

E&E kongres 2024: Vysoce odolné asfaltové směsi

Tématem třetí sekce, uvedené na kongresu Eurasphalt & Eurobitume v červnu 2024 byly vysoce odolné (výkonnostní) asfaltové směsi. V této sekci, moderované Malcolmem Simmsem, byly prezentovány čtyři příspěvky – dva se zabývaly asfaltovými koberci mastixovými (SMA), jeden příspěvek pojednával o vlivu teploty na tyto vysoce odolné asfaltové směsi a poslední posuzoval vlastnosti vtlačované asfaltové směsi (HRA) s obsahem jemných částic s rozlišnou odolností na vodu.

O sekci tři pojednává ve sborníku konference kapitola 1, týkající se výkonnosti a testování asfaltových směsí, kapitola 2, zabývající se technologiemi teplých a studených asfaltových směsí, a kapitola 5, zabývající se mobilitou a komunikacemi budoucnosti. Z těchto kapitol byly vybrány čtyři prezentované články, které jsou uvedeny v následujícím textu, a to tak, jak jsou uvedeny ve sborníku konference.

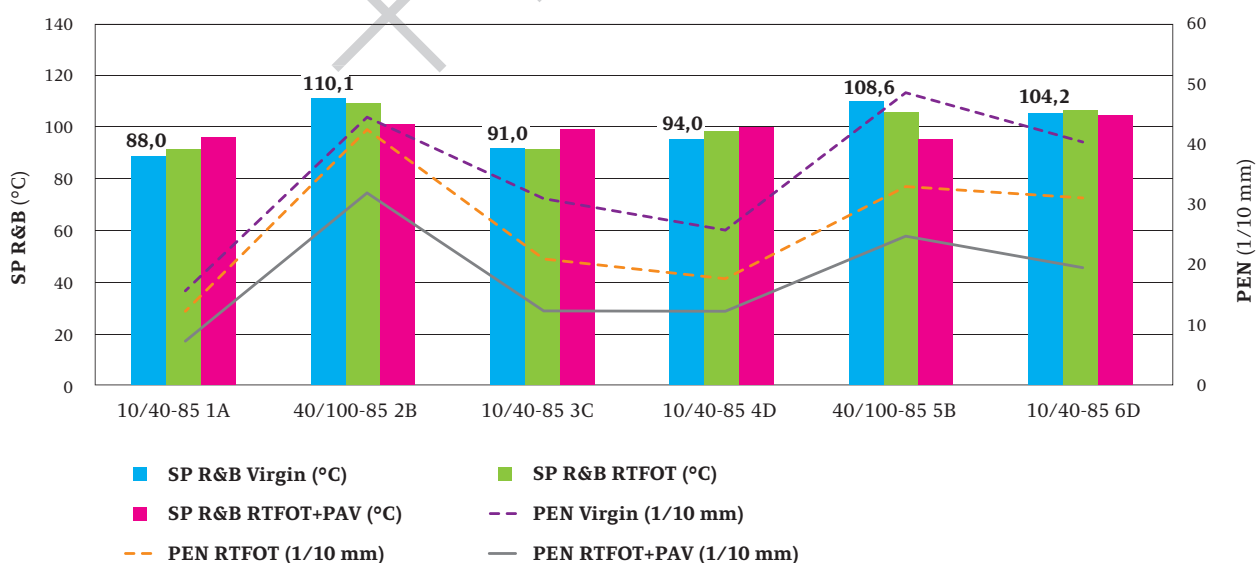
Vliv redukce teploty na chování vysoce odolné asfaltové směsi

Příspěvek odborníků z univerzity ve Wuppertalu (Německo) pojednává o vlivu snížených teplot míchání a hutnění na výsledné parametry a chování vysoce odolných směsí typu SMA HP a směsí z asfaltového betonu pro ložní vrstvu AC B HP. Návrh směsí byl prováděn s ohledem na zvýšenou odolnost při vyjždění trvalých deformací a při zkoušce nízkoteplotních vlastností. Pro účely výzkumu byly celkem vytvořeny zkušební vzorky z 15 různých asfaltových směsí s celkem 6 vhodnými vysoce modifikovanými asfaltovými pojivy se sníženou viskozitou. Tyto vzorky byly vystaveny zkoušce stanovení modulů tuhosti asfal-

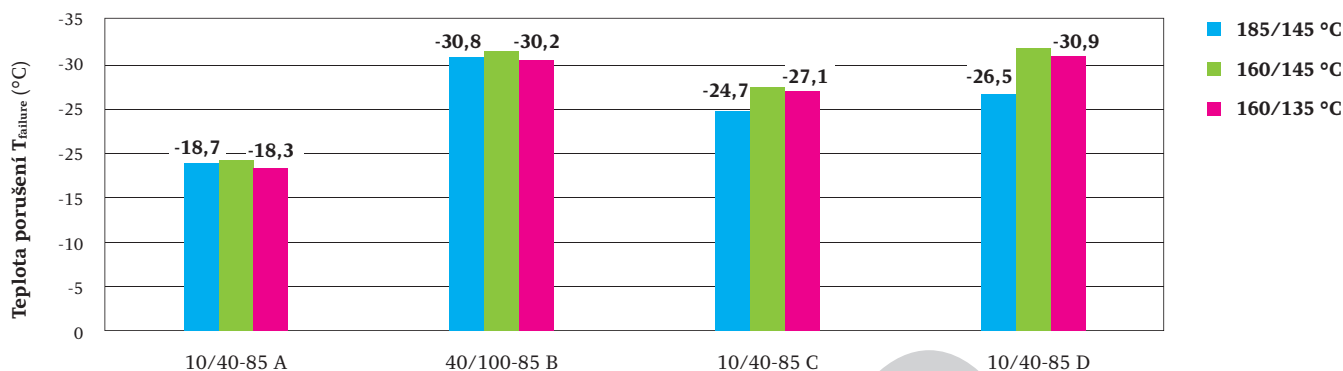
tové směsi, zkoušce nízkoteplotních vlastností s rovnoměrným poklesem teploty (TSRST), zkoušce stanovení nízkoteplotních vlastností pomocí jednoosé zkoušky tahem (UTST) a cyklické zkoušce v tlaku (CCT), za účelem zjištění vlivu snížených teplot na odolnost těchto směsí.

V rámci studie bylo porovnáváno celkem 12 směsí typu SMA HP a 4 směsí AC B HP, přičemž u všech jednotlivých druhů směsí bylo zachováno stejné kamenivo a gradace dávkovaného asfaltu. Do směsí byly použity 4 druhy vysoce modifikovaného pojiva HiPMB 10/40-85 A, a dva druhy vysoce modifikovaného pojiva HiPMB 40/100-85 A. Tato pojiva se od standardních polymerem modifikovaných asfaltů liší vyšším procentuálním zastoupením polymeru (cca 4–5 % hmotnosti). Standardní teplota míchání asfaltových směsí typu SMA HP (185 °C) byla snížena jak u směsí SMA HP, tak směsí AC B HP na 160 °C. Původní teplota hutnění všech směsí (145 °C) byla u všech jednotlivých druhů směsí zachována a zároveň byly u většiny vzorků připraveny sady se sníženou teplotou hutnění na 130 °C.

Autoři dále provedli standardní zkoušky asfaltů i zkoušky zaměřené na zvýšenou odolnost asfaltových pojiv, a to jak na



Obrázek 1: Porovnání vlastností asfaltových pojiv (bod měknutí metodou KK a hodnota penetrace) [1]



Obrázek 2: Porovnání nízkoteplotního chování – teplota porušení u zkoušky TSRST [1]

nezestárlém asfaltu, tak na zestárlých pojivech po zkouškách RTFOT a PAV. Výsledky zkoušek bodu měknutí metodou kroužek kulička a zkoušky penetrace jehlou provedených na použitých vysoce modifikovaných pojivech jsou uvedeny na obrázku 1.

V článku jsou dále popsány další provedené zkoušky jak na asfaltových pojivech (BBR, DSR), tak na zkušebních tělesech z vyrobených asfaltových směsí. Jedná se především o cyklickou zkoušku v tahu (CCT), která byla prováděna za účelem lepšího zohlednění vyššího zatížení při 60 °C, namísto standardních 40 °C, a zkoušku nízkoteplotních vlastností s rovnoměrným poklesem teploty (TSRST). Autoři uvádějí, že nejhorší výsledek zkoušky byl naměřen u pojiva 10/40-85 od výrobce označeného A (výrobci pojiva nejsou v článku uvedeni názvem). Teplota porušení u vzorků s tímto typem pojiva dosahovala průměrně -18,6 °C, a to jak u vzorků připravovaných při standardní teplotě míchání (185 °C) a hutnění (145 °C), tak i při redukováných teplotách (160/145 °C a 160/130 °C). Ostatní vzorky dosáhly v průměru nižších hodnot teploty porušení než -25,0 °C, čímž splnily požadavky orientačních hodnot teplot porušení pro jednotlivé mrazové zóny v Německu (-15 °C, -20 °C a -25 °C).

Zajímavým poznatkem jsou vzorky s pojivem 10/40-85 C a 10/40-85 D, u nichž dle obrázku 2 vychází vyšší hodnoty teploty porušení při standardních teplotách než u vzorků připravených při nižších teplotách míchání. Tento rozdíl (cca 4 °C), byť velmi malý, může ukazovat na přehřátí a nadměrné zestárnutí asfaltového pojiva při vysoké teplotě míchání.

Ve shrnutí článku autoři uvádí, že nejlepší odolnost proti trvalým deformacím vykazují vzorky s pojivem 10/40-85 3C, zatímco nejmenší náchylnost k prasknutí při nízkých teplotách vykazují vzorky s pojivem 10/40-85 4D a 6D a jako nejméně kvalitní se ukázalo tvrdé pojivo 10/40-85 A. Celkově lze konstatovat, že vliv snížení teploty míchání a hutnění na objemové a odolnostní vlastnosti asfaltových směsí je pouze okrajový, vzorky připravované při nižších teplotách vykazují vyšší kumulativní napětí při zkoušce CCT a nižší teploty při porušení u zkoušky TSRST, v porovnání s referenčními směsmi.

V úplném závěru autoři konstatují, že díky minimálním změnám ve výsledcích provedených zkoušek naměřených na směsích při referenční a při nižší teplotě, je produkce vysoce odolných asfaltových směsí při nízkých teplotách možná i pro velmi vytížené vozovky.

Vliv obsahu asfaltového pojiva na vlastnosti asfaltového koberce mastixového SMA 11

Příspěvek výzkumníků ze slovinského národního institutu pozemního a stavebního inženýrství v Ljubljani pojednává o vlivu obsahu asfaltového pojiva na vlastnosti asfaltové směsi asfaltový koberec mastixový (SMA 11). Cílem výzkumu bylo stanovit a vzájemně porovnat mechanické vlastnosti, životnost, odolnost vůči nízkým a vysokým teplotám, odolnost vůči únavě a tuhost asfaltových směsí v závislosti na jejich obsahu asfaltového pojiva. Pro výzkum bylo připraveno celkem osm různých asfaltových směsí, z nichž čtyři obsahovaly kamenivo vyvřelého (magmatického) původu z lomu Ljubeščica a zbývající čtyři obsahovaly ocelářenskou strusku. Množství pojiva v jednotlivých směsích bylo stanoveno na 6,2 % (označení v článku 2642), 6,6 % (označení v článku 2644) a 7,0 % (označení v článku 2645) u směsí obsahujících přírodní kamenivo a 5,5 % (označení v článku 2702), 5,9 % (označení v článku 2703) a 6,3 % (označení v článku 2704) u směsí s ocelářenskou struskou, přičemž do všech směsí byly navíc dávkovány jako stabilizátor celulózo-vlákná v množství 0,4 %. Po provedení základních zkoušek byla pro každou sadu (přírodní kamenivo / ocelářská struska) připravena čtvrtá směs s optimálním množstvím pojiva a ideální čarou zrnitosti.

Pro účely výzkumu bylo provedeno velké množství zkoušek jak na použitém asfaltovém pojivu, tak na samotných asfaltových směsích. Některé vybrané zkoušky jsou uvedeny v následujícím seznamu:

Zkoušky pojiv

- ▶ penetrace jehlou;
- ▶ bod měknutí metodou KK;
- ▶ bod lámavosti podle Fraasse;
- ▶ stanovení vratné a silové duktility;
- ▶ DSR;
- ▶ MSCR.

Zkoušky směsí a vrstev

- ▶ stékavost pojiva;
- ▶ pojíždění kolem;
- ▶ stanovení nízkoteplotních vlastností jednoosou zkouškou tahem;

Tabulka 1: Výsledky zkoušky pojiždění kolem [2]

Metoda	EN 12697-8:2018	EN 12697-8:2018	EN 12697-22:2020	EN 12697-22:2020	EN 12697-22:2020
Test	Míra zhutnění (%)	Mezerovitost (%)	Hloubka vyjetých kolejí (mm)	Průměrná hloubka vyjetých kolejí PRD _{AIR} (%)	Přírůstek hloubky vyjeté koleje WTS _{AIR} (mm/1 000 cyklů)
2 642	100,1	3,6	1,3	3,3	0,02
2 644	99,8	2,8	1,4	3,4	0,03
2 645	100,2	2,1	1,6	4,0	0,03
2 702	101,6	2,3	2,0	5,0	0,06
2 703	101,4	2,3	2,5	6,1	0,09
2 704	101,2	1,6	2,6	6,5	0,09

Tabulka 2: Výsledky zkoušky odolnosti vůči vodě [2]

	Kamenivo (Ljubeščica)			Ocelářská struska (ABS slag)		
Vzorek číslo	2 642	2 644	2 645	0 702	2 703	2 704
Obsah asfaltu (%)	6,2	6,6	7,0	5,5	5,9	6,3
ITS _d (ve 25 °C) (kPa)	913	870	853	932	930	836
ITS _w (ve 25 °C) (kPa)	744	732	731	897	885	825
ITSR = $100 \times \frac{ITS_w}{ITS_d}$ (%)	81,5	84,2	85,6	96,2	95,2	98,7

- ▶ stanovení únavy (4PB-PR a CITT);
- ▶ stanovení modulu tuhosti;
- ▶ stanovení odolnosti proti vodě (ITSR).

vodě, jejich výsledky jsou zobrazeny v tabulce 2. Směsi obsahující ocelářskou strusku dosahují o téměř 15 % vyšší hodnoty ITSR než směsi s obsahem přírodního kameniva.

Autoři po provedení zkoušek konstatují, že s přibývajícím množstvím asfaltového pojiva ve směsi SMA 11 dochází ke zlepšení únavových vlastností (zvýšení počtu únavových cyklů), ale pouze do určité hodnoty. Obsah pojiva převyšující tuto hodnotu již dále nepřispívá ke zlepšení únavových vlastností asfaltové směsi, a naopak se se zvyšujícím obsahem pojiva snižuje odolnost asfaltové směsi vůči trvalým deformacím (tabulka 1).

Zajímavějším poznatkem v článku, který bohužel není autory článku komentován, je spíše než vliv obsahu pojiva, vliv rozdílného typu kameniva. Nejen u zkoušky pojiždění kolem, uvedené v tabulce 1, je zřetelné výrazné snížení odolnosti u směsí obsahujících jako plnivo ocelářskou strusku (směsi 2702, 2703 a 2704) namísto přírodního kameniva (směsi 2642, 2644 a 2645). Tento jev je patrný i u zkoušky stanovení nízkoteplotních vlastností, kde směsi s obsahem ocelářské strusky mají vyšší teplotu porušení oproti směsím z přírodního kameniva až o 4 °C. Vyšší dosažená teplota porušení může být způsobena nižším množstvím dávkovaného pojiva právě do těchto směsí (v průměru o 0,7 % pojiva méně než do směsí s přírodním kamenivem). Zcela opačný trend je pak zaznamenán u zkoušky odolnosti vůči

Modifikace užitečných vlastností vtlačované asfaltové směsi použitím jemného kameniva s různou citlivostí na vodu

Příspěvek odborníka Daniela Rogga z Technical University Munich v Německu pojednává o vlivu nasákavosti jemných částic v za horka válcované asfaltové směsi na její výslednou pevnost. Autor se v článku zabývá mimo jiné problematikou nedostatku evropských norem, které posuzují nasákavost pouze u filleru (vápencové moučky), jakožto nejjemnější výplňové složky asfaltových směsí a opomíjejí vliv vody i na hrubší materiály, převážně do velikosti maximálního zrna 2 mm. Dále popisuje metody, kterými lze alespoň přibližně stanovit citlivosti jemných částic obsažených v asfaltové směsi HRA na vodu. Jedná se například o shake abrasion test, dynamic punch penetration test nebo zkoušku stanovení nízkoteplotních vlastností pomocí jednoosé zkoušky tahem. V úvodu článku se dále zabývá vlivem mineralogicko-petrografického složení jemných částic a použitím zkoušek metylenové modře a ekvivalentu písku na stanovení citlivosti jemných částic na vodu, přičemž poukazuje

na nevhodnost použití těchto metod pro tento účel. Jako jedinou dostatečně přesnou metodu uvádí tzv. shake abrasion test (zkoušku otěrem za třepání).

Proces provádění zkoušky shake abrasion test spočívá ve smíchání směsi z asfaltového pojiva a jemné frakce kameniva (0/2 mm), která je zhutněna a osazena do rotujícího válce naplněného vodou. Po uplynutí daného počtu rotačních cyklů je těleso z válce vyndáno a stanoví se výsledek zkoušky, jakožto poměr hmotnosti otěru k počáteční hmotnosti tělesa v procentech. Standardně jsou pro zkoušku vytvořeny dvě sady zkušebních těles, přičemž první sada je celá tvořena kamenivem frakce 0/2 mm, zatímco u druhé sady je frakce 0/0,125 mm nahrazena frakcí filleru. Tím je dosaženo lepšího posouzení písčité části (0,125/2 mm). Přístroj pro provádění zkoušky je uveden na obrázku 3.



Obrázek 3: Shaking abrasion tester
(zdroj: <https://infratest.net/en/>) [3]

V rámci výzkumu bylo vyzkoušeno 33 vzorků jemných částic, které byly podrobeny různým zkouškám, ať už zkoušce shake abrasion test, tak i podrobnému petrografickému a mineralogickému průzkumu, stanovení objemové hmotnosti, tvaru zrn, zkoušce metylenové modře, ekvivalentu písku atd. Zároveň byly dlouhodobě sledovány úseky 36 silnic, na kterých byly použity do směsi HRA vybrané jemné částice, za účelem stanovení míry ztráty kameniva, koroze či vzniku trhlin. Posuzovány byly jak surové, tak recyklované vzorky kameniva, přičemž některé ze vzorků byly vystaveny ohřevu pro simulaci přípravy asfaltové směsi na obalovně. Z výsledků je patrné, že ohřev kameniva a pravděpodobně i zpětná extrakce jemných částic z asfaltové směsi má významný vliv na snížení shake abrasion, a retrospektivní stanovení této hodnoty je tudíž extrémně složité (obrázek 4).

V rámci výzkumu byla dále představena nová metoda přípravy a skladování vzorků, která měla za cíl prokázat bobtnání jílovitých materiálů v důsledku jímání vody. v této metodě bylo vytvořeno několik směsí typu AC 8 D s 50/70, které se liší svou

mezerovitostí a obsahem uměle přidaných minerálů vápenného bentonitu. Pro porovnání byly vytvořeny vždy dvě sady směsí, a to bez přidaných jílovitých materiálů a s jejich přídatkem. Bylo zjištěno, že k aktivaci bobtnání jílovitých materiálů vlivem vody dochází až při mezerovitosti směsi vyšší než 6 %, a proto byly všechny následně zkoušené vzorky připravovány s mezerovitostí 6,1 %. Ty byly po fázi bobtnání skladovány v suchu po dobu 24 h, 48 h, 1 týdne, 2 týdnů a 5 týdnů tak, aby byla umožněna jílovitým částicím změna z nabobtnaného stavu na původní velikost před saturací. Poté byla zkušební Marshallova tělesa vystavena zkoušce shaking abrasion. Jako optimální doba pro vyschnutí jílovitých částic byl stanoven časový úsek 48 h, u kterého se projevil největší rozdíl otěru po zkoušce „shake abrasion“ mezi referenčním vzorkem (29,7 %) a vzorkem s obsahem bentonitu (52,7 %).

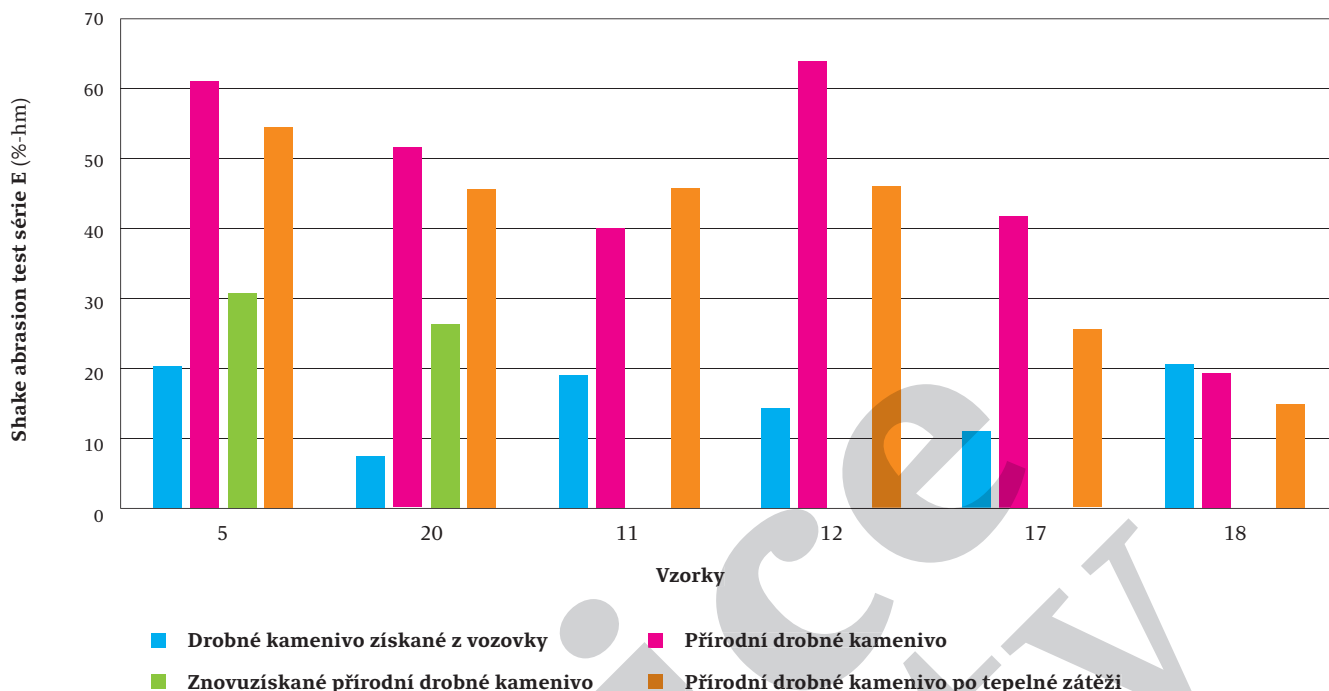
Dále se autor článku zabývá možnostmi využití dalších metod stanovení odolnosti směsi válcovaného asfaltu za horka vůči vodě za pomoci zkoušek, jako je např. zkouška nízkoteplotních vlastností a tvorby trhlin pomocí jednoosé zkoušky tahem nebo cyklická zkouška v tlaku.

V závěru autor konstatuje, že hodnocení vlivu vody na jemné částice je možné provádět jak pomocí zkoušky shaking abrasion, tak za pomoci nově vyvinuté tahové zkoušky. Zároveň autor uvádí, že požadovaná hodnota pro tuto zkoušku (shaking abrasion E = max. 35 hm. %) v německém Bavorsku, která je v platnosti již mnoho let, se zdá být v zásadě vhodná pro výrobu asfaltových směsí a navrhuje ji zapracovat do evropských předpisů.

Inovativní trojitá vrstva asfaltového koberce mastixového (SMA) pro vysoce zatížené vozovky

Článek inženýrů ze společnosti TPA společně s výzkumníky ze STRABAG Poland pojednává o novém unikátním asfaltovém souvrství se zvýšenou odolností vůči pomalé a těžké dopravě. To je tvořeno trojicí vrstev z asfaltového koberce mastixového, upraveného tak, aby odolával i extrémně těžkým zatížením (14 t/nápravu). Pro výrobu asfaltových směsí byla použita speciální vysoce modifikovaná asfaltová pojiva (HiMA by LOTOS Asfalt) a celý návrh byl připravován dle principu tzv. „věčné vozovky“. K použití nestmelené vozovky pro velmi vysoké a pomalu se pohybující zatížení (do 20 km/h) namísto standardního cementobetonového krytu vedla mimo jiné i krátká doba realizace a velká užitná plocha. Výstavba probíhala v roce 2016 v areálu společnosti Efra LOTOS S.A. – Poland a musela být provedena během velmi krátkého času z důvodu simultánně budované rafinerie. Celkem bylo v areálu položeno přes 26 000 m² trojitého SMA povrchu.

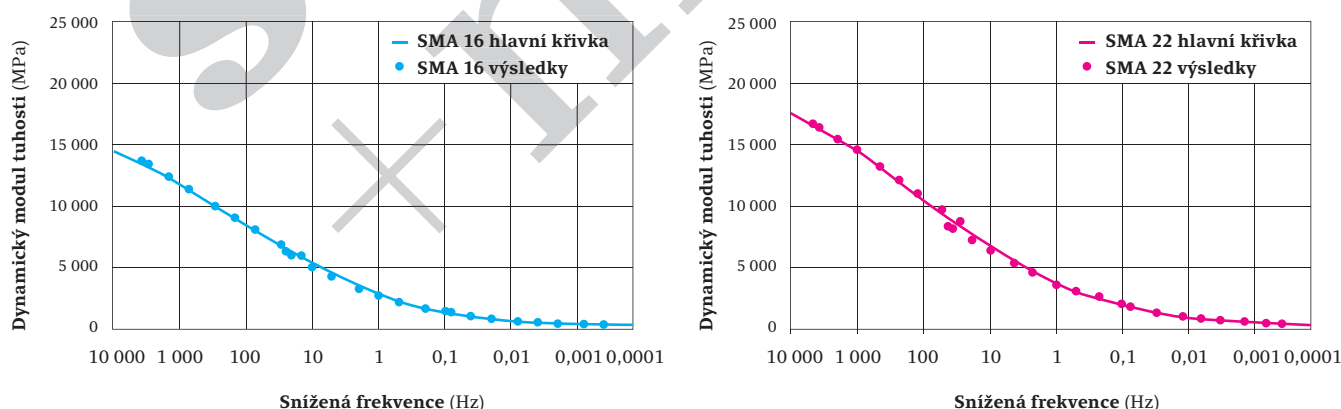
Z výše uvedených důvodů (pomalá a těžká doprava v kombinaci s požadavkem na dlouhou životnost) by standardní netuhá vozovka nedokázala přenést dané zatížení a pravděpodobně by docházelo k nadměrnému rozvoji poruch během doby užívání. Z tohoto důvodu se odborníci z TPA zaměřili na návrh tzv. věčné vozovky, tvořené trojvrstvím z asfaltové směsi SMA, a to za pomoci kombinace mechanicko-empirických metod navrhování, využitím analýzy napětí a přetvoření a deformace konstrukce podle teorie pružného poloprostoru a s využitím pojiv HiMA. Toto



Obrázek 4: Výsledky zkoušky shake abrasion test na vybraných vzorcích [3]

Tabulka 3: Výsledky funkčních zkoušek na směsích SMA 16 a SMA 22 [4]

	$E_T = 10^\circ\text{C}, f = 10\text{ Hz}$ (MPa)	ϵ_6 ($\mu\text{m}/\text{m}$)	T_{fail} ($^\circ\text{C}$)	σ_{fail} (MPa)
SMA 16	9 648	225	-37,7	5,3
SMA 22	11 240	198	-26,0	4,1

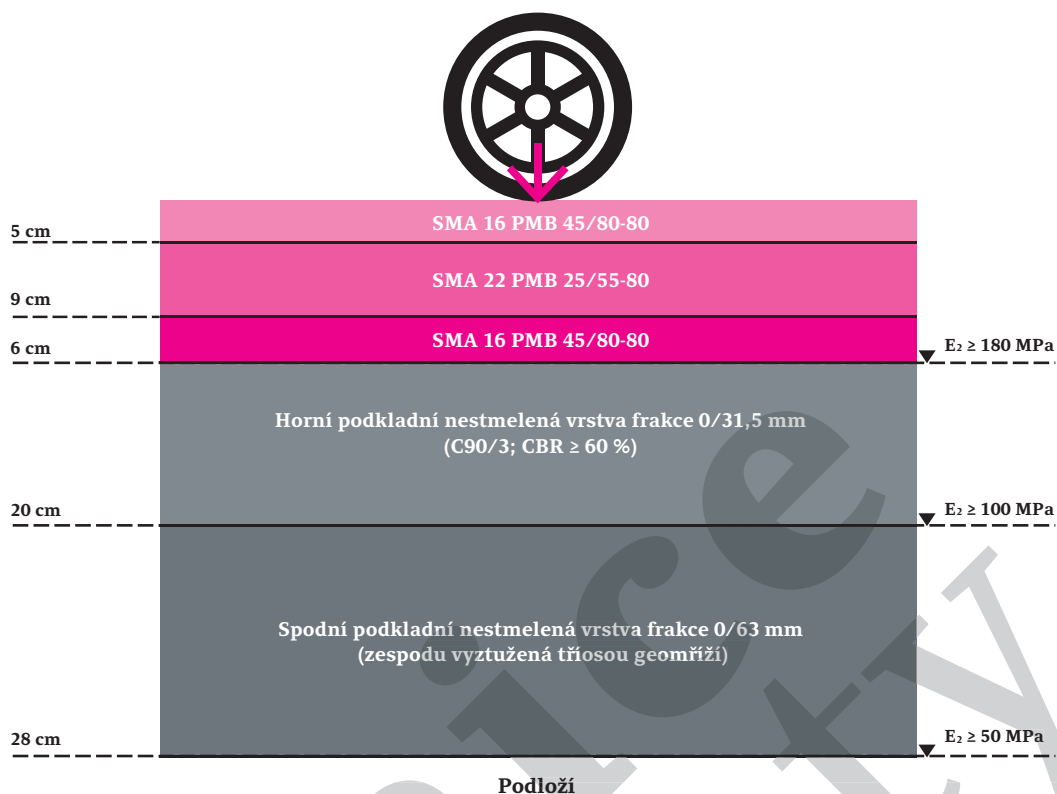


Obrázek 5: Křivka dynamického modulu tuhosti [4]

souvrství by mělo být dostatečně tuhé, aby odolávalo vzniku trvalých deformací, a zároveň flexibilní, aby dobře odolávalo únavě. Díky těmto poznatkům byl vytvořen trojitý SMA kryt, jehož podkladní flexibilní vrstvu tvořila směs SMA s modifikovaným pojivem vyšší gradace (SMA 16 PMB 45/80-80), ložní vrstva (SMA 22 PMB 25/5580), lépe odolávající trvalým deformacím byla tvořena tvrdším modifikovaným pojivem, a ohrančí vrstva, chránící ložní a podkladní vrstvu, obsahovala opět pojivo vyšší gradace (SMA

16 PMB 45/80-80). Obě směsi byly navrhovány s nižší mezerovitostí, okolo 3,0–4,0 %. Zároveň všechny směsi splňovaly německé normové požadavky na výsledky zkoušek poježdění kolem, stanovení modulů tuhosti, stanovení únavy a nízkoteplotních vlastností. Tyto výsledky jsou uvedeny v tabulce 3.

Příklad křivky dynamického modulu tuhosti směsí pro podkladní vrstvu SMA 16 a pro ložní vrstvu SMA 22 při 20 °C je zobrazen na obrázku 5.



Obrázek 6: Skladba vozovky z trojvrstvého krytu SMA [4]



SMA 16 E = 4 650 MPa
HiMA 45/80-80
5 cm

SMA 22 W E = 7 360 MPa
HiMA 25/55-80
9 cm

SMA 16 P E = 4 650 MPa
HiMA 45/80-80
6 cm

Obrázek 7: Trojitý kryt ze SMA [4]

Celý koncept návrhu spočívá ve využití nižší a pružnější podkladní vrstvy, která lépe odolává únavě asfaltové směsi, v kombinaci s nejtlustší, tuhou ložní vrstvou, zabraňující vyjždění trvalých deformací, a měkčí brusnou vrstvou, lépe odolávající trvalým deformacím a dobře přenášející smykové síly. Takto navržené souvrství by mělo odolat vypočtené únavové životnosti 4,3 milionu 115 kN ESAL. Skladba celé položené vozovky je uvedena na obrázku 6.

Ke konci článku autoři uvádí, že veškerá pokládka probíhala za pomoci standardních mechanismů a postupů, jako u obvyklých asfaltových souvrství. Z důvodu homogenizace byla brusná vrstva pokládána v celku během jednoho cyklu. Položená vozovka dodnes odolává velmi těžké a pomalu se pohybující dopravě bez známek většího opotřebení a může tak sloužit

jako kvalitní a rychle proveditelná náhrada s dlouhou životností k tradičnímu tuhému cemento-betonovému krytu.

V úplném závěru autoři děkují společnosti Lotos Asfalt za podporu při návrhu souvrství s využitím vysoce modifikovaných pojiv HiMA a vytvořením možnosti implementace moderního řešení pro velmi zatížené vozovky v podobě trojitého SMA koberce.

**Ing. Karel Spies, Vysoké učení technické v Brně,
Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací**

Literatura

- [1] Schroedter T., Sivapatham P., Esser B. (2024) Influence of temperature reduction on the behaviour of high performance asphalt. In: Proceedings of 8th E&E congress, pp 1102–1113. Guarant International. (ID: 54)
- [2] Tušar M., Zekič J., Ržek L. (2024) Effect of bituminous binder content on the properties of SMA 11 asphalt mixture. Proceedings of 8th E&E congress, pp 249–258. Guarant International. (ID: 58)
- [3] Rogg D. (2024) Modification of the performance properties of rolled asphalt by using fine aggregates with different water sensitivities. Proceedings of 8th E&E congress, pp 201–212. Guarant International. (ID: 69)
- [4] I Grajewska A., Hering M., Ruttman I. (2024) Innovative triple SMA layer for heavy duty pavements. Proceedings of 8th E&E congress, pp 685–691. Guarant International. (ID: 77)