačů (rejuvenátorů) nebo čerstvého asfaltu. [10]

2.6 VÝHODY A NEVÝHODY PMB

Oproti běžně používaným asfaltovým pojivům se u asfaltových pojiv s přidanými modifikátory významně zvýší odolnost proti trvalým deformacím, především za vysokých teplot. Vyjždění kolejí (plastické deformace) jsou jedním z nejběžnějších poruch krytů asfaltových vozovek. Použitím polymerem modifikovaných pojiv se zvýší odolnost směsí proti vyjždění kolejí. Únavové vlastnosti a také trvanlivost vozovek se zlepší až 2,5 krát. Dále se zlepšují vlastnosti za nízkých teplot, odolnost proti vzniku mrazových trhlin a také přilnavost ke kamenivu. [3], [8]

Nevýhodou polymerem modifikovaných asfaltů je omezená tepelná a oxidační stabilita. V přítomnosti přebytečného vzduchu (podmínky napodobující výstavbu silnic) základní asfalt rychleji tuhne a molekuly polymeru se rychleji rozkládají. [6] Je potřeba striktně dodržovat předepsané technologické postupy, protože modifikované asfalty jsou viskóznější a hůře zpracovatelné než silniční asfalty. Další nevýhodou je tendence polymeru oddělovat se od pojiva. Proto je nutné je během skladování častěji promíchávat, nebo se může provést stabilizace přídavkem síry. Další nevýhodou je jejich vyšší cena oproti nemodifikovaným silničním asfaltům. [5]

3 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Hlavním cílem bakalářské práce je sledování vlivu dlouhodobě působící vysoké teploty na změny vlastností pěti vybraných polymerem modifikovaných asfaltů. Vzorok PMB budou uloženy při teplotě 180 °C v laboratorní sušárně po dobu 28 dní. V průběhu času tohoto skladování budou odebírány vzorky daných pojiv. Na těchto vzorcích budou provedeny vybrané laboratorní zkoušky.

Na základě výsledků laboratorních zkoušek bude vyhodnocen vývoj vlastností pojiv v závislosti na době skladování při vysoké teplotě.

Vybrané laboratorní zkoušky:

- Stanovení bodu měknutí metodou kroužek a kulička – ČSN EN 1427
- Stanovení vratné duktility – ČSN EN 13398
- Stanovení penetrace jehlou – ČSN EN 1426
- Dynamická viskozita v dynamickém smykovém reometru – ČSN EN 13702

4 POUŽITÉ ZKUŠEBNÍ METODY

V této kapitole jsou shrnuty laboratorní metody, které byly použity pro zhodnocení vlastností polymerem modifikovaných asfaltů.

4.1 SKLADOVÁNÍ POJIV PŘI VYSOKÉ TEPLOTĚ

Vzorky pěti vybraných polymerem modifikovaných asfaltů byly uloženy v zavíčkovaných plechovkách při teplotě 180 °C v laboratorní sušárně. Odběr zkušebních vzorků probíhal tak, že se vyndaly vzorky asfaltových pojiv ze sušárny, odstranilo se víko a pomocí skleněné tyčky se pojivo promíchalo, aby došlo k homogenizaci pojiva. Nejprve byly odlity zkušební vzorky nultý den z nezestárých pojiv, pojiva byla pouze rozežhřáta. Dále se odebíraly zkušební vzorky pro zkoušky 1., 2., 3., 7. a 28. den.

4.2 PENETRACE JEHLOU

4.2.1 PODSTATA METODY

Podstatou této metody je stanovení hloubky průniku jehly do analytického vzorku asfaltového pojiva za specifikovaných podmínek teploty, zátěže a době zatěžování. Vzorek pojiva je vytemperován na teplotu 25 °C. Následně je zatěžován zkušební jehlou se závažím o hmotnosti 100 g po dobu 5 s. Penetrace je uvedena v desetinách milimetru ($=0,1 \text{ mm}$). Na každém vzorku se při zkušební teplotě provedou tři měření průniku. [16] [17]

4.2.2 PŘÍSTROJE A POMŮCKY

- Penetrometr
- Penetrační jehla
- Nádobka na zkušební vzorek
- Vodní lázeň
- Přenosná miska
- Zařízení na měření času
- Zařízení na měření teploty

Penetrometr se musí nejméně jednou ročně nakalibrovat pro správné měření. [17]

Na obrázku 4 je vidět penetrometr se zkušebním vzorkem.



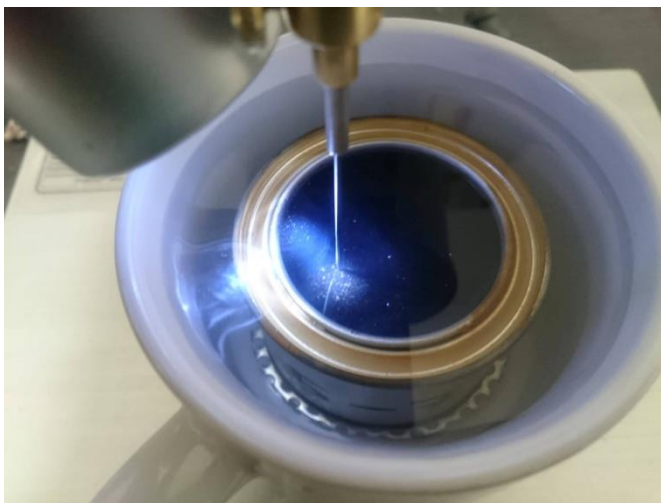
Obrázek 4: Penetrometr

4.2.3 PŘÍPRAVA VZORKŮ

Zkušební vzorek asfaltového pojiva se odlije do menší plechové nádoby válcového tvaru. Nádoba se naplní tak, aby po vychladnutí vzorku na zkušební teplotu 25 °C byla minimálně o 10 mm výš, než je předpokládaná hloubka průniku jehly. Po nalití vzorku se musí nádoba se vzorkem přikrýt víčkem, je to příhodný způsob jak zamezit vzniku vzduchových bublin a zároveň chránit vzorek před prachem. Takto připravený zkušební vzorek se nechá zchladnout na laboratorní teplotu. [17]

4.2.4 POSTUP ZKOUŠKY

Vychladlé vzorky se umístí do vodní lázně s konstantní teplotou $25 \pm 0,15$ °C na dobu 90-ti minut. Dále se zkontroluje držák jehly, že je čistý a suchý, a že se volně pohybuje ve vodícím zařízení. Penetrační jehla se očistí toluenem nebo jiným vhodným rozpouštědlem, osuší se a upne do držáku. U zkoušky prováděné mimo vodní lázeň je zapotřebí zkušební vzorek umístit do přenosné misky. Nádoba se vzorkem musí být zcela ponořena ve vodě. Přenosná miska spolu se zkušebním vzorkem se umístí na podstavec penetrometru. Pomalu se snižuje jehla, až se dotkne svého odrazu na povrchu zkušební vzorku, jak je vidět na obrázku číslo 5. Doba zatěžování se nastaví na 5 s a rychle se uvolní držák jehly. Odečte se hodnota penetrace na stupnici a zaznamená se do záznamového archu. Takto se provedou nejméně tři platná měření, která jsou od sebe i od stěn nádoby vzdálená min. 10 mm. [17]



Obrázek 5: Nastavení penetrační jehly

4.2.5 VYJÁDŘENÍ VÝSLEDKŮ

Pokud rozdíl jednotlivých měření nepřekročí povolenou mez, zprůměrovaná hodnota se zaznamená zaokrouhlená na nejbližší celé číslo. Čím nižší je hodnota penetrace, tím tvrdší je pojivo a naopak. Je nutné přesně dodržovat předepsané postupy, i jen nepatrná odchylka může způsobit velké rozdíly ve výsledku. Nejčastějšími chybami jsou: špatný odběr vzorků a jejich příprava, špatně udržované přístroje a jehly, nesprávná teplota a načasování. [16] [17]

4.3 BOD MĚKNUTÍ – KROUŽEK A KULIČKA

4.3.1 PODSTATA METODY

Principem této metody je stanovení bodu měknutí asfaltového pojiva. Teplota, při které pojivo změkne natolik, že kulička protáhne tuto vrstvu na délku 25 ± 4 mm. [9] [18]

4.3.2 PŘÍSTROJE A POMŮCKY

- Mosazné kroužky
- Odlévací destička
- Kuličky z koroziivzdorné oceli
- Středící prstence pro kuličky
- Držák kroužků a sestava
- Lázeň
- Zařízení na měření teploty
- Míchadlo
- Poloautomatické nebo automatické zařízení (viz obr 6)

Celé zařízení se musí nejméně jednou ročně nakalibrovat pro správné měření. [18]



Obrázek 6: Zařízení na stanovení bodu měknutí

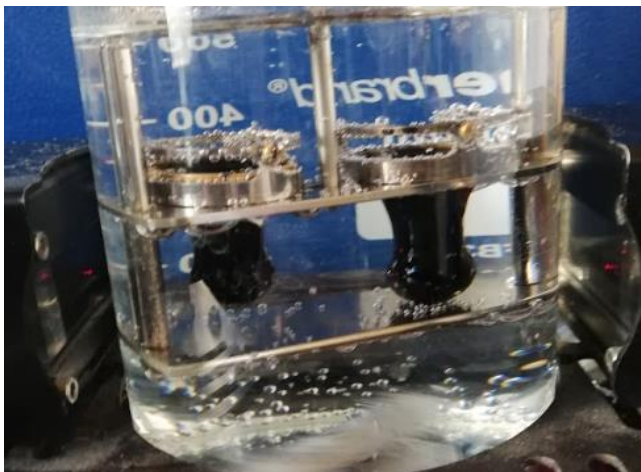
4.3.3 PŘÍPRAVA VZORKŮ

Zkušební vzorek asfaltového pojiva se odlije do dvou malých mosazných kroužků s mírným přebytkem. Po zchladnutí vzorku při laboratorní teplotě (min. 30 minut) se odřízne přebytek asfaltu zahřátým nožem tak, aby povrch byl zarovnaný s okrajem kroužku. [16] [18]

4.3.4 POSTUP ZKOUŠKY

Oba naplněné kroužky se umístí do sestavy, která se ponoří do lázně (skleněné kádinky) obsahující vodu nebo glycerin. Pro předpokládaný bod měknutí pod $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ se použije

voda, nad 80 °C glycerin. Počáteční teplota při použití vody je 5 °C a při použití glycerinu 30 °C. Sestava se udržuje při této teplotě min. 15 minut. Poté se kádinka přemístí do zkušebního přístroje. Pomocí kleští se umístí na každý kroužek kovová kulička do svého středícího zařízení. Teplota lázně se zahřívá rychlostí 5 °C za minutu a asfalt pomalu měkne, až se deformuje a kulička propadne prstencem (viz obr 7). Teplota bodu měknutí je teplota, kdy se kulička obklopená asfaltem dotkne základní desky nebo paprsku světla. [18]



Obrázek 7: Protahování asfaltového pojiva

4.3.5 VYJÁDŘENÍ VÝSLEDKŮ

Výsledky se zprůměrují, v případě použití vody jako lázně se zaokrouhlí na 0,2 °C a v případě glycerinu na 0,5 °C. Zkouška se má opakovat, pokud rozdíl dvou teplot přesahuje 2 °C. [18]

4.4 VRATNÁ DUKTILITA

4.4.1 PODSTATA METODY

Podstatou této metody je schopnost asfaltového pojiva vrátit se do původní délky. Zkouška probíhá za přesně stanovených podmínek. [19]

4.4.2 PŘÍSTROJE A POMŮCKY

- Formovací souprava
- Duktilometr
- Vodní lázeň
- Protahovací zařízení
- Regulace teploty
- Nůž
- Separační prostředek
- Nůžky
- Pravítko [19]

4.4.3 PŘÍPRAVA VZORKŮ

Podkladní destičky a bočnice formy se potřou tenkou vrstvou separačního prostředku. Forma se složí na podkladní destičku. Formy naplníme asfaltovým pojivem s mírným přebytkem a necháme zchladnout (asi 60 min). Poté se přebytečné pojivo seřízne nahřátým nožem. [19]

4.4.4 POSTUP ZKOUŠKY

Vzorek odlitý do zkušební formy se temperuje po dobu 90 ± 10 minut ve vodní lázni při zkušební teplotě $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Poté se vzorek asfaltového pojiva upevní na vodící desky protahovacího zařízení, sejmu se bočnice a rychlostí 50 mm/min se protahuje na požadované prodloužení 200 mm . Po zastavení protahovacího zařízení se do 10 sekund asfaltové vlákno uprostřed přestřihne nůžkami a tím vzniknou dvě polovlákná (viz obr 8). Po 30 minutách se pravítkem změří vzdálenost polovláken (viz obr 9). [19]



Obrázek 8: Vzorky bezprostředně po přestřihnutí



Obrázek 9: Po 30 minutách od přestřihnutí

4.4.5 VYJÁDŘENÍ VÝSLEDKŮ

Výsledek se vyjádří jako procento z délky prodloužení zaokrouhlené na celé číslo.

$$R_E = \frac{d}{L} \times 100$$

d – vzdálenost mezi polovlákný [mm]
L – délka protažení [mm] [19]

4.5 DYNAMICKÁ VISKOZITA V DSR

4.5.1 PODSTATA METODY

Dynamický smykový reometr se používá k určení viskoelastického chování asfaltových pojiv. Na vzorek asfaltového pojiva umístěný na desce se přitlačí kužel. Smykové napětí se aplikuje na vzorek pomocí rotace při zkušební teplotě 135 °C. Měří se kroutící moment o aplikované smykové rychlosti. [21]

4.5.2 PŘÍSTROJE A POMŮCKY

- Dynamický smykový reometr (DSR) (viz obr 10)
- Podložky, formy ze silikonu
- Deska a kužel průměru 40 mm s úhlem stoupání 4 °
- Sušárna [21]



Obrázek 10: DSR

4.5.3 PŘÍPRAVA VZORKŮ

Zkušební vzorek asfaltového pojiva se odlije do silikonové formy (viz obrázek 11) a nechá se vychladnout. [21]



Obrázek 11: Odlité zkušební vzorky [9]

4.5.4 POSTUP ZKOUŠKY

Vzorek se uvolní z formy a vloží se do reometru (viz obr 12). Deska a kužel reometru se předem zahřívají a to na teplotu 135 °C. Dále se vzorek upraví na zvolené nastavení mezery v rozmezí 0,025 a 0,050 mm (viz obr 13). Po spuštění kužele na vzorek se odřízne přebývající pojivo. Poté se nastaví rychlost otáčení a nechá se přístroj stabilizovat po dobu 15 minut. Výsledek se odečte z počítačového softwaru. [21]



Obrázek 12: Umístění vzorku do reometru



Obrázek 13: Nastavení mezery

4.5.5 VYJÁDŘENÍ VÝSLEDKŮ

Výsledkem této zkoušky je hodnota dynamické viskozity, zkušební teplota a smyková rychlost. Průměr dvou zkoušek stejného pojiva se nesmí lišit o víc než 5 %, jinak se musí zkouška opakovat s novými vzorky. [21]

5 POUŽITÉ MATERIÁLY

K provedení výše uvedených laboratorních zkoušek byly použity následující polymerem modifikovaná asfaltová pojiva od dvou nejmenovaných českých výrobců.

5.1 VÝROBCE A

Od výrobce A byly dodány dva vzorky polymerem modifikovaných asfaltů, viz tabulka 5.1.1. Oba vzorky jsou modifikované polymerem typu SBS. V tabulce 5.1.2 jsou uvedeny požadované vlastnosti pro ČR dle ČSN 65 7222-1 [22].

Tabulka 5.1.1: Použité PMB od výrobce A

Číslo vzorku	Označení pojiva
1	25/55-65
2	25/55-60

Tabulka 5.1.2: Požadované vlastnosti dle ČSN 65 7222-1 [22]

Parametr	Jednotka	Požadavek		Zkušební metoda
		25/55-65	25/55-60	
Penetrace při 25 °C	0,1 mm	25-55	25-55	EN 1426
Bod měknutí KK	°C	≥ 65	≥ 60	EN 1427
Silová duktilita	J/cm ²	≥ 3	≥ 2	EN 13589
teplota zkoušky	°C	10	10	
Bod lámavosti	°C	≤ -12	≤ -12	EN 12593
Vratná duktilita, 25 °C	%	≥ 70	≥ 60	EN 13702
Odolnost proti stárnutí RTFOT změna hmotnosti	%	≤ 0,5	≤ 0,5	EN 12607-1
zbylá penetrace	%	≥ 60	≥ 60	
změna bodu měknutí	°C	-5/+10	-2/+8	
vrátaná duktilita, 25 °C	%	≥ 60	≥ 50	
Bod vzplanutí	°C	≥ 235	≥ 235	EN ISO 2592
Skladovací stabilita rozdíl bodu měknutí	°C	≤ 5	≤ 5	EN 13399

- V této normě pro ČR není uveden požadavek na viskozitu. Např. v USA je požadováno max 3 Pa.s při 135 °C. Tento požadavek se uvádí pro to, aby bylo pojivo dobře čerpatelné.

5.2 VÝROBCE B

Od výrobce B byly dodány tři vzorky polymerem modifikovaných asfaltů, viz tabulka 5.2.1. Všechny tři vzorky jsou taktéž modifikované polymerem typu SBS. V tabulce 5.2.2 jsou uvedeny požadované vlastnosti pro ČR dle ČSN 65 7222-1 [22].

Tabulka 5.2.1: Použité PMB od výrobce B

Číslo vzorku	Označení pojiva
3	45/80-55
4	45/80-65
5	25/55-60

Tabulka 5.2.2: Požadované vlastnosti dle ČSN 65 7222-1 [22].

Parametr	Jednotka	Požadavek			Zkušební metoda
		45/80-55	45/80-65	25/55-60	
Penetrace při 25 °C	0,1 mm	45-80	45-80	25-55	EN 1426
Bod měknutí KK	°C	≥ 55	≥ 65	≥ 60	EN 1427
Silová duktilita	J/cm ²	≥ 1	≥ 3	≥ 2	EN 13589
teplota zkoušky	°C	5	5	10	
Bod lámavosti	°C	≤ -15	≤ -15	≤ -12	EN 12593
Vratná duktilita, 25 °C	%	≥ 60	≥ 70	≥ 60	EN 13702
Odolnost proti stárnutí RTFOT změna hmotnosti zbylá penetrace změna bodu měknutí vratná duktilita, 25 °C	%	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	EN 12607-1
	%	≥ 60	≥ 60	≥ 60	
	°C	-2/+8	-5/+10	-2/+8	
	%	≥ 50	≥ 60	≥ 50	
Bod vzplanutí	°C	≥ 235	≥ 235	≥ 235	EN ISO 2592
Skladovací stabilita rozdíl bodu měknutí	°C	≤ 5	≤ 5	≤ 5	EN 13399

- V této normě pro ČR není uveden požadavek na viskozitu. Např. v USA je požadováno max 3 Pa.s při 135 °C. Tento požadavek se uvádí pro to, aby bylo pojivo dobře čerpatelné.

6 VÝSLEDKY ZKOUŠEK

V této kapitole jsou vyhodnoceny jednotlivé zkoušky, které byly provedeny na zkušebních vzorcích polymerem modifikovaných asfaltů. Výsledky, porovnání a vzájemné vztahy jsou znázorněny v tabulkách a grafech.

6.1 SKLADOVÁNÍ POJIV PŘI VYSOKÉ TEPLOTĚ

Během skladování se na některých vzorcích tvořil škraloup, který šel ovšem dobře rozmíchat a při provádění zkoušek nepředstavoval zpočátku žádný problém. Na vzorcích č. 1 a 2 byl škraloup znatelný už první den uskladnění. Při odlívání vzorků v den sedmý, se na těchto dvou vzorcích vytvořila silnější krusta, která šla hůře rozmíchat. Byla znatelná i vrstva usazeniny vespod plechovky. Přesto se všechny zkoušky podařilo naměřit bez problémů. V tento den se na vzorcích č. 3, 4 a 5 vytvořil taktéž škraloup (obrázek 14). V den poslední, tj. dvacátý osmý, se musely vzorky č. 1 a 2 přecedit přes síto, protože krusta na povrchu po rozmíchání vytvořila v pojivu příliš velké hrudky, které by znehodnotily prováděné zkoušky.



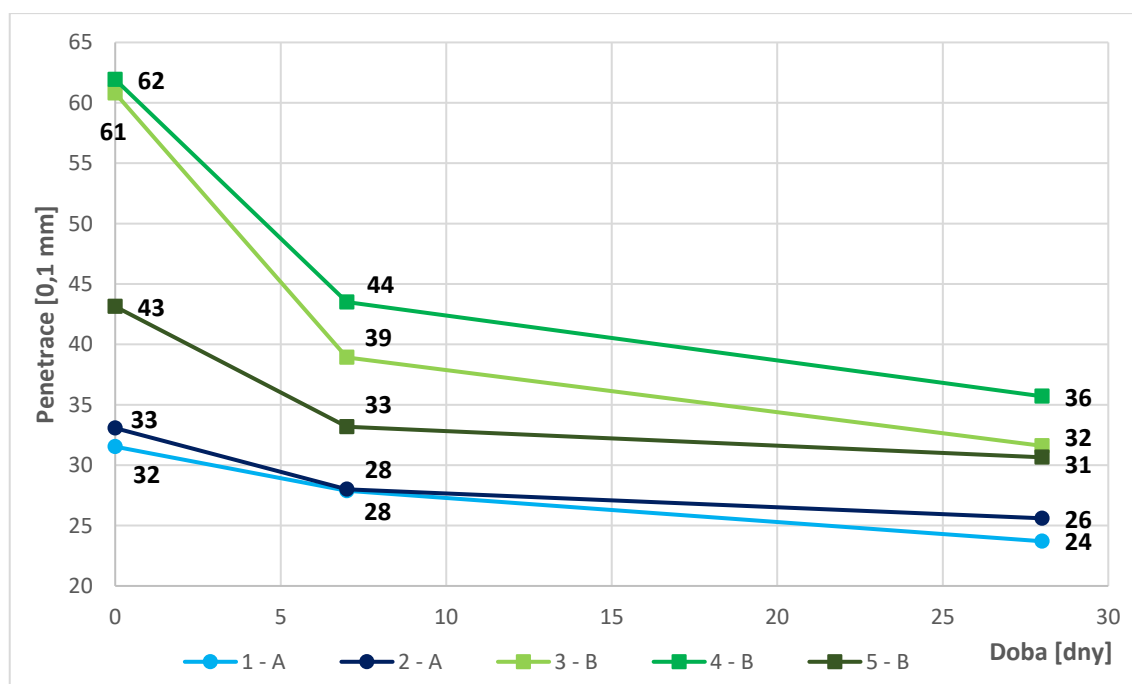
Obrázek 124: Den 7. - silnější krusta na vzorku č. 2 a škraloup na vzorku č. 5

6.2 PENETRACE JEHLOU

Tato zkouška je podrobně popsána v kapitole 4.2. U každého vzorku byla provedena 3 měření. První měření bylo provedeno na nezestárlém pojivu, poté 7. den a 28. den stárnutí. Naměřené a zprůměrované hodnoty jsou uvedené v tabulce 6.2.1 a grafu 6.2.1.

Tabulka 6.2.1: Naměřené hodnoty penetrace [0,1 mm]

Asfaltové pojivo	1	2	3	4	5
	A 25/55-65	A 25/55-60	B 45/80-55	B 45/80-65	B 25/55-60
Den 0.	32	33	61	62	43
Den 7.	28	28	39	44	33
Den 28.	24	26	32	36	31



Graf 6.2.1: Naměřené hodnoty penetrace jehlou [0,1 mm]

Z tohoto grafu je patrné, že všechna pojiva postupem času v laboratorní sušárně tvrdnou. U výrobce A není změna vlastností tak významná jako u výrobce B.

6.2.1 VÝROBCE A

Vzorek č. 1: 25/55 – 65

Po 28 dnech stárnutí v laboratorní sušárně při 180 °C klesla hodnota penetrace na 75 %, viz tabulka 6.2.1.1.

Tabulka 6.2.1.1: Procentuální vyjádření penetrace na vzorku č. 1

	Penetrace [0,1 mm]	Zbylá penetrace [%]
Den 0.	32	100
Den 7.	28	87,5
Den 28.	24	75,0

Vzorek č. 2: 25/55 – 60

Po 28 dnech stárnutí v laboratorní sušárně při 180 °C klesla hodnota penetrace na 78,8 %, viz tabulka 6.2.1.2.

Tabulka 6.2.1.2: Procentuální vyjádření penetrace na vzorku č. 2

	Penetrace [0,1 mm]	Zbylá penetrace [%]
Den 0.	33	100
Den 7.	28	84,9
Den 28.	26	78,8

6.2.2 VÝROBCE B

Vzorek č. 3: 45/80 – 55

Po 28 dnech stárnutí v laboratorní sušárně při 180 °C klesla hodnota penetrace na 52,5 %, viz tabulka 6.2.2.1.

Tabulka 6.2.2.1: Procentuální vyjádření penetrace na vzorku č. 3

	Penetrace [0,1 mm]	Zbylá penetrace [%]
Den 0.	61	100
Den 7.	39	63,9
Den 28.	32	52,5

Vzorek č. 4: 45/80 – 65

Po 28 dnech stárnutí v laboratorní sušárně při 180 °C klesla hodnota penetrace na 58,1 %, viz tabulka 6.2.2.2.

Tabulka 6.2.2.2: Procentuální vyjádření penetrace na vzorku č. 4

	Penetrace [0,1 mm]	Zbylá penetrace [%]
Den 0.	62	100
Den 7.	44	71,0
Den 28.	36	58,1

Vzorek č. 5: 25/55 – 60

Po 28 dnech stárnutí v laboratorní sušárně při 180 °C klesla hodnota penetrace na 72,1 %, viz tabulka 6.2.2.3.

Tabulka 6.2.2.3: Procentuální vyjádření penetrace na vzorku č. 5

	Penetrace [0,1 mm]	Zbylá penetrace [%]
Den 0.	43	100
Den 7.	33	76,7
Den 28.	31	72,1

6.2.3 ZHODNOCENÍ

Penetrace všech nezestárých pojiv vyhovuje požadavku ČSN 65 7222-1 [22], vzorky č. 1, 2 a 5 mají hodnotu penetrace v rozmezí 25-55 [0,1 mm] uváděné výrobcem a vzorky č. 4 a 5 dosahují rozmezí penetrace 45-80 [0,1 mm] uváděné výrobcem. Po 7 dnech skladování požadovanému rozpětí penetrace nevyhovují dvě pojiva od výrobce B, a to vzorky č. 3 a 4, hodnoty klesly pod 45 [0,1 mm]. Po 28 dnech skladování požadovanému rozpětí penetrace nevyhovuje i jedno pojivo od výrobce A - vzorek č. 1, hodnota klesla pod 25 [0,1 mm]. Vzorek č. 2 od výrobce A a vzorek č. 5 od výrobce B vyhovují požadavku ČSN 65 7222-1 [22] i po 28 dnech skladování při vysoké teplotě.

Zbylá penetrace po 28 dnech skladování při vysoké teplotě byla porovnána s požadavkem na zbylou penetraci po RTFOT dle ČSN 65 7222-1 [22], viz tabulka 6.2.3.1. Vzorky č. 3 a 4, pojiva třídy 45/80, nevyhovují tomuto požadavku. Avšak je potřeba zmínit, že proces stárnutí v laboratorní sušárně a metodou RTFOT probíhá zcela odlišně.

Tabulka 6.2.3.1: Porovnání zbylé penetrace dle ČSN 65 7222-1 [22].

Asfaltové pojivo	1	2	3	4	5
	A 25/55-65	A 25/55-60	B 45/80-55	B 45/80-65	B 25/55-60
Zbylá penetrace po 28 dnech [%]	75,0	78,8	52,5	58,1	72,1
Zbylá penetrace po RTFOT [%] ČSN 65 7222-1	≥ 60	≥ 60	≥ 60	≥ 60	≥ 60

Pojiva od výrobce B se po skladování stala viskóznější než pojiva od výrobce A, viz tabulka 6.2.3.2. U pojiv třídy 45/80 se hodnoty penetrace snižují výrazněji a rychleji než u pojiv třídy 25/55. Hodnota penetrace třídy 45/80 klesla po 28 dnech skladování o více než 40%.

Tabulka 6.2.3.2: Porovnání zbylé penetrace mezi výrobci

Asfaltové pojivo	1	2	3	4	5
	A 25/55-65	A 25/55-60	B 45/80-55	B 45/80-65	B 25/55-60
Zbylá penetrace po 28 dnech [%]	75,0	78,8	52,5	58,1	72,1
Průměr [%]	76,9		55,3		72,1

Dlouhodobé skladování PMB při teplotě 180 °C má na hodnotu penetrace značný vliv. Penetrace se postupem času snižovala, tzn. u pojiv se zvyšovala viskozita a tuhost. Výsledky penetrace budou porovnány s výsledky dynamické viskozity v kapitole 6.6.

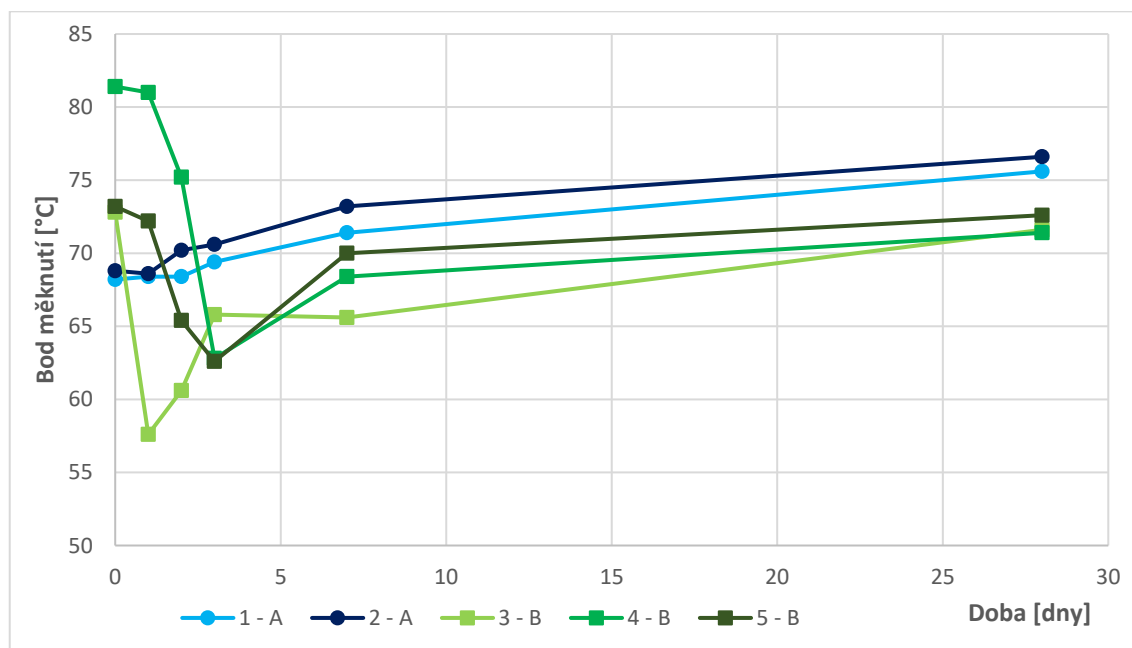
6.3 BOD MĚKNUTÍ – KROUŽEK A KULIČKA

Zkouška stanovení bodu měknutí metodou kroužek a kulička je podrobně popsána v kapitole 4.3. Tato zkouška byla provedena 0. den na nezestárlém pojivu, dále 1., 2., 3., 7. a 28. den uskladnění. Naměřené a zprůměrované hodnoty jsou uvedené v tabulce 6.3.1 a grafu 6.3.1. Z grafu je vidět, že pojiva od výrobce A mají stabilní chování, kdežto pojiva od výrobce B mají zpočátku značně proměnlivé chování, vyjádřené hodnotou bodu měknutí. Tato tři pojiva výrobce B vykazují nejprve během prvních tří dnů značný pokles hodnoty bodu měknutí, který může být pravděpodobně zapříčiněn doreagováním silničního asfaltu s polymerní přísadou, případně změnami vlastností polymerní přísady. Po těchto prvních třech dnech dochází

k opětovnému pozvolnému nárůstu hodnoty bodu měknutí, což je možné přisuzovat pozvolnému stárnutí pojiva při vysoké skladovací teplotě. Z takto rozdílného chování pojiv obou výrobců je možné dále usuzovat na rozdílnou technologii výroby polymerem modifikovaných asfaltů výrobce A a výrobce B.

Tabulka 6.3.1.: Naměřené hodnoty bodu měknutí [°C]

Asfaltové pojivo	1	2	3	4	5
	A 25/55-65	A 25/55-60	B 45/80-55	B 45/80-65	B 25/55-60
Den 0.	68,2	68,8	72,8	81,4	73,2
Den 1.	68,4	68,6	57,6	81,0	72,2
Den 2.	68,4	70,2	60,6	75,2	65,4
Den 3.	69,4	70,6	65,8	62,8	62,6
Den 7.	71,4	73,2	65,6	68,4	70,0
Den 28.	75,6	76,6	71,6	71,4	72,6



Graf 6.3.1.: Naměřené hodnoty bodu měknutí [°C]

6.3.1 VÝROBCE A

Vzorek č. 1: 25/55 – 65

Hodnota bodu měknutí v tomto případě stoupala po celou dobu uskladnění. Po 28 dnech stárnutí v laboratorní sušárně při 180 °C stoupla hodnota bodu měknutí až na 110,9 %, viz tabulka 6.3.1.1.

Tabulka 6.3.1.1: Procentuální vyjádření bodu měknutí na vzorku č. 1

	Bod měknutí [°C]	Procentuální hodnota bodu měknutí [%]	Změna bodu měknutí [°C]
Den 0.	68,2	100	
Den 1.	68,4	100,3	+ 0,2
Den 2.	68,4	100,3	+ 0,2
Den 3.	69,4	101,8	+ 1,2
Den 7.	71,4	104,7	+ 3,2
Den 28.	75,6	110,9	+ 7,4

Vzorek č. 2: 25/55 – 60

Po 28 dnech stárnutí v laboratorní sušárně při 180 °C stoupla hodnota bodu měknutí až na 111,3 %, viz tabulka 6.3.1.2.

Tabulka 6.3.1.2: Procentuální vyjádření bodu měknutí na vzorku č. 2

	Bod měknutí [°C]	Procentuální hodnota bodu měknutí [%]	Změna bodu měknutí [°C]
Den 0.	68,8	100	
Den 1.	68,6	99,7	- 0,2
Den 2.	70,2	102,0	+ 1,4
Den 3.	70,6	102,6	+ 1,8
Den 7.	73,2	106,4	+ 4,4
Den 28.	76,6	111,3	+ 7,8

6.3.2 VÝROBCE B

Vzorek č. 3: 45/80 – 55

Hodnota bodu měknutí u tohoto vzorku klesla hned po prvním dnu uskladnění o 20,88 %, poté začala pomalu stoupat. Po 28 dnech stárnutí v laboratorní sušárně při 180 °C byla hodnota bodu měknutí 98,4 % z původních 72,8 °C, viz tabulka 6.3.2.1.

Tabulka 6.3.2.1: Procentuální vyjádření bodu měknutí na vzorku č. 3

	Bod měknutí [°C]	Procentuální hodnota bodu měknutí [%]	Změna bodu měknutí [°C]
Den 0.	72,8	100	
Den 1.	57,6	79,1	- 15,2
Den 2.	60,6	83,2	- 12,2
Den 3.	65,8	90,4	- 7,0
Den 7.	65,6	90,1	- 7,2
Den 28.	71,6	98,4	- 1,2

Vzorek č. 4: 45/80 – 65

Hodnota bodu měknutí u tohoto vzorku klesala první tři dny uskladnění, poté začala hodnota růst. Po 28 dnech stárnutí v laboratorní sušárně při 180 °C byla hodnota bodu měknutí 87,7 % z původních 81,4 °C, viz tabulka 6.3.2.2.

Tabulka 6.3.2.2: Procentuální vyjádření bodu měknutí na vzorku č. 4

	Bod měknutí [°C]	Procentuální hodnota bodu měknutí [%]	Změna bodu měknutí [°C]
Den 0.	81,4	100	
Den 1.	81,0	99,5	- 0,4
Den 2.	75,2	92,4	- 6,2
Den 3.	62,8	77,2	- 18,6
Den 7.	68,4	84,0	- 13,0
Den 28.	71,4	87,7	- 10,0

Vzorek č. 5: 25/55 – 60

Hodnota bodu měknutí klesala první tři dny uskladnění, poté začala hodnota růst. Po 28 dnech stárnutí v laboratorní sušárně při 180 °C byla hodnota penetrace 99,2 % z původních 73,2 °C, viz tabulka 6.3.2.3.

Tabulka 6.3.2.3: Procentuální vyjádření bodu měknutí na vzorku č. 5

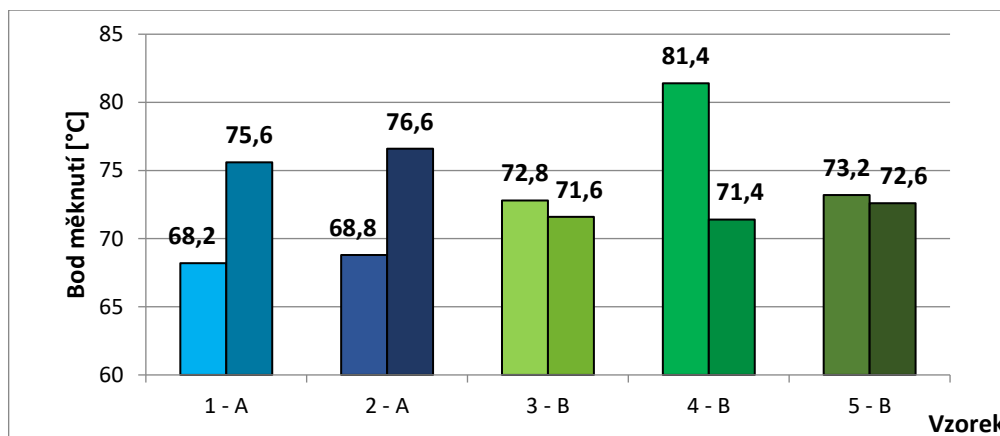
	Bod měknutí [°C]	Procentuální hodnota bodu měknutí [%]	Změna bodu měknutí [°C]
Den 0.	73,2	100	
Den 1.	72,2	98,6	- 1,0
Den 2.	65,4	89,3	- 7,8
Den 3.	62,6	85,5	- 10,6
Den 7.	70,0	95,6	- 3,2
Den 28.	72,6	99,2	- 0,6

6.3.3 ZHODNOCENÍ

Bod měknutí byl srovnán s požadavkem na minimální hodnotu bodu měknutí dle ČSN 65 7222-1 [22], viz tabulka 6.3.3.1. Všechna nezestárlá pojiva tomuto požadavku vyhovují, asfaltová pojiva výrobce B se značnou rezervou. Po 28 dnech skladování při vysoké teplotě taktéž všechna pojiva vyhoví tomuto požadavku.

Tabulka 6.3.3.1: Porovnání bodu měknutí dle ČSN 65 7222-1 [22].

Asfaltové pojivo		1	2	3	4	5
		A 25/55-65	A 25/55-60	B 45/80-55	B 45/80-65	B 25/55-60
Bod měknutí [°C]	Den 0.	68,2	68,8	72,8	81,4	73,2
	Den 28.	75,6	76,6	71,6	71,4	72,6
Bod měknutí [°C] ČSN 65 7222-1		≥ 65	≥ 60	≥ 55	≥ 65	≥ 60
Rezerva [°C]	Den 0.	+ 3,2	+ 8,8	+ 17,8	+ 16,4	+ 13,2
	Den 28.	+10,6	+ 16,6	+ 16,6	+ 6,4	+12,6



Graf 6.3.3.1: Hodnota bodu měknutí [°C] 0. a 28. den

Dlouhodobé skladování při teplotě 180 °C má na hodnotu bodu měknutí značný vliv, u výrobce B zejména na začátku doby skladování. Z grafu 6.3.3.1 je zřejmé, že po 28 dnech skladování v laboratorní sušárně došlo u výrobce A ke zvýšení hodnoty bodu měknutí obou vzorků a u výrobce B došlo k poklesu bodu měknutí všech tří vzorků.

U této zkoušky není patrný rozdíl v chování mezi pojivy třídy 25/55 a 45/80, jako v případě zkoušky penetrace jehlou. Na chování vyjádřené bodem měknutí měl vliv spíše postup výroby PMB.

6.4 VRATNÁ DUKTILITA

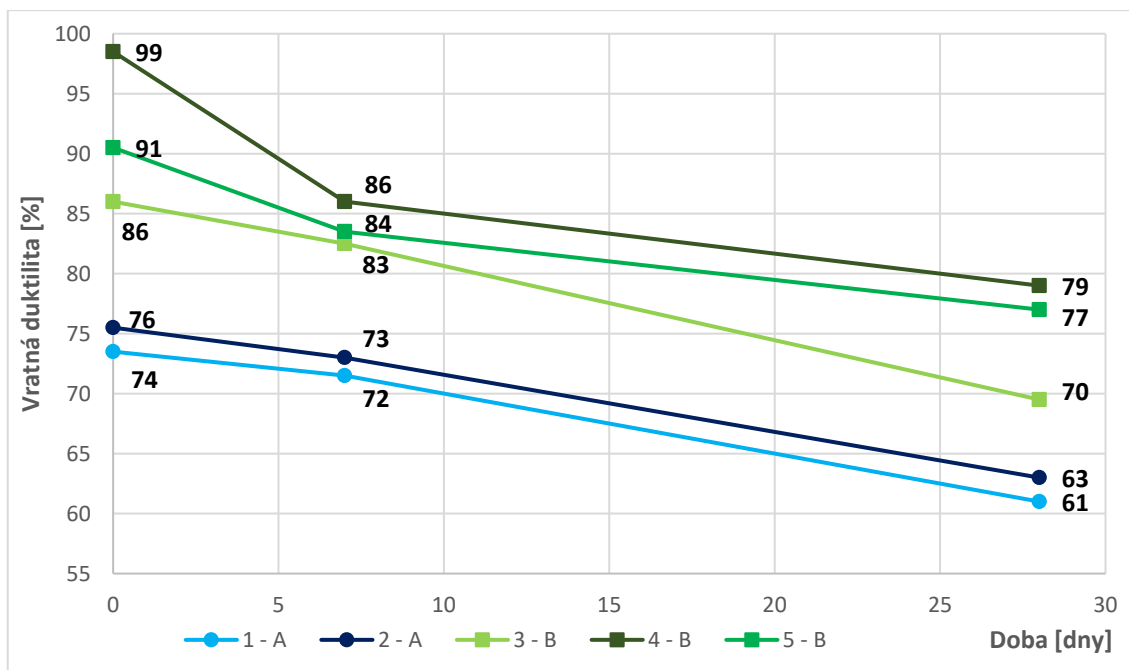
Stanovení vratné duktility je podrobně popsáno v kapitole 4.4. Měření bylo provedeno 0. den na nezestárlém pojivu, dále 7. a 28. den uskladnění. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 6.4.1. Výsledky vratné duktility vypočítané dle ČSN EN 13398 jsou uvedeny v tabulce 6.4.2 a grafu 6.4.1.

Tabulka 6.4.1: Naměřené hodnoty vratné duktility [mm]

Asfaltové pojivo	1	2	3	4	5
	A 25/55-65	A 25/55-60	B 45/80-55	B 45/80-65	B 25/55-60
Den 0.	147	151	172	197	181
Den 7.	143	146	165	172	167
Den 28.	122	126	139	158	154

Tabulka 6.4.2: Výsledné hodnoty vratné duktility [%]

Asfaltové pojivo	1	2	3	4	5
	A 25/55-65	A 25/55-60	B 45/80-55	B 45/80-65	B 25/55-60
Den 0.	74	76	86	99	91
Den 7.	72	73	83	86	84
Den 28.	61	63	70	79	70

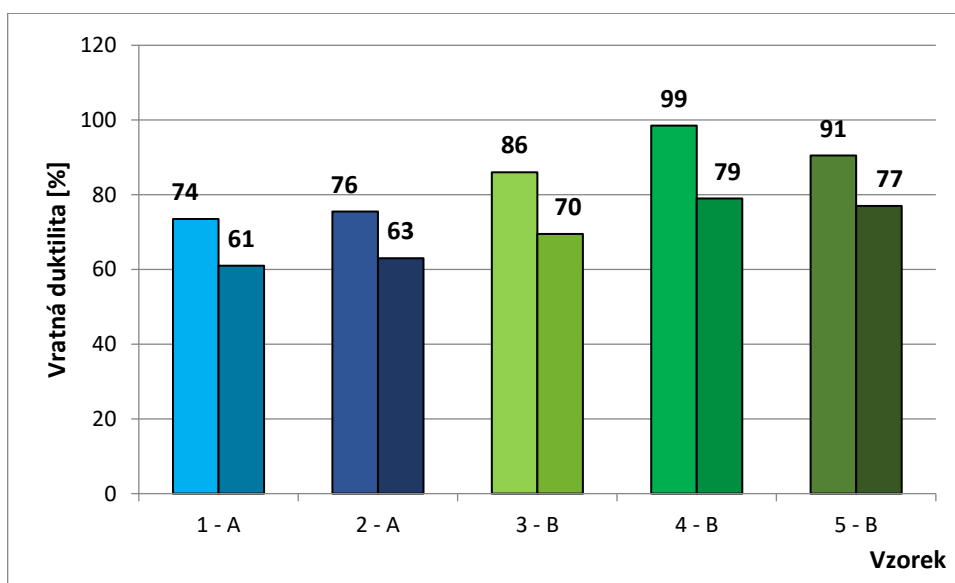


Graf 6.4.1: Výsledné hodnoty vratné duktility [%]

Z grafu 6.4.1 je vidět, že polymerem modifikovaná asfaltová pojiva od výrobce B jsou pružnější než PMB od výrobce A. Vzorek č. 4 se při zkoušení nezestárlého pojiva téměř vrátil do původní délky.

6.4.1 ZHODNOCENÍ

Nezestárlá polymerem modifikovaná asfaltová pojiva od výrobce B mají větší pružnost než pojiva výrobce A. Postupem času po uskladnění při teplotě 180 °C tuto schopnost ztrácejí nepatrně rychleji než pojiva od výrobce A. Na grafu 6.4.1.1 jsou zobrazené hodnoty pro 0. a 28. den pro jednotlivé vzorky. Rozdíly hodnot vratné duktility nezestárlých pojiv a pojiv po 28. dnu uskladnění jsou uvedeny v tabulce 6.4.1.1.



Graf 6.4.1.1: Hodnota vratné duktility [%] 0. a 28. den

Tabulka 6.4.1.1: Rozdíl hodnot vratné duktility 0. a 28. den

Asfaltové pojivo		1	2	3	4	5
Den 0.	[%]	74	76	86	99	91
	[mm]	147	151	172	197	181
Den 28.	[%]	61	63	70	79	70
	[mm]	122	126	139	158	154
Rozdíl	[%]	13	13	16	20	14
	[mm]	25	25	33	39	27

Vratná duktilita byla srovnána s požadavkem na minimální hodnotu vratné duktility dle ČSN 65 7222-1 [22], viz tabulka 6.4.1.2. Všechna nezestárlá pojiva tomuto požadavku vyhovují, asfaltová pojiva výrobce B se značnou rezervou. Po 28 dnech skladování při vysoké teplotě tomuto požadavku nevyhoví vzorek č. 1 od výrobce A.

Tabulka 6.4.1.2: Porovnání vratné duktility dle ČSN 65 7222-1 [22].

Asfaltové pojivo		1	2	3	4	5
		A 25/55-65	A 25/55-60	B 45/80-55	B 45/80-65	B 25/55-60
Vratná duktilita [%]	Den 0.	74	76	86	99	91
	Den 28.	61	63	70	79	70
Vratná duktilita [%] ČSN 65 7222-1		≥ 70	≥ 60	≥ 60	≥ 70	≥ 60
Rezerva [%]	Den 0.	+ 4	+ 16	+ 26	+ 29	+ 31
	Den 28.	- 9	+ 3	+ 10	+ 9	+10

6.5 DYNAMICKÁ VISKOZITA V DSR

Stanovení dynamické viskozity v dynamickém smykovém reometru při teplotě 135 °C je podrobně popsáno v kapitole 4.5. Měření bylo provedeno 0. den na nezestárlém pojivu a 28. den uskladnění. Přístroj automaticky zaznamenává hodnoty do souboru o smykové rychlosti 1 s⁻¹ až 100 s⁻¹, viz tabulky 6.5.1 (hodnoty 0. den), 6.5.2 (hodnoty 28. den). Z těchto tabulek je patrné, že s rostoucí hodnotou smykové rychlosti se snižuje hodnota dynamické viskozity. Pro další hodnocení bude použita hodnota dynamické viskozity při smykové rychlosti 6,8 s⁻¹, která byla dopočítána interpolací z vedlejších hodnot, viz tabulka 6.5.3.

Tabulka 6.5.1: Hodnoty dynamické viskozity 0. den

	γ [s ⁻¹]	η [mPa.s]				
		1	2	3	4	5
		A 25/55-65	A 25/55-60	B 45/80-55	B 45/80-65	B 25/55-60
1	1,000	2067	2080	908	924	1287
2	1,259	2059	2074	909	932	1296
3	1,585	2055	2063	902	958	1305
4	1,995	2048	2072	902	952	1317
5	2,512	2043	2057	895	955	1327
6	3,162	2033	2062	893	959	1328
7	3,981	2029	2059	892	959	1328
8	5,021	2025	2052	887	959	1328
9	6,310	2015	2045	885	958	1330
10	7,944	2008	2039	882	956	1329
11	10,000	2000	2037	885	961	1337
12	12,590	1989	2023	876	955	1328
13	15,850	1977	2013	872	952	1327
14	19,950	1966	2002	868	951	1326
15	25,120	1951	1990	863	949	1325
16	31,620	1936	1976	858	948	1323
17	39,810	1918	1960	853	945	1320
18	50,120	1900	1943	846	941	1319
19	63,100	1876	1921	843	942	1314
20	79,440	1851	1898	838	939	1311
21	100,000	1824	1871	831	935	1303

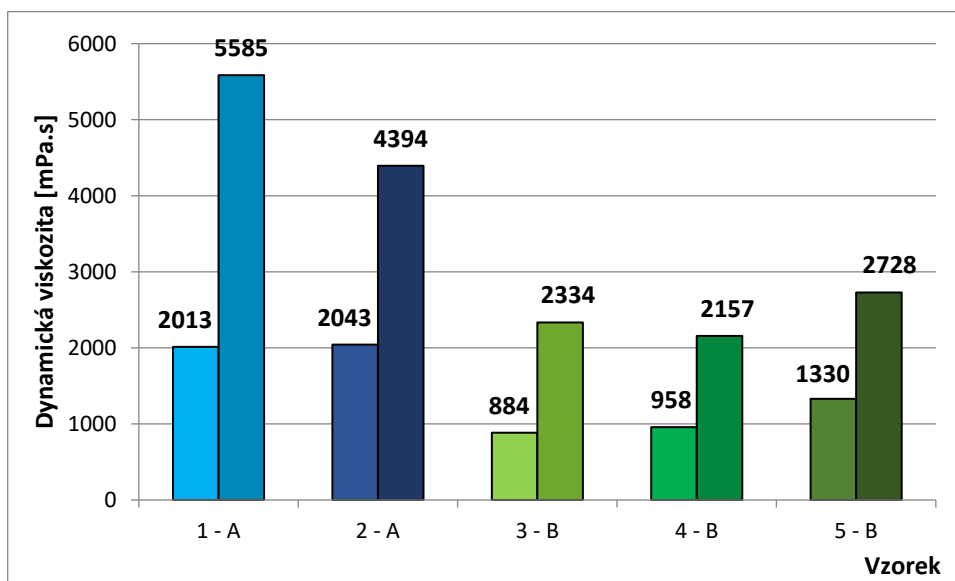
Tabulka 6.5.2: Hodnoty dynamické viskozity 28. den

	γ [s ⁻¹]	η [mPa.s]				
		1	2	3	4	5
		A 25/55-65	A 25/55-60	B 45/80-55	B 45/80-65	B 25/55-60
1	1,000	5771	4513	2373	2175	2741
2	1,259	5752	4498	2349	2163	2734
3	1,585	5720	4468	2350	2169	2715
4	1,995	5727	4483	2345	2169	2730
5	2,512	5688	4456	2341	2165	2716
6	3,162	5691	4459	2336	2167	2719
7	3,981	5671	4446	2336	2164	2728
8	5,021	5641	4430	2336	2163	2722
9	6,310	5597	4400	2334	2157	2736
10	7,944	5558	4379	2333	2158	2708
11	10,000	5504	4353	2326	2171	2708
12	12,590	5442	4311	2326	2156	2751
13	15,850	5374	4267	2319	2150	2693
14	19,950	5293	4216	2316	2144	2664
15	25,120	5203	4160	2311	2137	2659
16	31,620	5106	4097	2304	2129	2651
17	39,810	4998	4023	2291	2118	2638
18	50,120	4881	3943	2271	2107	2623
19	63,100	4762	3856	2255	2094	2661
20	79,440	4621	3763	2236	2076	2637
21	100,000	4466	3659	2212	2064	2615

Tabulka 6.5.3: Dypočítané hodnoty dynamické viskozity při smykové rychlosti 6,8 s⁻¹ a teplotě 135 °C

Asfaltové pojivo		1	2	3	4	5
		A 25/55-65	A 25/55-60	B 45/80-55	B 45/80-65	B 25/55-60
Dynamická viskozita [mPa.s]	Den 0.	2130	2043	884	958	1330
	Den 28.	5585	4394	2334	2157	2728

6.5.1 ZHODNOCENÍ



Graf 6.5.1.1: Hodnoty dynamické viskozity [mPa.s] 0. a 28. den

Z grafu 6.5.1.1 je patrné, že hodnota dynamické viskozity po uskladnění při vysoké teplotě výrazně stoupla. Především pojiva od výrobce A, která měla už i hodnotu dynamické viskozity nezestárlého pojiva vyšší než pojiva od výrobce B, měla po 28 dnech opravdu vysokou hodnotu. Pojiva třídy 45/80 mají menší hodnotu viskozity než pojiva třídy 25/55.

Tabulka 6.5.5.1: Nárůst hodnot dynamické viskozity

Asfaltové pojivo		1	2	3	4	5
		A 25/55-65	A 25/55-60	B 45/80-55	B 45/80-65	B 25/55-60
Dynamická viskozita [mPa.s]	Den 0.	2130	2043	884	958	1330
	Den 28.	5585	4394	2334	2157	2728
Nárůst	[mPa.s]	+ 3455	+ 2351	+ 1450	+ 1199	+ 1398
	[%]	+ 162	+ 115	+ 164	+ 125	+ 105

V tabulce 6.5.5.1 jsou vypočítané hodnoty nárůstu dynamické viskozity. Pojivům č. 1 a 3 stoupla hodnota viskozity o více než 160 %.

Přestože v normě ČSN 65 7222-1 [22] není pro ČR uveden požadavek na minimální hodnotu dynamické viskozity, lze tuto zkoušku porovnat s minimální hodnotou 3 Pa.s (tj. 3000 mPa.s), která se požaduje v USA z důvodu dodržení dostatečné čerpatelnosti a zpracovatelnosti pojiv. Všechna nezestárlá pojiva tomuto požadavku vyhoví. Po dlouhodobém skladování při vysoké teplotě tomuto požadavku nevyhoví pojiva výrobce A, tj. vzorek č. 1 a 2.

Dlouhodobé skladování PMB při teplotě 180 °C má na hodnotu dynamické viskozity značný vliv. Viskozita se postupem času zvyšovala, tzn. zvyšoval se odpor proti toku. Výsledky dynamické viskozity budou porovnány s výsledky penetrace v následující kapitole.

6.6 VZÁJEMNÁ KORELACE

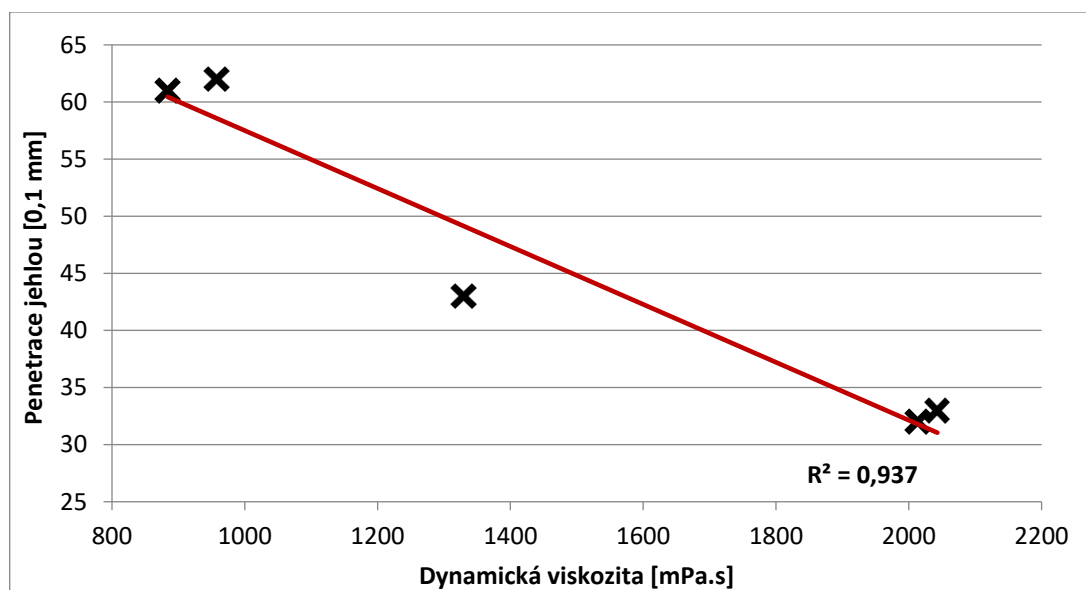
6.6.1 DYNAMICKÁ VISKOZITA - PENETRACE JEHLOU

V následujících grafech je vyjádřena závislost mezi penetrací jehlou a dynamickou viskozitou na nezestárlých a zestárlých (po 28 dnech) vzorcích pojiva.

Nezestárlé pojivo (0. den):

Tabulka 6.6.1.1: Závislost dynamické viskozity a penetrace jehlou - 0. den

0. den	Asfaltové pojivo	1	2	3	4	5
		A 25/55-65	A 25/55-60	B 45/80-55	B 45/80-65	B 25/55-60
Penetrace jehlou [0,1 mm]		32	33	61	62	43
Dynamická viskozita [mPa.s]		2130	2043	884	958	1330



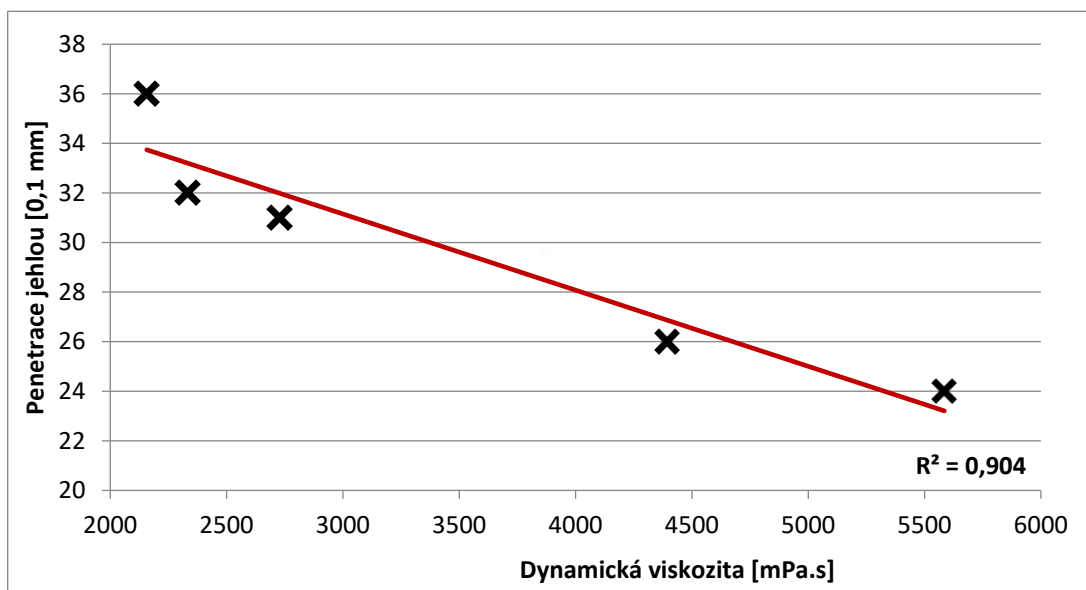
Graf 6.6.1.1: Závislost dynamické viskozity a penetrace jehlou - 0. den

Z grafu 6.6.1.1 lze vypočítovat silnou závislost mezi zkouškami dynamické viskozity a penetrace jehlou na vzorcích nezestárlého pojiva. Vzájemná závislost je vyjádřena spojnicí trendu, kde koeficient determinace dosahuje hodnoty 0,937.

Zestárlé pojivo (28. den):

Tabulka 6.6.1.2: Závislost dynamické viskozity a penetrace jehlou - 28. den

28. den	Asfaltové pojivo	1	2	3	4	5
		A 25/55-65	A 25/55-60	B 45/80-55	B 45/80-65	B 25/55-60
Penetrace jehlou [0,1 mm]		24	26	32	36	31
Dynamická viskozita [mPa.s]		5585	4394	2334	2157	2728



Graf 6.6.1.2: Závislost dynamické viskozity a penetrace jehlou - 28. den

Z grafu 6.6.1.2 lze taktéž vypořádat silnou závislost mezi zkouškami dynamické viskozity a penetrace jehlou na vzorcích zestárlého pojiva. Vzájemná závislost je vyjádřena spojitým trendem, kde koeficient determinace dosahuje hodnoty 0,904.

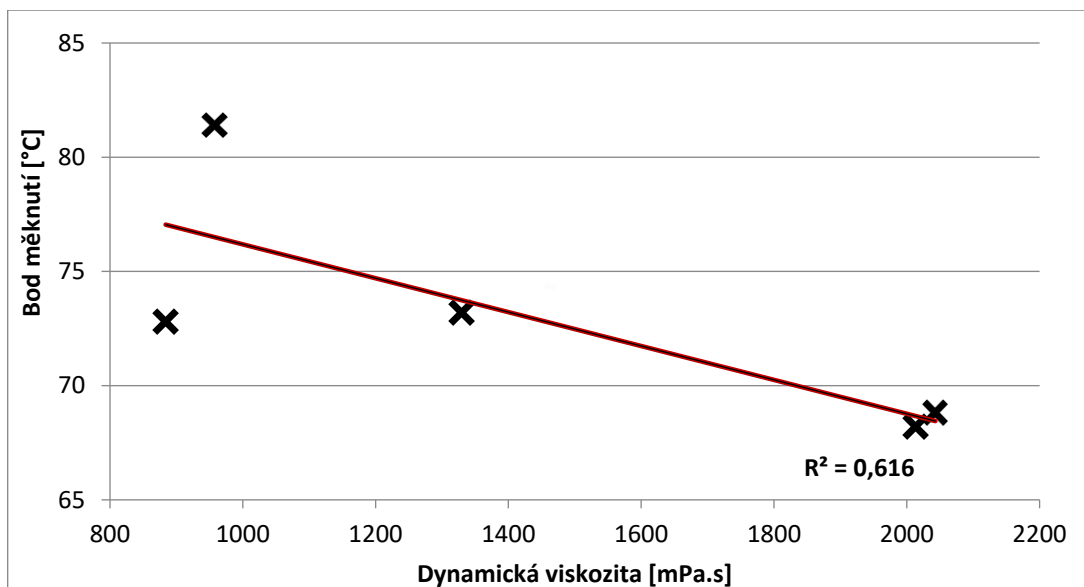
6.6.2 DYNAMICKÁ VISKOZITA - BOD MĚKNUTÍ (KROUŽEK – KULIČKA)

V grafu 6.6.2.1 a 6.6.2.2 je vyjádřena závislost mezi bodem měknutí (kroužek – kulička) a dynamickou viskozitou na nezestárlých a zestárlých (po 28 dnech) vzorcích pojiva.

Nezestárlé pojivo (0. den):

Tabulka 6.6.2.1: Závislost dynamické viskozity a bodu měknutí - 0. den

0. den	Asfaltové pojivo	1	2	3	4	5
		A 25/55-65	A 25/55-60	B 45/80-55	B 45/80-65	B 25/55-60
Bod měknutí [°C]		68,2	68,8	72,8	81,4	73,2
Dynamická viskozita [mPa.s]		2130	2043	884	958	1330



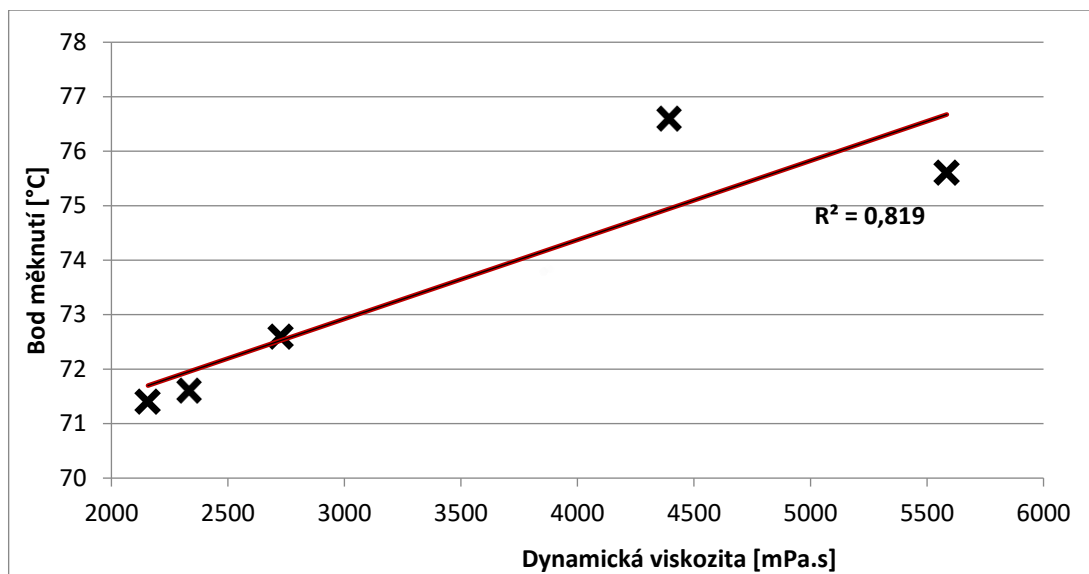
Graf 6.6.2.1: Závislost dynamické viskozity a bodu měknutí - 0. den

Z grafu 6.6.2.1 lze vypočítat vzájemnou závislost mezi zkouškami dynamické viskozity a bodu měknutí metodou kroužek kulička na vzorcích nezestárlého pojiva. Závislost je vyjádřena spojnici trendu s koeficientem determinace 0,616. Závislost mezi těmito zkouškami není tak silná jako mezi dynamickou viskozitou a penetrací jehlou a navíc je tato závislost opačná, než by bylo možné předpokládat – s rostoucí hodnotou dynamické viskozity bod měknutí klesá. Z toho se dá usuzovat, že nalezená závislost je spíše náhodná.

Zestárlé pojivo (28. den):

Tabulka 6.6.2.2: Závislost dynamické viskozity a bodu měknutí - 28. den

28. den	Asfaltové pojivo	1	2	3	4	5
		A 25/55-65	A 25/55-60	B 45/80-55	B 45/80-65	B 25/55-60
Bod měknutí [°C]		75,6	76,6	71,6	71,4	72,6
Dynamická viskozita [mPa.s]		5585	4394	2334	2157	2728



Graf 6.6.2.2: Závislost dynamické viskozity a bodu měknutí - 28. den

Z grafu 6.6.2.2 lze vypočítat vzájemnou závislost mezi zkouškami dynamické viskozity a bodu měknutí metodou kroužek kulička na vzorcích zestárlého pojiva. Závislost je vyjádřena spojnici trendu s koeficientem determinace 0,819. Závislost mezi těmito zkouškami není tak silná jako mezi dynamickou viskozitou a penetrací jehlou a je zajímavé, že sklon spojnice trendu se zcela otočil.

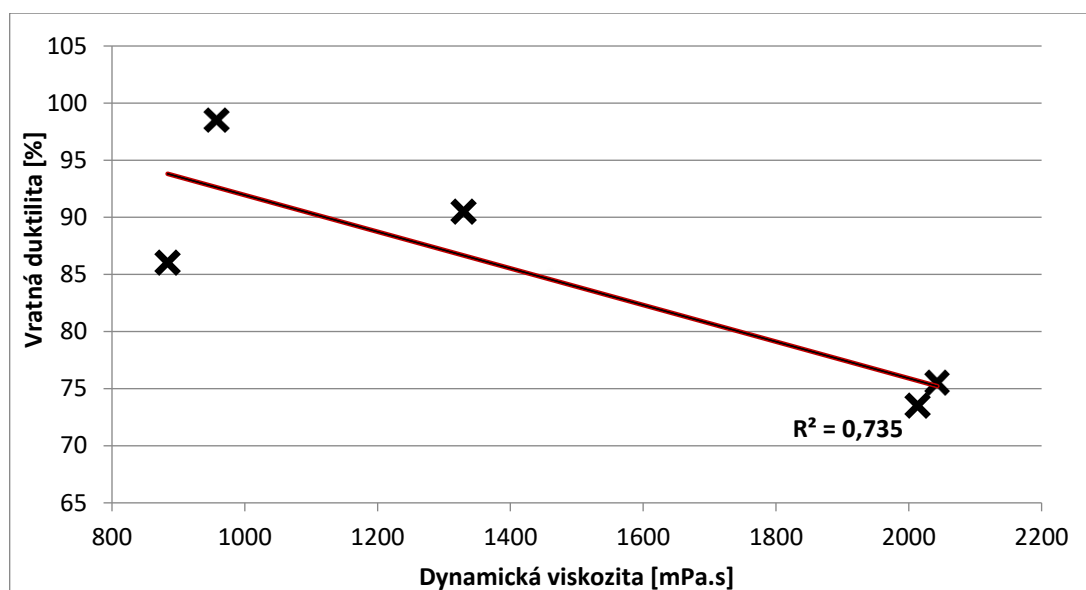
6.6.3 DYNAMICKÁ VISKOZITA - VRATNÁ DUKTILITA

V grafu 6.6.3.1 a 6.6.3.2 je vyjádřena závislost mezi vratnou duktilitou a dynamickou viskozitou na nezestárlých a zestárlých (po 28 dnech) vzorcích pojiva.

Nezestárlé pojivo (0. den):

Tabulka 6.6.3.1: Závislost dynamické viskozity a vratné duktility - 0. den

0. den	Asfaltové pojivo	1	2	3	4	5
		A 25/55-65	A 25/55-60	B 45/80-55	B 45/80-65	B 25/55-60
Vratná duktilita [%]		74	76	86	99	91
Dynamická viskozita [mPa.s]		2130	2043	884	958	1330



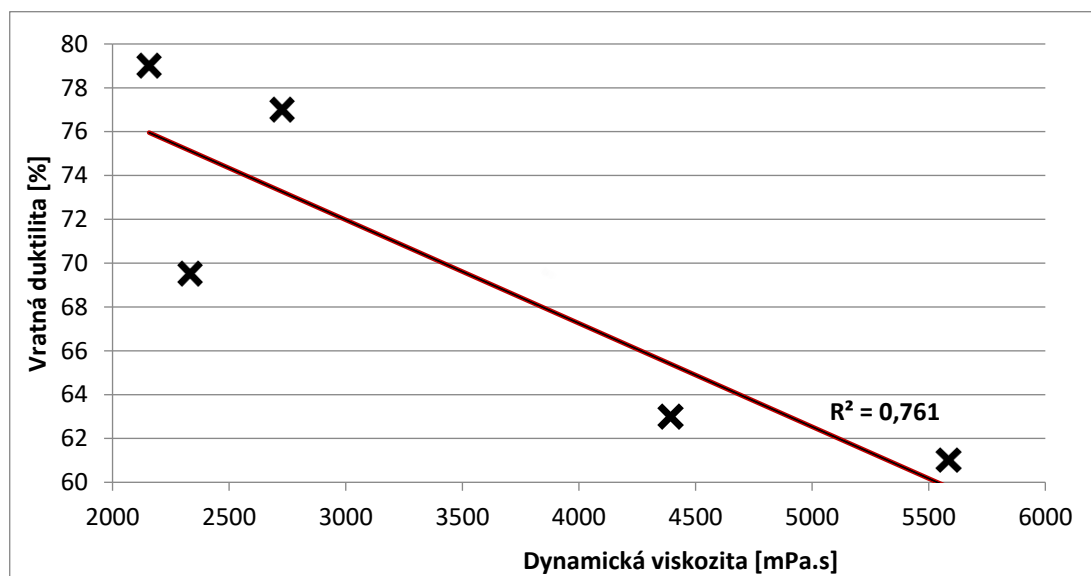
Graf 6.6.3.1: Závislost dynamické viskozity a vratné duktility - 0. den

Z grafu 6.6.3.1 lze vypočítovat vzájemnou závislost mezi zkouškami dynamické viskozity a vratné duktility na vzorcích nezestárlého pojiva. Závislost je vyjádřena spojnicí trendu s koeficientem determinace 0,735. Závislost mezi těmito zkouškami není tak silná jako mezi dynamickou viskozitou a penetrací jehlou.

Zestárlé pojivo (28. den):

Tabulka 6.6.3.2: Závislost dynamické viskozity a vratné duktility - 28. den

28. den	Asfaltové pojivo	1	2	3	4	5
		A 25/55-65	A 25/55-60	B 45/80-55	B 45/80-65	B 25/55-60
Vratná duktilita [%]		61	63	70	79	77
Dynamická viskozita [mPa.s]		5585	4394	2334	2157	2728



Graf 6.6.3.2: Závislost dynamické viskozity a vratné duktility - 28. den

Z grafu 6.6.3.2 lze vypočítat vzájemnou závislost mezi zkouškami dynamické viskozity a vratnou duktilitou na vzorcích zestárlého pojiva. Závislost je vyjádřena spojnicí trendu s koeficientem determinace 0,761. Závislost mezi těmito zkouškami není tak silná jako mezi dynamickou viskozitou a penetrací jehlou.

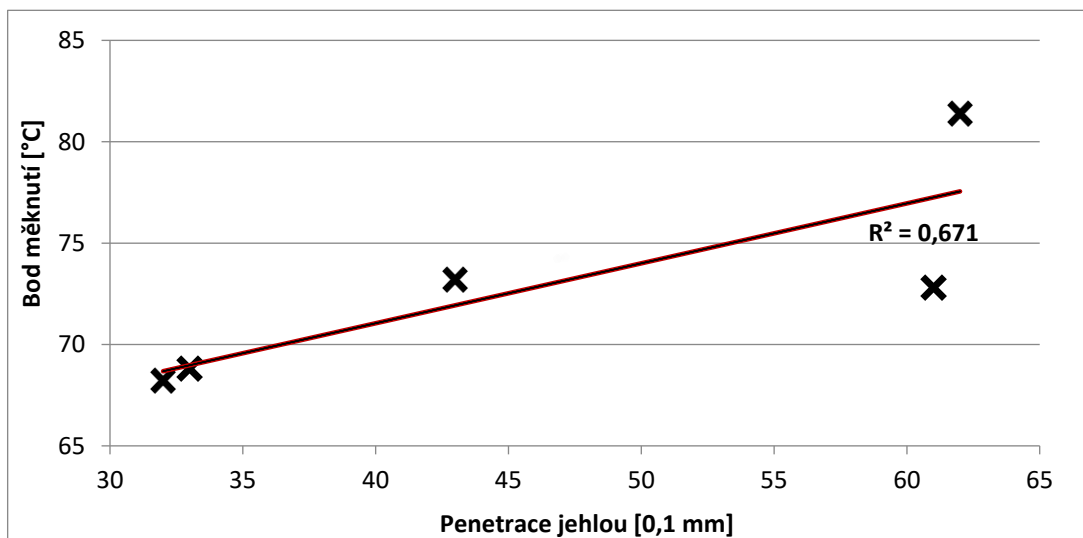
6.6.4 PENETRACE JEHLU - BOD MĚKNUTÍ (KROUŽEK – KULIČKA)

V grafu 6.6.4.1 a 6.6.4.2 je vyjádřena závislost mezi bodem měknutí (kroužek – kulička) a penetrací jehlou na nezestárlých a zestárlých (po 28 dnech) vzorcích pojiva.

Nezestárlé pojivo (0. den):

Tabulka 6.6.4.1: Závislost penetrace jehlou a bodu měknutí - 0. den

0. den	Asfaltové pojivo	1	2	3	4	5
		A 25/55-65	A 25/55-60	B 45/80-55	B 45/80-65	B 25/55-60
Penetrace jehlou [0,1 mm]		32	33	61	62	43
Bod měknutí [°C]		68,2	68,8	72,8	81,4	73,2



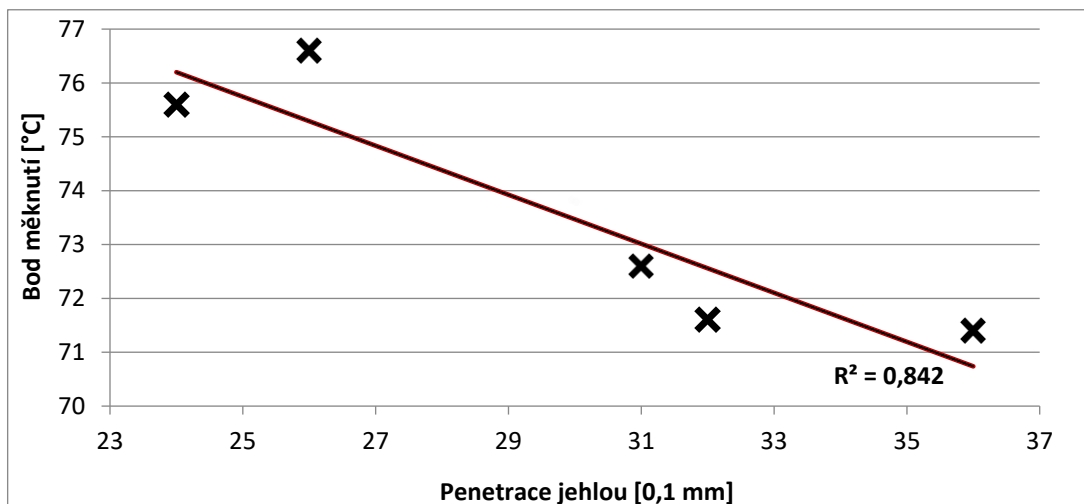
Graf 6.6.4.1: Závislost penetrace jehlou a bodu měknutí - 0. den

Z grafu 6.6.4.1 lze vypočítat vzájemnou závislost mezi zkouškami bodu měknutí a penetrace jehlou na vzorcích nezestárlého pojiva. Závislost je vyjádřena spojnicí trendu s koeficientem determinace 0,671. Logicky by se dala spíše usuzovat opačná závislost – s rostoucí hodnotou penetrace by měla klesat hodnota bodu měknutí, což ovšem u modifikovaných pojiv nemusí zcela platit.

Zestárlé pojivo (28. den):

Tabulka 6.6.4.2: Závislost penetrace jehlou a bodu měknutí - 28. den

28. den	Asfaltové pojivo	1	2	3	4	5
		A 25/55-65	A 25/55-60	B 45/80-55	B 45/80-65	B 25/55-60
Penetrace jehlou [0,1 mm]		24	26	32	36	31
Bod měknutí [°C]		75,6	76,6	71,6	71,4	72,6



Graf 6.6.4.2: Závislost penetrace jehlou a bodu měknutí - 28. den

Z grafu 6.6.4.2 lze vypočítat vzájemnou závislost mezi zkouškami bodu měknutí a penetrace jehlou na vzorcích zestárlého pojiva. Závislost je vyjádřena spojnici trendu s koeficientem determinace 0,842. Sklon spojnice trendu má sklon, který se původně předpokládal.

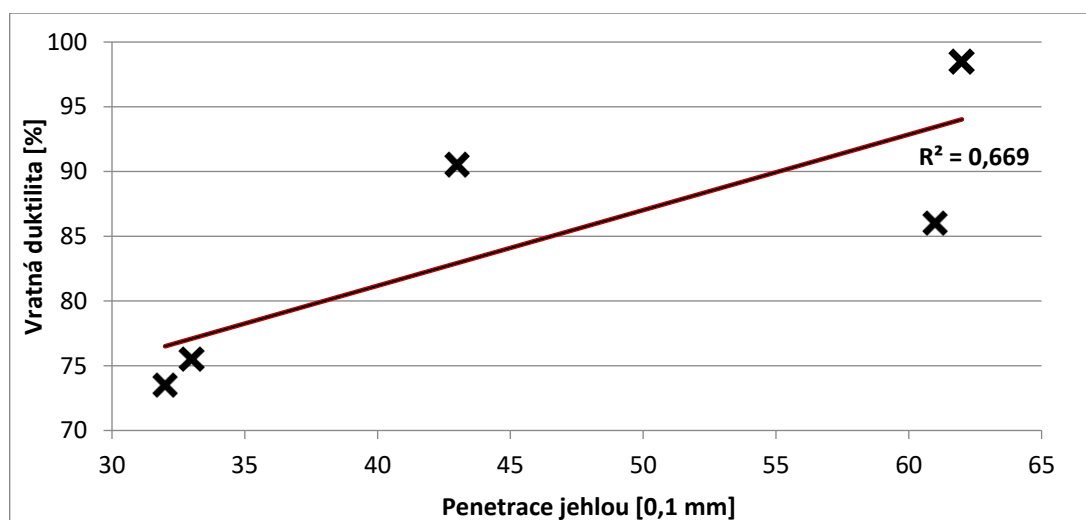
6.6.5 PENETRACE JEHLU - VRATNÁ DUKTILITA

V grafu 6.6.5.1 a 6.6.5.2 je vyjádřena závislost mezi vratnou duktilitou a penetrací jehlou na nezestárlých a zestárlých (po 28 dnech) vzorcích pojiva.

Nezestárlé pojivo (0. den):

Tabulka 6.6.5.1: Závislost penetrace jehlou a vratné duktility - 0. den

0. den	Asfaltové pojivo	1	2	3	4	5
		A 25/55-65	A 25/55-60	B 45/80-55	B 45/80-65	B 25/55-60
Penetrace jehlou [0,1 mm]		32	33	61	62	43
Vratná duktilita [%]		74	76	86	99	91



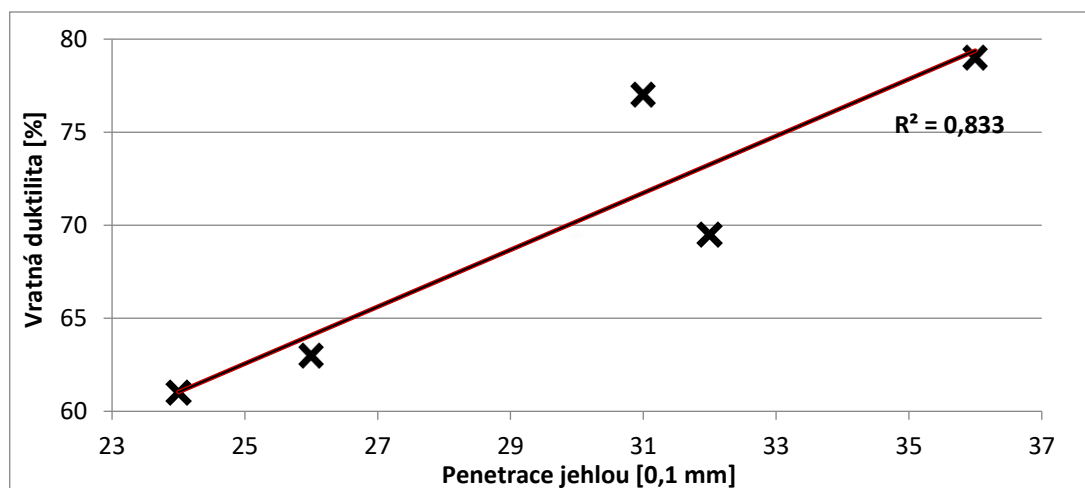
Graf 6.6.5.1: Závislost penetrace jehlou a vratné duktility - 0. den

Z grafu 6.6.5.1 lze vypočítovat vzájemnou závislost mezi zkouškami penetrace jehlou a vratnou duktilitou na vzorcích nezestárlého pojiva. Závislost je vyjádřena spojnici trendu s koeficientem determinace 0,669.

Zestárlé pojivo (28. den):

Tabulka 6.6.5.2: Závislost penetrace jehlou a vratné duktility - 28. den

28. den	Asfaltové pojivo	1	2	3	4	5
		A 25/55-65	A 25/55-60	B 45/80-55	B 45/80-65	B 25/55-60
Penetrace jehlou [0,1 mm]		24	26	32	36	31
Vratná duktilita [%]		61	63	70	79	77



Graf 6.6.5.2: Závislost penetrace jehlou a vratné duktility - 28. den

Z grafu 6.6.5.2 lze vypočítovat vzájemnou závislost mezi zkouškami penetrace jehlou a vratnou duktilitou na vzorcích zestárlého pojiva. Závislost je vyjádřena spojnici trendu s koeficientem determinace 0,833. Z grafu se dá usuzovat, že čím je vyšší hodnota penetrace (měkkčí pojivo), tím je toto pojivo i pružnější.

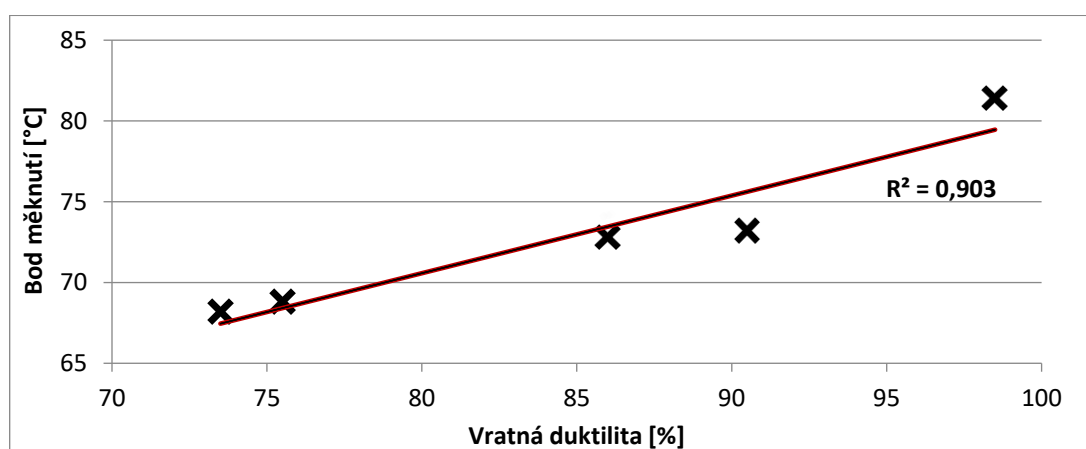
6.6.6 VRATNÁ DUKTILITA - BOD MĚKNUTÍ (KROUŽEK – KULIČKA)

V grafu 6.6.6.1 a 6.6.6.2 je vyjádřena závislost mezi vratnou duktilitou a bodem měknutí na nezestárlých a zestárlých (po 28 dnech) vzorcích pojiva.

Nezestárlé pojivo (0. den):

Tabulka 6.6.6.1: Závislost bodu měknutí a vratné duktility - 0. den

0. den	Asfaltové pojivo	1	2	3	4	5
		A 25/55-65	A 25/55-60	B 45/80-55	B 45/80-65	B 25/55-60
Vratná duktilita [%]		74	76	86	99	91
Bod měknutí [°C]		68,2	68,8	72,8	81,4	73,2



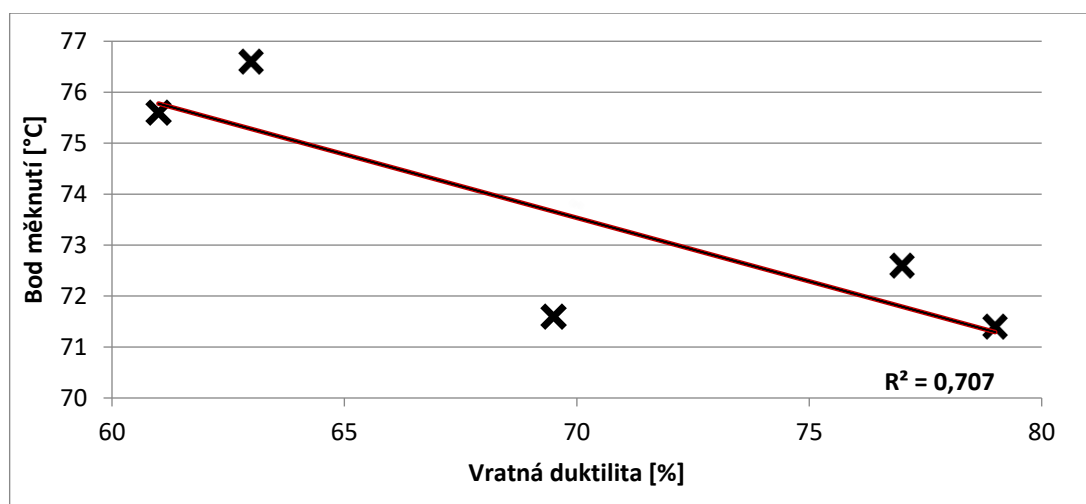
Graf 6.6.6.1: Závislost bodu měknutí a vratné duktility - 0. den

Z grafu 6.6.6.1 lze vypočítat silnou vzájemnou závislost mezi zkouškami bodu měknutí a vratnou duktilitou na vzorcích nezestárlého pojiva. Závislost je vyjádřena spojnicí trendu s koeficientem determinace 0,903.

Zestárlé pojivo (28. den):

Tabulka 6.6.6.2: Závislost bodu měknutí a vratné duktility - 28. den

28. den	Asfaltové pojivo	1	2	3	4	5
		A 25/55-65	A 25/55-60	B 45/80-55	B 45/80-65	B 25/55-60
Vratná duktilita [%]		61	63	70	79	77
Bod měknutí [°C]		75,6	76,6	71,6	71,4	72,6



Graf 6.6.6.2: Závislost bodu měknutí a vratné duktility - 28. den

Z grafu 6.6.6.2 lze vypočítat vzájemnou závislost mezi zkouškami bodu měknutí a vratnou duktilitou na vzorcích zestárlého pojiva. Závislost je vyjádřena spojnici trendu s koeficientem determinace 0,707. Sklon spojnice trendu se opět otočil.

6.7 SOUHRNNÁ TABULKA VÝSLEDKŮ

V tabulce 6.7 jsou uvedeny všechny výsledné hodnoty zkoušek nezestárých a zestárých (po 28 dnech) polymerem modifikovaných asfaltů.

Tabulka 6.7: Souhrnná tabulka výsledků

Asfaltové pojivo		1	2	3	4	5
		A 25/55-65	A 25/55-60	B 45/80-55	B 45/80-65	B 25/55-60
Penetrace jehlou [0,1 mm]	Den 0.	32	33	61	62	43
	Den 28.	24	26	32	36	31
Bod měknutí [°C]	Den 0.	68,2	68,8	72,8	81,4	73,2
	Den 28.	75,6	76,6	71,6	71,4	72,6
Vratná duktilita [%]	Den 0.	74	76	86	99	91
	Den 28.	61	63	70	79	77
Dynamická viskozita [mPa.s]	Den 0.	2013	2043	884	958	1330
	Den 28.	5585	4394	2334	2157	2728

7 ZÁVĚR

V rámci bakalářské práce byl sledován a vyhodnocen vývoj vlastností pěti polymerem modifikovaných asfaltů od dvou různých výrobců. Asfaltová pojiva byla v plechových nádobách uskladněna při vysoké teplotě (180 °C) v laboratorní sušárně a během 28 dnů byly odebírány vzorky pro vybrané laboratorní zkoušky. Práce byla rozdělena na část teoretickou a část praktickou.

V teoretické části bylo cílem seznámit se s principem modifikace asfaltových pojiv. Byly zde uvedeny základní informace týkající se historie asfaltů, jaké modifikační přísady se používají, jakým způsobem se asfalty modifikují, jejich výhody a nevýhody. Také byl zde vysvětlen pojem stárnutí polymerem modifikovaných asfaltů a jejich recyklace.

Praktická část se zabývala především hodnocením změn vlastností, na které měla vliv vysoká teplota a čas uskladnění. Z vyhodnocení výsledků bylo možné učinit následující závěry:

- Všechna zkoušená asfaltová pojiva se postupem času stávala viskóznější, což je zapříčiněno působením vysoké teploty v laboratorní sušárně.
- Při vyhodnocení zkoušky penetrace jehlou bylo zjištěno, že asfaltová pojiva třídy 45/80 výrobce B výrazně rychleji stárli než pojiva třídy 25/55. Zbylá penetrace po 28 dnech skladování byla porovnána s požadavkem na zbylou penetraci po RTFOT (odlišný druh stárnutí) dle ČSN 65 7222-1, tomuto požadavku nevyhověla právě pojiva třídy 45/80, tedy vzorky č. 3 a 4 výrobce B.
- U pojiv od výrobce B byl po prvních třech dnech skladování zaznamenán značný pokles hodnoty bodu měknutí, který je pravděpodobně způsoben doreagováním základního silničního asfaltu s modifikační přísadou (pravděpodobně SBS). Všechna nezestárlá i zestárlá asfaltová pojiva vyhověla požadavku na minimální bod měknutí normy ČSN 65 7222-1. Avšak po 28 dnech skladování hodnoty bodu měknutí, oproti hodnotám nezestárlých pojiv, u výrobce A stouply a u výrobce B klesly. Na toto chování měl pravděpodobně vliv spíše rozdílný způsob výroby pojiv jednotlivých výrobců.
- Dále byla provedena zkouška stanovení vratné duktility při 25 °C. Hodnotou vratné duktility lze vyjádřit míru elastického chování asfaltových pojiv. Z výsledků na nezestárlých pojivech je zřejmé, že pojiva výrobce B jsou pružnější. Požadavku na minimální hodnotu vratné duktility dle ČSN 65 7222-1 nevyhověl pouze vzorek č. 1 od výrobce A po 28 dnech skladování.
- Poslední prováděnou zkouškou bylo stanovení dynamické viskozity v dynamickém smykovém reometru. Viskozita všech vzorků pojiv se postupem času zvyšovala.
- V závěru lze říci, že dlouhodobé skladování polymerem modifikovaných asfaltů při teplotě 180 °C má na jejich vlastnosti značný vliv. Asfaltová pojiva rychleji tuhnou a molekuly polymeru degradují. Po 28 dnech skladování nevyhověly některým požadavkům ČSN 65 7222-1 tři pojiva, a to vzorek č. 1 výrobce A a vzorky č. 3 a 4 výrobce B.

8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KONSTRUKCE media, s.r.o.[online]. 2018 [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/prakticke-zkusenosti-s-novymi-typy-vysoce-modifikovanych-asfaltovych-pojiv/>
- [2] PARAMO A.S. *Katalog silničních pojiv: Doplněný technickou zprávou o funkčních vlastnostech.* 2009. Dostupné z http://www.stavebnivyrobekroku.cz/db_binary_file/other/365
- [3] *Petroleum.cz* [online]. 2007 [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <http://www.petroleum.cz/vyroby/asfalty-silnicni.aspx>
- [4] VOJÍŘ, Jan. *Modifikace asfaltových pojiv.* Praha 2009. 77s. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra silničních staveb. Vedoucí práce Doc. Ing. Otakar Vacín, Ph.D.
- [5] PĚNČÍK, Michal. *Pojiva do netuhých vozovek.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební Ústav pozemních komunikací, 2013. 73 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Petr Hýzl, Ph.D.
- [6] SINGH, Sumit K., Y. KUMAR, S. S. RAVINDRANATH. *Thermal degradation of SBS in bitumen during storage: Influence of temperature, SBS concentration, polymer type and base bitumen.* In: Polymer Degradation and Stability [online]. 2018, Volume 147, Pages 64-75. [cit. 2019-04-07]. ISSN 0141-3910. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141391017303440>
- [7] *wikipedia.org* [online]. 2019 [cit. 2019-04-07]
- [8] VARAUS, Michal. *Pozemní komunikace II: Asfaltová pojiva.* Brno, 2005, 17s.
- [9] VENCLÍKOVÁ, Michaela. *Modifikovaná asfaltová pojiva.* Brno, 2016. 71 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce Ing. Petr Hýzl, Ph.D.
- [10] ZHU, Jiqing, B. BIRGISSON, N. KRINGOS. *Polymer modification of bitumen: Advances and challenges.* In: European Polymer Journal [online]. 2014, Volume 54, Pages 18-38. [cit. 2019-04-07]. ISSN 0014-3057. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0014305714000597#!>
- [11] RYCHLÍKOVÁ, Marie. *Význam polymerů při výrobě modifikovaných asfaltů.* Zlín, 2009. 46 s. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, Ústav inženýrství polymerů. Vedoucí práce Ing. Jana Navrátilová, Ph.D.
- [12] GIP. Sbs2 [fotografie]. *General industrial polymers* [online]. Dostupné z: <http://generalpolymers.net/sbs.cfm>
- [13] INDIAMART. EVA Polymer [fotografie]. *IndiaMART* [online]. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/proddetail/eva-polymer-10626538630.html>

- [14] Bc. Monika Střasáková. *Stárnutí asfaltových pojiv*. Brno, 2016. 82 stran, 98 s přílohami. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce Ing. Ondřej Dašek, Ph.D.
- [15] TAUSTE, R., F. MORENO-NAVARRO, M. SOL-SÁNCHEZ, M. C. RUBIO-GÁMEZ. *Understanding the bitumen ageing phenomenon: A review*. In: *Construction and Building Materials* [online]. 2018, Volume 192, Pages 593-609. [cit. 2019-04-07]. ISSN 0950-0618. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061818325790>
- [16] HUNTER, Robert N., A. SELF, J. READ. *The Shell Bitumen Handbook*. 6th ed. London: Thomas Telford, 2015. ISBN 978-0-7277-5837-8
- [17] ČSN EN 1426. *Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení penetrace jehlou*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, 2015.
- [18] ČSN EN 1427. *Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení bodu měknutí – Metoda kroužek a kulička*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, 2015.
- [19] ČSN EN 13398. *Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení vratné duktility modifikovaných asfaltů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, 2010.
- [20] *Pavementinteractive.org* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.pavementinteractive.org/reference-desk/testing/binder-tests/dynamic-shear-rheometer/>
- [21] ČSN EN 13702. *Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení dynamické viskozity modifikovaných asfaltů metodou kužel a deska*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, 2019.
- [22] ČSN 65 7222-1. *Asfalty a asfaltová pojiva – silniční modifikované asfalty – část 1: Polymerem modifikované asfalty*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, 2017.

9 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Bod měknutí pro různé skladovací teploty a různé koncentrace SBS [6]	13
Obrázek 2: Granule SBS [12]	13
Obrázek 3: Granule EVA [13].....	13
Obrázek 4: Penetrometr	17
Obrázek 5: Nastavení penetrační jehly	18
Obrázek 6: Zařízení na stanovení bodu měknutí	19
Obrázek 7: Protahování asfaltového pojiva	20
Obrázek 8: Vzorky bezprostředně po přestřihnutí.....	21
Obrázek 9: Po 30 minutách od přestřihnutí.....	21
Obrázek 10: DSR.....	22
Obrázek 11: Odlité zkušební vzorky [9].....	22
Obrázek 12: Umístění vzorku do reometru.....	23
Obrázek 13: Nastavení mezery	23
Obrázek 14: Den 7. - silnější krusta na vzorku č. 2 a škrálop na vzorku č. 5	26

10 SEZNAM TABULEK

Tabulka 5.1.1: Použité PMB od výrobce A	24
Tabulka 5.1.2: Požadované vlastnosti dle ČSN 65 7222-1 [22]	24
Tabulka 5.2.1: Použité PMB od výrobce B	245
Tabulka 5.2.2: Požadované vlastnosti dle ČSN 65 7222-1 [22]	245
Tabulka 6.2.1: Naměřené hodnoty penetrace [0,1 mm]	246
Tabulka 6.2.1.1: Procentuální vyjádření penetrace na vzorku č. 1	247
Tabulka 6.2.1.2: Procentuální vyjádření penetrace na vzorku č. 2	247
Tabulka 6.2.2.1: Procentuální vyjádření penetrace na vzorku č. 3	248
Tabulka 6.2.2.2: Procentuální vyjádření penetrace na vzorku č. 4	24
Tabulka 6.2.2.3: Procentuální vyjádření penetrace na vzorku č. 5	248
Tabulka 6.2.3.1: Porovnání zbylé penetrace dle ČSN 65 7222-1 [22]	249
Tabulka 6.2.3.2: Porovnání zbylé penetrace mezi výrobci.....	249
Tabulka 6.3.1.: Naměřené hodnoty bodu měknutí [°C]	30
Tabulka 6.3.1.1: Procentuální vyjádření bodu měknutí na vzorku č. 1.....	31
Tabulka 6.3.1.2: Procentuální vyjádření bodu měknutí na vzorku č. 2.....	31
Tabulka 6.3.2.1: Procentuální vyjádření bodu měknutí na vzorku č. 3.....	31
Tabulka 6.3.2.2: Procentuální vyjádření bodu měknutí na vzorku č. 4.....	32
Tabulka 6.3.2.3: Procentuální vyjádření bodu měknutí na vzorku č. 5.....	32
Tabulka 6.3.3.1: Porovnání bodu měknutí dle ČSN 65 7222-1 [22]	32
Tabulka 6.4.1: Naměřené hodnoty vratné duktility [mm]	33
Tabulka 6.4.2: Výsledné hodnoty vratné duktility [%]	33
Tabulka 6.4.1.1: Rozdíl hodnot vratné duktility 0. a 28. den	35
Tabulka 6.4.1.2: Porovnání vratné duktility dle ČSN 65 7222-1 [22]	35
Tabulka 6.5.1: Hodnoty dynamické viskozity 0. den.....	36
Tabulka 6.5.2: Hodnoty dynamické viskozity 28. den.....	37
Tabulka 6.5.3: Dopočítané hodnoty dynamické viskozity při smykové rychlosti 6,8 s ⁻¹ a teplotě 135 °C	37
Tabulka 6.5.5.1: Nárůst hodnot dynamické viskozity	38
Tabulka 6.6.1.1: Závislost dynamické viskozity a penetrace jehlou - 0. den.....	39
Tabulka 6.6.1.2: Závislost dynamické viskozity a penetrace jehlou - 28. den	40
Tabulka 6.6.2.1: Závislost dynamické viskozity a bodu měknutí - 0. den	40
Tabulka 6.6.2.2: Závislost dynamické viskozity a bodu měknutí - 28. den	41
Tabulka 6.6.3.1: Závislost dynamické viskozity a vratné duktility - 0. den	42
Tabulka 6.6.3.2: Závislost dynamické viskozity a vratné duktility - 28. den	43
Tabulka 6.6.4.1: Závislost penetrace jehlou a bodu měknutí - 0. den	44
Tabulka 6.6.4.2: Závislost penetrace jehlou a bodu měknutí - 28. den	44
Tabulka 6.6.5.1: Závislost penetrace jehlou a vratné duktility - 0. den	45
Tabulka 6.6.5.2: Závislost penetrace jehlou a vratné duktility - 28. den	46
Tabulka 6.6.6.1: Závislost bodu měknutí a vratné duktility - 0. den.....	46
Tabulka 6.6.6.2: Závislost bodu měknutí a vratné duktility - 28. den.....	47
Tabulka 6.7: Souhrnná tabulka výsledků	48

11 SEZNAM GRAFŮ

Graf 6.2.1: Naměřené hodnoty penetrace jehlou [0,1 mm]	27
Graf 6.3.1.: Naměřené hodnoty bodu měknutí [°C]	30
Graf 6.3.3.1: Hodnota bodu měknutí [°C] 0. a 28. den	33
Graf 6.4.1: Výsledné hodnoty vratné duktility [%]	34
Graf 6.4.1.1: Výsledné hodnoty vratné duktility [%] 0. a 28. den	34
Graf 6.5.1.1: Hodnoty dynamické viskozity [mPa.s] 0. a 28. den	38
Graf 6.6.1.1: Závislost dynamické viskozity a penetrace jehlou - 0. den	39
Graf 6.6.1.2: Závislost dynamické viskozity a penetrace jehlou - 28. den	40
Graf 6.6.2.1: Závislost dynamické viskozity a bodu měknutí - 0. den	41
Graf 6.6.2.2: Závislost dynamické viskozity a bodu měknutí - 28. den	42
Graf 6.6.3.1: Závislost dynamické viskozity a vratné duktility - 0. den	43
Graf 6.6.3.2: Závislost dynamické viskozity a vratné duktility - 28. den	43
Graf 6.6.4.1: Závislost penetrace jehlou a bodu měknutí - 0. den	44
Graf 6.6.4.2: Závislost penetrace jehlou a bodu měknutí - 28. den	45
Graf 6.6.5.1: Závislost penetrace jehlou a vratné duktility - 0. den	45
Graf 6.6.5.2: Závislost penetrace jehlou a vratné duktility - 28. den	46
Graf 6.6.6.1: Závislost bodu měknutí a vratné duktility - 0. den	47
Graf 6.6.6.2: Závislost bodu měknutí a vratnou duktilitou - 28. den	47