

Sběr dat pro specifikaci polymerem modifikovaných asfaltů

V rámci revize evropských specifikačních (harmonizovaných) norem se počítá s využíváním tzv. funkčních zkoušek a parametrů, které lze získat z měření pomocí přístrojů dynamický smykový reometr a průhybový trámečkový reometr. Funkční zkoušky jsou poměrně rozšířené, povědomí o výkonnosti pojiv dodávaných na trh je však spíše malé. Proto ŘSD realizovalo ve spolupráci s NAT 1 Asfaltová pojiva sběr dat v ČR nejčastěji využívaných tříd polymerem modifikovaných asfaltů. Sběr dat probíhal v letech 2018–2022. O provedení měření a odevzdání dat do databáze ŘSD bylo požádáno osm největších dodavatelů asfaltových pojiv. Z výsledků však vyplývá, že ne všechny subjekty dodávaly potřebná data. I přes tento nedostatek je však možné utvořit si představu o reologických vlastnostech a výkonnosti pojiv, která se objevují na trhu v ČR.

Úvod

V souvislosti s revizí normy EN 14023:2010 – Systém specifikace pro polymerem modifikované asfalty se uvažuje o zavedení funkčních parametrů, výstižněji popisujících vlastnosti polymerem modifikovaných (PMB) či speciálních asfaltů nebo obecně silničních pojiv. Blíže je toto téma popsáno například v [1]. Snahy o revizi vyústily v návrh EN 14023, obsahující již několik funkčních parametrů, které se měnily v čase. Finální návrh EN 14023:2021 bohužel nebyl v souladu s Mandátem M/124, respektive Odpovědí na mandát z roku 2001, a proto byl konzultanty HAS (*Harmonized Standards*) zamítnut. Rozsah článku bohužel nedovoluje popsat podrobněji důvody, proč došlo k odevzdání návrhu, který byl ve schvalovacím procesu zamítnut. Návrh EN 14023 postupně obsahoval funkční parametry uvedené v tabulce 1 [2,3].

Tzv. Mandát je dokument vydaný Evropskou komisí za účelem stanovení základních vlastností (funkčních charakteristik) materiálů, které se vztahují ke stanoveným výrobkům. Pro polymerem modifikované asfalty je platný mandát M/124. Aktuálně platný mandát byl publikován v roce 1998.

Tzv. Odpověď na mandát je dokument, v němž jsou stanoveny zkušební metody vztahované k jednotlivým základním vlastnostem. Aktuálně platná Odpověď na mandát byla publikována v roce 2001.

Jak vyplývá z tabulky 1, pro funkční parametry s výjimkou kritické teploty T_k ($S = 300$ MPa) nebyly stanoveny žádné kategorie, tj. třídy anebo maximální nebo minimální hodnoty; byla použita pouze třída 0 DV – deklarovaná hodnota. Z toho důvodu by nebylo možné při specifikaci PMB použít žádné jiné kategorie než DV ani na národní úrovni, a proto by měl být jedním z cílů

sběru dat nejenom popis výkonnosti pojiv, ale i snaha o stanovení tříd nebo limitních hodnot pro konkrétní kategorie PMB.

Jedním z problémů, s kterým bylo nutné se vyrovnat v průběhu sběru dat byl fakt, že specifikace EN 14023, podle které se stanovovaly parametry pro vlastní sběr dat, se v čase měnila, jak vyplývá z tabulky 1. Na tuto skutečnost se během sběru dat reagovalo, jako příklad lze uvést doporučení měření zkoušky MSCR při více teplotách, a nikoli pouze při teplotě 60 °C, nebo měřit kritickou teplotu i při hodnocení dle m -hodnoty T_k ($m = 0,300$). Je nutné podotknout, že v rámci CEN Enquiry k EN 14023:2021 bylo přijato poměrně značné množství technických připomínek, které vedly ke zlepšení technické úrovně normy, která však stále nebyla v souladu s mandátem M/124 a stála neobsahovala třídy pro hodnocení funkčních parametrů. Vzhledem k dalšímu vývoji a spuštění procesu *CPR Acquis*, jehož cílem je postupná revize jednotlivých mandátů, nebylo v revizi EN 14023 dále pokračováno.

Výsledkem je, že publikace navržených harmonizovaných specifikací je v posledních 10 letech zamrzlá, a proto bylo v rámci TC 336 (technická skupina pro asfaltová pojiva v rámci CEN) rozhodnuto, že se přistoupí k návrhu budoucí specifikace pojiv bez ohledu na vývoj harmonizovaných specifikací nebo procesu *CPR Acquis*. Na základě tohoto rozhodnutí vznikla pracovní skupina (*Task Group*) TG 14, která měla specifikaci připravit. Skupina se poprvé sešla v květnu 2022 a již v září 2023 představila finální návrh, který byl prezentován na plenárním zasedání skupiny TC 336 v listopadu 2023. Práce této skupiny je tak důkazem toho, že je možné v relativně krátkém čase připravit návrh specifikace, pokud nestojí v cestě komplexní a komplikovaná legislativa, která efektivně brání ve vývoji a aplikacích nových poznatků. Parametry navržené pro specifikaci pojiv v rámci TG 14 jsou uvedeny v tabulce 2.

Při podrobném prozkoumání návrhu EN 14023 i návrhu z TG 14 je vidět, že při sběru dat v České republice docházelo k měření

Tabulka 1: Vývoj harmonizované specifikace EN 14023 v čase [2,3]

Parametr	Podmínka zkoušky	Stav pojiva	Kategorie	EN 14023	EN 14023
MSCR: $J_{nr} + R$, 60 °C	3,2 kPa	nezestárlé	DV	2019	
T0 + δ při T0	15 kPa	nezestárlé	DV		2021
MSCR: $J_{nr} + R$	3,2 kPa	RTFOT	DV	2019*	2021
T1 + δ při T1	5 MPa	RTFOT	DV	2019	2021
T2 + δ při T2	50 kPa	RTFOT	DV	2019	
T2 + δ při T2	15 kPa	RTFOT	DV		2021
T3 + δ při T3	5 MPa	RTFOT+PAV	DV	2019	2021
T4 + δ při T4	50 kPa	RTFOT+PAV	DV	2019	
T4 + δ při T4	15 kPa	RTFOT+PAV	DV		2021
Tk (S = 300 MPa)	300 MPa	RTFOT+PAV	-27 až -3	2019	2021
m při TkS	-	RTFOT+PAV	DV	2019	2021

*Pouze pro teplotu 60 °C.

Pozn.: Tučně jsou uvedeny parametry, které se objevily ve specifikaci EN 14023 v roce 2019 i 2021.

Tabulka 2: Funkční parametry pojiva navržené v TG 14 [5]

Výkonost pojiva vztážená k:	Parametr	Teploty	Podmínky	Zestárnutí	Norma
Trvalé deformace	J_{nr}	40-80 °C	3,2 kPa	R	EN 16659
	R				
Nízkoteplotní chování	Tk (S = 300 MPa)	< 0 °C	300 MPa	R+P	EN 14771
	m při TkS				
	ΔTC				
Únavové chování	VETT			R+P	EN 14770
Ztráta hmoty ze směsi	Koheze – práce	15/25 °C		R+P	EN 13589
	Koheze – protažení	15/25 °C			
Trvanlivost	T1 + δ při T1		5 MPa	R	EN 14770
	T2 + δ při T2		50 kPa	R	
	T3 + δ při T3		5 MPa	R+P	
	T4 + δ při T4		50 kPa	R+P	
Zpracování – výroba	Tm		$\eta = 0,2 \text{ Pa.s}$		EN 13302
Zpracování – pokládka	Tp		$\eta = 2 \text{ Pa.s}$		
Zpracování – hutnění	Tc		$\eta = 2-20 \text{ Pa.s}$		

Pozn.: R značí zkoušku RTFOT dle EN 12607-1 (simulace krátkodobého stárnutí) a P značí zkoušku PAV dle EN 14769 (simulace dlouhodobého stárnutí).

většiny parametrů, které se v návrzích vyskytují v podstatě s výjimkou dynamické viskozity na nezestárlém pojivu a koheze (silová duktilita) po dlouhodobém stárnutí. V případě odevzdání nezpracovaných dat (*raw data*) by bylo například možné dopočítat i teplotu VETT (teplota viskoelastického přechodu) nebo počítat kritické teploty T0 až T4 neohledně na úroveň tuhostí, které budou nakonec zvoleny. Více informací o podmínkách zkoušek během sběru je uvedeno v [1] nebo [4].

Z důvodu určité orientace v datech byly během sběru dat sledovány také empirické parametry penetrace jehlou podle EN 1426 a bod měknutí podle EN 1427.

Celkový počet sad výsledků je uveden v tabulce 3. Celkově bylo zaznamenáno 29 sad výsledků pro pojivo gradace 10/40 (PMB 10/40-65), 74 sad výsledků pro pojiva gradace 25/55 (PMB 25/55-60 a PMB 25/55-65) a 76 sad výsledků pro pojiva gradace 45/80 (PMB 45/80-55, PMB 45/80-65 a PMB 45/80-75). Navíc bylo odevzdáno 6 sad výsledků pojiva PMB 40/100-65 a několik speciálních gradací, tj. pojiva typu RC nebo HiMA.

Tabulka 3: Odevzdané sady výsledků v rámci sběru dat pro období 2. pol. 2018 až 1. pol. 2022

Typ PMB	Počet sad výsledků
10/40-65	29
25/55-60	31
25/55-65	46
45/80-55	28
45/80-65	36
45/80-75	12
40/100-65	6
45/80-80 H	1
25/55-65 RC	1
45/80-75 RC	1
45/80-90	1

Pozn.: Některé sady výsledků nebyly odevzdány kompletně

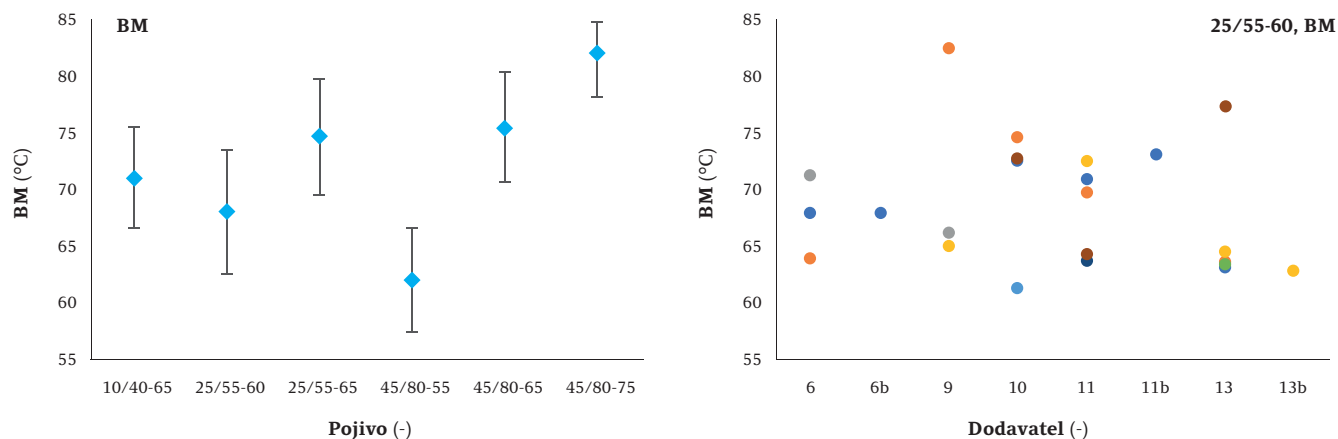
Zpracované výsledky

Zkouška bodu měknutí podle EN 1427

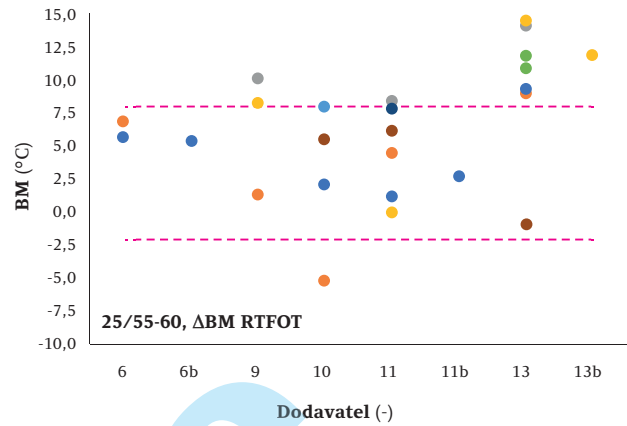
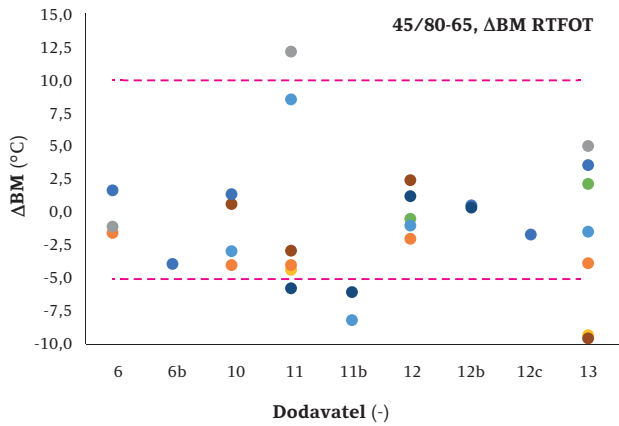
Z výsledků na obrázku 1 vyplývá, že parametr BM (bod měknutí) má poměrně velký rozsah výsledků napříč kategoriemi. Například u PMB 25/55-60 (obrázek 1 vpravo) se pohyboval rozsah parametru od 61,4 °C do 82,6 °C, přičemž 95% intervalový odhad střední hodnoty byl 65,7 °C až 70,5 °C. (Tento interval udává rozsah, ve kterém by se měla nacházet pravá střední hodnota výsledku s 95% pravděpodobností.) Obecně lze říct, že parametr bod měknutí byl splněn s velkou rezervou, protože průměrná hodnota za celé sledované období byla 68,1 °C. V průměru se tak pojiva třídy 25/55-60 nacházela v kategorii bodu měknutí ≥ 65 °C. To je očekávaný výsledek, protože bod měknutí polymerem modifikovaných asfaltů se při skladování za vysoké teploty může v čase měnit a výrobce pojiva musí zaručit, že pojivo bude vždy splňovat požadavek na minimální hodnotu bodu měknutí. Zároveň je nutné splnit další i další požadavky normy. Proto si výrobci pojiv ponechávají v tomto směru určitou rezervu.

U některých výrobců docházelo k poměrně velké změně bodu měknutí (Δ BM) po simulaci krátkodobého stárnutí metodou RTFOT dle ČSN EN 12607-1. U některých gradací pojiv docházelo spíše k poklesu bodu měknutí, zatímco u jiných spíše k jeho zvýšení. Některá pojiva dokonce nesplňovala požadavek na maximální změnu hodnoty bodu měknutí. Na obrázku 2 je uveden příklad pro pojivo PMB 45/80-65, u kterého by měl být maximální pokles bodu měknutí -5 °C (vlevo) a PMB 25/55-60, u kterého by měl být maximální nárůst bodu měknutí 8 °C (vpravo).

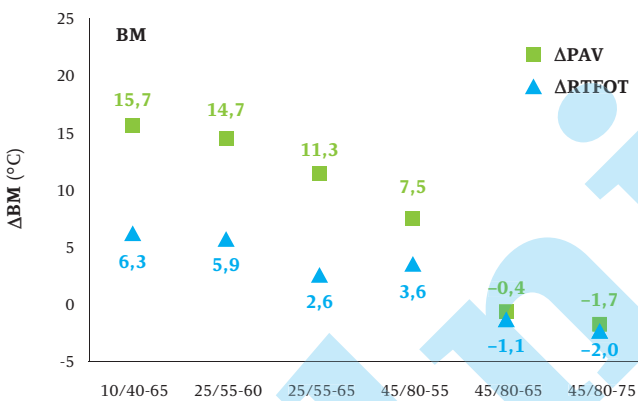
Z hlediska BM je zajímavé vyhodnocení změny parametru i po simulaci dlouhodobého stárnutí, které se dle EN 14023 neprovádí, v rámci sběru dat však provedeno bylo. Na obrázku 3 je provedeno srovnání průměrné změny bodu měknutí po stárnutí RTFOT a PAV jednotlivých skupin pojiv. Přestože je srovnání pouze přibližné, protože v některých případech nejsou porovnávané stejné sady dat, tak lze sledovat poměrně zřejmé trendy. Vyšší nárůst BM po stárnutí mají pojiva tvrdší gradace a měkkí pojiva s vyšším stupněm modifikace mají nárůsty BM v průměru menší.



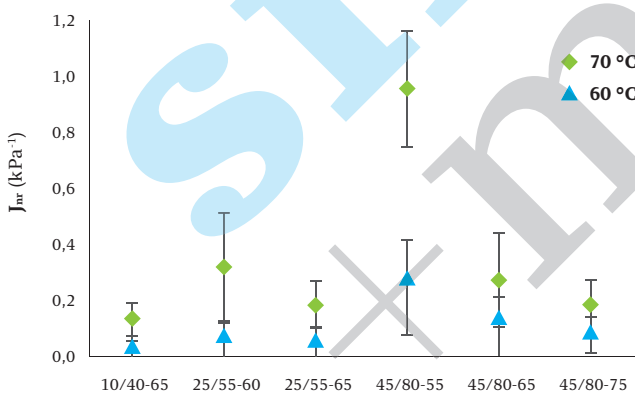
Obrázek 1: Výsledky zkoušky bodu měknutí nezestárlých pojiv: průměrné hodnoty dle gradace (vlevo), individuální data v čase podle dodavatelů (vpravo)



Obrázek 2: Změna bodu měknutí po zkoušce RTFOT u pojiv PMB 45/80-65 a PMB 25/55-60



Obrázek 3: Průměrná změna bodu měknutí po simulaci stárnutí metodami RTFOT a RTFOT+PAV v závislosti na gradaci pojiva



Obrázek 4: Průměrné hodnoty parametru J_{nr} pro zatížení 3,2 kPa a teploty 60 °C a 70 °C

Zkouška MSCR podle EN 16659

Zkouška MSCR (Multiple Stress Creep and Recovery Test) byla prováděna při teplotách 60 °C a 70 °C, u pojiva PMB 25/55-65 byla provedena i při teplotě 80 °C (3 série dat). Průměrné výsledky parametru J_{nr} (nevratná smyková poddajnost) pro smykové napětí na úrovni 3,2 kPa a při měření při teplotách 60 °C a 70 °C jsou zobrazeny na obrázku 4. Při zpracování výsledků ze zkoušky MSCR se projevila právě zmíněná nekonzistence v datech, kdy z výsledků, které byly poskytnuty pro zpracování, není vždy jasné, zda jsou naměřené výsledky vztažené k nezestárlému pojivu, nebo pojivu po krátkodobém stárnutí.

Při pohledu na hodnoty na obrázku 4 je zřejmé, že teplota 60 °C pravděpodobně neposkytuje výsledky, pomocí kterých by bylo možné pojiva efektivně rozřadit do jednotlivých kategorií podle úrovně výkonnosti, protože pojiva (s výjimkou PMB 45/80-55) dosahovala většinou výsledků $J_{nr} < 0,2 \text{ kPa}^{-1}$. Specifikace AASHTO M322-20 přitom požaduje pro vozovky s extrémním zatížením ESAL hodnotu $J_{nr} < 0,5 \text{ kPa}^{-1}$. To by znamenalo, že pro toto zatížení lze při teplotě 60 °C použít téměř jakékoli PMB pojivo na trhu v ČR (teploty posuzované v PG dle M322 jsou 52 °C, 58 °C, 64 °C, 70 °C a 76 °C). (Pozn.: ESAL – zkratka odvozená z „Equivalent Single Axle Load“. Jedná se o ekvivalentní zatížení vyjadřující přejezd jednou návrhovou nápravou o hmotnosti 18 000 liber (80 kN). V Evropě se většinou uvažuje zatížení návrhovou nápravou 100 kN. Pro přepočítání do podmínek české návrhové metody dle TP 170 se uvažuje $ESAL = 0,7 \times TNVcd$, kdy TNVcd je návrhová hodnota celkového počtu přejezdů TNV za návrhové období. PG – horní kritická teplota vyjádřená jako nejvyšší průměrná sedmidenní teplota při povrchu vozovky.)

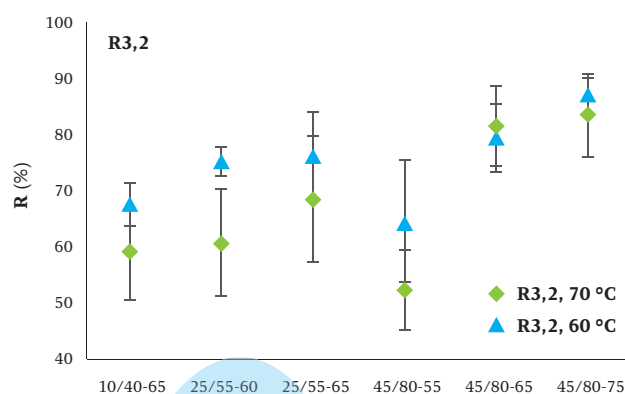
V tabulce 4 jsou uvedeny kategorie a požadavky pro parametr J_{nr} v závislosti na dopravním zatížení, které jsou uvedené v AASHTO M 332. Více je o problematice PG hodnocení pojiva uvedeno v [6, 7 a 8]. Pro zajímavost lze uvést, že průměrná hodnota parametru J_{nr} při teplotě 58 °C pro zatížení 3,2 kPa je dle [6] pro silniční asfaltové gradace 50/70 $(0,86 \pm 0,44) \text{ kPa}^{-1}$.

Tabulka 4: Kategorie a požadavky pro parametr J_{nr} při zatížení 3,2 kPa na pojivu po zkoušce RTFOT dle AASHTO M322 [8]

Označení	Zatížení ESAL ($\times 10^6$)	Rychlost (km/h)	J_{nr} při 3,2 kPa (kPa^{-1})
S – standardní	> 10	> 70	$\leq 4,5$
H – vysoký	10 až 30 < 10	> 70 20-70	$\leq 2,0$
V – velmi vysoký	> 30	> 70 < 20	$\leq 1,0$
E – extrémně vysoký	> 30	< 20	$\leq 0,5$

Další možností, jak zacházet s výsledky, by bylo například spočítat teplotu, při které dosahuje parametr J_{nr} například hodnoty $0,5 \text{ kPa}^{-1}$. V důsledku takového požadavku by zákazník, projektant, výrobce asfaltové směsi nebo investor získal informaci o maximální teplotě vozovky, při které je PMB dané kategorie ještě vhodné pro provoz s nejvyšším dopravním zatížením. Parametr by bylo možné vypočítat interpolací podobně jako se počítají kritické teploty T0 až T4. Znamenalo by to ovšem provést zkoušku MSCR při více (vhodných) teplotách, např. $60 \text{ }^\circ\text{C}$, $65 \text{ }^\circ\text{C}$ a $70 \text{ }^\circ\text{C}$. Obdobně by bylo možné hodnotit i parametr R (procentuální zotavení) ze zkoušky MSCR. Průměrné hodnoty parametru R pro měření při teplotách $60 \text{ }^\circ\text{C}$ a $70 \text{ }^\circ\text{C}$ jsou zobrazeny na obrázku 5. Při hodnocení je třeba mít na paměti, že pro různé teploty jsou vyhodnocovány různé sady dat pro jednotlivé kategorie PMB, což platí i pro ostatní parametry vyhodnocované při různých teplotách. Proto je například možné, že u kategorie PMB 45/80-65 je parametr R vyšší při teplotě $70 \text{ }^\circ\text{C}$ než při teplotě $60 \text{ }^\circ\text{C}$.

V tabulce 5 jsou uvedeny výsledky hodnocení parametru J_{nr} při teplotě $70 \text{ }^\circ\text{C}$ pro jednotlivé gradace, zatímco v tabulce 6 jsou uvedeny výsledky parametru R při stejné teplotě. V tabulkách jsou uvedeny i hodnoty některých kvantilů a variační koeficient.



Obrázek 5: Průměrné hodnoty parametru R pro zatížení 3,2 kPa a teploty $60 \text{ }^\circ\text{C}$ a $70 \text{ }^\circ\text{C}$

(Pozn.: Kvantil je hodnota, pod kterou leží definovaná část údajů, tzn. že v případě např. 95% kvantilu je 95 % hodnot menších než uvedená hodnota, z čehož např. vyplývá, že při použití 5% a 95% kvantilu lze určit interval hodnot, kde leží 90 % statistického souboru. Variační koeficient vyjadřuje míru variability dat a není ovlivněn jejich absolutními hodnotami, a proto je vhodný pro posuzování výsledků různých parametrů.)

Tabulka 5: Vyhodnocení parametru J_{nr} při teplotě měření $70 \text{ }^\circ\text{C}$

Pojivo	Počet	Průměr	Variační koeficient	95% kvantil	Max.	Min.	Rozpětí
10/40-65	10	0,13	45	0,24	0,24	0,06	0,18
25/55-60	14	0,32	60	0,67	0,75	0,07	0,68
25/55-65	20	0,19	46	0,33	0,40	0,03	0,37
45/80-55	2	0,95	22	1,09	1,10	0,81	0,29
45/80-65	11	0,28	61	0,55	0,58	0,13	0,45
45/80-75	7	0,19	46	0,31	0,34	0,08	0,26

Tabulka 6: Vyhodnocení parametru R při teplotě měření $70 \text{ }^\circ\text{C}$

Pojivo	Počet	Průměr	Variační koeficient	5% kvantil	Max.	Min.	Rozpětí
10/40-65	9	59	14	47	73	42	31
25/55-60	13	61	16	46	76	44	32
25/55-65	20	69	16	48	90	45	45
45/80-55	2	52	14	48	57	47	10
45/80-65	10	82	9	71	94	67	27
45/80-75	6	83	8	75	92	75	17

Tabulka 7: Navržené kategorie pro parametr J_{nr}

Třída 0	Třída 1	Třída 2	Třída 3	Třída 4	Třída 5	Třída 6	Třída 7	Třída 8	Třída 9	Třída 10
NR	DV	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	1	2	4	8

Tabulka 8: Podklad pro návrh národních požadavků pro PMB pro parametr J_{nr} při teplotě měření 70 °C a zatížení 3,2 kPa

Třída 1	Třída 2	Třída 3	Třída 4	Třída 5	Třída 6	Třída 7
DV	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	1
	45/80-80 HiMA 25/55-80 HiMA	10/40-65		45/80-75	25/55-65 25/55 RC 45/80-65 40/100-65	25/55-60 45/80-55 45/80 RC

Tabulka 9: Podklad pro návrh národních požadavků pro PMB pro parametr R při teplotě měření 70 °C a zatížení 3,2 kPa

Třída 0	Třída 1	Třída 2	Třída 3	Třída 4	Třída 5	Třída 6	Třída 7
NR	DV	90	80	70	60	50	40
		45/80-80 HiMA 25/55-80 HiMA		45/80-75	25/55-65 25/55- RC 45/80-65	25/55-60 45/80-55 45/80 RC 10/40-65	

V případě, že by v evropské specifikační normě byly uvedeny kategorie vztahující se k teplotě měření a nikoli požadavek na konkrétní hodnotu a uvedenou návrhovou teplotu podobně jako to je požadováno v AASHTO, tak by kategorie pro třídy J_{nr} mohly vypadat například tak jako v tabulce 7. Teploty, při kterých by pojivo muselo dosáhnout požadované úrovně, by se volily na národní úrovni. V tabulce 7 je navrženo až 10 tříd, a to z toho důvodu, že je nutné vzít v úvahu fakt, že při sběru dat se neuvážovalo s více modifikovanými pojivy typu PMB RC, PMB HiMA nebo s PMB typu E pro asfaltové emulze, které jsou zpravidla měkčí a s nižší úrovní modifikace než pojiva určená pro asfaltové směsi.

Pokud by se v České republice navrhovaly požadavky na parametry J_{nr} , tak by se pravděpodobně zvolila teplota a úroveň požadavku obdobně jako je tomu u evropských norem v současné době. V tabulce 8 je uveden příklad návrhu požadavků pro parametr J_{nr} při teplotě 70 °C. Návrh v tabulce 8 by měl být uvažován pouze jako návrh k diskusi o národních parametrech a o tom, jak specifikovat pojiva na národní úrovni.

V tabulce 8 jsou uvedena i pojiva (typ RC a HiMA), která nebyla zahrnuta do sběru dat. Návrh požadavku na hodnotu J_{nr} byl proveden na základě dosažených zkušeností autorů s chováním těchto speciálních pojiv nebo s ohledem na deklarované vlastnosti pojiv v dokumentech od jejich výrobců, např. [9, 10]. V některých případech je u pojiva HiMA požadován i parametr R, který je určen při zvolené teplotě (často 76 °C) větší než 90 %. Z výsledků, které byly získány ve sběru dat, lze učinit závěr, že při použití tohoto parametru lze s jistotou rozlišit standardní PMB a pojiva HiMA. Proto by bylo vhodné vždy při potřebě dodání pojiva typu HiMA požadovat deklaraci parametrů z měření zkoušky MSCR alespoň při teplotě 70 °C.

Příklad návrhu požadavků a kategorií pro parametr R při měření při teplotě 70 °C a úrovni napětí 3,2 kPa je uveden v tabulce 9.

Kritické teploty v DSR podle EN 14770

V průběhu revize specifikačních norem EN 12591 a EN 14023 bylo požadováno zahrnutí požadavků (ve formě deklarovaných

hodnot) založených na měřeních v DSR. Tyto parametry, získávané z měření v DSR, měly být konkrétněji využity pro posouzení citlivosti na teplotu a stárnutí. o těchto návrzích bylo diskutováno v rámci EAPA, Eurobitume a TC 336 konkrétně TC 336/WG 1/ TG 5 [12]. V rámci jednání byla pro návrhy parametrů použita data, která poskytla organizace Eurobitume. Hlavní pozornost byla přitom věnována hodnotám komplexního smykového modulu G^* , naměřeným na pojivech zestárlých metodou RTFOT, popřípadě metodou PAV. Navržené úrovně tuhosti, pro které se měly hledat kritické teploty, byly stanoveny na základě posouzení možností měření zařízení DSR:

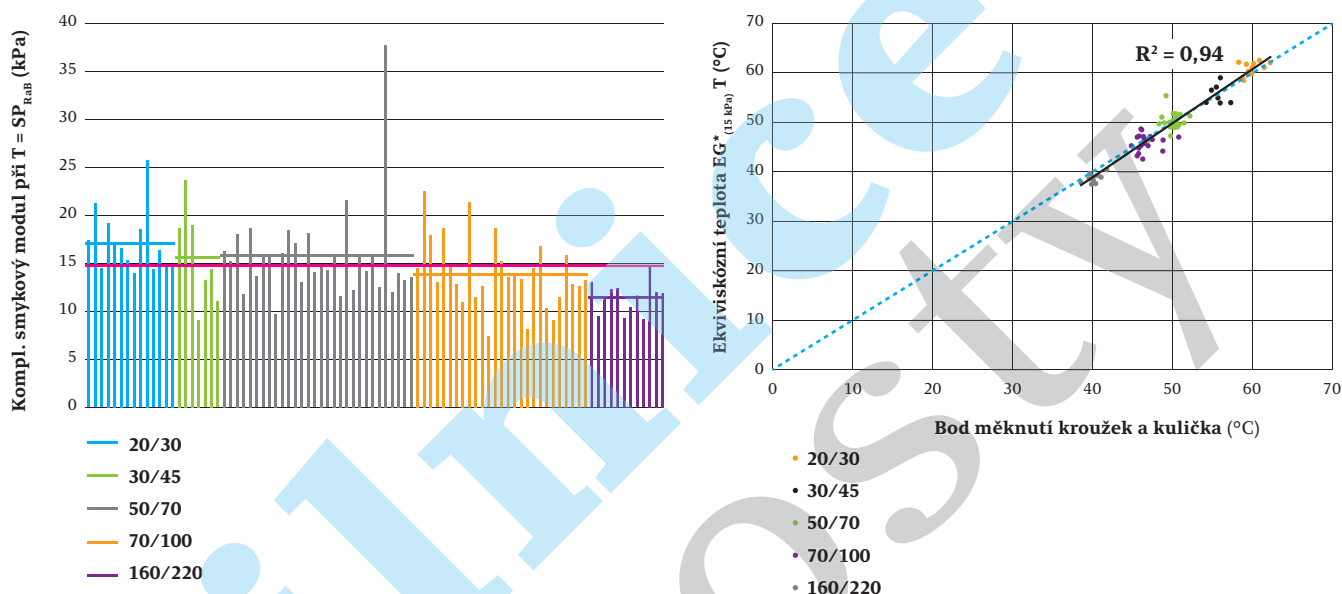
- ▶ 5 kPa a 50 kPa pro geometrii deska-deska průměru 25 mm,
- ▶ 500 kPa a 5 MPa pro geometrii deska-deska průměru 8 mm.

Následně byly stanoveny teploty, které odpovídají zvoleným úrovním tuhosti. Výsledky pro tuhost 50 kPa jsou zobrazeny v tabulce 10. V tabulce jsou uvedeny průměrné teploty pro různé gradace pojiv, jedná se tak o užitečný příklad zpracování dat z databáze Eurobitume. Z uvedených výsledků například vyplývá, že teplota pro pojivo po zkoušce RTFOT při úrovni tuhosti 50 kPa odpovídá zhruba teplotě bodu měknutí u nezestárlých pojiv (později byly tyto podmínky měření označeny jako teplota T_2). Teploty při zvolené úrovni tuhosti 5 MPa se naopak blíží stavu, kdy začne být pojivo namáháno na únavu, i když toto tvrzení nebylo zatím potvrzeno. Z těchto důvodů bylo v návrhu EN 14023:2019 uvedeno, aby se měřily kritické parametry (teploty) uvedené v tabulce 1 (EN 14023:2019). Více informací o hodnocení pojiv je uvedeno například v [11].

Nevýhodou specifikace z hlediska měření v zařízení DSR v roce 2019 bylo, že neobsahovala žádný parametr (kritickou teplotu) pro měření na nezestárlém pojivu. Tento parametr by mohl být použit jako parametr pro kontrolu vlastností vstupních pojiv nebo pro vyhodnocení změny parametru po stárnutí. Proto byl do návrhu EN 14023 z roku 2021 doplněn parametr T_0 (oscilační měření G^* na geometrii deska-deska s průměrem 25 mm), tj. kritická teplota pro úroveň tuhosti 15 kPa. Výsledek zkoušky (teplota) pro měření při $G^* = 15$ kPa odpovídá zhruba bodu měknutí silničních asfaltů v nezestárlém stavu (viz obrázek 6). Stej-

Tabulka 10: Odhadnuté průměrné teploty odpovídající zvolené úrovni tuhosti při oscilačním měření v DSR při frekvenci 1,59 Hz [12]

Penetrační rozsah	15/25 (tvrdý stupeň)	20/30	35/50	50/70	70/100	150/200
Asfalt zestárlý metodou RTFOT Odhadovaná průměrná teplota (°C), pro kterou G^* při 1,59 Hz rovná 50 kPa Specifikace rozsahu bodu měknutí (°C)	60 55–71	58 55–63	50 50–58	47 46–54	45 43–51	37 35–43



Obrázek 6: Hodnoty komplexních smykových modulů (G^*) pro jednotlivé gradace nezestárých silničních asfaltů (vlevo) měřené při teplotě bodu měknutí, závislost mezi bodem měknutí a teplotou T stanovenou pro tuhost $G^* = 15$ kPa (vpravo) [13]

Tabulka 11: Výsledky zkoušek pro parametr T_0 , nezestárlé pojivo, $G^* = 15$ kPa

Pojivo	Počet	Průměr	Variační koeficient	5% kvantil	95% kvantil	Max.	Min.	Rozpětí
10/40-65	8	67,0	5	62,6	71,2	71,6	62,3	9,3
25/55-60	10	56,9	6	52,8	62,2	63,1	51,7	11,4
25/55-65	14	58,9	2	56,9	61,0	61,7	53,1	4,9
45/80-55	4	46,5	1	46,0	46,9	47,0	46,0	1,0
45/80-65	13	50,8	8	45,7	56,0	56,1	44,5	11,6
45/80-75	4	49,1	1	48,5	49,6	49,7	48,4	1,3

ně tak teplota T_2 ve verzi normy z roku 2019 odpovídala rovněž bodu měknutí, ale pro měření při $G^* = 50$ kPa po stárnutí RTFOT (měření na geometrii deska-deska průměru 25 mm). To znamená, že by nebylo možné vyhodnotit například změnu parametrů T_2 - T_0 , protože by se teploty měřily pro jiné úrovně tuhosti. V roce 2021 proto došlo ke sjednocení a kritické teploty T_0 , T_2 , a T_4 se měří pro úroveň tuhosti 15 kPa. Na obrázku 6 jsou zobrazeny výsledky průměrných hodnot komplexních smykových modulů pojiv podle gradace (vlevo) a závislost mezi hodnotami

bodu měknutí pro jednotlivé gradace a teplotou T_0 pro tuhost 15 kPa podle [13]. Tuhost 15 kPa je rovněž hodnota, která se používá při vyhodnocení parametrů $T_{(BTSV)}$ a $\delta_{(BTSV)}$ ze zkoušky BTSV podle normy ČSN EN 17643.

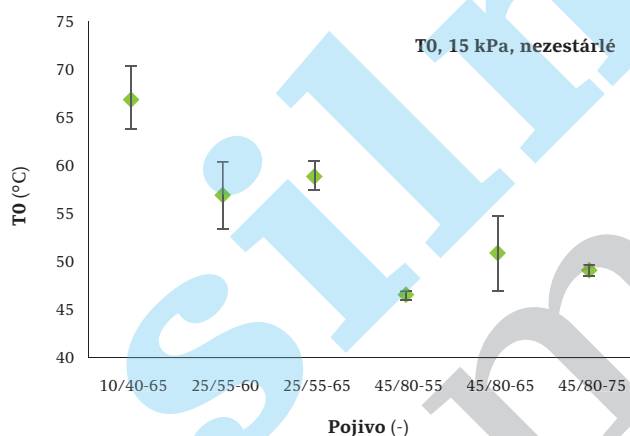
Při hodnocení kritické teploty T_0 lze uvažovat o hodnocení pojiva z hlediska minimální tuhosti, tj. podobně jako se hodnotí kritérium systému PG pro oblast vysokých teplot (*PG High*), kdy se hodnotí minimální úroveň $G^*/\sin \delta \geq 1,0$ kPa pro čerstvé pojivo. Popřípadě lze stanovit kategorie s rozpětím teplot,

Tabulka 12: Návrh tříd pro zařazení pojiv dle parametru T₀, nezestárlé pojivo, G* = 15 kPa

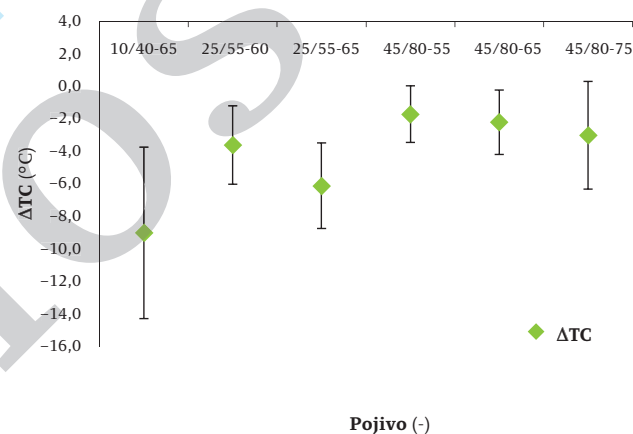
Třída 0	Třída 1	Třída 2	Třída 3	Třída 4	Třída 5	Třída 6	Třída 7
NR	DV	60-70	52 až 62	46 až 56	40 až 50	34 až 44	
		10/40-65	25/55-60 25/55-65	45/80-65 45/80-75 25/55 RC	45/80 RC 45/80-55		

Tabulka 13: Průměrné výsledné hodnoty parametru ΔTC jednotlivých tříd pojiv, získané ze zkoušky v BBR v rámci Sběru dat

Pojivo	Počet	Průměr	Variační koeficient	5% kvantil	95% kvantil	Max	Min	Rozpětí
10/40-65	15	-9,0	59	-16,2	-1,4	0,1	-19,1	19,2
25/55-60	18	-3,6	66	-8,4	-1,2	-0,3	-9,3	9,0
25/55-65	23	-6,1	43	-10,3	-2,3	-0,8	-11,5	10,7
45/80-55	15	-1,7	100	-4,0	0,2	0,4	-4,1	4,5
45/80-65	22	-2,2	89	-4,9	0,6	0,8	-4,9	5,7
45/80-75	13	-3,0	112	-7,4	0,7	1,2	-8,1	9,3



Obrázek 7: Průměrné hodnoty parametru T₀ pro jednotlivé gradace



Obrázek 8: Průměrné hodnoty parametru ΔTC pro jednotlivé gradace

kteří budou nepřímo stanovovat rozsah tuhosti, které může dané pojivo dosahovat.

V tabulce 11 jsou uvedeny výsledky hodnocení parametru T₀ při G* = 15 kPa pro jednotlivé gradace, získané v rámci Sběru dat, graficky jsou výsledky zobrazeny na obrázku 7. V tabulkách jsou uvedeny i hodnoty některých kvantilů a variační koeficient.

Pokud bychom navrhovali třídy pro PMB v ČR, tak by mohla vypadat například tak, jak je uvedeno v návrhu tabulky č. 12.

Zkouška v BBR podle EN 14771

Návrh parametrů z měření v BBR byl při tvorbě normy EN 14023 jednodušší než v případě parametrů získávaných z měření v DSR. I přesto jsou vzhledem k vývoji na poli hodnocení asfaltových pojiv uvedené parametry diskutabilní, protože v návrhu EN 14023 nebylo uvažováno se stanovováním kritické teploty na základě m-hodnoty. Je jisté, že i m-hodnota odečtená při

kritické teplotě T_k (S = 300 MPa) má vypovídající schopnost o relaxaci pojiva, ale výsledky jsou složitěji interpretovatelné, než přímo kritická teplota vypočítaná z m-hodnoty a zároveň je možné vypočítat parametr pojiva ΔTC, který se počítá z rozdílů kritických teplot (ΔTC = T_k(S) – T_k(m)). Na tento fakt bylo reagováno při tvorbě specifikace v TG 14, viz tabulka 2. Parametr ΔTC je ukazatelem vlivu stárnutí, je závislý na relaxaci pojiva za nízkých teplot a může sloužit jako indikátor pro hodnocení rizika vzniku trhlin. V některých státech USA byl tento parametr zařazen do specifikace asfaltových pojiv, přičemž se nejčastěji používá požadavek na úrovni ≥ -5 °C. Výsledky parametru ΔTC ze sběru dat jsou uvedeny v tabulce 13.

Při hodnocení parametru ΔTC je celkem zřetelný rozdíl mezi jednotlivými gradacemi pojiv viz obrázek 8. Při hodnocení na národní úrovni by bylo možné například rovněž uvažovat s kategorií ≥ -5 °C s tím, že by tato kategorie byla vyžadována u všech

pojiv (gradace 45/80 i 25/55) s výjimkou gradace PMB 10/40-65, kde by se hodnota deklarovala, protože toto pojivo se nepoužívá do obrusných vrstev vozovek. Popřípadě by bylo možné zvolit dvě kategorie, např. ≥ -3 °C pro pojiva gradace 45/80 a ≥ -6 °C pro pojiva gradace 25/55.

Závěr

Cílem tohoto článku bylo seznámení čtenářů s vývojem na poli standardizace a klasifikace asfaltových pojiv. Zároveň jsou v článku uvedena některá zpracovaná data, která byla získána během anonymního sběru dat PMB pod záštitou ŘSD v letech 2018–2022. Zpracovaná data představují unikátní databázi vlastností polymerem modifikovaných asfaltů, které se vyskytují na trhu v ČR. Dodané výsledky umožňují sledovat nejenom vývoj parametrů v čase, ale i porovnávat kvalitu pojiv od jednotlivých výrobců nebo sledovat kolísání parametrů u konkrétního výrobce. Na základě zpracovaných dat je možné kvalifikovaně vstupovat do tvorby budoucích harmonizovaných specifikací pro asfaltová pojiva nebo stanovovat požadavky na pojiva na národní úrovni.

V rámci článku byl představen způsob zpracování dat pro vybrané parametry (J_{nr} , R, T0 a ΔTC), protože rozsah článku neumožňuje popsání dalších výsledků. Zpracovaná data jsou postupně diskutována během jednání národního aplikačního týmu NAT 1. Cílem příštího jednání tohoto týmu (2. pol. 2024) by měl být návrh kategorií jednotlivých parametrů tak, aby mohla být pojiva efektivně rozříděna dle jejich výkonnosti a nenastala situace jako dnes, kdy pomocí specifikace EN 14023:2010 není například možné efektivně rozřídít vysoce modifikované PMB, PMB RC nebo PMB typu HiMA.

Z hlediska samotného sběru dat a kvality dat lze konstatovat následující:

- ▶ Při organizaci zkoušek je nutné před jejich spuštěním upřesnit okrajové podmínky týkající se například manipulace se vzorky, teploty ohřevu, nebo popsáním média, v kterém má být provedena zkouška (např. zkouška bodu měknutí v případě, že BM před stárnutím je > 80 °C a po stárnutí < 80 °C). Zároveň je nutné stanovit podmínky měření v DSR, které v normě EN 14770 nejsou exaktně uvedeny; v tomto případě se jedná například o použitá smyková přetvoření a napětí i v závislosti na stupni zestárnutí jednotlivých gradací pojiv.
- ▶ Z hlediska vlastních výsledků je vhodnější odevzdávat tzv. surová data než data zpracovaná, tj. místo kritických teplot T0 až T4 uvádět změřený komplexní smykový modul, místo kritické teploty Ts uvádět hodnoty modulu tuhosti za ohybu aj. V takovém případě lze dopočítat i zpětně parametry, které původně nebyly požadovány (v případě změny parametrů nebo některých okrajových podmínek).
- ▶ Vyhodnocení některých parametrů je ovlivněno nekonzistencí v odevzdaných datech, kdy např. jeden výrobce u pojiva při zkoušce MSCR změří a odevzdá výsledky pro jednu teplotu, zatímco druhý výrobce odevzdá výsledky pro dvě nebo dokonce tři teploty. To znamená, že při vyhodnocování průměrů se např. při teplotě měření 60 °C může pracovat s jinou velikostí sady, než při vyhodnocení při teplotě 70 °C.
- ▶ Před vlastním měřením je vhodné, aby laboratoře, které budou provádět zkoušky, provedly srovnávací měření na zaříze-

ních DSR a BBR. Při tomto kroku je možné upřesnit, popřípadě stanovit některé okrajové podmínky měření nebo upravit nastavení přístrojů.

- ▶ Vlivem změn měřených parametrů (popřípadě popisů zkoušek) v čase mohlo dojít k určité nekonzistenci ve vyhodnocovaných datech.

Poděkování

Poděkování patří zejména Ředitelství silnic a dálnic, které sběr dat zaštiťuje včetně nezbytné anonymizace celého procesu.

Ing. Tomáš Koudelka, Ph.D., Vialab CZ s.r.o. Praha
doc. Ing. Ondřej Dašek, Ph.D., Vysoké učení
technické v Brně, Fakulta stavební

Literatura

- [1] Dašek, O., Neuvirt, V., Valentin, V. (2021) *Sběr dat pro PMB – průběžné hodnocení získaných hodnot, konference Asfaltové vozovky 2021 (AV21), České Budějovice, listopad 2021*
- [2] CEN/TC336 Bitumen and bituminous binders – Specification framework for polymer modified bitumen, Working draft Version 3 before CEN Enquiry, 11.01.2019
- [3] CEN/TC336 Bitumen and bituminous binders – Specification framework for polymer modified bitumen, listopad 2021
- [4] Ředitelství silnic a dálnic ČR, *Metodika jednotlivých zkoušek a popis postupu provádění – sběr dat pro polymerem modifikovaná pojiva, Stav platný od 01.01.2020 (pro hodnoty poskytované za 1. pololetí 2020 a následující)*
- [5] TC 336, CEN TC 336 WG 1 TG 14 “Future Specifications”, Status report to WG1, 25. 10. 2023
- [6] Coufalík, P. (2017) *Reologické vlastnosti asfaltových pojiv, Disertační práce, VUT v Brně, 2017*
- [7] Tutu, K.A., Ntramah, S., Tuffour, Y. A. (2022) *Superpave performance graded asphalt binder selection for asphalt mixture design in Ghana, Scientific African, Volume 17, ISSN 2468-2276*
- [8] Anderson, M. (2021) *Multiple Stress Creep Recovery (MSCR): State of the Practice, University of Idaho, 28.10.2021*
- [9] Blazejowski, K., Wojcik-Wisniewska, M., Baranowska, W. a Ostrowski, P. (2019) *Highly modified binders ORBITON HiMA Application Guide 2019, ORLEN Asfalt Sp. z o.o., Poland*
- [10] Fitts, G. *High Performance, Highly Modified Asphalt: The Next Generation of Hot Mix Binders, Kraton Polymers*
- [11] Fiedler, J., Bureš, P., Koudelka, T., Šedina, J. a Coufalík P. (2020) *New possibilities of assessing bitumens temperature sensitivity and aging, 7. Eurasphalt & Eurobitume Kongres 2020, Madrid, Španělsko*
- [12] Eckmann, B. (2015) *Binder rheology with DSR (EN 14770), Proposals for typical values to be declared under EN 12591 and EN 14023, EAPA TC-15-N974, 04.02.2015*
- [13] Radenberg, M., Gehrke, M. (2016) *Assessing bitumen in the whole service-temperature-range with the dynamic shear rheometer, 6. Eurasphalt & Eurobitume Kongres 2016, Praha, Česká republika*