

Pokročilé zkoušení asfaltových pojiv E&E kongres 2024

K tématu Pokročilé zkoušení pojiv byly na osmém E&E kongresu, pořádaném v červnu 2024 v Budapešti, ústně prezentovány čtyři příspěvky. Tuto sekci moderoval zpravodaj sekce Jean-Nicolas Desprez, který představil klíčové otázky obsažené v níže popsaných příspěvcích.

Příspěvky se nejčastěji zabývaly problematikou stárnutí asfaltových pojiv, výkonností pojiv a použitím moderních laboratorních metod. Tato sekce je ve sborníku příspěvků zařazena do kapitoly 2 – Výkonnost a testování pojiv, která obsahuje 31 příspěvků. Jednalo se tedy o nejobsáhlejší kapitolu sborníku. Tento text představuje čtyři příspěvky, které byly vybrány pro ústní prezentaci v rámci dané sekce a další dva zajímavé příspěvky, které se již do časového rámce sekce 11 E&E kongresu nevešly. Příspěvky jsou většinou společnou prací širších autorských kolektivů, proto jsou zde tyto příspěvky označeny svým názvem, jména autorů jsou uvedena v literatuře.

Pro účely shrnujícího rešeršního tohoto článku byly vybrány následující příspěvky:

1. Hodnocení vlastností asfaltových pojiv určených pro lité asfalty za vysokých teplot [1]
2. Pokročilá míchací reometrie pro zkoušení vysoce heterogenních asfaltových pojiv dynamickým smykovým reometrem [2]
3. Studie kinetiky stárnutí asfaltu na základě frakcí SAR-AD [3]
4. Pochopení mechanismu stárnutí asfaltu pomocí EPR a NMR analýzy s nízkým polem [4]
5. Náhrada bodu měknutí a penetrace jehlou zkouškami podle EN 17643 [5]
6. Porovnání laboratorního stárnutí s dlouhodobým stárnutím asfaltu in situ v asfaltových vozovkách s asfaltovou směsí vyrobenou za horka a za tepla [6]

Hodnocení vlastností asfaltových pojiv určených pro lité asfalty za vysokých teplot

V tomto příspěvku se odborníci z univerzity v Bernu zabývali hodnocením vlastností šesti tvrdých asfaltových pojiv, která se ve Švýcarsku používají zejména do asfaltových směsí typu litý asfalt. Doposud se zde tyto typy směsí používaly převážně na mostech a v tunelech, ovšem v poslední době se tento materiál začíná prosazovat i na běžných vozovkách. Do litých asfaltů je ve Švýcarsku doporučeno používat pojiva třídy 35/50 nebo PmB 25/55-65.

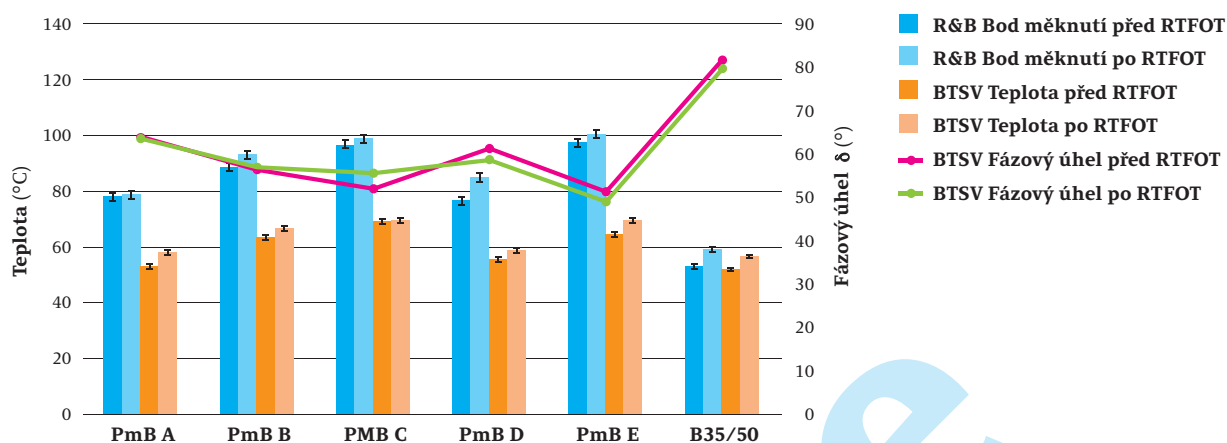
Pro laboratorní zkoušky byl vybrán silniční asfalt třídy 35/50 a pět polymerem modifikovaných asfaltů třídy PmB 25/55-65, PmB 10/40-80 a pro srovnání PmB 45/80-65 (v příspěvku označeny PmB A až PmB E), přičemž PmB B a PmB C obsahovaly přísadu Fischer-Tropschových parafinů pro snížení výrobní

teploty a teploty pokládky. Vlastnosti těchto pojiv se hodnotily v nezestárlém stavu i po stárnutí metodou RTFOT. Na pojivech byly zjišťovány hodnoty penetrace jehlou při teplotě 25 °C, hodnoty bodu měknutí metodou kroužek a kulička, bod lámavosti podle Fraasse a dynamická viskozita v Brookfieldově viskozimetru v teplotním rozmezí 130 °C až 230 °C s krokem 20 °C. Dále byla na pojivech v dynamickém smykovém reometru provedena zkouška BTSV (zjišťuje se teplota, při které je komplexní smykový modul při frekvenci 1,59 Hz roven 15 kPa), což je postup popsaný v EN 17643. Následně byla provedena oscilační zkouška při teplotách 30 °C až 90 °C s krokem 10 °C při frekvenci 1,59 Hz s vyhodnocením parametru $G^*/\sin \delta$ a zkouška MSCR při teplotách 58 °C a 64 °C (na pojivech zestárlých metodou RTFOT). Zkouška MSCR byla oproti normě EN 16659 upravena – místo 10 cyklů dotvarování a zotavení bylo pro každé smykové napětí (0,1 kPa i 3,2 kPa) voleno cyklů 30 z důvodu ustáleného stavu a do výpočtu se uvažovalo vždy posledních 20 cyklů při obou hodnotách smykového napětí.

Výsledky zkoušek ukázaly, že všechny testované vzorky pojiv splnily švýcarské požadavky na hodnotu penetrace jehlou a bodu měknutí pro pojiva do litých asfaltů. Nemodifikovaný silniční asfalt 35/50 dosahoval nejnižších hodnot dynamické viskozity v celém teplotním rozsahu. Při srovnání viskozit polymerem modifikovaných pojiv dosahovaly nejnižších hodnot pojiva s přísadou Fischer-Tropschových parafinů.

V obrázku 1 jsou graficky srovnány výsledky zkoušky bodu měknutí a zkoušky BTSV nezestárlých pojiv i pojiv zestárlých metodou RTFOT. V případě nemodifikovaného asfaltu 35/50 (nezestárlého i zestárlého) jsou rozdíly mezi hodnotami bodu měknutí a hodnotami BTSV minimální. V případě polymerem modifikovaných pojiv jsou ovšem hodnoty bodu měknutí o 20 °C až 30 °C vyšší než hodnoty BTSV.

Pojiva zestárlá metodou RTFOT dosahovala podle očekávání vyšší hodnoty parametru $G^*/\sin \delta$ (parametr vyjadřující odolnost vůči deformaci) než pojiva čerstvá. Nejnižší hodnoty parametru $G^*/\sin \delta$ dosahovalo (zejm. při vyšších teplotách) nemodifikované pojivo 35/50. Zdaleka nejvyšší (nejhorší) hodnoty nevratné smykové poddajnosti J_n dosahoval při zkoušce MSCR nemodifikovaný silniční asfalt 35/50. Všechny polymerem modifikované asfalty vykazovaly při teplotě 58 °C i 64 °C hodnoty procentuálního zotavení nad 80 %. Přestože mají PmB B a PmB C (s obsahem Fischer-Tropschových parafinů) nižší hodnoty penetrace,



Obrázek 1: Hodnoty bodu měknutí a zkoušky BTSV srovnávaných povrchů nezestárých i zestárých metodou RTFOT [1]

dosahovala tato pojiva ve srovnání s ostatními polymerem modifikovanými pojivy nižších hodnot procentuálního zotavení %R. To naznačuje, že přítomnost vosku může snížit elasticitu pojiva.

Pokročilá míchací reometrie pro zkoušení vysoce heterogenních asfaltových povrchů dynamickým smykovým reometrem

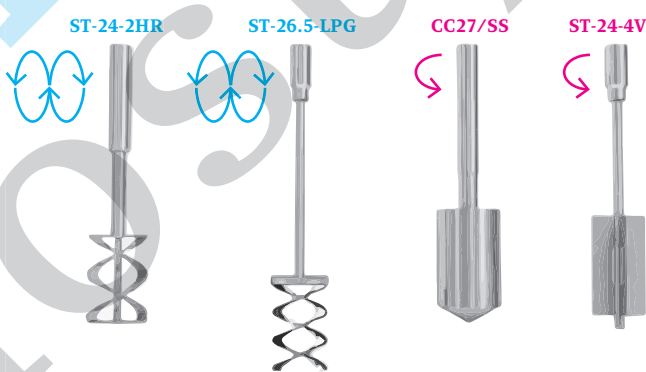
Současné viskozimetry/reometry jsou navrženy pro homogenní materiály (pojiva), které nevykazují problémy se separací fází, jako je tomu například u asfaltů obsahujících pryžové částice. Studie se zabývá hodnocením viskozitního chování těchto heterogenních povrchů rotační/míchací zkouškou v dynamickém smykovém reometru. V měřicí komoře může během viskozitně rotačního hodnocení chování vzorku dojít k řadě změn, jako je separace fází, sedimentace nebo aglomerace částic. Tyto jevy mohou ovlivnit stabilitu vzorku, ve kterém jsou fáze materiálu během zkoušky dobře promíchány, což může vést k výsledkům, které nejsou reprodukovatelné a reprezentativní pro daný vzorek pojiva.

V příspěvku je termín míchací reometrie definován jako měřicí technika, která zahrnuje míchání heterogenních materiálů při provádění rotačních měření. S využitím numerické analýzy bylo pro hodnocení viskozity heterogenních povrchů v dynamických smykových reometrech vyvinuto vřeteno, tvořené dvojitou šroubovou plochou. To zaručuje stabilitu vzorku tím, že se generuje axiální čerpání směrem nahoru ve vnitřní oblasti šroubových lopatek a umožňuje proudění směrem dolů na obvodové straně nádoby. To vede k účinnému konvekčnímu proudění tekutiny v komoře bez rizika ucpání a se zlepšeným rozptylem částic.

Zkoušky byly provedeny na třech pojivech: nemodifikovaný silniční asfalt třídy 50/70, asfalt modifikovaný pryžovým granulátem (18 % částic pryže zrnitosti 0,125 mm až 0,8 mm v silničním asfaltu 50/70) a polymerem modifikovaný asfalt (silniční asfalt 50/70 s obsahem 6 % SBS).

Měření viskozity byla provedena v rotačním režimu s konvenčním standardním vřetenem CC27 a třemi dalšími geometriemi, navrženy pro měření složitějších nehomogenních materiálů (obrázek 2). Jednalo se o dvě geometrie s dvojitou šroubovou plochou (ST-24-2HR a ST-26.5-LPG) a lopatkové vřeteno (ST-24-4V). Nádobka byla naplněna přibližně 15 g vzorků,

který byl kondicionován po dobu 15 minut při teplotě 135 °C a 180 °C (bez pohybu vřetene). Následně se provádělo měření při konstantní rychlosti 50 ot./min. a 200 ot./min. po dobu 45 minut. Měření byla rovněž modelována programem ANSYS.



Obrázek 2: Zkušební geometrie (vřetena) použité pro měření viskozity srovnávaných povrchů [2]

Podle očekávání bylo v případě nemodifikovaného silničního asfaltu (homogenní materiál) dosaženo srovnatelných hodnot dynamické viskozity při použití všech čtyř geometrií vřeten. Při měření dynamické viskozity nehomogenních povrchů vřeteny CC-27, ST-24-4V a ST-24-2HR bylo po přechodném období dosaženo stabilního trendu. Pokud zvolené vřeteno není schopno zajistit dostatečné míchání v nádobce, částice se mohou usazovat buď v horní nebo spodní části vzorku, nebo se mohou shlukovat. Tyto faktory přispívají ke stabilitě vzorku tím, že zvyšují heterogenitu systému a poskytují výsledky, které nejsou reprezentativní. Odlišný trend hodnoty viskozity v čase vykazuje vřeteno, tvořené dvojitou šroubovou plochou (ST-26.5-LPG), které zaručuje homogenní distribuci částic během několika sekund, což zase poskytuje realistický trend měření. To je zcela zřejmé u asfaltu modifikovaného pryžovým granulátem, kde byly okamžitě zaznamenány hodnoty viskozity blízké konečným hodnotám téměř bez ztráty viskozity. Tyto jevy byly v různé úrovni pozorovány také u polymerem modifikovaného asfaltu, avšak rozdíl jsou méně nápadné kvůli absenci částicové fáze v tomto pojivu.

Tabulka 1: Rotační viskozita srovnávaných pojiv stanovená při teplotách 135 °C a 180 °C a při rychlostech 50 ot./min. a 200 ot./min. [2]

| Ot./min. | Materiál | Teplota (°C) | CC27 | ST-24-4V | Rozdíl (%) | ST-24-2HR | Rozdíl (%) | ST-26.5-LPG | Rozdíl (%) |
|----------|----------|--------------|---------|----------|--------------|-----------|--------------|-------------|--------------|
| 50 | 50/70 | 135 | 470,8 | 450,4 | 4,3 | 460,4 | 2,2 | 455,0 | 3,4 |
| | | 180 | 65,6 | 62,9 | 4,1 | 63,5 | 3,2 | 65,0 | 0,9 |
| | CR-MB | 135 | 1 983,5 | 4 774,4 | 140,7 | 5 024,0 | 153,3 | 5 542,0 | 179,4 |
| | | 180 | 648,2 | 1 247,4 | 92,4 | 1 325,0 | 104,4 | 1 497,5 | 131,0 |
| | PMB | 135 | 1 738,1 | 1 945,5 | 11,9 | 1 950,5 | 12,2 | 1 927,5 | 10,9 |
| | | 180 | 195,7 | 203,1 | 3,8 | 204,1 | 4,3 | 206,5 | 5,5 |
| 200 | 50/70 | 135 | 459,1 | 446,9 | 2,7 | 460,4 | 0,3 | 454,5 | 1,0 |
| | | 180 | 63,3 | 62,1 | 1,9 | 63,2 | 0,2 | 64,5 | 1,9 |
| | CR-MB | 135 | 1 685,1 | 4 199,8 | 149,2 | 4 248,5 | 152,1 | 4 652,0 | 176,1 |
| | | 180 | 591,0 | 1 175,3 | 98,8 | 1 269,6 | 114,8 | 1 349,9 | 128,4 |
| | PMB | 135 | 1 672,4 | 1 766,0 | 5,6 | 1 875,5 | 12,1 | 1 805,1 | 7,9 |
| | | 180 | 187,0 | 196,0 | 4,8 | 195,6 | 4,6 | 196,1 | 4,9 |

Tyto závěry potvrdilo i matematické modelování toku materiálu, vznikajícího rotací srovnávaných vřeten. Zkouškami i matematickým modelováním bylo pro pojiva obsahující částice pryžového granulátu potvrzeno, že nehomogennějších výsledků měření bylo dosaženo s použitím geometrie s dvojitou šroubovou plochou ST-26.5-LPG a nejméně homogenních se standardním vřetenem CC27. Kompletní výsledky porovnání jsou uvedeny v tabulce 1.

Studie kinetiky stárnutí asfaltu na základě frakcí SAR-AD

V rámci této studie se sledoval vliv stárnutí na změny chemického skupinového složení asfaltových pojiv. Pro simulaci stárnutí pojiv byl vybrán postup PAV (Pressure Aging Vessel) při teplotě 100 °C a tlaku 2,1 MPa, jak je popsáno v normě EN 14769. Doba stárnutí byla (8, 16, 24 a 48) hodin. Pro určení skupinového složení asfaltových pojiv byla využita metoda SAR-AD (Saturates Aromatics Resins and Asphaltenes Determinator), která využívá vysokouúčinnou kapalinovou chromatografii (HPLC – high performance liquid chromatography). Tímto postupem se asfaltové pojivo rozdělí do osmi skupin (nasycené sloučeniny, aromáty 1, aromáty 2, aromáty 3, pryskyřice, asfalteny 1, asfalteny 2 a asfalteny 3). Molekuly asfaltu byly separovány na základě jejich rozpustnosti v různém rozpouštědle a polaritě pomocí čtyř různých fází. Pro provedení laboratorních zkoušek bylo vybráno šest silničních destilačních asfaltů s označením A, B, C, F, G a S. Prvních pět z nich bylo klasifikováno jako penetrační třída 70/100, poslední pojivo je třídy 100/150.

Z výsledků měření metodou SAR-AD bylo patrné, že frakce nasycených sloučenin, která se skládá převážně z dlouhých alifatických řetězců, není citlivá na stárnutí, protože ani po 48 hodinách stárnutí metodou PAV podle očekávání nenastala (téměř) žádná změna v zastoupení těchto sloučenin.

Frakce aromáty 1 obsahuje oproti zbývajícím dvěma frakcím aromátů méně polární molekuly a je typicky charakterizována strukturami s jedním nebo dvěma aromatickými kruhy. Pokles hmotnosti frakce aromátů 1 je během stárnutí pozorován u všech srovnávaných pojiv. Molekuly přítomné ve skupině aromátů 2 jsou o něco polárnější než molekuly odpovídající aromátům 1 kvůli většímu počtu aromatických kruhů. Rovněž obsah aromátů 2 se během 48 hodin stárnutí metodou PAV snížil. Nejvýraznější změna byla pozorována na počátku stárnutí, ale i po této rychlé reakci obsah aromátů 2 dále trvale klesá. Třetí aromatická skupina je nejpoleárnější aromatickou frakcí. Tato frakce je ze všech tří aromatických frakcí zastoupena nejhojněji (zhruba 60 %). Počáteční pokles obsahu aromátů 3 během stárnutí metodou PAV trvá déle (až 16 hodin stárnutí PAV) než pro aromáty 2. Měření potvrdila všeobecně uznávaný názor, že obsah aromatických sloučenin se během stárnutí snižuje.

Molekuly přítomné ve frakci pryskyřic se vyznačují chemickými strukturami podobnými třetí skupině aromátů. Hlavním rozdílem je větší množství heteroatomů a polárních funkčních skupin. Z laboratorních měření vyplývá, že při stárnutí dochází k nárůstu obsahu pryskyřic, přičemž největší nárůst je pozorován v počáteční fázi stárnutí.

Molekuly asfaltenů jsou polárnější než předchozí frakce SAR-AD, přičemž první skupina asfaltenů je z těchto tří skupin asfaltenů nejméně polární. Obecně je většina pojiv charakterizována nárůstem obsahu asfaltenů 1 s dobou stárnutí PAV.

Asfalteny 2 jsou polárnější než asfalteny 1 a představují nejhojněji zastoupenou frakci mezi třemi asfaltenickými frakcemi (zhruba 62 %). Vývoj obsahu asfaltenů 2 vykazuje rostoucí trend po celou dobu stárnutí. To potvrzuje, že obsah asfaltenů se během stárnutí zvyšuje.

Poslední asfaltenová frakce je nejpoleárnější a vývoj obsahu tohoto druhu asfaltenů je velmi závislý na srovnávaných vzor-

cích (u některých pojiv bylo možné pozorovat mírný pokles, u jiných nárůst obsahu).

Výsledky studie potvrdily, že nasycené látky nejsou v asfaltu téměř ovlivněny stárnutím, aromatické látky se přeměňují na pryskyřice a ty se transformují do asfaltenu.

Pochopení mechanismu stárnutí asfaltu pomocí EPR a NMR analýzy s nízkým polem

Prodloužení životnosti asfaltu je klíčem ke snížení jeho negativního vlivu na životní prostředí minimalizací požadavků na údržbu a rekonstrukci. Pochopení mechanismů stárnutí je také zásadní pro zlepšení schopnosti kompenzovat jejich účinky a případně navrhnout účinné přísady omezující toto stárnutí. Stárnutí asfaltu je charakterizováno ztrátou jeho mechanických vlastností a zejména zvýšením tuhosti. Vztahy mezi chemickým složením asfaltových pojiv a jejich mechanickými vlastnostmi však doposud nejsou dostatečně popsány, zejména kvůli složitosti chemického složení pojiv a kvůli existenci molekulárních interakcí mezi jejich složkami.

Metoda FTIR (Fourier-Transformed Infra-Red) se používá k měření kinetických rychlostí oxidace podle Petersonova oxidačního mechanismu. Metoda EPR (Electron Paramagnetic Resonance) se používá jako ortogonální technika k potvrzení tohoto chování. Tato technika byla již v minulosti použita pro zkoumání složení vzorků asfaltů, teprve nedávno se začala využívat pro charakterizaci oxidačního stárnutí asfaltových pojiv. Studie zde uvádí její první aplikaci pro výzkum molekulárního mechanismu technologie sníženého stárnutí pojiv (přísady omezující stárnutí pojiv). NMR (Nuclear Magnetic Relaxation) analýza s nízkým polem přináší informace o koloidních vlastnostech systému v širokém teplotním rozsahu. Tento příspěvek popisuje charakterizaci asfaltu a jeho stárnutí pomocí sady tří analytických technik, které nevyžadují použití rozpouštědla: metoda ATR-FTIR, metoda EPR a NMR analýza s nízkým polem.

Pro účely této studie byly hodnoceny dva silniční asfaltu třídy 35/50 z různých rop (A a B) bez jakékoli modifikace a s přidáním přísady zvyšující odolnost vůči oxidačnímu stárnutí (aditivovaný asfalt A a aditivovaný asfalt B). Dále byly hodnoceny

vlastnosti komerčně dostupného polymerem modifikovaného asfaltu třídy 65/105, který obsahoval cca 5 % SBS (C). Také na toto pojivo byla aplikována přísada proti stárnutí (aditivovaný asfalt C). Na tyto vzorky bylo aplikováno dlouhodobé stárnutí metodou PAV (bez předchozího stárnutí RTFOT) po dobu (25, 48 a 72) hodin při teplotě 100 °C a tlaku vzduchu 2,1 MPa.

Na základě výsledků získaných metodou FTIR je možné říct, že přítomnost přísady zvyšující odolnost proti stárnutí dramaticky mění kinetiku oxidace. Rychlost stárnutí aditivovaného asfaltu výrazně klesá (až na 20 % až 40 %).

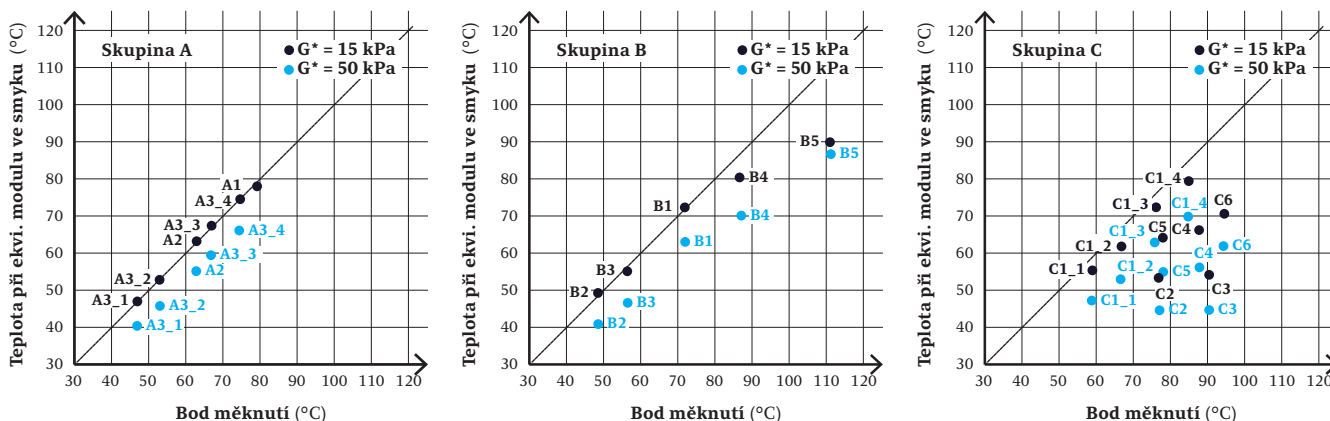
S využitím metody EPR byl pozorován nárůst množství uhlíkově centrovaných radikálů během prvních 25 hodin stárnutí metodou PAV u všech pojiv, což je v souladu s odbornou literaturou. Tento trend neustále pokračuje i mezi 25 a 72 hodinami stárnutí PAV pro pojiva A a B bez přísady omezující stárnutí. Množství radikálů u polymerem modifikovaného asfaltu C se začíná snižovat mezi 48 a 72 hodinami stárnutí PAV. Rychlost stárnutí pojiva C byla nižší než v případě nemodifikovaných pojiv A a B. Zpomalení oxidační fáze použitím přísady omezující stárnutí dříve pozorované s využitím metody FTIR bylo potvrzeno údaji získanými metodou EPR, kdy byl prokázán vliv této přísady na omezení shlukování asfaltenu.

NMR analýza s nízkým polem ukázala negativní vliv stárnutí asfaltu na zvýšení poměru tuhé/netuhé fáze pojiva a na teplotu jeho fázového přechodu z ne-Newtonské do Newtonské tekutiny. Bylo také prokázáno, že použití přísady omezující stárnutí snižuje vliv stárnutí na tento fázový přechod.

Moderní analytické metody, prezentované v této studii, se ukázaly jako relevantní nástroje pro propojení chování pojiv v nanoměřítku a jejich výkonnostních vlastností na makroúrovni.

Náhrada bodu měknutí a penetrace jehlou zkouškami podle EN 17643

Zkoušky bodu měknutí a penetrace jehlou jsou ve většině evropských zemí stále hlavními zkouškami, využívanými pro specifikaci vlastností silničních i polymerem modifikovaných pojiv. Například v Německu je ovšem plánováno nahrazení zkoušky bodu měknutí teplotou při ekvivalentním modulu ve smyku pomocí dynamického smykového reometru (zkouška BTSV podle



Obrázek 3: Výsledky zkoušky bodu měknutí a teploty při ekvivalentním modulu ve smyku 15 kPa a 50 kPa [5]

EN 17643). Při této zkoušce se hledá teplota $T_{(BTSV)}$, při které dosahuje asfaltové pojivo hodnoty komplexního modulu ve smyku 15 kPa v režimu zvoleného oscilujícího napětí při konstantní frekvenci a plynule se zvyšující zkušební teplotě. Zároveň se při stejné teplotě uvede odpovídající fázový úhel $\delta_{(BTSV)}$.

Podle odborné literatury lze očekávat dobrou korelaci mezi hodnotou bodu měknutí a výsledkem zkoušky BTSV pro čerstvý nemodifikovaný silniční asfalt. To ovšem nemusí platit pro asfalty zestárlé nebo dokonce modifikované. V této studii je provedeno srovnání výsledků zkoušky penetrace jehlou a bodu měknutí s výsledky zkoušky BTSV na široké škále vzorků asfaltových pojiv. Pro zkoušky tedy byly vybrány nemodifikované silniční asfalty různé gradace v různém stavu stárnutí (skupina A), pojiva extrahovaná z R-materiálu (skupina B) a asfalty modifikované SBS a přísadou Fischer-Tropschových parafinů (skupina C). Na uvedených pojivech byly zjišťovány hodnoty penetrace jehlou, bodu měknutí a teploty a fázové úhly při ekvivalentním modulu ve smyku, který činil 15 kPa (podle EN 17643) a 50 kPa (podle přílohy B téže normy).

Silniční asfalty různých gradací (10/20 až 70/100) zkoumané v čerstvém a zestárlém stavu (skupina A) vykazují téměř identické hodnoty teploty bodu měknutí a teploty při ekvivalentním modulu ve smyku 15 kPa ($T_{(BTSV)}$) a spojnice trendu tedy leží přímo v ose kvadrantu (obrázek 3 vlevo).

V případě pojiv získaných z R-materiálu (skupina B) lze hodnoty bodu měknutí a teploty při ekvivalentním modulu ve smyku 15 kPa stále považovat za dostatečně shodné pro stavy „extrahovaný“ a „krátkodobě stárnutý“. S prodlužujícím se stárnutím se však od sebe stále více rozcházejí, přičemž teplota při ekvivalentním modulu ve smyku 15 kPa se postupně snižuje. Z lineární regresní přímky výrazně vybočuje vzorek znovuzískaného a dvakrát dlouhodobě zestárlého pojiva (2x PAV), který již dosáhl hodnoty bodu měknutí 111 °C. V případě modifikovaných asfaltů (skupina C) je vztah k bodu měknutí výrazně složitější pro modul ve smyku 15 kPa i 50 kPa. Zatímco v Německu komerčně dostupný polymerem modifikovaný asfalt (nezestárlý i zestárlý) stále vykazuje téměř identické teploty bodu měknutí a teploty při ekvivalentním modulu ve smyku 15 kPa, pro modifikovaná pojiva se zvýšeným obsahem SBS nebo s obsahem parafinu vykazují tyto hodnoty výrazně horší závislost. Teploty při ekvivalentním modulu ve smyku 15 kPa jsou průměru o přibližně 13 % vyšší než teploty při ekvivalentním modulu ve smyku 50 kPa a tato závislost vykazuje silný lineární vztah.

Vztah mezi bodem měknutí a fázovým úhlem při teplotě při ekvivalentním modulu ve smyku 15 kPa je logaritmický s dobrou aproximací. Pouze u pojiv obsahujících parafin dochází k mírným odchylkám od spojnice trendu. V průměru jsou fázové úhly pro modul ve smyku 50 kPa asi o 5 % nižší než hodnoty pro modul ve smyku 15 kPa. Jsou v jednoduchém lineárním vztahu, což naznačuje, že všechny zkoušky v DSR byly provedeny v lineárně-viskoelastické oblasti.

Vztah mezi výsledky penetrací jehlou a teplotou při ekvivalentním modulu ve smyku 15 kPa i 50 kPa lze dobře aproximovat pro všechna hodnocená pojiva logaritmickou regresní funkcí. To platí zejména pro silniční asfalty a extrahovaná pojiva.

Je nutné podotknout, že špatná korelace nové metody se

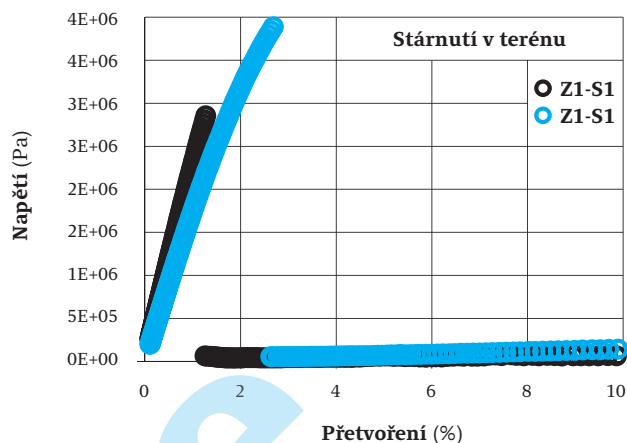
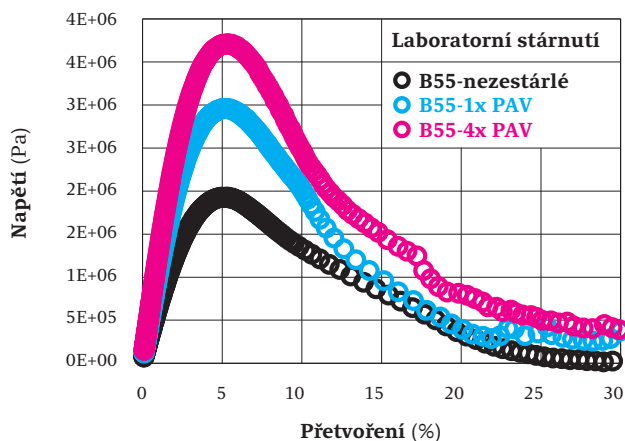
starým postupem nemusí být nutně negativní vlastností. Pomocí nových (v některých případech špatně korelujících) metod se totiž mohou lépe interpretovat výsledky a chování pojiv. Pokud jsou nové zkušební metody ve vysoce spolehlivém lineárním nebo logaritmickém vztahu k těm starým, může to také znamenat, že výsledky neposkytují žádnou smysluplnou informaci navíc. Zde by měla být jasně zdůrazněna všeobecně známá kritika konvenčních zkušebních metod k popisu vlastností modifikovaných pojiv. Je ovšem třeba také poukázat na to, že odklon od známých zkušebních metod, které se používají po desetiletí a tvoří základ předpisů jako hlavní (a často jediná) specifikace, může vést k velké nejistotě mezi uživateli. Aby bylo možné dosáhnout technického pokroku ve zkoušení asfaltových pojiv, je nahrazení konvenčních zkušebních metod zkouškami využívajícími dynamický smykový reometr téměř nevyhnutelné. To následně může zvýšit přesnost zkoušení a umožnit inovace v daném oboru. Na základě regresní analýzy byl v příspěvku uveden vztah pro výpočet T_{BTSV} pomocí hodnot penetrace jehlou, který je uveden v následující rovnici.

$$T_{G^* = 15 \text{ kPa}} = 17,45 \cdot \log(Pen_{25}) + 120,3$$

Porovnání laboratorního stárnutí s dlouhodobým stárnutím asfaltu in situ v asfaltových vozovkách s asfaltovou směsí vyrobenou za horka a za tepla

Stárnutí asfaltu je nevratný jev, vznikající v důsledku tepelných reakcí mezi vzdušným kyslíkem a složkami asfaltu. V důsledku toho se vlivem stárnutí mění i makroskopicky měřené fyzikální a reologické vlastnosti. Konkrétně stárnutí způsobuje tvrdnutí a křehnutí asfaltu, takže je náchylnější ke vzniku trhlin. Doposud byla vyvinuta řada laboratorních zkoušek, simulujících stárnutí, včetně RTFO (Rolling Thin Film Oven) a PAV (Pressure Aging Vessel), které simulují krátkodobé a dlouhodobé stárnutí asfaltu v reální situaci. Hlavními mechanismy laboratorních metod urychleného stárnutí je zvýšení teploty a tlaku vzduchu/kyslíku a snížení tloušťky asfaltového filmu. Skutečné stárnutí vozovky však nikdy neprobíhá při stejných okrajových podmínkách. Hlavním cílem tohoto článku je porovnat metody laboratorní simulace stárnutí se stárnutím pojiva přímo zabudovaného ve vozovce s určením vlivu výroby asfaltové směsi (nízkoteplotní směs a za horka vyrobená asfaltová směs) pomocí chemických a reologických zkoušek.

V tomto příspěvku je hodnocen zkušební úsek sestávající z referenční sekce za horka vyrobené asfaltové směsi (asfaltový beton ACL 0/14 a asfaltový beton ACO 0/10 s porfyrickým kamenivem a silničním asfaltem 50/70) a sekce nízkoteplotní asfaltové směsi (stejný typ směsi s použitím zeolitu pro snížení výrobních teplot) z hlediska srovnání simulace laboratorního stárnutí asfaltového pojiva a jeho stárnutí v reálné vozovce. Pokusný úsek byl proveden v roce 2009. Byly odebrány jádrové vývrty, které byly nařezány na kotoučky v různých hloubkách vozovky, ze kterých byl znovuzískán asfalt. Tloušťka kotoučků byla: nejvrchnější dva po 5 mm, zbylé po 10 mm. Stejný asfalt byl podroben simulaci stárnutí v laboratoři metodou RTFOT a metodou



Obrázek 4: Závislost smykového napětí na vrůstajícím smykovém přetvoření při teplotě 10 °C a frekvenci 10 Hz pojiva zestárlého v laboratoři (vlevo) a na pokusném úseku (vpravo) [6]

PAV (100 °C a 2,1 MPa po dobu 20, 40, 60 a 80 hodin). Znovuzískaná laboratorně zestárlá pojiva byla podrobena zkouškám FTIR a zkouškám v DSR, kde byla provedena oscilační zkouška při teplotách -24 °C až 90 °C a frekvencích 0,01 Hz až 10 Hz. Z výsledků byly sestrojeny hlavní křivky a vypočítány parametry Glower-Rowe ($G-R = G^*(\cos\delta)^2/\sin\delta$) a parametr ΔT_c (určený z nízkých kritických teplot pro tuhost a relaxační schopnost pojiva v DSR).

Z výsledků FTIR je patrné, že úroveň zestárnutí, indikovaná karbonylovými a sulfoxidovými indexy pojiv získaných z kotočků vývrtů, se zvyšuje s rostoucí mezerovitostí. Na základě vyhodnocení karbonylového indexu je možné říct, že 80hodinové stárnutí metodou PAV způsobuje podobnou úroveň stárnutí jako nastává při povrchu obrusné vrstvy.

Z vyhodnocení parametru G-R je možné usuzovat, že s využitím laboratorní simulace stárnutí nelze dosáhnout podobných úrovní zestárnutí, pokud jde o tuhost pojiva, jako při zestárnutí in situ. Kromě toho je závislost komplexních smykových modulů a zejména fázových úhlů na frekvenci odlišná pro pojivo zestárlé ve vozovce a pro pojivo zestárlé laboratorně. To potvrzuje také vyhodnocení parametru ΔT_c . Z oscilační zkoušky v DSR, při které se postupně zvyšuje smykové přetvoření, je vidět, že asfalt zestárlý na zkušebním úseku je náchylnější ke křehkému porušení, zatímco všechny asfalty stárnuté v laboratoři vykazují duktilní způsob porušení (viz obrázek 4). Jinými slovy asfalt stárnutý přímo ve vozovce je náchylný ke křehkému porušení, zatímco asfalt stárnutý v laboratoři vykazuje spíše plastický režim porušení při opakovaném oscilačním smykovém zatížení. Z toho je možné usuzovat, že simulace stárnutí asfaltových pojiv v laboratoři nedosahuje úrovně zestárnutí v reálných podmínkách.

Závěr

Tento článek shrnuje základní informace ze čtyř prezentovaných příspěvků sekce 11 E&E kongresu, pořádaného v červnu 2024 v Budapešti, a dalších dvou zajímavých příspěvků z druhé kapitoly sborníku Výkonnost a testování pojiv. V této kapitole bylo vydáno 31 příspěvků, což vypovídá o tom, že téma výkonnosti a zkoušení asfaltových pojiv je stále aktuální. Kromě zde

uvedených příspěvků je možné ve sborníku nalézt celou řadu dalších zajímavých studií, na které ovšem bohužel nezbyl v programu konference prostor.

doc. Ing. Ondřej Dašek, Ph.D.
Vysoké učení technické v Brně

Literatura

- [1] Öngel A., Bueche N. (2024) High Temperature Performance Evaluation of Bituminous Binders for Gussasphalt. In: Proceedings of 8th E&E congress, pp. 503–514. Guarant International.
- [2] Giancontieri G., Lo Presti D. (2024) Advanced mixing rheometry for dynamic shear rheometer testing of highly heterogeneous bituminous binders. In: Proceedings of 8th E&E congress, pp. 366–379. Guarant International.
- [3] Michon L., Bruneau L., Tisse S., et al. (2024) Aging kinetic study of bitumen based on SAR-AD fractions. In: Proceedings of 8th E&E congress, pp. 444–455. Guarant International.
- [4] Laage S., Korb J.-P., Babic N., et al. (2024) Understanding bitumen ageing mechanism using EPR and low-field NMR analysis. In: Proceedings of 8th E&E congress, pp. 403–412. Guarant International.
- [5] Johannsen K. (2024) Replacement of the softening point and the needle penetration by tests according to EN 17643. In: Proceedings of 8th E&E congress, pp. 394–402. Guarant International.
- [6] Zhang H., Soenen H., Carbonneau X. (2024) Comparing laboratory ageing with long-term field ageing of bitumen in the hot-mix and warm-mix asphalt pavements. In: Proceedings of 8th E&E congress, pp. 605–616. Guarant International.