



## VLIV R ZNÝCH METOD STÁRNUTÍ ASFALTOVÉHO POJIVA A POUŽITÉ GEOMETRIE TESTOVÁNÍ NA DYNAMICKÉM SMYKOVÉM REOMETRU

Zpracovali: Ing. Lucie Benešová, Ing. Tereza Valentová, Ing. Jan Valentin, Ph.D. (Fakulta stavební VUT v Praze)

### Souhrn

P i výrob a pokládce asfaltových sm sí dochází k oh evu asfaltové sm si, díky kterému se urychlují procesy stárnutí asfaltového pojiva. Z tohoto d vodu je nezbytné v novat pozornost vlastnostem asfaltových pojiv nejen p vodních, ale i po r zných stupních jejich stárnutí. K simulaci krátkodobého stárnutí slouží již adu let r zné metody, jako je RTFOT, TFOT nebo RFT. Aktivita se proto zam ıla na porovnání funk ních charakteristik m ených na dynamickém smykovém reometru (DSR) po stárnutí metodou RTFOT a TFOT. Vlastnosti ovlivn é stárnutím se porovnal na t ech asfaltových pojivech – na b žném silni ním pojivu gradace 50/70 a na dvou polymerem modifikovaných pojivech (PMB). Na DSR se provád ĩla oscila ní zkouška s režimem m ení ve spektru zvolených frekvencí p i r zných teplotách. Z nam ených hodnot lze principem superpozice asu a teploty následn získat ídíci k ivku vztaženou k jedné teplot ě, z které je možné posoudit deforma ní ú inky jednotlivých pojiv v širokém intervalu frekvencí. Druhou provád ĩnou zkouškou na DSR byla zkouška opakovaného namáhání a zotavení (MSCR) p i vyšších provozních teplotách, která se v posledních letech prosazuje jako nejvhodn ější metoda pro posuzování odolnosti asfaltových pojiv proti vzniku trvalé deformace, a to zejména pro modifikovaná asfaltová pojiva. Tato zkouška se provád ĩla s volbou dvou r zných m ících geometrií (desti ka-desti ka 25 mm a 8 mm) a porovnávalo se ovlivn ní nam ených hodnot zvolenou geometrií, p i emž pro každou geometrii se p edepisuje jiná tlouš ka m eného vzorku.

### Oblast použití

Pro zlepšení trvanlivosti asfaltových sm sí byly v posledních dvou dekádách postupn vymezeny a implementovány zkoušky funk ních charakteristik sm sí. Trvanlivost asfaltových sm sí je nicmén ě do zna né míry závislá na kvalit ě a užitném chování asfaltového pojiva. Ty jsou tradi n popsány empirickými zkouškami, které neumož ůjí predikci výkonnosti asfaltové sm si. Pro asfaltové sm si byly funk ní specifikace vymezeny v roce 2006, zatímco

funk ní zkoušky pojiv nejsou zohledn ěny v žádné z specifikací norem. Obdobn ě není v sou asnosti zásadním zp sobem zohledn ěn v evropských specifikacích fenomén stárnutí, který má význam na funk ní charakteristiky asfaltového pojiva i sm sí.

### Metodika a postup ešení

V rámci posouzení t í pojiv – silni ní asfalt 50/70 a dv PMB pojiva – se zjiš ovaly nejen základní empirické zkoušky, ale hlavní d raz byl kladen na r zné modifikace b žných postup zkoušek na DSR spolu s porovnáním n kolika metod stárnutí. Deforma ní chování bylo sledováno zkouškou MSCR, která se standardn provád ĩla p i teplot ě 60 °C a také oscila ní zkouškou (frequency sweep test) pro zvolený teplotní interval a zvolené frekven ní rozp tí 0,1 Hz – 10 Hz.

Z hlediska stárnutí byly provedeny zkoušky na pojivech po RTFOT a TFOT (simulující krátkodobé stárnutí) a po RTFOT+PAV, TFOT+PAV a 3xRTFOT (simulující dlouhodobé stárnutí). Jelikož laborato VUT nevlastní p ístroj pro simulování stárnutí metodou RTFOT (3xRTFOT), dané zkoušky byly provedeny na pojivech p ipravených jinou laborato í.

Tab. 1 Základní charakteristiky posuzovaných pojiv.

Asfaltové pojivo	Penetrace @ 25 °C	Bod m knutí	PI	Silová duktilita E <sub>2-4</sub>
	[0,1 mm]	[°C]	[-]	[J]
50/70	59,0	49,8	-0,9	0,2
PMB 25/55-60	52,8	80,9	4,6	4,5
PMB 40/100-65	64,4	79,4	5,0	5,0
Asfaltové pojivo	Vratná duktilita @ 25 °C	Dynamická viskozita @ 6,8 s <sup>-1</sup>		
		135 °C	150 °C	
	[%]	[Pa.s]	[Pa.s]	
50/70	-	0,6	0,3	
PMB 25/55-60	90,3	2,9	0,9	
PMB 40/100-65	93,6	9,8	4,6	

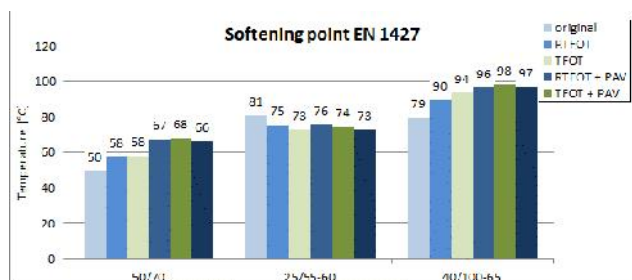
Tradi ní fyzikální vlastnosti asfaltových pojiv se získaly ze zkoušek bodu m knutí, penetrace, silové

duktility a vratné duktility, jejichž naměřené hodnoty jsou shrnuty v tabulce 1 spolu s hodnotami dynamické viskozity. Zde stojí za povšimnutí vysoké hodnoty vratné duktility u PMB pojiv, které přesahují 90 %. Dále je překvapivě vysoká hodnota bodu mknutí u pojiva PMB 25/55-60, která neodpovídá jeho klasifikaci. Tento vzorek pravděpodobně obsahoval další přísadu, která ovlivnila následné vlastnosti po stárnutí.

## Výsledky

Asfaltové pojivo je organická sloučenina a jako taková podléhá stárnutí a změně svých mechanických i chemických vlastností v čase. Stárnutí asfaltových pojiv v sobě zahrnuje více dějů způsobených především okolním prostředím jako je UV záření, oxidace vzduchem, odpařování nebo opakované namáhání. Výsledek těchto dějů vede v tloušťce ke zvýšení hodnoty bodu mknutí a snížení penetrace. Krátkodobé stárnutí modeluje stárnutí pojiva při obalování kameniva na obalovně asfaltových směsí a dlouhodobé stárnutí modeluje degradaci asfaltového pojiva zabudovaného ve ztuhlenné asfaltové vrstvě.

Obrázek 1 zobrazuje hodnoty bodu mknutí pojiv po stárnutí. Jak již bylo naznačeno, v případě pojiva PMB 25/55-60 jsou naměřené hodnoty bodu mknutí závažněji, nebo po stárnutí došlo ke snížení těchto hodnot. U zbylých pojiv se hodnoty bodu mknutí dle předpokladu zvýšily a zvláště v případě asfaltu 50/70 je vidět, že metody stárnutí RTFOT a TFOT vedou k těm stejným hodnotám bodu mknutí, stejně jako RTFOT+PAV a TFOT+PAV.

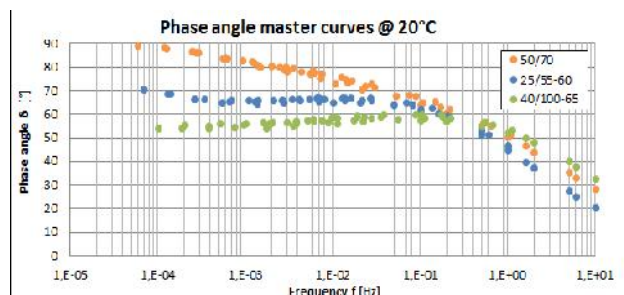


Obr. 1 Body mknutí asfaltových pojiv pro různé úrovně stárnutí.

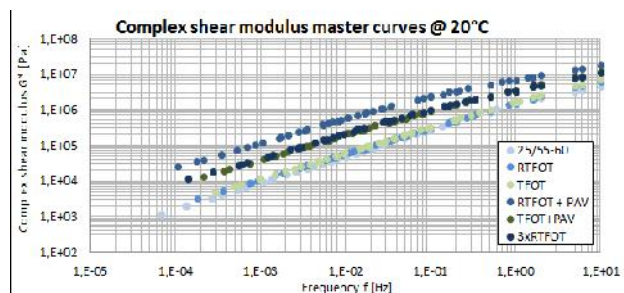
Zkoušky prováděné na DSR slouží k určení pevnostních a únavových vlastností asfaltu. Vzorek v DSR je namáhán oscilací nebo rotací pohyblivé destičky v režimu řízené výsledné deformace nebo řízeného smykového napětí. Tento pohyb v případě oscilace není ve zkušebnímu modu rovnoměrný, ale má vždy proměnné působení odpovídající sinusové funkci. Sinusové zatížení do značné míry odpovídá zatížením ve vozovce, která jsou vyvolána dopravou, resp. jezdou jednotlivých náprav.

Běžnou zkouškou, z které lze získat dané charakteristiky, je měření prováděné při neměnném smykovém napětí v intervalu zvolených frekvencí zatížení (oscilační zkouška označovaná FS). Oscilující osa se zatíží zvoleným napětím a měří se pětování, síla a zpoždění mezi zatížením a deformací. Z naměřených hodnot se vypočítá komplexní smykový modul  $G^*$  a úhel fázového posunutí. Současně lze výsledky použít pro vynesení úhlových křivek.

V případě zkoušek prováděných na DSR bylo naměřeno velké množství dat, která lze použít pro různé interpretace. Jednou z možností je prezentování výsledků v podobě úhlových křivek, které lze použít jako dobrý nástroj interpretace chování asfaltového pojiva v širokém teplotním intervalu (zpravidla 20-60 °C) a ve frekvenčním spektru, které pokrývá v zásadě všechny kombinace dopravy, které mohou na vozovku působit. Z obrázku 3 zobrazujícího úhlové křivky úhlu fázového posunutí nezestárlých pojiv je zřejmé, že pojivo PMB 40/100-65 má při nižších frekvencích výrazně nižší fázový úhel, který nepatrně roste až do frekvence  $10^{-1}$  a při vyšších frekvencích dochází k prudkému snížení hodnot fázového posunu. Tato skutečnost indikuje lepší chování pojiva při středních a vyšších teplotách – pojivo by mělo lépe odolávat deformacím.



Obr. 2 Úhlové křivky fázového úhlu pro sledovaná pojiva.

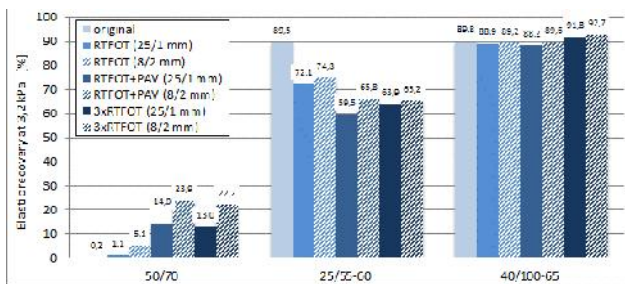


Obr. 3 Úhlové křivky smykového modulu asfaltu PMB 25/55-60 pro různé stavy stárnutí.

Další důležitou funkční zkouškou, které se dále věnuje velká pozornost, je Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) test. Zkouška se jeví v porovnání s výše popsanou oscilací zkouškou jako jednodušší a pro běžné laboratorní snáze proveditelná. Jedná se o zkoušku opakovaného zatřívání a odlehování, která se v posledních letech prosazuje jako

nejvhodnější metoda pro posuzování odolnosti asfaltových pojiv proti trvalým deformacím. Zkušební metoda jako výsledek určí elasticke zotavení a nevratnou smykovou poddajnost  $J_{nr}$  asfaltového pojiva. Zkouška se provádí při zvolené teplotě zpravidla v intervalu 40-70 °C. Všechny varianty pojiva se po dobu jedné vteřiny zatíží konstantním napětím a po odtížení se vzorek po dobu devíti vteřin zotavuje. Test se provádí při dvou úrovních napětí: 0,1 kPa a 3,2 kPa. Postup se opakuje 10x pro každou úroveň napětí. Celkový asfaltový k otestování dvoufázového dotvarovacího a zotavovacího testu je tedy přibližně 200 s.

Zkouška se provedla na všech zestárlých i nezestárlých variantách. Dále se provedlo porovnání dvou odlišných měřících geometrií. Základní geometrie pro zkoušku MSCR je správně 25 mm a s tloušťkou vzorku 1 mm (v grafech a tabulkách označeno jako 25/1 mm). Pro zestárlá pojiva se v případě oscilačních zkoušek používá jiná geometrie, která se uplatnila i v případě zkoušky MSCR. Jedná se o 8 mm průměru destičky a 2 mm tloušťku vzorku (označeno 8/2 mm).



Obr. 4 Elastické zotavení při napětí 3,2 kPa s různými geometriemi.



Obr. 5 Procentuální změna na  $J_{nr}$  po stárnutí a po zatížení napětím 3,2 kPa při geometrii 8/2 mm.

Z pohledu porovnání použitých geometrií je patrné, že v případě geometrie 8/2 mm dochází vždy k vyššímu elasticke zotavení. U obou PMB pojiv je tento nárůst minimální, ale v případě pojiva 50/70 došlo k nárůstu o 70 %.

## Závěr

Lze předpokládat, že v následujících letech budou zvyšovány požadavky na prodloužení životnosti asfaltových pojiv, stejně jako na možnost opětného použití zestárlého asfaltu při recyklaci.

Základními empirickými zkouškami lze asfalty charakterizovat i tít, ale k přesnějšímu popisu chování je potřeba využívat funkční zkoušky na DSR, které lépe vypovídají o vlastnostech asfaltových pojiv, nebo se jedná o viskoelastický materiál. Z tohoto důvodu je nutné v novat zvýšenou pozornost funkčním zkouškám na nezestárlých i zestárlých asfaltových pojivech.

Z provedených měření lze dojít k závěru, že vliv použité geometrie zvolené pro zkoušky na DSR v případě MSCR testu nemá u PMB pojiv téměř žádný vliv, naopak v případě nemodifikovaného pojiva 50/70 došlo k poměrně výraznému navýšení hodnoty elasticke zotavení a tomu odpovídajícímu snížení nevratné smykové poddajnosti. Z porovnání různých typů stárnutí je patrné, že výsledné hodnoty po krátkodobém stárnutí RTFOT a TFOT vycházejí téměř totožně. Z hlediska porovnání výsledků asfaltových pojiv po dlouhodobém stárnutí lze potvrdit obdobný trend, při kterém je dosaženo podobných hodnot. Odlišných hodnot však dosahují některé naměřené hodnoty smykových modulů po stárnutí, ale v těchto případech by bylo nejvhodnější provést opakované měření, které by potvrdilo / vyloučilo zdánlivě nelogické hodnoty. Dle očekávání je patrný výrazný rozdíl všech zkoušek u modifikovaných PMB pojiv v porovnání s nemodifikovaným pojivem 50/70.

## Literatura

- [1] Hota, Petr. Reologické vlastnosti asfaltových pojiv. Brno, 2014. Diplomová práce. VUT.
- [2] Valentin, Jan. Užité vlastnosti a reologie asfaltových pojiv a směsí: charakteristiky, nové zkušební metody, vývojové trendy. Praha: Katedra silničních staveb (VUT, fakulta stavební), 2003.
- [3] Soukupová, Lucie. Funkční charakteristiky asfaltových pojiv s mikromletou pryží a různými typy katalyzátorů a chemických přísad. Praha, 2013. Diplomová práce. VUT.
- [4] SN EN 14770. Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení komplexního modulu ve smyku a fázového úhlu - Dynamický smykový reometr (DSR). Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [5] Černý, R. Kvalita asfaltových pojiv hodnocená pomocí reologických parametrů na DSR a BBR. In: Konference asfaltové vozovky 2009 [CD]. Praha: 2009.
- [6] BUREŠ, P. Vybrané reologické vlastnosti asfaltových pojiv a směsí za středních a vysokých teplot. In: Konference asfaltové vozovky 2011 [CD]. Praha: 2011.