

Vliv vlastností vstupního asfaltu na vlastnosti výsledného polymerem modifikovaného asfaltu

Při výrobě polymerem modifikovaných asfaltů se využívají nemodifikované silniční asfalty, do kterých se za stanovených okrajových podmínek vmíchává polymerní přísada a další látky. Vlastnosti výsledného polymerem modifikovaného asfaltu jsou ovlivněny množstvím a vlastnostmi polymerní přísady a dalších složek, okrajovými podmínkami výroby a vlastnostmi vstupního silničního asfaltu. V článku popisujeme rozdíly ve vlastnostech výsledných polymerem modifikovaných pojiv, jež byly zapříčiněny použitím různých vstupních silničních asfaltů. Ukazuje se, že modifikace vstupního pojiva polymerem nezlepšuje významně některé jeho reologické parametry. Tento fakt může vést k rychlému vzniku určitých typů poruch, které se vyskytují nejen u silničních asfaltů, ale také u polymerem modifikovaného asfaltu.

Úvod

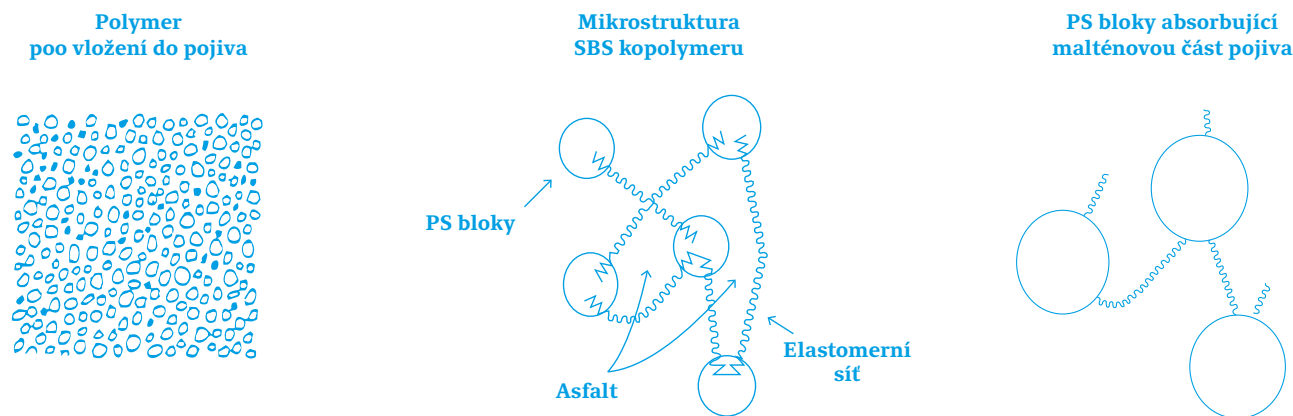
Použití polymerem modifikovaných pojiv (PMB) se datuje již od 60. a 70. let minulého století. Cílem modifikace asfaltů polymery je především zlepšení jejich teplotní citlivosti, zvýšení koheze a elastických vlastností. Většina globálně používaných polymerů pro modifikaci asfaltových pojiv jsou elastomery, přičemž jejich současně nejrozšířenějším zástupcem je SBS (styrene-butadien-styren) kopolymer. Po vložení SBS kopolymeru do asfaltového pojiva začnou polystyrenové bloky polymeru absorbovat malténovou složku pojiva a nabývat na objemu (svůj objem zvětší až 9x). Předpokládá se, že polystyrenové bloky se aglomerují do mikrodomén, které tvoří fyzikální křížové vazby pro bloky polybutadienu, který poskytuje materiálu pružnost. Při aplikaci smykového napětí (míchání polymeru a pojiva za vysokých otáček) se nabobtnalý polymer stává mobilním a disperguje se v pojivu. Tímto způsobem následně vzniká elastomerní

trojrozměrná síť. Na obrázku 1 jsou zobrazeny fáze vzniku trojrozměrné sítě v PMB. V průběhu procesu disperze polymeru, dle obrázku 1, se mění reologické vlastnosti pojiva [1, 2].

V odborné literatuře se uvádí [3], že složení asfaltového pojiva a druh kopolymeru vzájemně ovlivňují výsledné reologické vlastnosti pojiva, a jsou popsány zejména následující skutečnosti:

- ▶ Složení vstupního pojiva má zásadní vliv na vlastnosti výsledného PMB pojiva.
- ▶ Vlastnosti PMB pojiva jsou z velké části ovlivněny vlastnostmi kontinuální (asfaltové) fáze.
- ▶ Asfaltové pojivo s vysokým podílem aromatických uhlovodíků a polymer s nízkou molekulovou hmotností vytváří pojivo s nízkým bodem měknutí (polymer je velmi dobře rozpustný).

Pro specifikaci polymerem modifikovaných asfaltů se v Evropě používá harmonizovaná norma EN 14023 z roku 2010. Na



Obrázek 1: Proces disperze SBS polymeru v asfaltovém pojivu [3]

základě této specifikace vznikla česká norma ČSN 65 7222-1 z roku 2017, která stanovuje požadavky na PMB v ČR. Z hlediska kategorizace pojiv a při kontrolních zkouškách je používáno především tzv. empirických zkoušek, tj. penetrace (ČSN EN 1426), bodu měknutí (ČSN EN 1427) a vratné duktility (ČSN EN 13398), které se provádějí na nezestárlých pojivech. Podle normy ČSN 65 7222-1 se u PMB pojiv vyžaduje i splnění požadavků na odolnost proti krátkodobému stárnutí pomocí metody RTFOT – Rolling Thin Film Oven Test (ČSN EN 12607-1) s následným vyhodnocením změny empirických parametrů (bod měknutí a penetrace), změny hmotnosti pojiva a opětovné změření vratné duktility. Zároveň se ověřuje, že je pojivo stabilní s ohledem na skladování.

Z hlediska vývoje zkušebních metod a návrhu nové specifikace se výše uvedené parametry jeví pro hodnocení vlastností a výkonosti PMB jako zastaralé a neodpovídající vývoji na poli silničního zkušebnictví. Také v Evropě se v posledních 10 letech významně rozšířilo používání reometrů, pomocí kterých jsme schopni lépe popsat chování a odezvu materiálů na zatížení [4]. V rámci práce technické skupiny TC 336/WG 1/TG 15 byla vyvinuta specifikace [5], kde jsou uvedeny parametry, pomocí nichž lze lépe hodnotit chování asfaltových pojiv, které jsou získány pomocí měření na zařízení DSR nebo BBR.

Cílem tohoto příspěvku je popis rozdílů ve vlastnostech PMB, které byly zapříčiněny použitím různých vstupních silničních asfaltů.

Pro účely popisu vlivu modifikace SBS polymery na vlastnosti silničního asfaltu byla vybrána pojiva od dvou dodavatelů, přičemž se zkoušely gradace pojiv 50/70 i 70/100 (tabulka 1).

Tabulka 1: Přehled zkoušených pojiv

| Pořadí | Rafinerie | Gradace pojiva |
|--------|-----------|----------------|
| 1. | B | 50/70 |
| 2. | A | 50/70 |
| 3. | B | 70/100 |
| 4. | A | 70/100 |

Příprava PMB pojiv a vstupní pojiva

Vstupní materiály byly voleny tak, aby bylo možné pojiva klasifikovat jako gradaci 25/55 (vstupní pojivo 50/70), respektive 45/80 (vstupní pojivo 70/100). V tabulce 2 jsou uvedeny výsledky

Tabulka 2: Empirické vlastnosti vstupních pojiv a hodnoty FTI

| Pořadí | Rafinerie | Gradace | Penetrace (0,1 mm) | Bod měknutí (°C) | PI (-) | FTI (-) |
|--------|-----------|---------|--------------------|------------------|--------|---------|
| 1. | B | 50/70 | 60 | 51,2 | -0,47 | 1,1 |
| 2. | A | 50/70 | 62 | 49,4 | -0,85 | 2,3 |
| 3. | B | 70/100 | 89 | 45,2 | -1,08 | 2,0 |
| 4. | A | 70/100 | 82 | 45,6 | -1,19 | --- |

kontrolních zkoušek vstupních pojiv a hodnota Flokulačního toluenového indexu (FTI) dle metodiky [6].

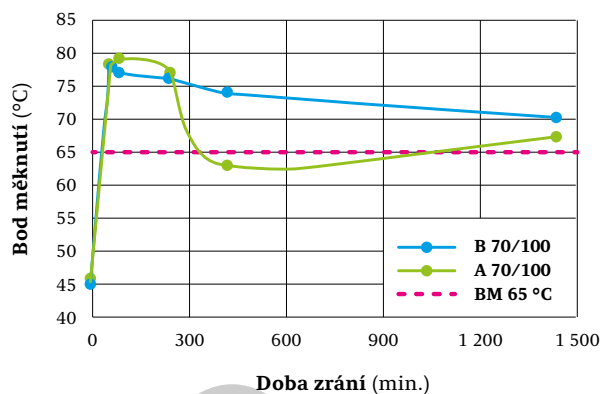
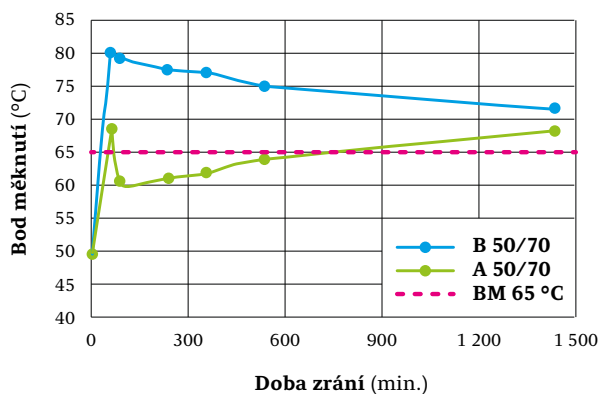
Pro modifikaci vstupních pojiv byl použit kopolymer di-blok na bázi styrenu a butadienu (SBS) s průměrným obsahem polystyrenu 33 %. Tento polymer je obecně doporučován i pro výrobu PMB z pojiv, která mají vyšší obsah asfaltů, a jsou tak méně kompatibilní při výrobě PMB. Při modifikaci pojiv byla použita síťovací přísada.

Modifikovaná pojiva byla připravena pomocí vysokostřížné míchačky Silversone L4 RT. Při výrobě bylo pojivo ohřáté na 180 °C. Po dobu 90 minut od nadávkování polymerní přísady byly otáčky nastaveny na 2 500 ot/min, přičemž po 60 minutách byla dávkována síťovací přísada. Po 90 minutách byly otáčky sníženy na 300 ot/min. Míchání skončilo po 7 hodinách (konec míchání – KM) a následně byla pojiva vložena do sušárny na 180 °C, aby se sledoval vývoj bodu měknutí po KM. Reologické zkoušky (s výjimkou zkoušek sledování zrání) proběhly na pojivech odebraných po konci míchání (7 hod).

Zrání PMB při výrobě

V úvodu článku byl popsán proces zrání PMB pojiva, kdy bylo uvedeno, že reologické vlastnosti pojiva se mění v závislosti na postupu procesu disperze polymeru. V rámci tohoto článku byla změna reologických parametrů popsána pomocí zkoušky bodu měknutí. Lze pozorovat, že každé pojivo po přidání polymeru reaguje jiným způsobem (obrázek 3). Proces zrání, jak je popsán na obrázku 1, probíhá v závislosti na technologii rafinerie, ve které bylo pojivo vyrobeno, přičemž jednotlivé gradace z konkrétní rafinerie sledují podobný trend. Po přidání polymeru nastává prudký nárůst bodu měknutí u pojiv z obou rafinerií. U rafinerie A následuje poměrně výrazný pokles BM (rozpuštění polymeru) s jeho následným a postupným růstem (tvorba trojdimenzionální sítě). Protože u polymeru v kombinaci s pojivem z rafinerie A dochází k většímu počátečnímu poklesu bodu měknutí, lze usuzovat, že toto pojivo je více kompatibilní s daným polymerem a že má vyšší podíl malténové fáze než pojivo z rafinerie B. Po delší době zrání se hodnoty BM stabilizují a vzájemně se k sobě přibližují. Tento závěr lze podpořit údaji, které byly popsány v článku [7], kde byl obsah asfaltů velmi dobře korelován s hodnotami parametru ΔTC . Nižší hodnoty parametru ΔTC znamenají vyšší obsah asfaltů. Modifikované pojivo, u kterého dochází k pomalejšímu poklesu BM, má vyšší obsah asfaltů.

Obrázek 2 poměrně jasně demonstruje skutečnost, že rozdíl bodu měknutí u jedné gradace může být při výrobě i 15 °C v zá-



Obrázek 2: Vývoj bodu měknutí u jednotlivých PMB

vislosti na době odběru zkušební vzorku. Vývoj bodu měknutí, respektive reologických vlastností pojiv, záleží ale nejenom na době odběru od začátku výroby, ale rovněž na vstupním pojivu, typu polymeru, jeho množství, výrobních teplotách a dalších parametrech výroby. Z tohoto pohledu je pak důležité uvést, že záleží i na tom, v jakém bodě zrání je pojivo při industriální výrobě expedováno. V každém případě pak musí pojivo při expedici splňovat specifikací požadavky, které jsou v ČR uvedené v ČSN 65 7222-1.

Výsledky kontrolních zkoušek vyrobených PMB

Výsledky kontrolních zkoušek pojiv jsou uvedeny v tabulce 3. Lze konstatovat, že hodnoty vratné duktility jsou srovnatelné pro obě gradace pojiva a zároveň pro obě rafinerie a zkouška tak neposkytuje žádnou informaci o tom, zda mají pojiva odlišné reologické vlastnosti, nebo ne. Naopak při zkoušce silové duktility (SD) lze pozorovat výrazné rozdíly, a to jak v počáteční síle, tak i v maximálním protažení zkušebního tělíška. Pro účely porovnání byla všechna pojiva při zkoušce SD zkoušena při teplotě 10 °C. Pojiva z rafinerie A se v obou případech natáhla na delší vzdálenost a zároveň vykazovala vyšší práci při protahování z 200 mm na 400 mm (pojivo vyrobené z gradace 50/70 z rafinerie B se nenatáhlo na požadovaných 400 mm). Pojiva z rafinerie A byla více duktilní, což lze přisuzovat pravděpodobně tomu, že obsahují větší podíl malténových složek, jejichž přítomnost umožnila lepší rozpuštění polymeru (vyšší kompatibilita vstupního pojiva s polymerem). Je zajímavé si povšimnout skutečnosti, že pojiva z rafinerie A dosahovala vyšší práce i v případě, kdy měla nižší body měknutí.

Na obrázku 3 je zobrazena změna parametru penetrace a bodu měknutí během výroby PMB. Ve všech případech se stala pojiva po modifikaci tvrdší (pokles penetrace). U pojiv z rafinerie B bod měknutí postupem času klesal, zatímco u rafinerie A byl pozorován nejdříve pokles bodu měknutí (rozpuštění polymeru) a pak jeho nárůst (tvorba trojdimenzionální sítě).

Stárnutí vstupních silničních asfaltů

V práci [8] bylo uvedeno, že průměrné zvýšení bodu měknutí po simulaci stárnutí metodami RTFOT+PAV bylo u silničních pojiv kategorie 50/70 a 70/100 15,8 °C ± 2,1 °C. Průměrný bod měknutí byl 64,2 °C ± 3,3 °C. Ve stejné práci je uvedeno, že zvýšení bodu

měknutí po simulaci stárnutí metodou RTFOT+PAV by mělo být nižší než 18 °C. Výsledky zkoušek změny bodu měknutí jsou uvedeny na obrázku 4. Pojiva z rafinerie B by toto kritérium převyšovala o více než 4 °C, v případě gradace 50/70 i 70/100. Nižší odolnost proti stárnutí je zpravidla způsobena vyšším obsahem asfaltěnu nebo vyšším obsahem visbreakingových zbytků, tj. nižší hodnoty parametru FTI [7, 8, 9].

Nízkoteplotní charakteristiky ze zkoušky BBR

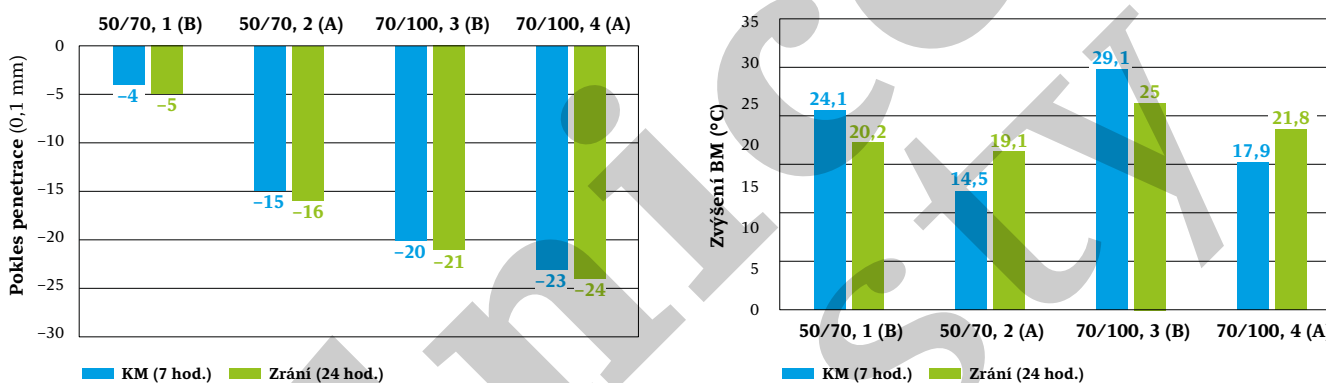
Hodnocení nízkoteplotního chování probíhalo pomocí zařízení BBR (Bending Beam Rheometer). Zkoušky byly provedeny po simulaci stárnutí metodami RTFOT+PAV. Při vystavení asfaltového pojiva degradačním vlivům dochází ke zvyšování (zhoršování) tzv. kritických teplot, odvozených na základě parametrů $S_{(60)}$ a $m_{(60)}$. Bylo dokázáno, že kritická teplota určená na základě m -hodnoty, tedy schopnosti pojiva relaxovat, roste většinou rychleji než kritická teplota určená na základě $S_{(60)}$. Rozdíl kritických teplot se začal označovat parametrem ΔTC (kritická teplota pro vznik trhlin). Parametr popisuje relaxační schopnosti pojiva, které mohou přispět ke vzniku trhlin, zároveň ale nejsou způsobeny zatížením dopravou, ale jsou způsobeny například teplotními vlivy. Ukazuje se, že tento parametr rovněž dobře koreluje s obsahem asfaltěnu v pojivu nebo s náchylností pojiva ke stárnutí. Jako kritická hodnota ΔTC pro vznik trhlin se v literatuře většinou uvádí hodnota -5 °C [10].

Na obrázku 5 jsou zobrazeny nízkoteplotní charakteristiky pojiv z měření v BBR, konkrétně závislost ohybové tuhosti na kritické teplotě (oblast, kde je parametr $\Delta TC \leq -5$ °C je vyznačena světle modře). Při pohledu na výsledky je vidět, že pojiva z rafinerie B, obě gradace, jsou situována v modrém trojúhelníku, který značí oblast, kdy je parametr $\Delta TC \leq -5$ °C, tj. pojiva, která jsou náchylná na vznik trhlin. Při hodnocení pojiv dle parametru T_{c_s} je vidět, že tento parametr má velmi malou rozlišovací schopnost pro rozřazení pojiv do jednotlivých gradací, i výsledky z obou rafinerií jsou srovnatelné – rozsah parametru T_{c_s} byl -16,5 °C až -18,7 °C. V případě T_{c_m} byla situace naopak odlišná, kdy pojiva dosahovala výsledků -7,8 °C až -16,0 °C.

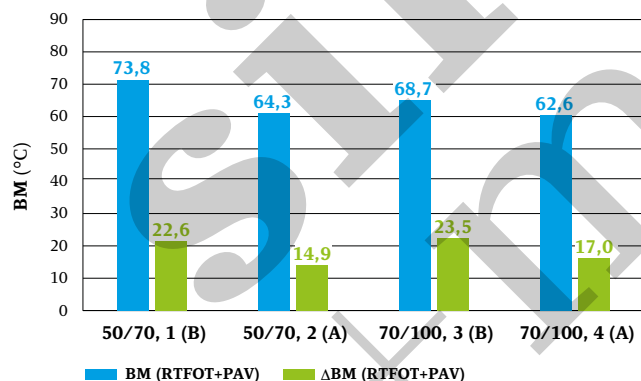
Z hlediska modifikace pojiv bylo zjištěno, že přidávek polymeru mírně snižoval tuhost pojiva (T_{c_s}) a zároveň mírně zlepšoval schopnost pojiva relaxovat (T_{c_m}). To znamená, že modifikace pojiv zlepšuje nízkoteplotní parametry, což je patrné z dat v ta-

Tabulka 3: Vlastnosti PMB poživ po konci míchání (KM) a po jejich

| Pojivo | Zdroj | Vstup | | 7 hod. konec míchání | | | 24 hod. zrání | | SD, 10 °C, KM | | |
|--------|-------|-------|--------|----------------------|--------|----|---------------|--------|---------------|-------------------|-----------|
| | | BM | PEN | BM | PEN | VD | BM | PEN | Max. síla | Práce | Protažení |
| | | °C | 0,1 mm | °C | 0,1 mm | % | °C | 0,1 mm | N | J/cm ² | mm |
| 50/70 | 1 (B) | 51,2 | 60 | 75,3 | 56 | 85 | 71,4 | 55 | 26,1 | 1,4 | 289 |
| 50/70 | 2 (A) | 49,4 | 62 | 63,9 | 47 | 85 | 68,5 | 46 | 42,6 | 4,6 | 620 |
| 70/100 | 3 (B) | 45,2 | 89 | 74,3 | 69 | 89 | 70,2 | 68 | 21,6 | 2,7 | 450 |
| 70/100 | 4 (A) | 45,6 | 82 | 63,5 | 59 | 88 | 67,4 | 58 | 29,2 | 3,4 | 919 |



Obrázek 3: Vliv modifikace a doby zrání na empirické vlastnosti PMB



Obrázek 4: Výsledky zkoušky bodu měknutí a změny bodu měknutí po simulaci stárnutí RTFOT+PAV

bulkách 4 a 5. Na druhou stranu vlivem modifikace nedochází ke zlepšení parametru $\Delta T C$, ale dochází k jeho mírnému zhoršení (tabulka 6). Snížení hodnoty parametru $\Delta T C$ je obvykle spojováno s fázovou nestabilitou asfaltových poživ a vyšší náchylnosti na stárnutí, tj. zvyšování tuhosti [15]. Pojiva, která byla fázově nestabilní před modifikací, jsou ještě více fázově nestabilní vlivem přidavku polymerní přísady. To znamená, že modifikací poživ nezlepšíme jejich náchylnost na vznik trhlin hodnocenou pomocí parametru $\Delta T C$. Tato skutečnost byla potvrzena u všech zkoušených poživ.

Snížování parametru $\Delta T C$ bylo v literatuře dále spojeno s nižšími hodnotami fázového úhlu z měření v DSR [11]. Z hlediska výsledků zkoušek uvedených v [11] se dá konstatovat, že nižší

fázový úhel za středních teplot zvyšuje riziko vzniku únavových trhlin. S hodnotou fázového úhlu samotného se dokonce uvažuje jako s hodnotícím parametrem poživ za středních teplot (parametr teplota viskoelastického přechodu – TVE, viz návrh specifikace v [5]). Ví se, že vysoký fázový úhel značí pojivo s vyšší viskozitou. V literatuře se můžeme setkat rovněž s tvrzením, že takové pojivo má i lepší samozotavovací schopnosti (schopnost disipovat působící napětí). Příspěvek [12] poukázal na výhody vyššího fázového úhlu při nízkých teplotách než naopak. Na obrázku 6 je zachycena závislost parametru $\Delta T C$ a fázového úhlu při teplotě 60 °C a frekvenci měření 1,59 Hz. Je nutno poznamenat, že teplota 60 °C neodpovídá hodnocení při středních teplotách, kdy se hodnotí únavový parametr, nicméně i tak lze tvrdit, že mezi parametry fázového úhlu, pomocí kterého lze hodnotit schopnost pojiva disipovat energii, a parametrem $\Delta T C$ existuje těsná souvislost. Pojiva, která jsou náchylná na vznik trhlin, mají nižší hodnoty fázového úhlu. V rámci sběru dat vlastností PMB, který probíhal v ČR v letech 2018–2022, se parametr TVE nesledoval, nicméně se sledoval parametr T3 a fázový úhel při teplotě T3. Z hlediska specifikace by bylo možné riziko vzniku trhlin hodnotit právě pomocí tohoto parametru, kdy by se stanovila minimální hodnota fázového úhlu δ při teplotě T3.

Závěr

Tento článek si kladl za cíl prohloubit znalosti, týkající se vlivu vlastností silničních asfaltů na vlastnosti PMB poživ, které jsou z nich vyrobené. Na základě změřených výsledků lze konstatovat následující:

Tabulka 4: Kritické parametry silničních asfaltů a modifikovaných pojiv, gradace 50/70

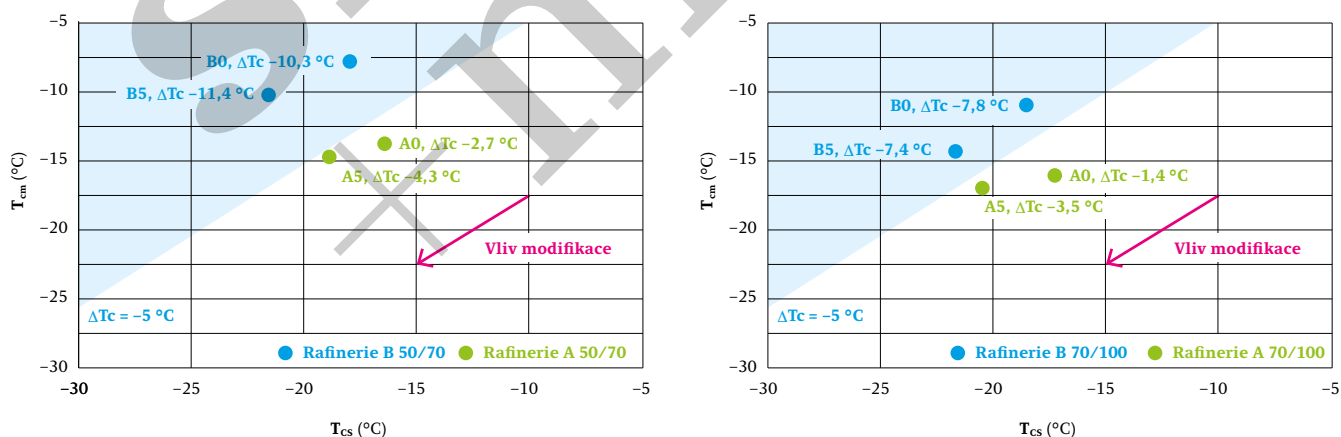
| Označení | Gradace pojiva | Kritické parametry | | | | |
|----------|----------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------|
| | | T _s (°C) | T _m (°C) | T _c (°C) | ΔT _c (°C) | m při Tk S300 |
| Silniční | 50/70, 1 (B) | -18,1 | -7,8 | -7,8 | -10,3 | 0,253 |
| PMB | 50/70, 1 (B) | -21,7 | -10,3 | -10,3 | -11,4 | 0,255 |
| Silniční | 50/70, 2 (A) | -16,5 | -13,8 | -13,8 | -2,7 | 0,275 |
| PMB | 50/70, 2 (A) | -18,9 | -14,6 | -14,6 | -4,3 | 0,268 |

Tabulka 5: Kritické parametry silničních asfaltů a modifikovaných pojiv, gradace 70/100

| Označení | Gradace pojiva | Kritické parametry | | | | |
|----------|----------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------|
| | | T _s (°C) | T _m (°C) | T _c (°C) | ΔT _c (°C) | m při Tk S300 |
| Silniční | 70/100, 1 (B) | -18,7 | -10,9 | -10,9 | -7,8 | 0,255 |
| PMB | 70/100, 1 (B) | -21,8 | -14,5 | -14,5 | -7,4 | 0,262 |
| Silniční | 70/100, 2 (A) | -17,4 | -16,0 | -16,0 | -1,4 | 0,287 |
| PMB | 70/100, 2 (A) | -20,6 | -17,1 | -17,1 | -3,5 | 0,273 |

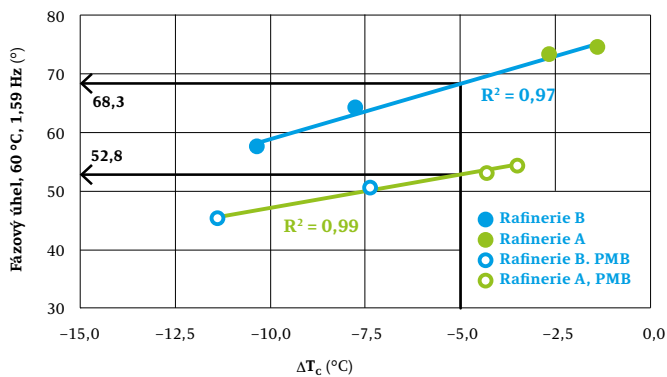
Tabulka 6: Změna kritických parametrů vlivem modifikace

| Pojivo | ΔT _{C_{S60}} | ΔT _{C_{m60}} | ΔΔT _C |
|---------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------|
| 50/70, 1 (B) | -3,6 | -2,5 | -1,1 |
| 50/70, 2 (A) | -2,4 | -0,8 | -1,6 |
| 70/100, 1 (B) | -3,1 | -3,6 | 0,5 |
| 70/100, 2 (A) | -3,2 | -1,1 | -2,1 |



Obrazek 5: Nízko-teplotní charakteristiky pojiv a vliv modifikace na ně, rafinerie A a B, gradace 50/70 vlevo a gradace 70/100 vpravo (modifikovaná pojiva jsou označena číslem 5)

- ▶ U gradací 70/100 došlo vlivem přidavku polymeru k vyššímu poklesu penetrace než u gradací 50/70. Zrání PMB pojiva přitom nemělo významný vliv na změnu penetrace na rozdíl od změny BM. U pojiv s vyšším obsahem malténové části dochází k rozpouštění polymeru, který je charakterizován výrazným poklesem BM.
- ▶ U vstupních pojiv, která měla vyšší obsah asfalténů (nižší hodnoty parametru ΔT_C, vyšší nárůsty BM a nižší fázové úhly po simulaci stárnutí), nedocházelo k výraznějšímu rozpouštění polymerní přísady, která je charakterizována poklesem bodu měknutí.



Obrázek 6: Závislost mezi fázovým úhlem (60 °C, 1,59 Hz) a parametrem ΔT_c

- ▶ U PMB pojiv, kde docházelo k menšímu rozpouštění polymerní přísady, byla zjištěna menší duktilita, tato pojiva se za nízkých teplot méně protahovala a vykonala menší práci, přestože měla vyšší bod měknutí.
- ▶ U vstupních pojiv, která měla vyšší hodnotu FTI, docházelo k nižšímu nárůstu BM po simulaci dlouhodobého stárnutí. Pojiva měla rovněž vyšší hodnoty parametru ΔT_c a vyšší hodnoty fázového úhlu.
- ▶ Zkouška vratné duktility neposkytla žádné relevantní výsledky vzhledem k hodnocení kvality pojiva. Pomocí této zkoušky lze prokázat pouze to, zda je pojivo modifikované, nebo není, popřípadě do jaké míry.
- ▶ Vlivem modifikace došlo u pojiv ke mírnému snížení jejich ohybové tuhosti a mírnému zvýšení m-hodnoty, to znamená, že došlo ke snížení kritických teplot T_{c_s} a T_{c_m} .
- ▶ Vlivem modifikace došlo ke zhoršení parametru ΔT_c . Vložení polymerní přísady dále zhoršovalo fázovou stabilitu pojiva. Pojiva, která mají špatnou fázovou stabilitu před modifikací, mají po modifikaci fázovou stabilitu ještě horší. To znamená, že modifikace v tomto případě nepomáhá ke zlepšení náchylnosti pojiv na vznik trhlin, které jsou způsobeny například teplotními vlivy.
- ▶ Parametr ΔT_c dobře koreluje s hodnotami fázového úhlu při oscilačním měření v DSR při teplotě 60 °C a frekvenci 1,59 Hz. Korelace funguje jak pro silniční asfalt, tak pro PMB pojiva. Tento příspěvek svým charakterem navazuje na dříve publikované články a výsledky, které se věnovaly problematice hodnocení kvality asfaltových pojiv [7, 8, 13, 14]. V tomto článku byla opět demonstrována skutečnost, že pomocí současných zkušebních evropských metod (hodnocení dat a výsledků z měření na přístrojích DSR dle EN 14770 a BBR dle EN 14771) a postupů lze hodnotit kvalitu silničních asfaltů i polymerem modifikovaných pojiv. Chybějící harmonizovaná specifikace by proto neměla být překážkou pro účinné hodnocení kvality asfaltových pojiv.

Ing. Tomáš Koudelka, Ph.D., VIALAB CZ s.r.o.

doc. Ing. Ondřej Dašek, Ph.D., VUT v Brně, FAST, Brno

Ing. Petr Bureš, VIALAB CZ s.r.o.

doc. Ing. Petr Hýzl, Ph.D., VUT v Brně, FAST, Brno

Literatura

- [1] Airey, G.D. Rheological properties of styrene butadiene styrene polymer modified road bitumens, *Fuel*, Volume 82, Issue 14, October 2003, Pages 1 709–1 719
- [2] Aguirre, I., a kol. Storage stability of SBS/sulfur modified bitumen at high temperature: Influence of bitumen composition and structure, *Construction and Building Materials*, Volume 52, 15 February 2014, Pages 245–252
- [3] McNally, T. Polymer modified bitumen, *Properties and characterization*, Woodhead Publishing Limited, ISBN 978-0-85709-372-1 (online)
- [4] Dasek, O. Pokročilé zkoušení asfaltových pojiv E&E kongres 2024, *Silnice mosty*, 2024, 3, 19–24
- [5] CEN/TC 336/WG1 Bituminous binders for paving, *TG 15 Complementary Performance-related Specification Framework - Draft 2 Clean version* (2024-12-06), N1243
- [6] Stoklásek, S. a kol. Metodika pro hodnocení disperzní stability silničních asfaltů, *Jednobodová precipitační titrace*, Metodika vznikla v rámci řešení projektu TAČR TA03030381, Brno, září 2016
- [7] Koudelka, T., Bureš, P., Šedina, J., *Kvalita silničních asfaltů a způsob jejího hodnocení*, 2021, 1.2, 1–8 [cit. 2025-17-07]. Dostupné z: <https://asfaltove-vozovky.cz/rocniky/rocnik-2021/>
- [8] Coufalík, P. (2017) *Reologické vlastnosti asfaltových pojiv, dizertační práce*, Vysoké učení technické v Brně, Brno
- [9] Dašek, O., Coufalík, P., Hýzl, P., Stoklásek, S., Špaček, P. a Hegr, Z. (2019) *Doplňující kritéria pro hodnocení vlastností silničních asfaltů a jejich vztah k trvanlivosti vozovky*, 2019 [cit. 2025-17-07]. Dostupné z: <https://asfaltove-vozovky.cz/rocniky/rocnik-2019/>
- [10] "IS-240". (2019) *Use of the DELTA Tc Parameter to characterize asphalt binder behaviour*, State of the knowledge, Asphalt Institute, ISBN 978-1-934154-77-9
- [11] Soenen, H., Lu, X., Muehlich, U., Laukkanen, O. V. *The influence of aging on binder fatigue and other fracture related binders test results*, International Society for Asphalt Pavements (ISAP), Wyoming, USA, 2016
- [12] Hesp, S., Shurvell, H.F., *Waste engine oil residue in asphalt cement*, 7th International Conference on Maintenance and Rehabilitation of Pavements and Technological Control, MAIREPAV 2012
- [13] Dašek, O., Coufalík, P., Hýzl, P., Stoklásek, S., Špaček, P. a Hegr, Z. (2019) *Doplňující kritéria pro hodnocení vlastností silničních asfaltů a jejich vztah k trvanlivosti vozovky*, konference *Asfaltové vozovky 2019*, článek 2-5 [cit. 2025-17-07]. Dostupné z: <https://asfaltove-vozovky.cz/rocniky/rocnik-2019/>
- [14] Koudelka, T., Dašek, O. *Sběr dat pro specifikaci polymerem modifikovaných asfaltů*, *Silnice a Mosty 3/2024*, Sdružení pro výstavbu silnic
- [15] Kriji, P., Noel, J.A., Quddus, M.R., Shirt, R.D. *Rheological properties of phase-incompatible bituminous binders*, 7th Eurasphalt and Eurobitume Congress