POSTUPY FUNKČNÍCH ZKOUŠEK DEFORMAČNÍHO CHOVÁNÍ ASFALTOVÝCH POJIV S RŮZNOU MODIFIKACÍ ČI ADITIVACÍ

Zpracovali: Ing. Jan Valentin, Ph.D., Ing. Lucie Soukupová, Ing. Kristýna Miláčková (Fakulta stavební ČVUT v Praze); Ing. Václav Neuvirt (Nievelt Labor Praha, s.r.o.); Ing. Václav Valentin, Ing. Jan Beneš (Total Česká republika s.r.o.); doc. Dr. Ing. Michal Varaus (Fakulta stavební VUT v Brně)

Souhrn

V druhém roce řešení se pozornost zaměřila na zpřesnění podmínek provedení souboru funkčních zkoušek zaměřených na vymezení deformačního chování asfaltového pojiva. Vychází se přitom z poznatků postupného rozvoje reologických zkoušek zaváděných v USA a z některých trendů, jež lze sledovat v souvislosti s revizemi evropských norem. Cílem bylo na dostatečně velkém souboru různých typů pojiv ověřit a především zpřesnit zkušební postupy, které se věnují aspektům zpracovatelnosti asfaltového pojiva a popisu jejich užitného chování v oboru deformačních charakteristik. V prvním případě byly ověřeny podmínky a parametry zkoušky dynamické viskozity se zvýšeným důrazem na širší využití teplotní závislosti viskozity – stanovení a rozbor tokových křivek pojiv. V druhém případě byl soubor možných zkušebních postupů širší. Zde se v první řadě ověřovala opakovaně na různých sadách asfaltových pojiv zkouška MSCR (opakovaná zkouška namáhání a relaxace pojiva) a to s volbou různých teplot a se studiem meze elasticity. Další možností využití smykového dynamického reometru je provádění frekvenčních nebo teplotních ramp, při kterých lze ověřit chování pojiva ve větším spektru podmínek zatížení. Zde byla omezeně věnována pozornost zpřesnění lineární viskoelastické oblasti, naopak značná vzornost se věnovala využitelnosti tzv. master křivek, kdy jsou data různých teplot a frekvencí přepočteny pro jednu teplotu a vynesena formou charakteristické křivky pro komplexní modul či fázový posun. Popis takové křivky následně lze využít nejen pro porovnání různých pojiv, ale zejména pro vyjádření deformačního chování pojiva ve velkém intervalu frekvencí a přeneseně i teplot. Zkoušky byly pro vybrané skupiny pojiv prováděny jak na původních – nezestárlých – pojivech, tak se aplikovaly i zavedené postupy krátkodobého a dlouhodobého stárnutí.

Byla provedena mezilaboratorní porovnání se stanovením základní reprodukovatelnosti výsledků. Byla zjištěna velká citlivost zejména u deformačních zkoušek a to včetně vlivu použitého typu dynamického smykového reometru. Z hlediska zavedení těchto zkoušek do systému ověřování kvality asfaltových materiálů je doporučeno této oblasti věnovat další pozornost, aby bylo možné potvrdit jednotící kritéria a především dále zpřesnit podmínky nutné při standardním provádění těchto zkoušek. Tato skutečnost souvisí i s potřebou přesně specifikovat, jaké stavy pojiv budou testovány.

Oblast použití

Postupné zavedení funkčních charakteristik u asfaltových pojiv napomáhá k přesnějšímu vymezení chování této skupiny materiálů používaných v silničním stavitelství. Dosavadní praxe řadu desetiletí využívá především empirické zkoušky založené na získání jedné hodnoty pro konkrétní okrajové podmínky. V případě funkčních charakteristik se chování zjišťuje buď jako výsledek opakovaného (cyklického) namáhání materiálu nebo se volí různé podoby intervalů (teplotní, frekvenční, napěťový apod.), ve kterých je asfaltové pojivo vystaveno sledovaným vlivům. Z takového posouzení odezvy pojiva vnesenému vlivu lze následně lépe odvodit předpokládané chování materiálu při reálných podmínkách, které panují např. v konstrukci vozovky. Výsledky řešení této dílčí aktivity tak mají bezprostřední využití hned v několika rovinách.

Poznatky lze využít při vymezování a úpravě národních či evropských harmonizovaných technických norem, které slouží jako nástroj sledování kvality a vymezení technických parametrů pro konkrétní aplikace. V tomto ohledu výsledky mohou posloužit i pro zpřesnění parametrů řady pojiv z hlediska jejich normových specifikací. Obdobně lze výsledky přenést do celoevropského projektu FunDBitS zaměřeného na funkční specifikace pro trvanlivá pojiva. Tento projekt financovaný evropskou asociací správců pozemních komunikací je koordinován ČVUT v Praze, a tudíž se takový přenos výsledků nabízí. V neposlední řadě získané poznatky slouží výrobcům asfaltových pojiv

Tento výsledek byl vytvořen s finanční podporou programu Centra kompetence TA ČR, projekt č.TE01020168

jako cenné informace při dalším rozvoji zejména různě modifikovaných či aditivovaných asfaltových pojiv. Znalost chování pojiva v závislosti na použité přísadě a její koncentraci je důležitým vodítkem při optimalizaci pojiva. Obdobně jsou takové informace využitelné i z hlediska následného návrhu asfaltové směsi, kde lze mnohem lépe interpretovat předpokládané chování směsi v závislosti na přesnější znalosti funkčního chování pojiva.

Metodika a postup řešení

Z hlediska zvolených asfaltových pojiv byla od roku 2013 postupně věnována pozornost různým skupinám asfaltových pojiv, kde se aplikovaly standardní elastomerické polymery či chemický modifikátor kyseliny polyfosforečné, drcená či mletá pryž, přísady pro zlepšení přilnavosti či přísady snižující viskozitu nebo zlepšující povrchovou aktivitu pojiva (aplikace pro nízkoteplotní asfaltové směsi). Pojiva byla získána jako průmyslově vyrobená – od různých výrobců – nebo byla laboratorně připravena. V druhém případě se u některých variant následně sledoval i vliv množství přidávaného modifikátoru či přísady, jakož i teplota míchání a doba vmíchávání takové komponenty do asfaltového pojiva.

Pro některé varianty se vedle základního stavu – čerstvě vyrobené asfaltové pojivo – ověřovaly také změny, ke kterým dochází vlivem simulovaného stárnutí, kdy asfalt přirozeně podléhá degradačním účinkům vyvolaným působením vzduchu a UV záření. Tyto simulace lze provádět krátkodobým stárnutím (metody RTFOT, TFOT) nebo dlouhodobým stárnutím (metoda PAV, či vícenásobné TFOT/RTFOT).

Druhou rovinou vlastního přístupu k řešení je výběr zkušebních postupů a nastavení či ověření okrajových podmínek, které se přednastaví, aby bylo možné zkoušku provést a následně správně interpretovat. Zde se nejedná jen o nastavení např. teplotního intervalu či velikosti zatížení, nýbrž roli sehrávají i různé doby, se kterými je třeba uvažovat – ať již z hlediska délky doby zatěžování či relaxace nebo z hlediska doby, po kterou má být připravený vzorek při výchozích podmínkách zkoušky temperován než se provede vlastní měření.

Z hlediska vlastních zkoušek se činnost této dílčí aktivity zaměřila především na charakteristiky zpracovatelnosti a deformačního chování v intervalu středních a vyšších teplot. U zpracovatelnosti byla prováděna zkouška dynamické viskozity dle ČSN EN 13302 a to nejen pro dlouhodobě preferovanou teplotu 135°C, nýbrž pro teplotní interval 110-150, případně rozšířený až na teplotu 190°C pro pojiva určená pro lité asfalty. Výsledek jsou tzv. tokové křivky, které v závislosti na teplotě udávají průběh změny viskozity. Měření se prováděla pro různé smykové spády (rychlosti otáčení testovacího vřetene v pojivu). Deformační chování bylo sledováno ve dvou směrech. Jednak podrobné ověření parametrů a zejména využitelnosti zkoušky MSCR (vícenásobná zkouška zatížení a relaxace), kdy je pojivo v dynamickém smykovém reometru (DSR) vystaveno při zvolených úrovních napětí několika cyklům krátkého zatížení a následné relaxaci. Tím se simuluje účinek dopravy. Výsledkem je elastické zotavení a nevratná smyková poddajnost materiálu – obě charakteristiky lze velmi dobře korelovat s odolností asfaltové směsi proti trvalým deformacím. Zkouška se standardně provádí při teplotě 60°C, pro tvrdší asfalty byla a je testována také teplota 15°C. Na DSR byly dále prováděny oscilační zkoušky pro zvolený teplotní interval (zpravidla 20-60°C) a zvolené frekvenční rozpětí (0,1-10 Hz), čímž se simulují podmínky v konstrukci vozovky, kdy teploty pokrývají významnou část roku, frekvence následně simulují účinky dopravy, která má různou skladbu a různé intenzity. Napětí bylo zpravidla voleno na základě teorie lineární viskoelastické oblasti asfaltového pojiva, kdy jsou splněny předpoklady pro přesné posouzení principů viskoelasticity tohoto materiálu.

Získané výsledky pro zvolené teploty lze interpretovat samostatně nebo naopak je možné využití celého teplotního intervalu pro přepočet na tzv. řídící křivky pro zvolené charakteristiky, kterými nejčastěji je komplexní smykový modul a fázové posunutí. Přepočet se provádí na základě platnosti teorie teplotně.časové superpozice, kdy lze získat charakteristickou křivku pojiva pro daný parametr, jež vymezuje chování v širokém teplotním a frekvenčním intervalu.

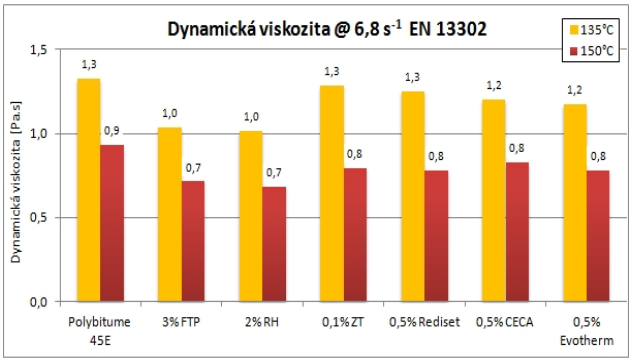
Výsledky

Zkouška dynamické viskozity je odvislá od zvoleného smykového spádu. Nejčastěji se dosud aplikují hodnoty okolo 1 s^{-1}. Na druhé straně v USA uvádějí technické standardy rychlost 20 rpm (6,8 s^{-1}) jako směrnou pro zpracování asfaltového pojiva ve směsi. Pro tento smykový spád vyšla nejnižší viskozita při teplotě 130°C a vyšší a tedy kvalifikovaná jako nejlepší z hlediska zpracovatelnosti pro vzorky s přísadou FTP, což je očekávaný trend s ohledem k účinku vosku. Jiným příkladem je vliv ostatních přísad, kde rozdíly nejsou nijak velké. Zajímavé hodnoty dynamické viskozity jsou u vzorků s přísadou RH, v případě s PmB 25/55-55 došlo v porovnání s referenčním pojivem k mírnému nárůstu viskozity, ale naopak při použití s Polybitume 45E došlo ke snížení viskozity na srovnatelnou úroveň jako s přísadou FTP. Dle

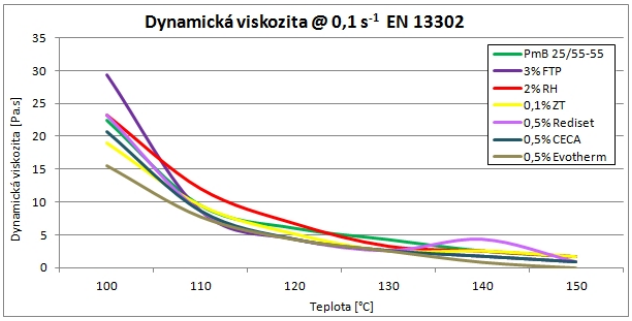
Tento výsledek byl vytvořen s finanční podporou programu Centra kompetence TA ČR, projekt č.TE01020168

očekávání vycházejí nižší hodnoty viskozity při vyšší teplotě.

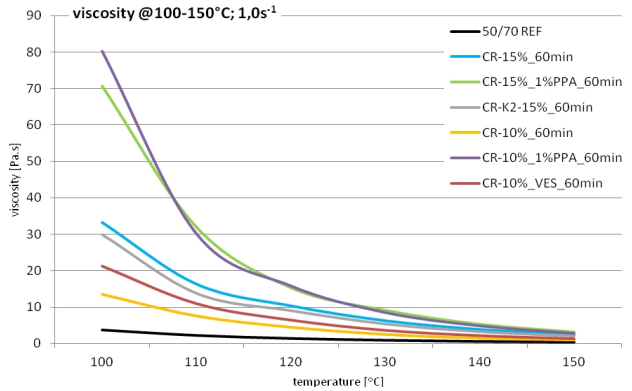
Jiným příkladem mohou být výsledky získané pro různé skupiny pojiv s aplikací mleté pryže jako modifikátoru nebo například kombinací s PPA. Zde je obecně patrné, že takto provedená úprava či modifikace vždy vede k zvyšování dynamické viskozity a pojivo při aplikaci v asfaltové směsi vyžaduje vyšší pracovní teploty. Charakteristika dynamické viskozity se tak jeví jako velmi vhodný a přehledný nástroj indikace zpracovatelnosti.



Obr. 1 Dynamická viskozita PMB NV pojiv.

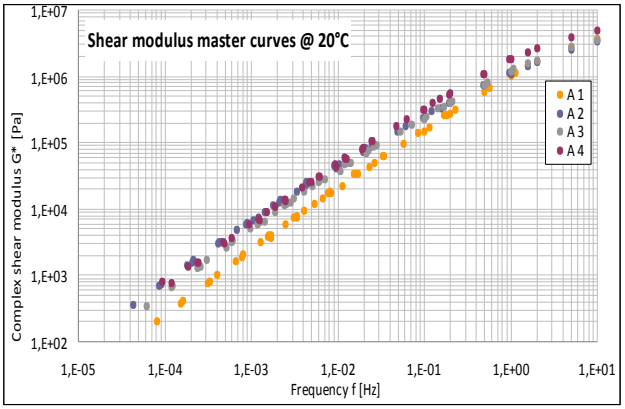


Obr. 2 Dynamická viskozita PMB NV pojiv.

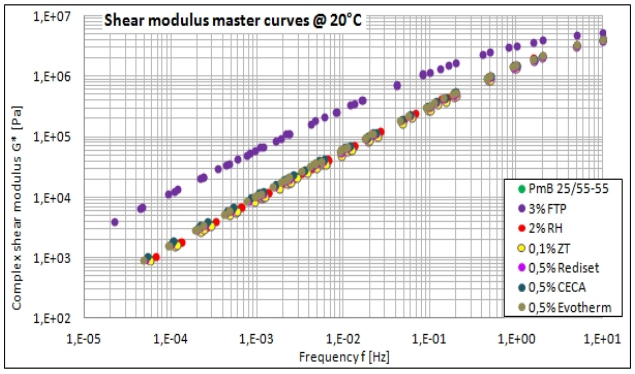


Obr. 3 Dynamická viskozita CRmB pojiv.

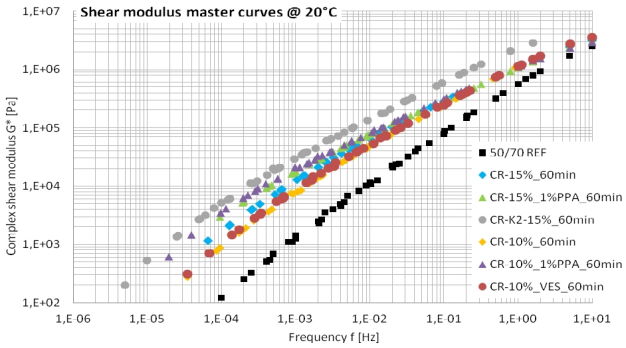
V případě zkoušek prováděných na dynamickém smykovém reometru bylo docíleno velkého množství dat, která lze použít pro různé interpretace. Samostatně lze hodnotit komplexní smykové moduly při teplotě 60°C a to pro konkrétní frekvenci nebo spektrum frekvencí s dalším posuzováním elastické či viskózní složky modulu. V tomto ohledu se obecně ukazuje očekávaný trend, kdy PMB pojiva zlepšují charakteristiku modulu a vedou tudíž k očekávané vyšší odolnosti asfaltového pojiva proti deformačním účinkům, obdobně je tento trend pozorovatelný pro CRmB pojiva, kde byly registrovány změny v závislosti na zrnitosti či typu mleté pryže. Jednoznačný vliv má aplikace přísad typu octenameru nebo přísady organické kyseliny polyfosforečné, kdy dochází k dalšímu zlepšení odolnosti proti deformačním účinkům. U skupiny pojiv s přísadami pro zlepšení zpracovatelnosti i při nižších teplotách jsou výsledky různorodé. Potvrzuje se ztužující efekt syntetických vosků, jiné přísady však zůstávají v zásadě bez vlivu na asfaltové pojivo z hlediska charakteristiky smykového modulu.



Obr. 4 Řídící křivka vybraných PMB pojiv.



Obr. 5 Řídící křivka vybraných PMB NV pojiv.



Obr. 6 Řídící křivka vybraných CRmB pojiv, vč. vlivu PPA.

S ohledem k velkému množství získaných dat jsou dále prezentovány jen některé výsledky – velmi

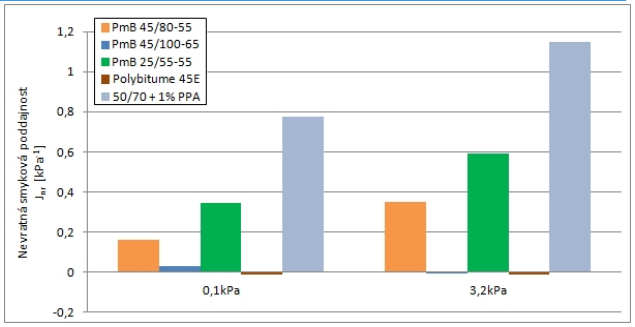
Tento výsledek byl vytvořen s finanční podporou programu Centra kompetence TA ČR, projekt č.TE01020168

omezený výsek – a to v podobě řídících křivek, které lze použít jako dobrý nástroj interpretace chování asfaltového pojiva z hlediska chování v širokém teplotním intervalu (zpravidla 20-60°C) a ve frekvenčním spektru, které pokrývá v zásadě veškeré kombinace dopravy, které mohou na vozovku působit – intenzivní doprava s malým počtem TNV, jakož i pomalu jedoucí doprava s velkým počtem nákladních automobilů. Dále lze pomocí sklonu usuzovat na teplotní citlivost asfaltového pojiva. Teplotní interval je v závislosti na možnostech smykového geometru volitelný i do oboru záporných teplot, je tedy myslitelné pomocí oscilačních zkoušek s jedním přístrojem pokrýt deformační chování v zásadě pro téměř celou oblast teplot, kterým jsou vozovky ve střední Evropě vystaveny.

Tab. 1 Výsledky MSCR testu pro vybraná silniční pojiva – různé stavy, včetně vlivu stárnutí.

		50/70 - I	50/70 - II	50/70 - III	50/70 - IV
ORIGINAL	Recovery [%]				
	R_{100}	1,268	5,568	2,447	2,376
	R_{3200}	0,167	0,634	0,409	0,189
	Jnr [kPa^{-1}]				
	Jnr_{100}	3,072	1,619	2,041	2,215
	Jnr_{3200}	3,049	1,838	2,199	2,393
TFOT	Recovery [%]				
	R_{100}	2,221	9,223	11,935	5,762
	R_{3200}	0,448	38,791	2,767	1,754
	Jnr [kPa^{-1}]				
	Jnr_{100}	1,343	0,108	0,860	0,794
	Jnr_{3200}	1,486	0,135	1,096	0,895
RTFOT +PAV	Recovery [%]				
	R_{100}	16,595	53,066	52,785	21,527
	R_{3200}	10,836	46,383	40,853	15,658
	R_{diff}	5,759	6,683	11,933	5,869
	Jnr [kPa^{-1}]				
	Jnr_{100}	0,220	0,026	0,039	0,137
	Jnr_{3200}	0,259	0,030	0,025	0,153

Poslední sledovanou funkční zkouškou byl MSCR test, kdy se opakovaně aplikuje ve dvou úrovních zatížení, po kterém vždy následuje relaxace. Sleduje se kumulovaná hodnota nevratné deformace, pomocí níž lze následně přepočtem stanovit elastické zotavení (míru elasticity) a smykovou poddajnost materiálu, kterou lze vztáhnout k charakteristice smykového modulu. Tato zkouška se jeví v porovnání s výše popsaným frekvenčním sweep testem jako jednodušší a pro běžné laboratoře snáze proveditelná. Navíc výsledky budou dobře porovnatelné s poznatky zkoušky odolnosti asfaltové směsi proti trvalým deformacím. Dosavadním problémem jsou v některých případech nelogicky vypadající výsledky (záporné hodnoty apod.). Tento problém se nejvíce projevuje v případě zkoušek CRmB pojiv, kde tato skutečnost s velkou pravděpodobností je způsobena vlivem ne zcela rozpuštěných částic mleté či drcené pryže. Vzorek pojiva je pak více smýkán právě přes plochy těchto částic a dochází k celkovému zkreslení výsledku.



Obr. 7 Výsledky smykové poddajnosti pro PMB pojiva.

Závěr

V průběhu řešení byla postupně ověřena nastavení sledovaných zkušebních metod a lze provést doporučení z hlediska vhodného nastavení zkoušek pro zavedení v praxi. Přesto se jako klíčové jeví především dlouhodobý sběr dat a provádění standardizovaného měření jakkoli například nebudou sledované charakteristiky zatím uvedeny ve výrobkových normách. Nicméně bez dostatečného a časově delšího sledování nebude možné kvalifikovaně stanovit vhodné mezní parametry kvality pro různé typy asfaltových pojiv.

Jakkoli tato dílčí aktivita v polovině roku 2015 končí, bude doporučeno, aby měření probíhala i v rámci dalších aktivit dál a to nad rámec zkoušek, které by byly standardně prováděny. Současně s tím je nezbytné věnovat další pozornost únavovým zkouškám asfaltových pojiv, které jsou mnohem náročnější a jejich dosavadní zavedení je v Evropě minimální, nicméně z hlediska požadavků na prodlužování životnosti konstrukcí vozovek zcela nezbytné. Obdobně je žádoucí s daleko větší intenzitou se zaměřit i na otázky stárnutí, které bezprostředně ovlivňují rychlostí a podobou degradace únavové chování a například sklony k vzniku trhlin.

Cílem další aktivity je také účelné propojení těchto aktivit a činností, která je momentálně rozvíjena v rámci evropského projektu FunDBitS, který se zaměřuje na charakterizaci trvanlivých asfaltových pojiv a je podporován asociací evropských správců pozemních komunikací – tím je deklarován jednoznačný zájem veřejného sektoru o tuto oblast.

Tento výsledek byl vytvořen s finanční podporou programu Centra kompetence TA ČR, projekt č.TE01020168