

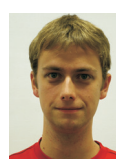
Vlastnosti a výkonnost asfaltových polymerem modifikovaných pojiv za vysokých provozních teplot vozovky



Ing. Tomáš Koudelka
VIALAB CZ s.r.o.



Ing. Petr Bureš
VIALAB CZ s.r.o.



Doc. Ing. Ondřej Dašek, Ph.D.
Vysoké učení technické v Brně,
Fakulta stavební

DOI:10.64720/SO.2026.07.TK01

Chování a mechanicko-fyzikální vlastnosti asfaltových směsí jsou podmíněny nejenom jejich charakteristikami (čára zrnitosti, obsah pojiva, přísad), druhem kameniva, ale zejména i volbou pojiva a přítomností R-materiálu (RA). Tento článek si klade za cíl popsat vlastnosti polymerem modifikovaných asfaltů (PMB) gradace 25/55-60, které byly dodávány na trh v ČR v letech 2025 a 2026 a porovnat jejich vlastnosti s pojivy ze sběru dat a následně popsat vliv přídatku RA na vlastnosti smíšeného pojiva ve směsi (PMB a pojivo z RA). Bylo zjištěno, že vlastnosti PMB dodávaných na český trh v posledních dvou letech byly odlišné od průměrných charakteristik, které byly zjištěny v rámci sběru dat. Zároveň se ukazuje, že i přídatek RA na úrovni 15 % může významně ovlivnit charakteristiky smíšeného pojiva. Pro popsání výkonnosti pojiv byla využita zkouška MSCR (Multiple Stress Creep and Recovery), hodnotící chování pojiv za vysokých provozních teplot (60 °C až 80 °C).

Klíčová slova: PMB, MSCR, funkční specifikace, R-materiál

The behavior and mechanical-physical properties of asphalt mixtures are determined not only by their characteristics (grading curve, binder content, additive content) and the type of aggregate, but also, and in particular, by the choice of binder and the presence of reclaimed asphalt (RA). This article aims to describe the properties of polymer modified bitumens (PMB) categorized as a PMB 25/55-60 that were supplied to the market in the Czech Republic in 2025 and 2026. Article aims to compare their properties with those of binders from the data collection, and subsequently to describe the effect of RA addition on the properties of the blended binder in the mixture (PMB and RA binder). It was found that the properties of PMB supplied to the Czech market in the last two year differed from the average characteristics determined during the data collection in the past. At the same time, it appears that even a 15% addition of RA can significantly affect the characteristics of the blended binder. The MSCR (Multiple Stress Creep and Recovery) test was used to describe the performance of the binders, evaluating their behavior at high operating paving temperatures (60 °C to 80 °C).

Keywords: PMB, MSCR, functional specification, R-material

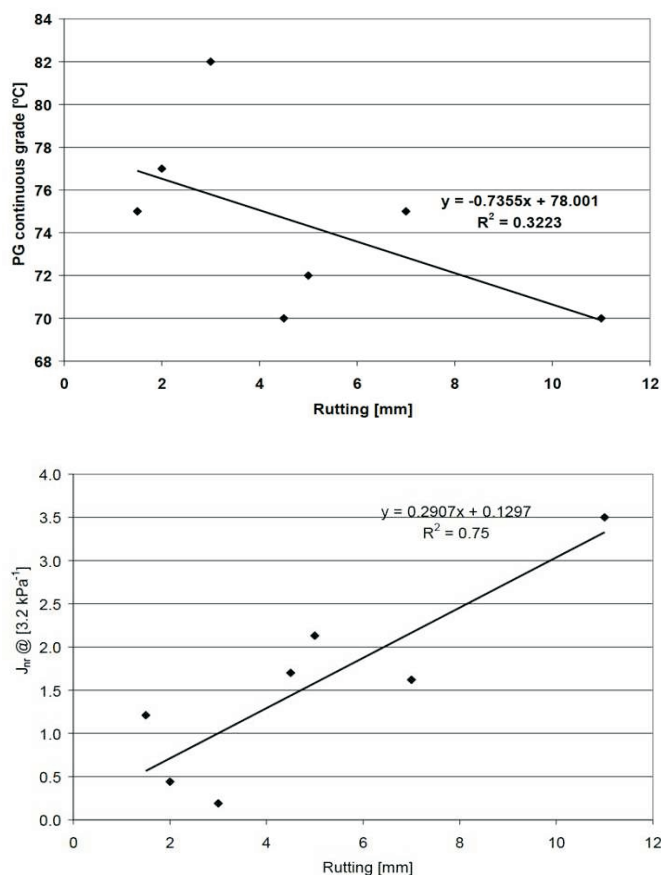
VÝKONNOST ASFALTOVÝCH POJIV ZA VYSOKÝCH PROVOZNÍCH TEPLOT A JEJÍ HODNOCENÍ

V České republice proběhl v letech 2018 až 2022 sběr dat polymerem modifikovaných pojiv. Výsledky byly publikovány například v [1, 2]. Na základě zpracovaných a publikovaných výsledků je možné stanovit tzv. funkční parametry asfaltových pojiv, pomocí kterých lze hodnotit jejich výkonnost. Tímto krokem by se hodnocení pojiv v Evropě přiblížilo stavu v USA, kde se na funkční hodnocení pojiv přešlo již v 90. letech 20. století a od té doby se hodnocení a specifikace konstantně vylepšují. Výhoda funkčních zkoušek spočívá především v lepším popisu vlastností a chování pojiv a v propojení těchto vlastností s chováním asfaltových směsí ve vozovce [3, 4].

Vzhledem k nárůstu dopravního zatížení a zvyšování okolních teplot vlivem globálního oteplování se jeví posuzování chování pojiv za vysokých provozních teplot jako zásadní pro zamezení vzniku předčasných poruch u netuhých vozovek. Za vysokých provozních teplot může docházet k tvorbě trvalých deformací nebo otlaků. Z hlediska evropské specifikace se hodnotí chování pojiv za vysokých teplot pomocí zkoušky bodu měknutí dle ČSN EN 1427. Zkouška probíhá při konstantně se zvyšující teplotě (5 °C/min) při stálém zatížení pojiva, které vytváří kulička o hmotnosti 3,5 gramu. Bod měknutí byl arbitrárně stanoven jako teplota, kdy kulička propadne pojivem o vzdálenost 25 mm. V článku [11] je uvedeno, že charakterizace polymerem vysoce modifikovaných pojiv pomocí empirických zkoušek není vhod-

ná. V článku [12] se uvádí, že mezi bodem měknutí a výsledky zkoušek odolnosti proti trvalým deformacím neexistuje významná korelace. Výsledky korelace parametrů bod měknutí a $J_{nr,3,2kPa}$ ze zkoušky MSCR při teplotě zkoušky trvalých deformací 64 °C a 70 °C dle EN 12697-22 (metoda B, 10 000 cyklů) ukazuje tab. 1. Pojiva v této studii zahrnovala silniční asfalty různé tvrdosti a PMB s různým stupněm modifikace. Při teplotě zkoušení 70 °C byla korelace R^2 mezi výsledky trvalých deformací a zkouškou bodu měknutí $< 0,5$, zatímco u parametru $J_{nr,3,2kPa}$ byla korelace $> 0,8$. Při teplotě 60 °C byl trend podobný, koeficient determinace R^2 byl vyšší pro parametr J_{nr} než pro bod měknutí.

V USA se chování za vysokých provozních teplot hodnotí v dynamickém smykovém reometru pomocí parametru $G^*/\sin\delta$ při frekvenci 1,59 Hz po simulaci stárnutí metodou RTFOT – specifikace AASHTO M320. Tento parametr byl vhodný zejména pro posuzování nemodifikovaných pojiv a menší dopravní zatížení, protože zkoušení probíhá v rámci lineárně viskoelastické oblasti LVER (oblast malých smykových deformací, ve které je komplexní smykový modul G^* konstantní a není závislý na aplikovaném napětí). Bylo prokázáno, že tvorba trvalých deformací v asfaltových směsích se neodehrává v oblasti malých deformací, a proto parametry posuzované v rámci LVER nemají přímý vztah k tvorbě deformací ve vozovce. Parametr je také méně přesný pro popis výkonnosti směsí s PMB [5, 6]. Výsledek korelace parametrů $G^*/\sin\delta$ a $J_{nr,3,2kPa}$ při teplotě 70 °C ze zkoušky MSCR ukazuje obr. 1. Je na něm zobrazeno vyhodnocení para-



obr. 1 Korelace mezi parametry $G^*/\sin\delta$ a $J_{nr,3,2kPa}$ 70 °C a hloubkou vyjeté koleje na vozovce v USA ve státě Mississippi pro různé způsoby modifikace [5]

Zkoušené vlastnosti asfaltu	Zkoušené vlastnosti asfaltových směsí			
	PRD_{AIR} $T = 60\text{ °C}$	WTS_{AIR} $T = 60\text{ °C}$	PRD_{AIR} $T = 70\text{ °C}$	WTS_{AIR} $T = 70\text{ °C}$
Bod měknutí KK	$R^2 = 0,59$	$R^2 = 0,56$	$R^2 = 0,42$	$R^2 = 0,43$
$J_{nr,3,2kPa}$ Teplota = 64 °C	$R^2 = 0,95$	$R^2 = 0,92$	---	---
$J_{nr,3,2kPa}$ Teplota = 70 °C	---	---	$R^2 = 0,84$	$R^2 = 0,84$

tab. 1 Koeficient determinace R^2 mezi asfaltem a asfaltovými směsmi [12]

metru hloubky koleje na vozovce po 6 letech při zatížení zhruba 6 mil. ESAL oproti charakteristikám pojiv. Pojiva v této studii byla modifikována různými způsoby a byla zatříděna do různých PG tříd. Z obr. 1 dole lze dovodit, že snížení hodnoty J_{nr} o polovinu obvykle vedlo ke snížení hloubky koleje zhruba o polovinu.

Některé státy v USA proto už parametr $G^*/\sin\delta$ nahradily a přešly na posuzování podle zkoušky MSCR (specifikace AASHTO M322), která je schopna posuzovat pojivo mimo LVER a je tak vhodnější pro popis vlastností pojiv pro vysoká dopravní zatížení, pomalou dopravu i pro popis modifikačního systému. Zkouška MSCR se stala v Evropě (EN 16659) standardizovanou zkušební metodou v roce 2016. Zkouška MSCR je uve- ena i v připravené neharmonizované specifikaci pro hodnocení silničních, tvrdých i multigrádových asfaltů a PMB, která byla vypracována v odborné skupině CEN TC336. Specifikace byla v květnu letošního roku rozeslána do připomínkového řízení [7].

Pro zlepšení chování pojiv za vysokých provozních teplot lze pro úpravu výkonnosti pojiv použít několik způsobů, mezi které patří například použití vosků (např. Fisher Tropsh, amidové vosky), přírodního asfaltu nebo použití polymerem modifikovaných pojiv. V tomto článku bude věnována pozornost PMB pojivům. Při modifikaci pojiv elastomerem se zvyšuje viskozita, tuhost i elasticita pojiva. Modifikace pomocí elastomerů je zásadně ovlivněna použitým vstupním pojivem i typem modifikační přísady. Od modifikovaných pojiv očekáváme především lepší teplotní citlivost a výkonnost z hlediska chování jak při nízkých, tak právě při vysokých provozních teplotách. Směsi s PMB pojivy by měly mít rovněž vyšší odolnost proti ztrátě kameniva a proti účinkům vody [8, 9, 10].

POŽADAVKY NA ZKOUŠENÍ ZPĚTNĚ ZÍSKANÝCH POJIV A POJIV Z R-MATERIÁLŮ

Z hlediska klasifikace RA a pojiva v něm obsaženého se dle ČSN EN 13108-8 používá empirický přístup, kdy se stanovuje penetrací jehlou dle ČSN EN 1426, bod měknutí dle ČSN EN 1427 a viskozita dle ČSN EN 13302 s tím, že bod měknutí a penetrace jsou povinně deklarované parametry. V ČR byla v roce 2020 vydána norma ČSN 73 6141, která stanovuje dodatečné požadavky na směsi obsahující RA. V normě je mimo jiné uvedeno, jakým způsobem lze doložit přítomnost polymerem modifikovaného asfaltu. Jedná se o následující postupy:

- Stanovení vratné duktility modifikovaných asfaltů podle ČSN EN 13398.
- Stanovení komplexního modulu ve smyku a fázového úhlu podle ČSN EN 14770.
- Případně spektrometrická metoda FTIR.

V roce 2023 došlo k úpravě národní normy ČSN 73 6121 ve smyslu možnosti navýšení dávkování RA (nejenom) u směsí obsahujících modifikovaná pojiva. V ČSN 73 6141 je stanoveno, že při obsahu více než 15 % RA ve směsi je nutné ošetřit RA tak, aby základní parametry pojiva (penetrace a bod měknutí) odpovídaly parametrům pojiva deklarovaným v názvu asfaltové směsi. V případě obsahu RA většího než 15 % a deklarace PMB je navíc nutné při výrobě směsi použití polymerem modifikovaného asfaltu typu RC v souladu s ČSN 65 7222-1 v optimalizovaném množství. U směsí s více než 15 % RA je dle ČSN 73 6141 požadováno provádět v rámci kontrolních zkoušek i zpětné získání pojiva. U zpětně získaných pojiv je požadováno zkoušet pouze empirické vlastnosti (bod měknutí a penetrace). U směsí s dávkováním RA nižším než 15 % se počítá s tím, že výkonnost pojiva je ovlivněna málo a zkoušky zpětně získaných pojiv se nemusí provádět vůbec.

ZKOUŠKA MSCR A HODNOCENÍ MODIFIKACE POJIVA VZHEDEM K NÁRODNÍM POŽADAVKŮM

Pro popis výkonnosti pojiv za vysokých provozních teplot byla v této studii použita zkouška MSCR dle ČSN EN 16659, pomocí které se vyhodnocují dva parametry pojiva:

- Procentuální zotavení (R): posouzení elasticity pojiva. Parametr lze použít například pro posouzení vlivu a obsahu polymeru v pojivu.
- Nevratná smyková poddajnost (Jnr): posouzení citlivosti pojiva k tvorbě trvalých deformací při opakovaném zatížení.

Výhoda parametru Jnr oproti zkoušce bodu měknutí spočívá v možnosti provádět zkoušku při zvolené teplotě (standardně 40 °C až 80 °C) i zvoleném napětí (standardně 0,1 kPa až 3,2 kPa). Lze tak posoudit i citlivost materiálu na zvyšující se napětí, což je výhodné zejména při posuzování modifikovaných pojiv nebo při zkoušení pojiv za nižších teplot, kdy nízké zatížení neslouží dostatečně diskriminačně. Zkouška může být provedena i při více teplotách a následně může dojít k interpolaci hodnot a výpočtu kritické teploty v závislosti na požadované výkonnosti pojiv (např. konkrétní hodnota Jnr), podobně jako je tomu u zkoušky BBR, kdy se hodnotí kritická teplota nebo u zkoušek kritických teplot T0–T4, které se hodnotí na základě výsledku komplexního smykového modulu a úhlu fázového posunu v DSR. Výsledky zkoušek MSCR ze sběru dat PMB pojiv v ČR pro základní druhy PMB jsou uvedeny v tab. 2.

tab. 2 Výsledky zkoušek MSCR, sběr dat PMB 2018 až 2022

☑ Sběr dat, parametr	Stav pojiva ^{*)}	Jednotky	10/40-65	25/55-60	25/55-65	45/80-65
Jnr _{3,2kPa} , 70 °C	RTFOT	kPa ⁻¹	0,133	0,325	0,188	0,276
R _{3,2kPa} , 70 °C	RTFOT	%	59	61	69	82
Jnr _{3,2kPa} , 60 °C	RTFOT	kPa ⁻¹	0,043	0,082	0,069	0,148
R _{3,2kPa} , 60 °C	RTFOT	%	68	75	76	79

^{*)} Zkouška RTFOT provedena dle ČSN EN 12607-1 (75 minut, 163 °C, 4 l/min).

Přestože technicky klasifikovat zpětně získané pojivo z hlediska určení, zda se jedná o elastomerem modifikované nebo nemodifikované pojivo, je poměrně jednoduché, z pohledu norem už pohled tak jednoznačný není. Jediné konkrétně stanovené kritérium v českém kontextu je vztaženo ke zkoušce vratné

duktility dle ČSN EN 13398. Toto kritérium se uplatňuje na pojiva zpětně získaná z asfaltových směsí po jejich výrobě. Požadavek v ČSN 73 6141 Oprava 1 je stanoven pouze pro dvě gradace pojiva (PMB 25/55-65 a PMB 45/80-65), které lze z hlediska úrovně modifikace hodnotit jako pojiva se středním obsahem polymeru, tj. 3,0 % až 5,0 % [11]. Požadavky z normy ČSN 73 6141 jsou uvedeny v tab. 3.

tab. 3 Požadavky na zpětně získané pojivo z asfaltové směsi v případě použití polymerem modifikovaného asfaltu podle ČSN EN 14023 (převzato z ČSN 73 6141:2023 OPRAVA 1)

Požadovaný druh asfaltu	Penetrace zpětně získaného pojiva při teplotě 25 °C podle ČSN EN 1426 0,1 mm	Bod měknutí zpětně získaného pojiva podle ČSN EN 1427 °C	Vratná duktilita zpětně získaného pojiva při teplotě 25 °C podle ČSN EN 13398
PMB 25/55-65	15 až 50	≥ 60	≥ 40 % ^{*)}
PMB 45/80-65	30 až 70	≥ 60	≥ 40 % ^{*)}

^{*)} V průběhu provádění stanovení vratné duktility modifikovaných asfaltů dle ČSN EN 13398 se musí zkušební vzorky protáhnout na délku minimálně 100 mm bez přetržení.

Problém stanovení požadavků na zpětně získaná pojiva obecně spočívá v nedostatku dat, na základě kterých by bylo možné požadavky stanovit. Při stanovení požadavku lze obecně vycházet ze studia literatury v kombinaci s výsledky vlastních zkoušek.

Během sběru dat se ukázalo, že rozdíly ve výkonnosti pojiv splňujících empirické požadavky (bod měknutí a penetrace) mohou být významné. Tato skutečnost byla demonstrována i v rámci této studie, která proběhla několik let po ukončení projektu sběr dat.

V rámci specifikace AASHTO se požadavky na pojiva uvádějí vzhledem ke zkušební teplotě. Příklad ze státu New York, který používá specifikace M322 (zkouška MSCR pro posouzení odolnosti proti trvalým deformacím), je uveden v tab. 4 [13]. Písmena u PG tříd značí třídu dopravního zatížení, pro kterou má být pojivo použito (tab. 5) a kde je uveden rozsah parametru Jnr vztahující se na danou třídu dopravního zatížení.

tab. 4 PG požadavky pro asfaltová pojiva, stát New York, parametr MSCR, 2024 [13]

Parametr	58E-34	64S-22	64H-22	64V-22	64E-22
MSCR zkušební teplota	58	64	64	64	64
MSCR, Jnr _{3,2kPa} , max., kPa ⁻¹	0,5	4,5	2,0	1,0	0,5
MSCR, Jnr _{diff} , max., %	75				
MSCR, % R @ 3,2 kPa ⁻¹ , min.	*			*	

^{*)} >29,371^{*)}(Jnr_{3,2}-0,263) – pojiva tříd H, V a E musí splňovat požadavky normy AASHTO R 92.

tab. 5 Hodnoty nevratné smykové poddajnosti Jnr pro jednotlivá dopravní zatížení [14]

Typ dopravního zatížení	Podmínky	Jnr _{3,2kPa}
S - Standardní	< 10 mil. ESAL ^{*)} a průměrná rychlost > 70 km/h 2,0-4,0	2,0-4,0
H - Vysoký	10-30 mil. ESAL nebo průměrná rychlost 20 až 70 km/h 1,0-2,0	1,0-2,0
V - Velmi vysoký	> 30 mil. ESAL nebo průměrná rychlost < 20 km/h 0,5-1,0	0,5-1,0
E - Extrémně vysoký	> 30 mil. ESAL a průměrná rychlost < 20 km/h 0,0-0,5	0,0-0,5

^{*)} Zkratka odvozena z „Equivalent Single Axle Load“. ESAL = (10 t/8 t)⁴·Ncd. Ncd = celkový počet přejezdů 100 kN (10 t) náprav za návrhové období.

CÍL ČLÁNKU

Cíle článku lze rozdělit do dvou oblastí:

1. Popis a posouzení vlastností PMB pojiv gradace 25/55-60, která byla v ČR dodána na trh v letech 2025 a 2026.
2. Popis vlastností zpětně získaných pojiv u směsí obsahujících polymerem modifikovaný asfalt a R-materiál.

MATERIÁLY

Vzorky pojiv, R-materiálů a zpětně získaných pojiv, použité v této studii, byly získány na obalovnách asfaltových směsí nebo výrobnách asfaltových pojiv, nacházejících se na území ČR. V první části jsou popsány výsledky PMB gradace 25/55-60, které byly dodány třemi výrobci. Údaje o pojivech jsou uvedeny v tab. 6. Druhá část studie byla zaměřena na vlastnosti pojiv zpětně získaných z asfaltových směsí. Směsi obsahovaly různý obsah R-materiálu, byly vyrobeny na třech různých výrobnách a při výrobě byly dávkovány různé gradace PMB pojiv. V rámci studie byla zkoušena i směs obsahující silniční asfalt gradace 50/70. Údaje o směsích a pojivech jsou uvedeny v tab. 7. Pojiva a R-materiály byly odebrány vždy v den výroby směsi. Zjednodušený popis jednotlivých částí studie je uveden na obr. 2.

tab. 6 Údaje o pojivech PMB 25/55-60, které byly zkoušeny v rámci této studie

PMB 25/55-60	Počet výsledků	Datum odběru
Sběr dat	13-15 (MSCR), 23 (bod měknutí a penetrace)	2018-2022
Výrobce PMB 1	5	2025
Výrobce PMB 2	6	2025
Výrobce PMB 3	1	2026

tab. 7 Údaje o směsích, které byly zkoušeny v rámci této studie

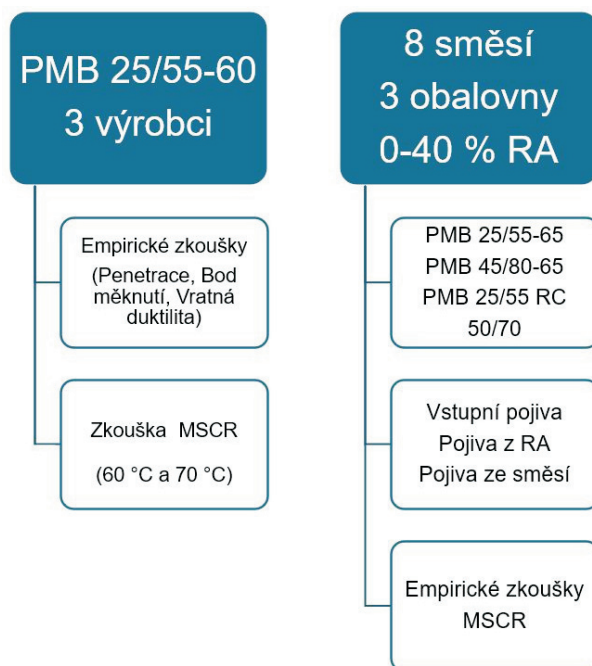
Směs	Obalovna	Datum odběru	Vstupní pojivo	Deklarované pojivo	Obsah RA (%)
ACL 22S	1	2024	PMB 25/55-65	PMB 25/55-65	15
ACL 22S	2	2024	PMB 25/55-65	PMB 25/55-65	15
VMT 22	2	2024	PMB 25/55-65	PMB 25/55-65	15
SMA 11	1	2024	PMB 45/80-65	PMB 45/80-65	0
ACL 22S	3	2025	PMB 25/55 RC	PMB 25/55-60	35
ACP 22S*	3	2025	PMB 25/55 RC	PMB 25/55-60	40
ACL 22S*	3	2025	PMB 25/55 RC	PMB 25/55-60	35
ACO 11+	2	2025	50/70	50/70	15

* Směsi byly vyrobeny ze stejné šarže pojiva a při výrobě byl použit stejný R-materiál.

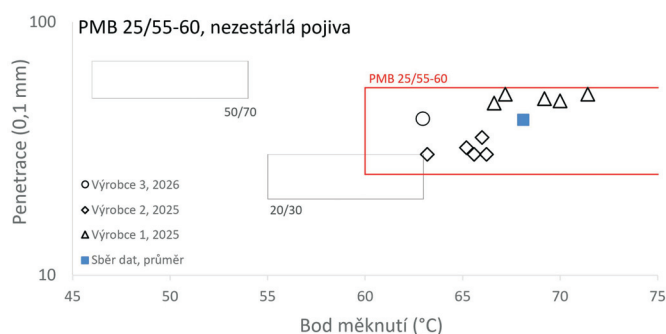
VÝSLEDKY

1 Pojiva PMB 25/55-60

Výsledky kontrolních zkoušek pojiv PMB 25/55-60 ukazuje tab. 8, ve které jsou uvedeny průměrné výsledky. Výrobce 1 dodával na trh pojiva s nejvyšší penetrací, zatímco dodavatel 2 s nejnižší. Dodavatel 3 dodal na trh pojivo s penetrací zhruba uprostřed povoleného rozsahu pro danou kategorii. Z hlediska bodu měknutí dosahoval nejvyšších průměrných hodnot výrobce 1, následně výrobce 2 a pak výrobce 3. Všichni výrobci, respektive pojiva, s rezervou splňovala požadavek na vratnou duktilitu při 25 °C (≥ 60 % dle ČSN 65 7222-1). Výsledky penetrace ukazují, že tvrdost pojiv se u tří výrobců pohybovala v povoleném rozmezí a rozsah hodnot



obr. 2 Materiály a zkušební postupy



obr. 3 Výsledky empirických zkoušek, PMB 25/55-60, nezestárlá pojiva

zhruba odpovídal rozsahu hodnot penetrace ve sběru dat. Graficky ukazuje jednotlivé výsledky obr. 3.

tab. 8 Výsledky kontrolních zkoušek, PMB 25/55-60, průměrné hodnoty, nezestárlá pojiva

Výrobce	Penetrace (0,1 mm)	Bod měknutí (°C)	Vratná duktilita (%)
Požadavek, ČSN 65 7222-1	25-55	≥ 60	≥ 60
Sběr dat (průměr)	41	68,1	—
1	50	68,9	85
2	31	65,2	75*
3	41	63,0	77
Průměr výrobci 1, 2 a 3	41	66,7	82

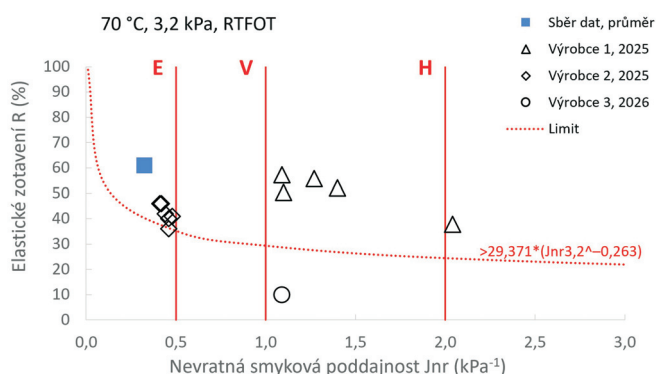
* Průměrná hodnota pro výrobce 2 měřená na sérii dvou jiných pojiv odebraných v r. 2025. Obě pojiva dosahovala podobných výsledků zkoušek penetrace a bodu měknutí jako v článku hodnocená pojiva.

Průměrné výsledky zkoušky MSCR pro pojiva PMB 25/55-60 jsou uvedeny v tab. 9. Výsledky se vztahují k teplotě měření 70 °C a zatížení 3,2 kPa po simulaci krátkodobého stárnutí metodou RTFOT.

tab. 9 Výsledky zkoušky MSCR, PMB 25/55–60, průměrné hodnoty, pojiva po RTFOT

Výrobce	$J_{nr3,2kPa, 70^\circ C}$ (kPa^{-1})	Kategorie dle AASHTO, J_{nr}	$R_{3,2kPa, 70^\circ C}$ (%)
Sběr dat	0,325	E (< 0,5)	61
1	1,380	H (1,0–2,0)	51
2	0,445	E (< 0,5)	42
3	1,090	H (1,0–2,0)	10
Průměr výrobci 1, 2 a 3	0,888	V (0,5–1,0)	43

Na obr. 4 jsou jednotlivé výsledky zkoušky MSCR zobrazeny graficky. Tečkovaná čára zobrazuje empirickou referenční křivku definující rozdělení pojiv dle stupně modifikace [13, 14]. Elastomerem modifikovaná pojiva s dostatečným obsahem polymeru by se měla nacházet nad křivkou. Zároveň jsou v grafu zobrazeny i oblasti dle hodnoty J_{nr} vycházející z rozdělení v tab. 5. Z výsledků vyplývá, že výrobci 1, 2 i 3 dodali na trh pojiva s nižší výkonností, než představovalo průměrné pojivo ve sběru dat z let 2018 až 2022. Výrobce 1 dodával na trh pojiva, která měla nižší odolnost proti tvorbě trvalých deformací (vyšší J_{nr}) než průměrné pojivo ve sběru dat. Pojiva výrobce 2 se z hlediska parametru J_{nr} nejvíce přibližovala průměrnému pojivu ze sběru dat, ale měla nižší elasticitu (nižší obsah polymeru, nižší R). Pojivo od výrobce 3 mělo nejmenší elasticitu a zároveň mělo i horší parametr J_{nr} . Ukazuje se, že i když mají pojiva poměrně vysokou hodnotu elasticity z hlediska zkoušky vratné duktility (tab. 8), nemusí být elastické zotavení ze zkoušky MSCR vyhovující nebo může být nízké (v závislosti na teplotě posuzování). Při zkouškách za vysokých provozních teplot (jako je tomu u zkoušky MSCR) je vliv polymerní sítě výraznější než při teplotě zkoušky vratné duktility. To umožňuje lépe rozlišit výkonnost jednotlivých pojiv. Nižší obsah polymeru obvykle znamená nižší hodnotu parametru R. Zajímavé je, že pojivo výrobce 2 dosahuje srovnatelných hodnot vratné duktility $\approx 75\%$ (tyčká hodnota) jako pojivo od výrobce 3 ($VD \approx 77\%$), ale výsledek parametru R je značně odlišný (10 % pro výrobce 3 a 42 % pro výrobce 2).



obr. 4 Výsledky zkoušky MSCR pro pojiva gradace PMB 25/55–60, 70 °C a 3,2 kPa, pojiva po simulaci stárnutí metodou RTFOT

Z výsledků zkoušky MSCR vyplývá, že výrobci 1 i 2 dodávají na trh pojiva, která mají v čase podobnou výkonost, tj. že výsledky pojiv dodávaných na trh od jednoho výrobce se v čase příliš neliší (s výjimkou jednoho pojiva od výrobce 1, které se odchýlilo). Nejnížší výkonnost mělo pojivo od výrobce 3. Výsledky zkoušky MSCR jasně ukazují, že výkonnost stejně kategorizovaných pojiv dle ČSN EN 14023 a ČSN 65 7222–1 je při hodnocení dle předpisů AASHTO výrazně odlišná. Výrobce 2 dodával na trh pojiva

pro zatížení E (extrémně vysoké) s nižší úrovní modifikace. Výrobce 1 dodával na trh pojiva pro zatížení H (vysoké), tj. o dvě třídy nižší kategorie, než byl průměr ve sběru dat. Výrobce 3 dodal na trh pojivo pro zatížení H (vysoké) s nejnižším obsahem elastomeru, které dle AASHTO M322 není považováno za modifikované elastomerem. Rozdíl ve výkonnosti hodnocené dle AASHTO je pro pojiva stejné gradace dle ČSN EN až dvě třídy. To znamená, že výrobce asfaltové směsi v dobré víře odebírající pojiva splňující evropské a národní požadavky, vyrábějící směs dle jedné platné receptury, může při kontrolních zkouškách směsí dosahovat proměnných výsledků kontrolních zkoušek trvalých deformací dle ČSN EN 12697–22. Je zřejmé, že na trh jsou dodávána pojiva s velmi rozdílnou výkonností, která však vyhovují národním požadavkům. Je také nasnadě se ptát, proč došlo u pojiva gradace PMB 25/55–60 k celkovému snížení výkonnosti oproti výsledkům ve sběru dat. Žádné zkoušené pojivo ani v jednom případě nedosáhlo lepších výsledků z hlediska zkoušky MSCR oproti průměrnému pojivu ze sběru dat.

2 Pojiva zpětně získaná z asfaltových směsí

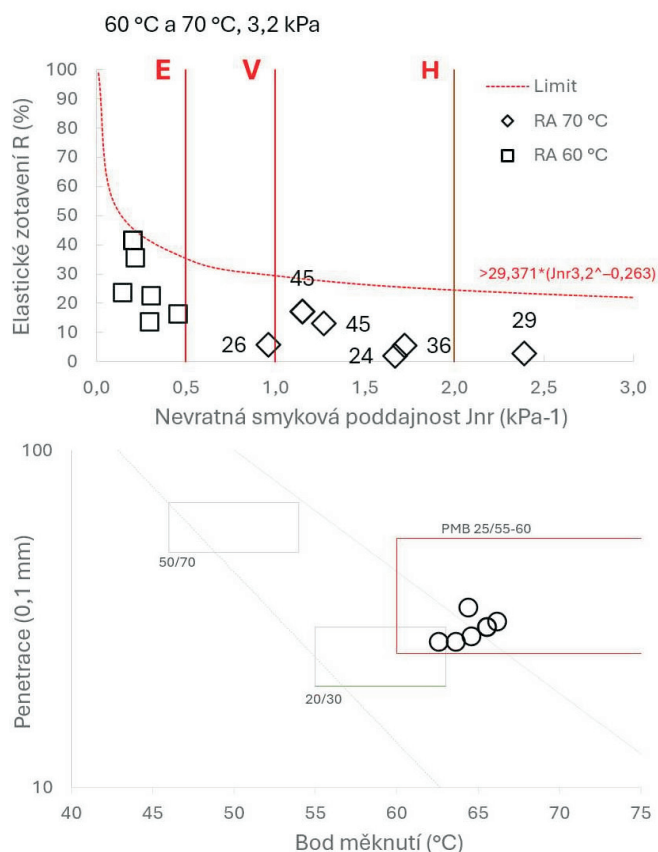
Pro klasifikaci zpětně získaných pojiv se v ČR používá empirických zkoušek. Jak bylo demonstrováno v předchozí kapitole, nejsou tyto empirické zkoušky dostatečně vypovídající pro popis výkonnosti pojiv. V této části článku je věnována pozornost vlivu přídatku R-materiálu na zpětně získaná pojiva. Předpokládá se, že vliv RA je při dávkování menším než 15 % nízký.

Průměrné vlastnosti zpětně získaných pojiv z RA jsou uvedeny v tab. 10, zatímco jednotlivé výsledky zkoušek jsou graficky zobrazeny na obr. 5. Z výsledků zkoušky MSCR (nahore) je patrné, že ve všech případech se jednalo o nemodifikovaná pojiva nebo pojiva s velmi malým obsahem elastomerní přísady. Při teplotě zkoušení 70 °C dosahoval parametr J_{nr} hodnot (0,96 až 2,39) ka^{-1} , tj. kategorie V (vysoké zatížení) až S (standardní, nejnižší zatížení) dle tab. 5. V rámci sběru dat byl při stejných podmínkách měření parametr J_{nr} pro pojivo PMB 25/55–65 na úrovni 0,188 kPa^{-1} a 0,276 kPa^{-1} pro pojivo PMB 45/80–65 (obě kategorie E). Hodnota parametrů J_{nr} byla tedy u PMB výrazně lepší než u pojiv z R-materiálů. Číselné hodnoty u výsledků zkoušky MSCR na obr. 5 nahore vztahujících se k měření při 70 °C označují výsledek zkoušky vratné duktility při 25 °C.

tab. 10 Průměrné vlastnosti pojiv zpětně získaných z R-materiálů, 7 vzorků

Materiál	Penetrace (0,1 mm)	Bod měknutí (°C)	Vratná duktilita (%)	$J_{nr3,2kPa, 60^\circ C}$ (kPa^{-1})	$R_{3,2kPa, 60^\circ C}$ (%)	$J_{nr3,2kPa, 70^\circ C}$ (kPa^{-1})	$R_{3,2kPa, 70^\circ C}$ (%)
R-materiál	30	64,5	34	0,275	25	1,527	8

Na obr. 6 jsou zobrazeny výsledky zkoušky MSCR jednotlivých pojiv, která byla zpětně získána z vyrobených směsí, viz tab. 7 (označení Z) a výsledky pojiv, která byla podrobena zkoušce MSCR po simulaci krátkodobého stárnutí metodou RTFOT (označení RTFOT). Z výsledků vyplývá, že změna vlastností u směsi bez RA s PMB 45/80–65 byla malá. Vlastnosti pojiva po zkoušce RTFOT a po zpětném získání pojiva byly srovnatelné, obě pojiva byla vhodná pro zatížení H (vysoké). K potvrzení, zda se jedná o standardní chování PMB, je ale nutné získat daleko více výsledků. Při pohledu na výsledky směsí s obsahem pojiva



obr. 5 Vlastnosti zpětně získaných pojiv z R-materiálů, nahore: zkouška MSCR při teplotě 60 °C a 70 °C a zatížení 3,2 kPa; dole: výsledky empirických zkoušek

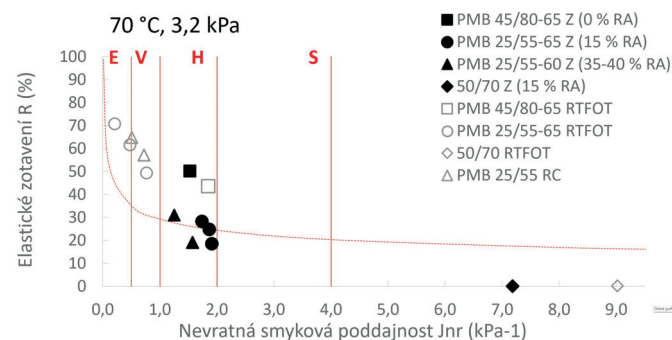
PMB 25/55-65 a 15 % RA lze konstatovat, že výkonnost zpětně získaných pojiv ze směsí oproti výkonnosti dávkovaných pojiv klesá o třídu až dvě dle hodnocení Jnr. Po zkoušce RTFOT bylo možné klasifikovat pojiva jako vhodná pro zatížení E (extrémně vysoké) a V (velmi vysoké), zatímco po zpětném získání byla všechna pojiva v kategorii H (vysoké zatížení) přibližující se ke kategorii S (standardní zatížení). Jedno pojivo se přitom nacházelo pod limitní hranicí, která indikuje dostatečné množství polymeru, respektive elastomeru a dvě pojiva se pohybovala těsně u hranice. To znamená, že elasticita smíšeného pojiva byla výrazně nižší než u dávkovaného pojiva. Podobně se chovala pojiva, která byla vyextrahována ze směsí s obsahem RA na úrovni 35 % až 40 %. V tomto případě však není snížení výkonnosti tak neočekávané, protože obsah RA je vysoký. Deklarované pojivo bylo navíc gradace 25/55-60. Pojivo gradace 50/70 je na obr. 6 velmi dobře rozlišitelné, protože při zkušební teplotě 70 °C nemá žádnou elasticitu a zároveň dosahuje velmi vysokých hodnot parametru Jnr.

Obr. 6 ukazuje výsledky empirických zkoušek zpětně získaných pojiv. Jsou zde vyznačeny požadavky na zpětně získaná pojiva gradace 50/70 a PMB 25/55-60*. Z výsledků vyplývá, že na základě hodnot empirických zkoušek penetrace a bodu měknutí nejsme schopni rozlišit výkonnost pojiva. Pojivo 50/70 splňuje i požadavky na pojivo PMB 25/55-60. Zpětně získaná pojiva s deklarova-

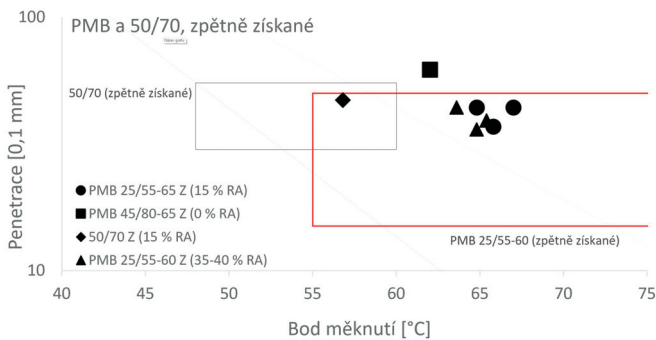
ným pojivem PMB 25/55-60 (PMB RC a 35 a 40 % RA), PMB 25/55-65 (PMB 25/55-65 a 15 % RA) a PMB 45/80-65 (0 % RA) splňují požadavky normy ČSN 73 6141 Oprava 1. V tab. 11 jsou uvedeny charakteristické hodnoty pojiv v závislosti na gradaci pojiva. Výsledky zkoušky vratné duktility jsou splněny se značnou rezervou (min. 40 %). Při hodnocení parametru R lze nicméně pozorovat, že průměrné hodnoty u směsí s obsahem RA jsou poměrně nízké bez ohledu na jeho dávkování.

tab. 11 Výsledky zkoušek zpětně získaných pojiv ze směsí

Deklarované Poxivo	RA (%)	Počet výsledků (-)	Pen. (0,1 mm)	Bod měknutí (°C)	Vratná duktilita (%)	Jnr _{3,2kPa, 60 °C} (kPa ⁻¹)	R _{3,2kPa, 60 °C} (%)	Jnr _{3,2kPa, 70 °C} (kPa ⁻¹)	R _{3,2kPa, 70 °C} (%)
25/55-65	15	3	42	65,9	71	0,327	53	1,840	24
25/55-60	35-40	3	40	64,6	57	0,270	51	1,466	23
45/80-65	0	1	62	62,0	83	0,290	71	1,530	50
50/70	15	1	47	56,8	12	1,520	3	7,180	0



obr. 6 Porovnání vlastností zpětně získaných pojiv a pojiv po simulaci stárnutí RTFOT, zkouška MSCR



obr. 7 Porovnání vlastností zpětně získaných pojiv, empirické vlastnosti

ZÁVĚR

Článek si kladl za cíl popis vlastností polymerem modifikovaných pojiv za vysokých provozních teplot vozovky. Pro tento účel byla využita zejména zkouška bodu měknutí a MSCR. Na základě vyhodnocených a popsanych výsledků lze konstatovat následující:

- Všechna PMB pojiva gradace 25/55-60 splňovala požadavky na kontrolní zkoušky dle ČSN 65 7222-1 z hlediska bodu měknutí, penetrace a vratné duktility.
- Žádné z pojiv PMB 25/55-60 nedosahovalo lepších nebo stejných hodnot parametrů ze zkoušky MSCR při porovnání

* Uvažuje se, že požadavek na bod měknutí je o 5 °C nižší než je minimální kategoriální požadavek pro PMB 25/55-60, tj. 60 °C. Penetrace má stejný rozsah jako požadavek v ČSN 73 6141 Oprava 1 pro PMB 25/55-65.

- s průměrným pojivem ze sběru dat. Zkoušená pojiva z roku 2025 a 2026 měla nižší výkonnost než průměrné pojivo stejné gradace ze sběru dat. Pojiva byla zpravidla měkčí (vyšší parametr Jnr) a méně elastická (nižší parametr R).
- Pojiva gradační třídy 25/55–60 od výrobce 1 a 2 měla v čase konstantní výsledky s jednou výjimkou u výrobce 1, což značí stabilní výrobu v čase, a to lze hodnotit pozitivně.
 - Pomocí výsledků zkoušky MSCR lze hodnotit pojiva z hlediska jejich odolnosti proti vzniku trvalých deformací. Ukazuje se, že pojiva kategorie PMB 25/55–60 jsou dle hodnocení AASHTO vhodná pro tři různé třídy dopravního zatížení (E až H). Z hlediska evropské normy nelze pomocí kontrolních zkoušek toto chování postihnout a pojiva jsou hodnocena jako rovnocenná.
 - Výsledky zkoušky vratné duktility při 25 °C nekorrespondují s výsledky zkoušky MSCR (parametr R). Pojiva, která mají srovnatelné hodnoty vratné duktility, mohou mít velmi odlišnou elasticitu za vysokých teplot. Pojivo od výrobce 3 mělo hodnotu vratné duktility 77 %, tj. s rezervou splňující požadavek národní normy ČSN 65 7222-1, ale parametr R byl při teplotě 70 °C pouze 10 %. Takové pojivo by nesplnilo požadavek na elastomerem modifikované pojivo dle AASHTO.
 - Žádné pojivo z R-materiálů nelze dle AASHTO hodnotit jako modifikované polymerem, respektive elastomerem, přestože vratná duktilita byla u dvou zpětně získaných pojiv vyšší než 40 %.

ZDROJE

- [1] Koudelka, T., Dašek, O. (2024) Sběr dat pro specifikaci polymerem modifikovaných asfaltů. *Silnice mosty*, roč. 2024, č. 3, s. 31–39. ISSN: 1804–8684.
- [2] Dašek, O., Neuvirt, V., Valentin, V. (2021) Sběr dat pro PMB – průběžné hodnocení získaných hodnot, konference Asfaltové vozovky 2021 (AV21), České Budějovice, listopad 2021
- [3] TRANSPORTATION RESEARCH CIRCULAR E-C147 (2010) Development in Asphalt Binder Specifications, Transportation Research Board, 500 Fifth Street, NW, Washington, DC 2001, ISSN 0097–8515
- [4] Federal Highway Administration's (FHWA's) Asphalt Pavement Technology, (2011) The multiple stress creep recovery (mscr) procedure, FHWA–HIF–11–038
- [5] D'Angelo, J., (2009) The Relationship of MSCR Testing to Rutting, *Road Materials and Pavement Design Journal*, Vol. 10, pg 61–80
- [6] Cox B., C., (2023) Airfield perspective on the MSCR asphalt binder grading systém, Airfield Asphalt User/Producer meeting, 2023 Annual Tri-service and Industry Review Meeting
- [7] CEN/TC 336, prEN:2025 (2026) Bitumens and bituminous binders — Complementary performance-related specification, CEN TC336, TG15
- [8] Koudelka, T., Dašek, O., Bureš, P., Hýzl, P. (2026) Vliv vlastností vstupního asfaltu na vlastnosti výsledného polymerem modifikovaného asfaltu. *Silnice mosty*. PRAGOPROJEKT, a.s., K Ryšánce 1668/16, 147 54 Praha 4, 2026. č. 4, s. 22
- [9] McNally, T. Polymer modified bitumen (2011) Properties and characterization, Woodhead Publishing Limited, ISBN 978–0–85709–372–1 (online)
- [10] Yang, Q., Lin, J., Wang, X., Wang, D., Xie, N., Shi, X. (2024) A review of polymer-modified asphalt binder: Modification mechanisms and mechanical properties, *Cleaner Materials*, Volume 12, ISSN 2772–3976
- [11] Zaumanis, M., Arraigada, M., Hugener, M. (2026) Towards the development of classification criteria for highly polymer-modified binders, *Road Materials and Pavement Design*, 27:1, 125–151, DOI: [10.1080/14680629.2025.2481993](https://doi.org/10.1080/14680629.2025.2481993)
- [12] Wójcik-Wiśniewska, M., Błażejowski, K. (2017) High-temperature properties of bituminous binders and asphalt mixtures, konference Asfaltové vozovky 2017 (AV17), České Budějovice, listopad 2021
- [13] Asphalt Institute (2026), US State Binder Specification, State New York, www.dot.state.ny.us
- [14] Baumgardner, G. (2020), Multiple Stress Creep and Recovery (MSCR) Implementation and Transition, TechBrief, WRSC–TB–20–01, PES Progra 1664, N. Virginia Street, MS 258, Reno, NV 89557.

Lektorský komentář

Kolektiv autorů nabízí zajímavou analýzu dlouhodobých dat a s lehkou nadsázkou otevírá témata, o kterých se v odborných kruzích obvykle mluví jen kuloárně. Již několik let, spíše i dvě desetiletí se stále hovoří o kvalitě či nekvalitě asfaltových směsí, o jejich trvanlivosti a životnosti. Asfaltová směs je kompozitní materiál a skládá se ze dvou hlavních složek, kameniva a asfaltového pojiva. Dozajista můžeme konstatovat, že kvalita kameniva je v lomech proměnlivá, v jednotlivých etážích rozdílná, stále jsme však ujišťováni, že kvalita asfaltových pojiv je perfektní a ty tedy nemají zásadní vliv na snižující se výkonnost asfaltových směsí a poruchy asfaltových vrstev, vždyť výsledky zkoušek penetrace, bodu měknutí a duktility vyhovují normovým požadavkům. Autoři článku nás upozorňují, že chování asfaltových pojiv, jejich výkonnost a kvalita se v dnešní době vysokých dopravních zatížení a klimatických změn nedají popisovat pouze empirickými zkouškami. Známe postupy,

kteřé nám jako společnosti, ale i producentům asfaltových směsí dokáží pomoci s nacházením příčin poruch asfaltových vozovek. Systém je však proti. Z analýzy předložené v článku vyplývá, že kvalita asfaltových pojiv se nezlepšuje, spíše klesá. Výrobci však svou „kvalitu“ dokáží dlouhodobě držet a tak vyvstává spousta dalších otázek. Nesmíme zapomenout i na druhé téma příspěvku, a to je správný návrh asfaltových směsí s vyšším podílem R-materiálu, nutnost používat správných technologických kroků při jejich výrobě. Vyšší míra recyklace nesmí jít na úkor kvality asfaltových směsí. Potřebné technologie jsou k dispozici, výrobci je pouze musí správně a disciplinovaně využívat.

Ing. Petr Mondschein, Ph.D., ČVUT v Praze, Fakulta stavební