Zkoušení materiálů a konstrukcí vozovek I. část

doc. Ing. Petr Hýzl, Ph.D.,
Vysoké učení technické v Brně

23. – 24. listopadu 2021, České Budějovice

Motto: Bez kvalitních vozovek Evropu nedoženeme

40 SDRUŽENÍ PRO VÝSTAVBU SILNIC
ČESKÁ SILNIČNÍ SPOLEČNOST CZECH ROAD SOCIETY
EAPA
PRAGOPROJEKT

Kvalita silničních asfaltů a způsob jejího hodnocení

Ing. Tomáš Koudelka, Ph.D., Ing. Petr Bureš, Ing. Jakub Šedina
VIALAB CZ s.r.o.

40 SDRUŽENÍ PRO VÝSTAVBU SILNIC
ČESKÁ SILNIČNÍ SPOLEČNOST CZECH ROAD SOCIETY
EAPA
PRAGOPROJEKT

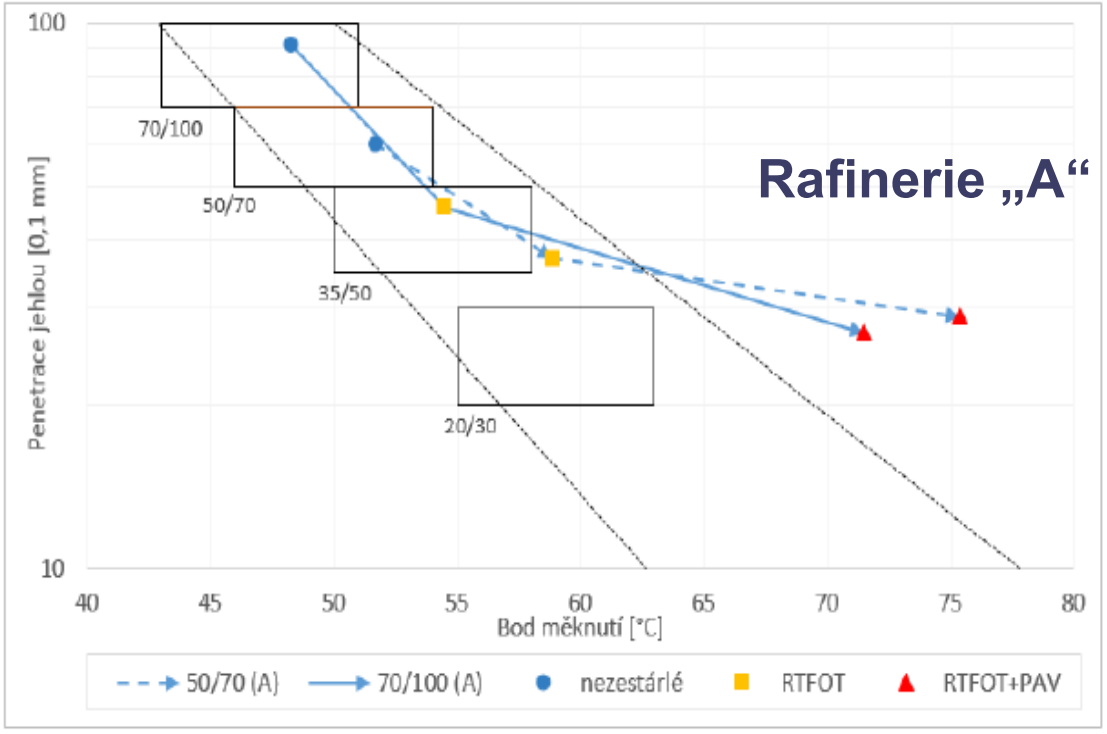
Vlastnosti silničních asfaltů jsou deklarovány podle harmonizované ČSN EN 12591.

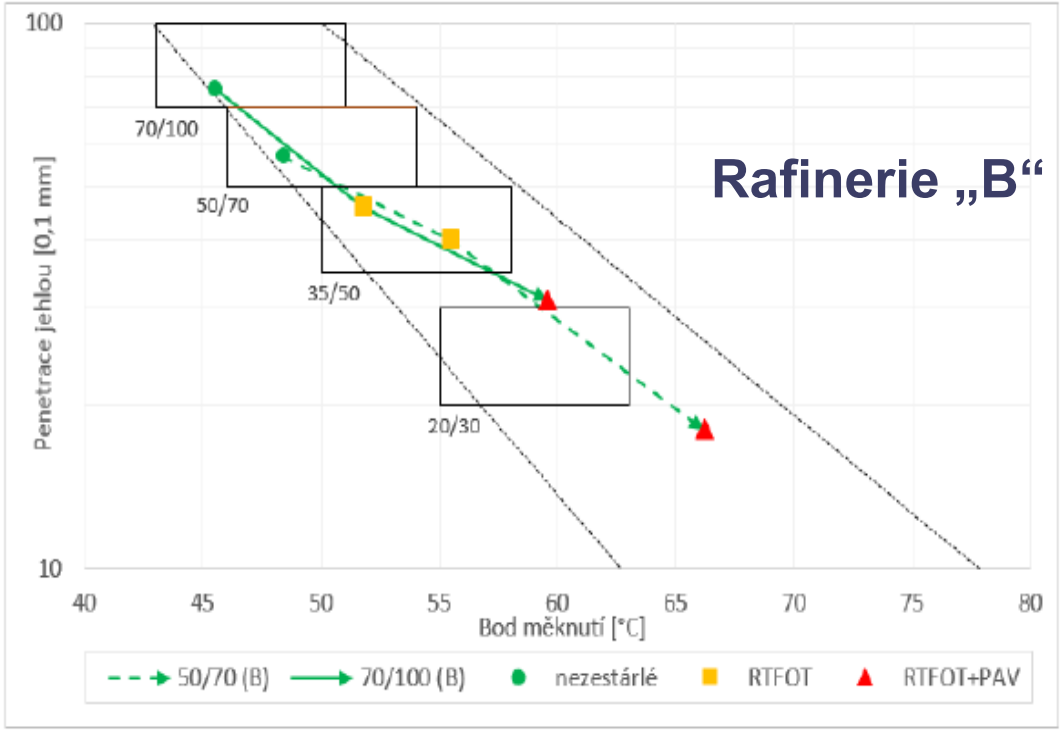
- **Přestože dodávané asfalty většinou splňují na národní úrovni stanovené požadavky (ČSN 65 7204), kvalita asfaltů se významně liší.**
- **Chování pojiv, které jsou zařazeny do jedné penetrační třídy, je odlišné a to i přesto, že z pohledu platných předpisů jsou považovány za rovnocenné !**
- **Tento způsob posuzování pojiv neposkytuje potřebnou oporu pro výrobce asfaltových směsí, PMB i KAE např. proto, že nepožaduje provádět zkoušky PAV.**
- **Pro porovnání kvality pojiv byla použita pojiva od 2 dodavatelů (50/70, 70/100).**

Pořadí	Rafinerie	Gradace pojiva	Datum odběru
1.	A	50/70	20.11.2019
2.	B	50/70	03.03.2020
3.	A	70/100	24.12.2019
4.	B	70/100	12.03.2020

- **Všechna pojiva z obou rafinerií splňují požadavky ČSN 65 7204, ale…**

- …po aplikaci dlouhodobého stárnutí (RTFOT + PAV) bylo zjištěno, že pojiva „A“ mají nižší odolnost proti stárnutí s ohledem na zvýšení bodu měknutí po RTFOT + PAV !





- Dále byla mj. provedena skupinová analýza pojiv (SARA).

Pojivo	Gradace pojiva	Nasycené uhlovodíky	Aromáty	Pryskyřice	Asfaltény	Gaestelův index
		[%]	[%]	[%]	[%]	[-]
1	50/70	9,2	38,2	34,4	18,2	0,38
2	50/70	7,7	39,5	40,0	12,8	0,26
3	70/100	10,3	38,5	35,7	15,5	0,35
4	70/100	7,2	42,6	40,3	9,9	0,21

- Stanoven tvz. Gaestelův index (IC).

$$IC = \frac{Asfaltény + Nasycené\ uhlovodíky}{Aromáty + Pryskyřice}$$

- Při porovnání hodnot IC s doporučenými hodnotami z literatury bylo zjištěno, že pojiva z rafinerie „A“ nejsou vhodná pro výrobu KAE a ani PMB !

Závěry

- Z hlediska klasifikace a obchodování asfaltových pojiv je právně závazné používat specifikaci ČSN EN 12591 a to i přesto, že je z technického hlediska nedostatečná.
- Aby došlo k zlepšení kvality používaných asfaltových pojiv, je nutné získané zkušenosti z dlouhodobých zkoušek přenést i do specifikačních evropských harmonizovaných norem podobně jako je tomu například v USA nebo Kanadě.

Charakterizace asfaltových pojiv pomocí zkoušky BTSV

Ing. Petr Jíša, Ing. Radek Černý
ORLEN UniCRE a.s.

40 SDRUŽENÍ PRO VÝSTAVBU SILNIC
ČESKÁ SILNIČNÍ SPOLEČNOST CZECH ROAD SOCIETY
EAPA
PRAGOPROJEKT

Implementace zkoušky BTSV (Bitumen-Typisierungs-Schnell-Verfahren) je plánována do připravované specifikace PMB podle EN 14023.

- **Zkouška pro rychlé vyhodnocení typu asfaltového pojiva za použití DSR.**
- **Výhledově může nahradit bod měknutí.**
- **Umožňuje např. odlišit vliv přídavku rejuvenátorů do zestárlého pojiva od vlivu změkčování tohoto pojiva pojivem vyšší gradace.**

<u>Princip metody:</u>

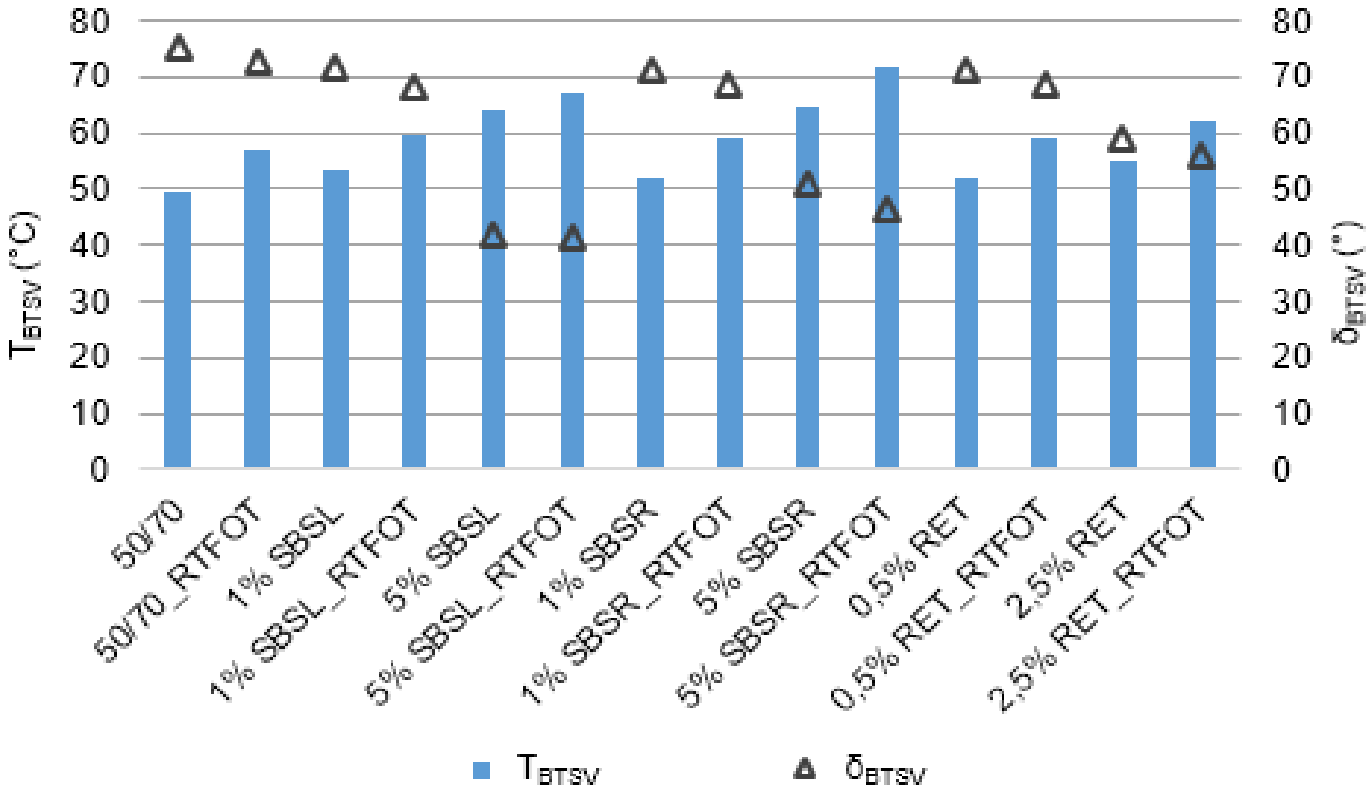
- **napodobení principu stanovení bodu měknutí s využitím DSR,**
- **vzorek je zahříván z teploty 20 °C na 90 °C rychlostí 1,2 °C/min,**
- **na vzorek v průběhu zkoušky působí dynamicky oscilující smykové napětí o frekvenci 10 rad/s a amplitudě 500 Pa.**

- **T_{BTSV} – teplota, při které absolutní hodnota komplexního smykového modulu dosáhne hodnoty G* = 15 kPa**
- **δ_{BTSV} – fázový úhel při teplotě T_{BTSV}**

V příspěvku autoři hodnotí vybraná nemodifikovaná a modifikovaná pojiva zkouškou bodu měknutí a zkouškou BTSV a provádí porovnání výsledků.

Akronym	Obsah polymeru [% hm.]	Charakteristika
50/70	0	Základové (referenční) pojivo
1% SBSL	1	Lineární SBS
5% SBSL	5	Lineární SBS
1% SBSR	1	Radiální SBS
5% SBSR	5	Radiální SBS
0,5 % RET	0,5	Reaktivní terpolymer
2,5 % RET	2,5	Reaktivní terpolymer

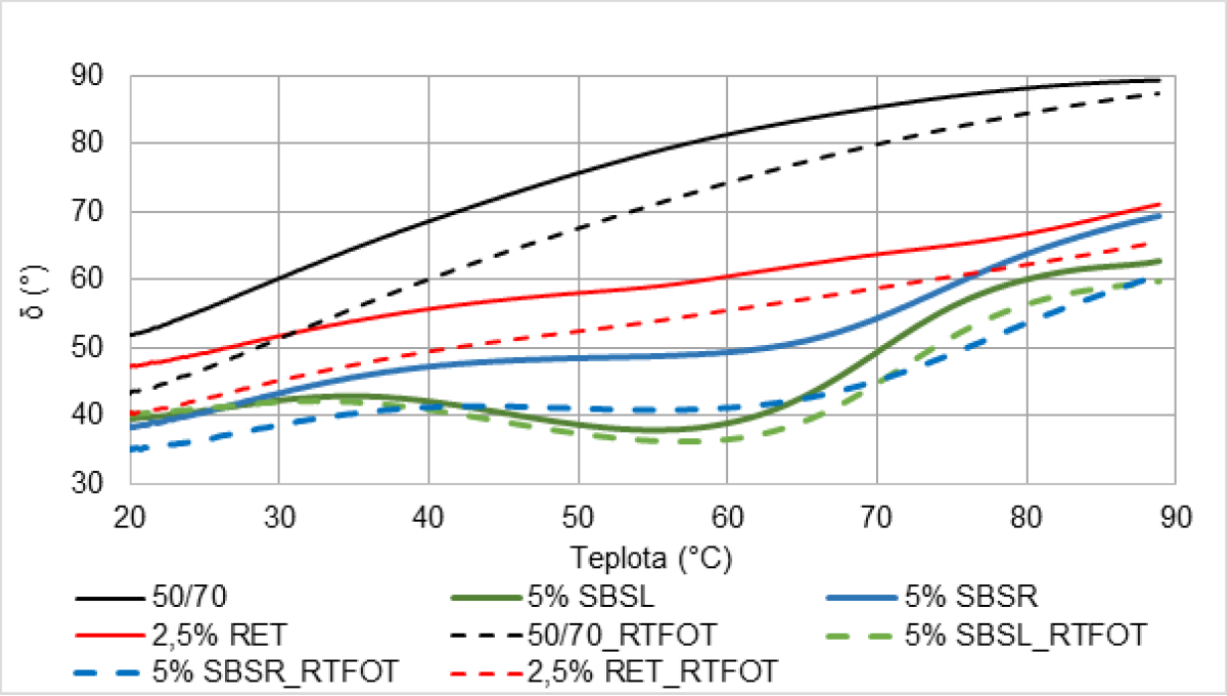
Souhrn výsledků stanovení T_{BTSV} a δ_{BTSV} - originální stav + RTFOT



- S rostoucím obsahem polymeru se zvyšuje hodnota T_{BTSV} a současně snižuje δ_{BTSV}.
- Tento efekt je zároveň různě silný pro různé použité polymery.
- Posun T_{BTSV} k vyšším hodnotám a δ_{BTSV} k nižším hodnotám vlivem stárnutí pojiva.

Z hlediska interpretace výsledků je zajímavý rovněž průběh celé zkoušky BTSV

- **tj. průběh změny komplexního smykového modulu (G*) a fázového úhlu (δ) v závislosti na teplotě.**



- **Dochází ke vzniku tvarové specifity jednotlivých křivek.**
- **Pro každou z polymerních přísad byl zjištěn specifický průběh křivky ve smyslu výskytu intervalů teplot, kde se fázový úhel s rostoucí teplotou udržoval konstantní nebo i mírně klesal.**
- **Tento specifický tvar křivky („fingerprint“ polymeru) zůstal zachován i po RTFOT.**

AV '21 KONFERENCE ASFALTOVÉ VOZOVKY 2021

Vliv aplikace zdrsněné zkušební geometrie a temperace vzorku před provedením zkoušky na výsledky stanovení únavových vlastností silničních pojiv pomocí DSR

Ing. Radek Černý, Ing. Petr Jíša
ORLEN UniCRE a.s.

40 SDRUŽENÍ PRO VÝSTAVBU SILNIC
ČESKÁ SILNIČNÍ SPOLEČNOST CZECH ROAD SOCIETY
EAPA
PRAGOPROJEKT

Pro charakterizaci únavových vlastností asfaltových pojiv bylo zavedeno několik zkoušek, které však nedostatečně charakterizují jejich únavové vlastnosti, zejména pokud jsou modifikovaná.

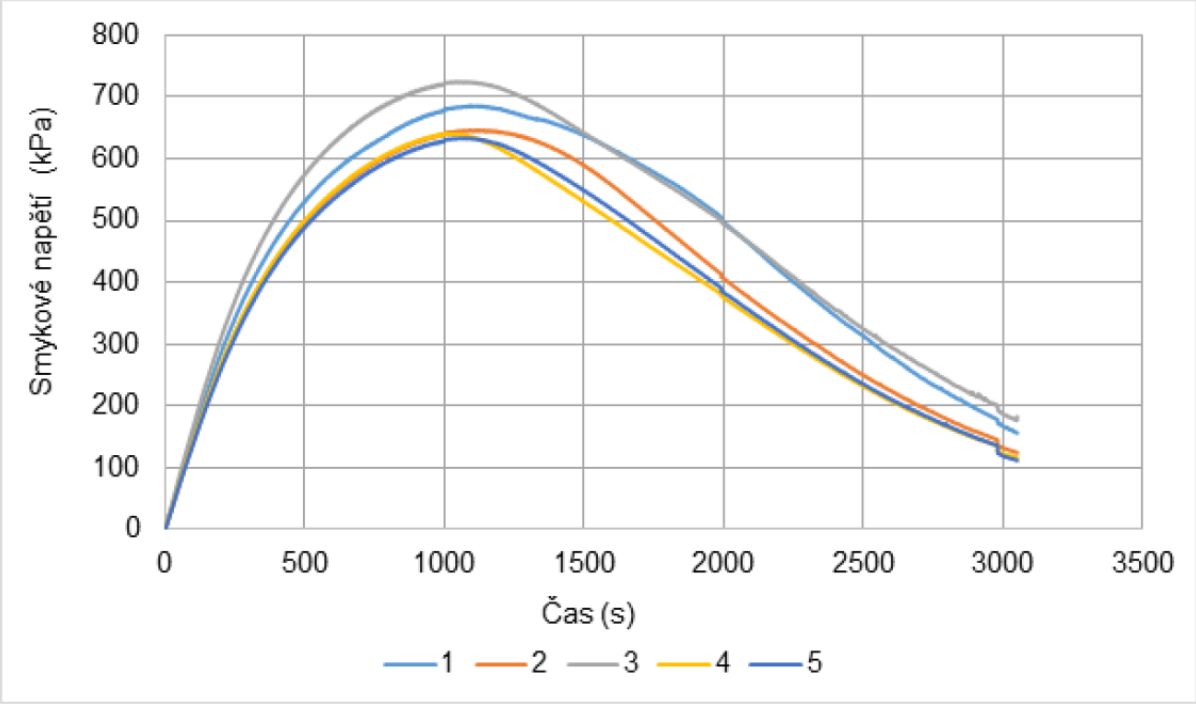
- **Je možné využít DSR, zkoušku „Linear Amplitude Sweep“ dle AASHTO TP 101-14.**
- **Cílem práce bylo porovnání výsledků „LAS“ při použití:**
  - **standardní a zdrsněné geometrie PP8,**
  - **různé teploty temperace vzorku před vlastní zkouškou (50 °C a 80 °).**
- **Zkušební pojivo: vysoce modifikovaný PMB.**

Penetrace při 25 °C [0,1 mm]	81
Bod měknutí [°C]	90,0
Horní kritická teplota [°C]	91,6
Bod lámavosti [°C]	-25
Vratná duktilita při 25 °C [%]	93
Silová duktilita při 5 °C [J/cm^2]	9,8

Jednotlivé varianty zkušebních podmínek (5 opakování)

Konfigurace	I	II	III	IV
Měřicí geometrie	PP8 standard	PP8 zdrsněná	PP8 standard	PP8 zdrsněná
Temperační teplota	**50 °C**	**50 °C**	**80 °C**	**80 °C**

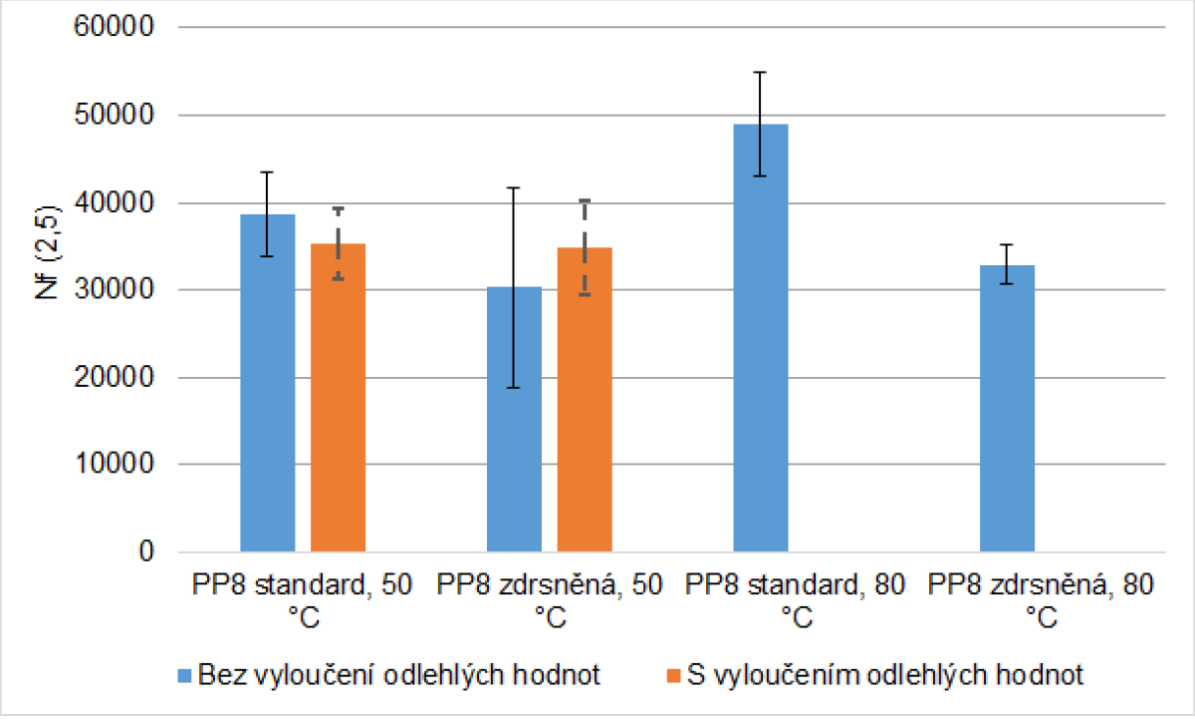
➡ **Byl vyhodnocován průběh smykového napětí v čase a parametr Nf (2,5).**



Standardní geometrie PP8;

Temperace 80 °

Průměrné hodnoty parametru Nf (2,5), opakovatelnost měření



- **Temperace na 80 °C ve fázi, kdy je vzorek nanášen na zkušební geometrii a je nastavována štěrbina pro měření, snižuje riziko výskytu nestandardního průběhu smykového napětí v čase v průběhu testu.**
- **Nejnižší směrodatná odchylka při kombinaci zdrsněné geometrie PP8 a temperace vzorku před vlastním testem na vyšší ze zvolených teplot 80 °C.**

AV '21 KONFERENCE ASFALTOVÉ VOZOVKY 2021

Hodnocení a modelování nízkoteplotních vlastností asfaltových pojiv (zkouška BBR)

Ing. Jiří Fiedler, Ing. Petr Bureš, Ing. Tomáš Koudelka, Ph.D.,
Ing. Jakub Šedina
Eurovia CS, a.s., Praha
doc. Ing. Ondřej Dašek, Ph.D., doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Vysoké učení technické v Brně

40 SDRUŽENÍ PRO VÝSTAVBU SILNIC
ČESKÁ SILNIČNÍ SPOLEČNOST CZECH ROAD SOCIETY
EAPA
PRAGOPROJEKT

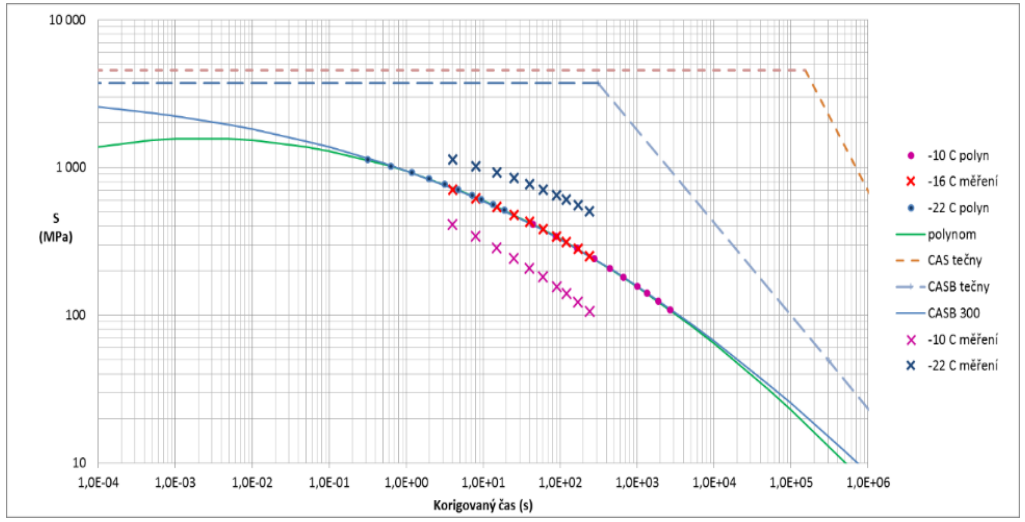
Tvorba nízkoteplotních trhlin je jedním ze základních mechanismů poškozujících konstrukce asfaltových vozovek.

- **Vznik trhlin má souvislost s tuhostí pojiva.**
- **V zařízení BBR se proto zjišťuje teplota, při které je za definovaných zkušebních podmínek, dosažena určitá tuhost.**
- **Podle ČSN EN 14771 se při několika zkušebních teplotách zjišťuje průběh průhybu trámečku asfaltového pojiva v závislosti na době působení zatížení.**
- **Pro každou teplotu se vypočte:**
  - **modul tuhosti za ohybu S(t) a**
  - **rychlost dotvarování (tzv. m-hodnota) pro příslušnou dobu zatěžování.**

- **Doporučuje se hodnoty uvádět pro 6 dob zatížení v intervalu 8 až 240 vteřin.**
- **Pokud se jako výsledek zkoušky uvádí jen S(t) a m pro jednu dobu zatížení, je doba zatížení stanovena na 60 vteřin.**

- Software dodávaný s BBR standardně zaznamenává celý průběh zkoušky.
- To umožňuje podrobněji porovnat nízkoteplotní vlastnosti různých pojiv.
- Z měření v přístroji BBR při několika teplotách je možné sestrojit hlavní křivku („Master curve“) a křivku závislosti koeficientu posunu na teplotě.
- Z těchto dvou křivek je pak možné vypočítat průběh S(t) pro libovolnou teplotu.

Autoři dále v příspěvku popisují řadu reologických modelů pro vyhodnocení hlavních křivek (polynomický, CAM, CAS, CASB) a aplikují je na výsledky z BBR na 8 pojivech.



Hlavní křivka pro polynomický model a model CASB, pojivo 70/100

Závěry

- Sestrojení hlavní křivky modulu S(t) z měření v přístroji BBR umožňuje podrobněji porovnat chování různých pojiv.
- Proto by se hodnocení zkoušky BBR nemělo omezit jen na získání hodnot S(60) a m(60) a vyvozování závěrů o vhodnosti hodnocených pojiv jen na základě dvou empiricky zavedených kritérií pro limitní teploty.
- V Eurovia CS byl vypracován program v Excelu, který umožňuje sestrojit hlavní křivku modulu S(t) pro modely CAM, CAS, CASB navržené v USA a polynomický model dle vzorce uvedeného v ČSN EN 14771.
- Rozdíly mezi hlavními křivkami pro tyto modely pro 8 pojiv nebyly velké.
- Pro praktické účely porovnání chování různých pojiv za nízkých teplot proto postačí použít polynomický model, pro který je vyhodnocení jednodušší a rychlejší.

Závislost vlivu struktury polymerů SBS na vlastnosti polofoukaných a oxidovaných asfaltových pojiv

Elena Kashevskaya, Ph.D., Dmitry Nebratenko, Ph.D.

Ruský silniční výzkumný institut

Marianna Boksha, Ph.D.

Výzkumný ústav elastomerních materiálů a výrobků

Alexander Isakov

Ruric asfaltové materiály

40 SDRUŽENÍ PRO VÝSTAVBU SILNIC

ČESKÁ SILNIČNÍ SPOLEČNOST CZECH ROAD SOCIETY

EAPA

PRAGOPROJEKT

V příspěvku je prezentována analýza vlivu molekulární struktury SBS polymerů na fyzikální a mechanické vlastnosti asfaltových pojiv.

- Přestože téměř všechny polymery do určité míry zlepšují vlastnosti asfaltů, většina z nich má nadále řadu nevýhod, které omezují jejich aktivní využití jako modifikátorů asfaltů (nízká odolnost směsí vůči stárnutí, špatná skladovací stabilita a nedostatečná odolnost vůči pohonným hmotám).

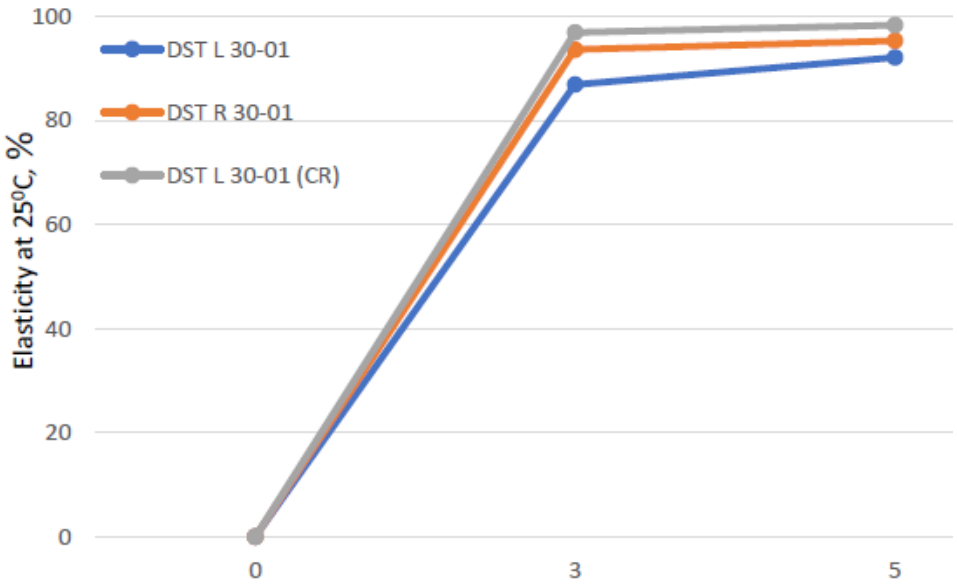
- Do základního asfaltu 100/130 byly vmíchány 3 vzorky SBS:
  - třída DST L 30-01 - lineární,
  - třída DST R 30-01 - radiální (rozvětvená) struktura,
  - třída DST L 30-01 - (CR) s lineární strukturou se zvýšeným obsahem dvojných vazeb v poloze 1,2.

- Míchání 15 minut pomocí dispergátoru při teplotě 170±5°C, dále po dobu 2 hodin při teplotě 160±5°C stálé mechanické míchání (250 ot./min), kdy probíhal proces zrání polymerem modifikovaného asfaltu (PMB).
- Bez použití dalších stabilizačních přísad a cross-linkerů.

Fyzikálně – mechanické vlastnosti SBS polymerů

Typ	Typ struktury	Viskozita 5,23% roztoku v toluenu (cSt)	Tvrdost podle Shore	Podmíněná pevnost v tahu (MPa)	Obsah (%)			
					styrenu	vinylu	tribloku	anti-oxidantu
DST L 30-01	lineární	14±5	72±5	≥16,1	30,0–31,5	11-15	>80%	≤0,2
DST R 30-01	radiální	25±10	75±5	≥8,0	29,0–31,0	19-23	>90%	≤0,2
DST L 30-01 (CR)	lineární	12±5	72±5	≥14,7	29,5–32,0	33-45	>88%	≤0,2

V příspěvku jsou uvedeny výsledky penetrace, bodu měknutí a vratné duktility



- **Dále byla stanovována odolnosti PMB proti delaminaci při dlouhodobém skladování při vysokých teplotách ve svislé tubě.**

Vlastnost	Hodnoty sledované vlastnosti pro různé doby skladování pojiva a při použití různých koncentrací SBS											
	3% DST L 30-01		3% DST R 30-01		3% DST L 30-01 (CR)		5% DST L 30-01		5% DST R 30-01		5% DST L 30-01 (CR)	
	Top	Low	Top	Low	Top	Low	Top	Low	Top	Low	Top	Low
Skladování při teplota 140°C po dobu 12 hodin												
Hloubka penetrace (dmm)	87	89	82	77	82	83	68	68	56	60	63	64
Bod měknutí KK (°C)	63	65	78	70	63	61	78	80	89	92	75	74
Skladování při teplota 140°C po dobu 24 hodin												
Hloubka penetrace (dmm)	82	85	88	74	85	87	75	71	56	67	65	67
Bod měknutí KK (°C)	63	65	85	80	66	64	80	76	93	89	74	75
Skladování při teplota 140°C po dobu 48 hodin												
Hloubka penetrace (dmm)	90	82	76	57	88	85	77	69	50	69	66	70
Bod měknutí KK (°C)	72	65	89	76	64	61	74	65	45	71	76	73

Závěry

- Struktura makromolekul styren-butadienových termoplastických elastomerů použitých při modifikaci ve fázi výroby je obdobně důležitá jako koncentrace blokových kopolymerů SBS v konečném pojivu.
- PMB na bázi DST L 30-01 (CR) vykazuje vynikající odolnost proti delaminaci.
- Přítomnost modifikátoru v poloze 1,2 dává polymeru DST L 30-01 (CR) schopnost vytvářet více vazeb se složkami asfaltu.

Posuzování přilnavosti pomocí TS/prEN 16346 a vývoj asfaltových rychleštěpných emulzí

Ing. Tomáš Koudelka, Ph.D., Ing. Zdeněk Komínek,
Ing. Petr Bureš, Tomáš Mery
VIALAB CZ s.r.o.

40 SDRUŽENÍ PRO VÝSTAVBU SILNIC
ČESKÁ SILNIČNÍ SPOLEČNOST CZECH ROAD SOCIETY
EAPA
PRAGOPROJEKT

- V rámci vývoje EN je počítáno se zavedením nové metody pro hodnocení okamžité přilnavosti dle TS/prEN 16346, tzv. „švýcarská metoda“.
- V rámci kruhových zkoušek v Evropě bylo zjištěno, že některé KAE používané (nejenom) v ČR pro nátěrové technologie (C65B3 a C65B4) dosahují u okamžité přilnavosti dle TS/prEN 16346 výrazně horších výsledků, než emulze referenční ze Švýcarska (C69BP4).
- V praxi by to znamenalo, že v ČR prováděné nátěry jsou více náchylné na poruchy přilnavosti vlivem vody.
- České emulze vyžadovaly delší doby zrání pro dosažení vyšších hodnot přilnavosti
- Autoři popisují vývoj KAE (C65B3), která dosahuje z hlediska okamžité přilnavosti srovnatelných výsledků jako referenční KAE z kruhových zkoušek.

$N_0 = 3$

$N_0 = 7$

$N_0 > 8$

Zkoušené KAE v rámci vývoje nové emulze C65B3 (kamenivo Vignoc)

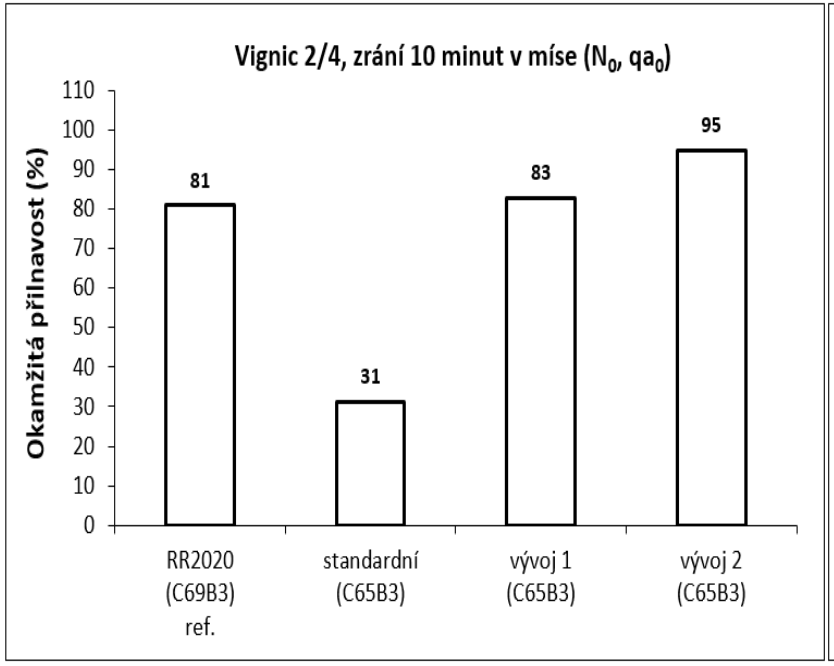
Číslo KAE	1	2	3	4
Zatřídění dle EN 13808	C69B3	C65B3	C65B3	C65B3
Pozn.	RR 2020	standardní	Vývoj 1	Vývoj 2

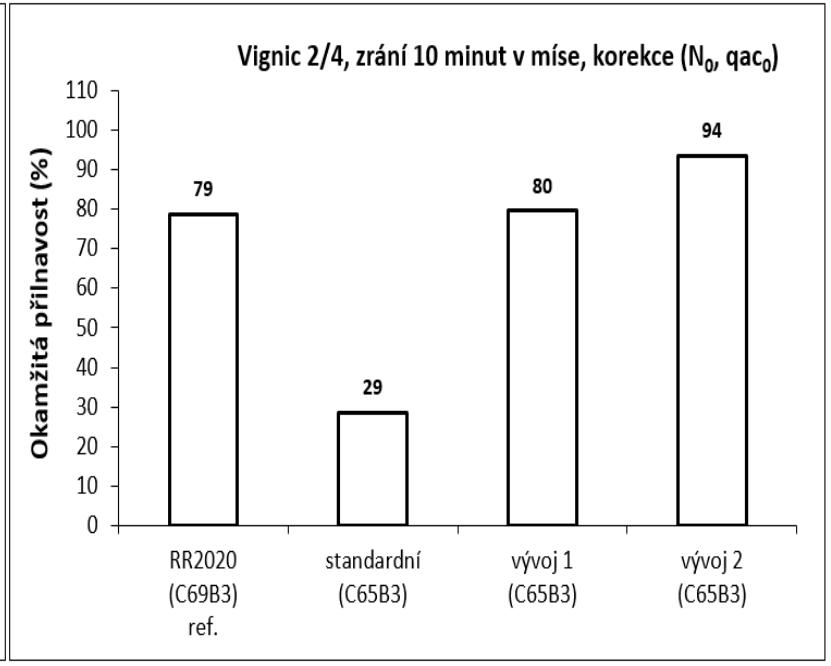
Základní parametry

		1	2	3	4
		C69B3	C65B3	C65B3	C65B3
Parametr	**Jednotky**	RR 2020	standardní	Vývoj 1	Vývoj 2
Zbytek na sítě	%	-	0,092	0,048	0,035
Obsah asfaltu	%	-	65,6	65,4	65,1
Štěpitelnost	-	-	117	124	136
Přilnavost*	%	-	75	75	75

* Přilnavost byla zkoušena dle ČSN EN 13614:2011, článek 8.3 (vliv vody na přilnavost). Zkoušené kamenivo bylo z lomu Olbramovice (národní referenční kamenivo), frakce 8/11.

Kompletní výsledky přilnavosti dle prEN 16346:2020





- **Nově vyvíjené KAE dosahují výrazně lepších výsledků z hlediska okamžité přilnavosti, než standardně používané KAE v ČR.**
- **Vynikající hodnoty přilnavosti dosahovaly nově vyvinuté KAE i u národního referenčního kameniva z lomu Olbramovice.**

Sběr dat pro PMB – průběžné hodnocení získaných hodnot

doc. Ing. Ondřej Dašek, Ph.D., Vysoké učení technické v Brně
Ing. Václav Neuvirt, CSc., VIAKONTROL, spol. s r.o.
Ing. Václav Valentin, GAVA consult

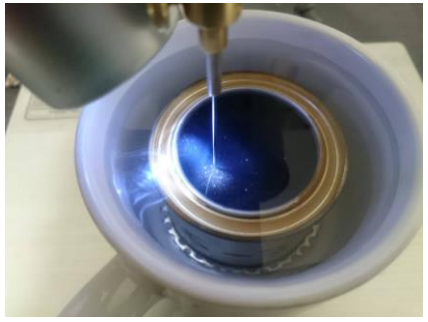
40 SDRUŽENÍ PRO VÝSTAVBU SILNIC
ČESKÁ SILNIČNÍ SPOLEČNOST CZECH ROAD SOCIETY
EAPA
PRAGOPROJEKT

Nová generace specifikačních norem pro asfaltová pojiva bude více zaměřena na využívání funkčních zkoušek.

- **S funkčním zkoušením pojiv a interpretací výsledků v ČR chybí zkušenosti.**
- **Bude třeba nastavit požadavky na jednotlivé třídy PMB.**

ŘSD ČR a NAT proto v ČR realizuje sběr dat výsledků zkoušek pro nejčastěji využívané třídy PMB.

- **Anonymně od roku 2018 po dobu 5 let v půlročních cyklech.**
- **Pro pojiva vyráběná či dodávaná v množství vyšším než 100 tun/pololetí.**
- **Empirické zkoušky (penetrace jehlou, bod měknutí KK).**
- **Funkční zkoušky (DSR, BBR).**
- **Včetně hodnocení vlivu stárnutí pojiv (RTFOT a PAV).**



Metodika jednotlivých zkoušek, postupy provádění, podmínky zkoušek a dosavadní výsledky pro nejfrektovanější pojiva (PMB 10/40-65, PMB 25/55-65 a PMB 45/80-65)

- **doplnění GZ v diskusním příspěvku…**

Závěry

- **Z 8 aktivně působících subjektů dobrovolně zasílá data 4 až 5 z nich.**
- **Problémy působí průběžné změny parametrů zkoušek na evropské úrovni.**
- **Poškození kontinuity dat.**
- **Zjištěna určitá nelogičnost výběru jednotlivých typů pojiv v ČSN 65 7222-1 (jeden vyráběný typ PMB lze nabízet jako pojivo pro 2 až 3 výkonnostní třídy, což však nemusí vést ke snížení kvality pojiva).**
- **Mnohdy dochází ke skutečnosti, že výrobce dodává více modifikovaná pojiva i tam, kde splnění takových vysokých požadavků není vyžadováno.**

Děkuji za pozornost !