



NÍZKOTEPLTNÍ SMA11+ ASFALTOVÉ SMĚSI S POSOUZENÍM VLIVU VYBRANÝCH TYPŮ PŘÍRAD V KOMBINACI S PMB POJIVY

Zpracovali: Ing. Jan Valentin, Ph.D., Ing. Lucie Soukupová, Ing. Tereza Valentová (Fakulta stavební ČVUT v Praze); Ing. Petr Bureš (Eurovia); Ing. Petr Hýzl, Ph.D. (Fakulta stavební VUT v Brně)

Souhrn

Rozvoj a prosazování nízkoteplotních asfaltových směsí neslouží jen k snižování energetické náročnosti, nýbrž má i přínosy z hlediska omezení emisí skleníkových plynů a zlepšuje hygienické podmínky při práci. Současně v kombinaci s asfaltovým recyklátem vede k šetrnějšímu zpracování tohoto materiálu. Toto platí za předpokladu, že směsi při snížené výrobní teplotě dosahují požadovaných charakteristik chování. V tomto ohledu cílem práce v roce 2014 bylo provedení širokého posouzení účinku vybraných přísad pro snižování pracovních teplot na směsi typu SMA, a to v kombinaci s dosud neověřovanými vlivy při použití polymerem modifikovaných pojiv (PMB). Pro vybranou směs SMA11+ známé a optimalizované čáry zrnitosti bylo zvoleno šest přísad pro snižování výrobní teploty směsi a aplikována dvě PMB pojiva. U všech použitých pojiv (referenční i s přísadami) byly posouzeny jejich charakteristiky. Modifikovaná pojiva upravená jednotlivými přísadami byla použita ve směsi SMA při teplotě výroby snížené o 20°C. Pro jednotlivé varianty byly posouzeny standardní empirické a dále pak funkční charakteristiky směsi se zaměřením na trvanlivost, odolnost proti trvalým deformacím a chování při nízkých teplotách (odolnost proti vzniku trhlin). Výsledky potvrzují ve většině případů mírně pozitivní nebo neutrální vliv přísad na vlastnosti směsi při porovnání s referenční směsí, a to při zohlednění skutečnosti výroby a hutnění při nižší pracovní teplotě. V některých případech (zejména tedy FTP) se potvrzují některé dříve získané poznatky o výraznějším dopadu na zlepšení odolnosti proti plastickým deformacím. Velmi pozitivní je dopad na trvanlivost asfaltové směsi, kdy nebyly prokázány, s výjimkou dvou případů u přísnější metody, negativní vlivy.

Oblast použití

Směsi SMA slouží obecně pro obrusné vrstvy vozovek s vyšším dopravním zatížením. Primárně se u nich předpokládá využití polymerem modifikovaných asfaltů s ohledem k vyšším nárokům na jejich funkční charakteristiky a užitečné

chování. Dosavadní praxe se zaměřovala na využití konceptu snižování pracovních teplot u směsí, kde se aplikovaly běžné silniční asfalty, zpravidla navíc pouze v případech směsí typu AC. Provedená posouzení a analýza zvolených kombinací PMB pojiv s různými přísadami umožní využití principu nízkoteplotních směsí i u asfaltových kobereců mastixových, především v případech jejich provedení s PMB pojivy. Aplikace tak je možná v zásadě pro kteroukoli z posuzovaných přísad – přičemž výsledky provedených experimentů formulují doporučení, které přísady jsou pravděpodobně vhodnější. Využití lze SMA vyrobené se snížením pracovní teploty min. o 20°C, přičemž výroba a následná pokládka se nijak neodlišuje od standardní směsi. Omezení pro konkrétní typy pozemních komunikací či zvolených konstrukcí nejsou stanovena. Při provádění je třeba pouze ve zvýšené míře dbát na proces hutnění, a to v kombinaci s tloušťkou prováděné vrstvy, venkovní teploty a pracovní teploty pokládané směsi.

Metodika a postup řešení

Vlastní laboratorní analýzy a porovnání byly provedeny pro jeden typ SMA směsi se zrnitostí 0/11 a využitím kameniva z lomu Litice. Směs byla navržena s množstvím pojiva 5,80 %-hm., přičemž použitím jednotlivých přísad nebylo množství pojiva nijak upravováno. Aplikovány byly 3 polymerem modifikované asfalty PMB 25/55-55 dvou různých výrobců a PMB 40/100-65. Nad rámec tohoto byl pro porovnání připraven i asfalt 50/70 + PPA (kyselina polyfosforečná), která je považována za alternativní typ modifikátoru. Bylo celkem vybráno 6 přísad na bázi syntetických vosků nebo povrchově aktivních látek (FT parafin, RH parafin, Zycotherm, Evotherm, CecaBase, Rediset), které se vmíchaly do obou PMB 25/55-55. Míchání bylo provedeno vždy při stejné teplotě, stejným počtem otáček a se stejnou dobou míchání.

U celého souboru 16 asfaltových pojiv byly provedeny soubory základních zkoušek (bod měknutí, penetrace, stanovení zpětného přetvoření a stanovení silové duktility) a vybraných funkčních

zkoušek, které slouží k lepšímu vymezení užitého chování asfaltového pojiva a umožňují lepší porovnání takového chování u asfaltového pojiva a asfaltové směsi. Jednalo se především o následující:

- stanovení dynamické viskozity při teplotě 135°C (různé smykové spády) a pro teplotní interval 110-150°C (vybrané smykové spády),
- stanovení deformačních charakteristik při teplotě 60°C zkouškou MSCR (zkouška opakovaného zatěžování a relaxace pro dvě úrovně napětí),
- stanovení komplexních smykových modulů přístrojem DSR pro teplotní interval 20-60°C a frekvenční rozpětí 0,1-10 Hz, kdy se sleduje chování pojiva při středních a vyšších teplotách se simulací různých účinků dopravy. Součástí těchto měření bylo následně provedení přepočtů a vynesení tzv. master křivky pro vztahnou teplotu 20°C.

Uvedený soubor pojiv byl použit pro výrobu stejného počtu směsí SMA11+. Směsi, kde se neaplikovaly zvolené přísady, byly vyrobeny při teplotě 160°C, přičemž při této teplotě byla následně hutněna i zkušební tělesa. Směs s pojivem 50/70+PPA byla vyrobena při teplotě 150°C. Zbývající varianty s pojivy, kde se aplikovala některá z uvedených přísad, byly vyrobeny při teplotě 140°C, a to včetně hutnění zkušebních těles.

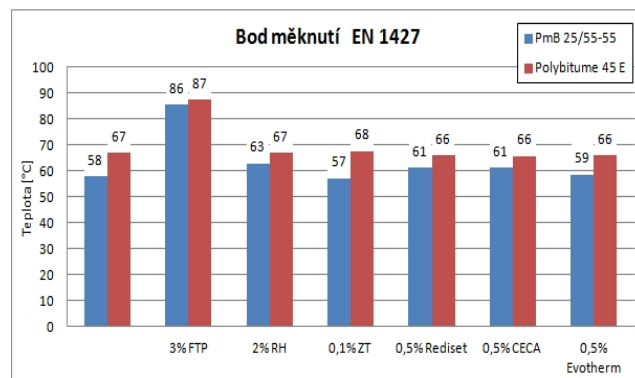
Na vyrobených zkušebních tělesech různých rozměrů (válcová a desková) byl proveden soubor zvolených zkušebních postupů pro ověření chování a funkčních charakteristik těchto směsí s porovnáním vlivu použitých přísad. Jednalo se zejména o:

- stanovení objemových hmotností a výpočet mezerovitosti směsi;
- posouzení trvanlivosti směsi zkouškou vodní citlivosti dle ČSN EN 12697-12 a modifikovaným postupem dle americké normy ASHTO T283;
- stanovení tuhosti asfaltové směsi zkouškou IT-CY pro teploty 5°C, 15°C a 27°C;
- provedení zkoušky odolnosti proti vzniku trvalých deformací při teplotě 50°C a 60°C;
- ověření chování směsi při nízkých teplotách postupy ochlazovací zkoušky (TSRST) se stanovením kritické teploty, zkoušky odolnosti proti šíření trhliny (ČSN EN S2697-44) a stanovením pevnosti v tahu za ohybu a relaxace tříbodovou zkouškou.

Výsledky

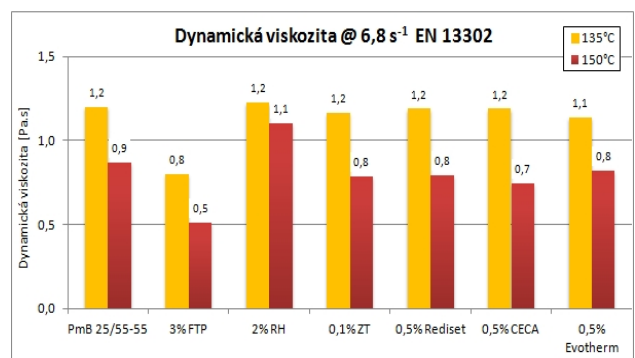
Dále jsou v souhrnu prezentovány některé z dosažených výsledků. V případě základních zkoušek asfaltových pojiv pro nízkoteplotní směsi je uveden graf bodů měknutí. Pro první typ PMB

25/55-55 jsou následně uvedeny některé výsledky funkčních charakteristik.



Obr. 1 Bod měknutí obou skupin PMB 25/55-55.

K nejvýraznější změně bodu měknutí a penetrace při porovnání se základním pojivem došlo u varianty s přísadou FTP. Přidáním 0,5 % Evotherm se zvýšila penetrace o téměř 10 p.j., ale bod měknutí zůstal skoro nezměněn. U ostatních přísad se hodnota penetrace zpravidla snížila a bod měknutí v menší míře zvýšil.

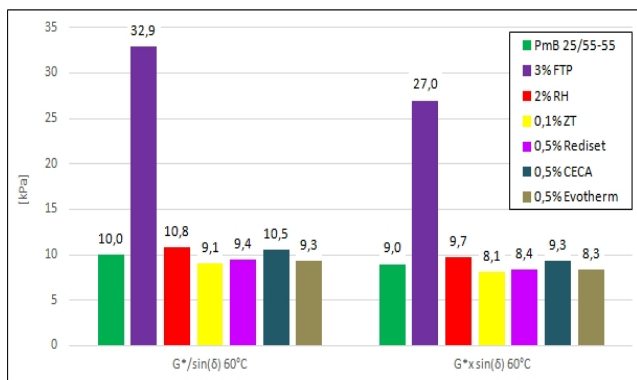


Obr. 2 Dynamická viskozita při 6,8 s⁻¹, PMB 25/55-55.

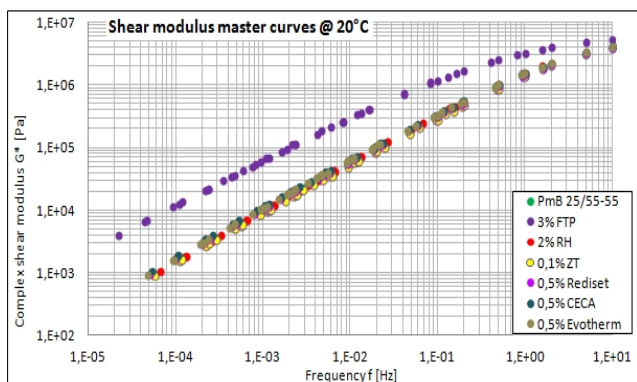
Zkouška dynamické viskozity při rychlosti 20 rpm (směrná rychlost dle amerických standardů) vyšla nejnižší a tedy nejlépe pro vzorky s přísadou FTP. Vliv ostatních přísad není nijak velký. Zajímavé hodnoty dynamické viskozity jsou u vzorků s přísadou RH, v případě s PMB 25/55-55 došlo k mírnému nárůstu viskozity, ale naopak při použití s Polybitume 45E došlo ke snížení viskozity na srovnatelnou úroveň jako s přísadou FTP.

Z řídicích křivek principem TTS přepočítaných ke zvolené teplotě 20°C se získávají hodnoty i pro frekvence, které jsou mimo funkční rozsah přístroje. Výrazně vyšších hodnot komplexního smykového modulu G* dosahuje pojivo s přísadou FTP, které poukazuje na vyšší tuhost pojiva, a to v celém frekvenčním intervalu (odpovídá poznatkům získaným u empirických zkoušek). Ostatní pojiva s přísadami se od základního pojiva PMB 25/55-55 téměř neliší. Odpovídá tomu i základní charakteristika SHRP G*/sin δ (při 60 °C), která je nejvyšší u pojiva s FTP a v ostatních případech se

pohybuje okolo 10 kPa, což splňuje podmínku minimální hodnoty 1 kPa.

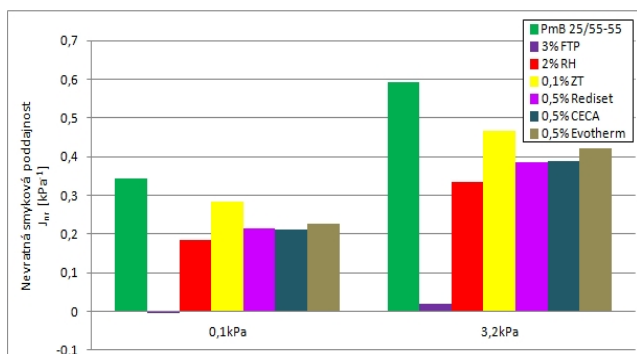


Obr. 3 SHRP charakteristika – pojivo PMB 25/55-55.



Obr. 4 Řídicí křivky G^* při 20°C, pojivo PMB 25/55-55.

Z hlediska deformačních charakteristik nejlepších výsledků v první posuzované skupině z hlediska zkoušky MSCR dosáhlo pojivo s FTP, které má nejvyšší elastické zotavení a zároveň prakticky nulovou nevratnou smykovou poddajnost při obou napětích. Z toho vyplývá nejlepší schopnost odolávat plastickým deformacím. Vzorky s ostatními přísadami dosahují opět vzájemně podobných hodnot. Naopak pojivo PMB 25/55-55 má oproti očekávání nejnižší elastické zotavení a nejvyšší J_{nr} .



Obr. 5 Nevratná smyková poddajnost, pojivo PMB 25/55-55.

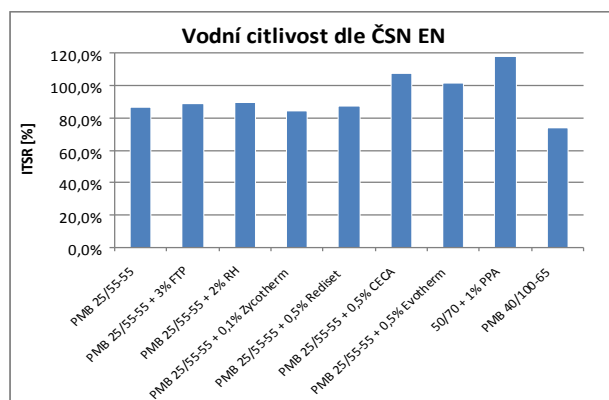
V případě posuzovaných SMA11+ směsí lze obdobně uvést některé výsledky. Z hlediska základních charakteristik jsou zajímavé výsledky mezerovitosti, kde nelze přesně určit přínos či nedostatek jednotlivých přísad. Je patrné, že pro

některé přísady nedošlo vlivem snížení pracovní teploty k zásadnější změně mezerovitosti v porovnání s referenční směsí. Zajímavý je též vliv přísady FTP, a to ve vazbě na dále získané poznatky.

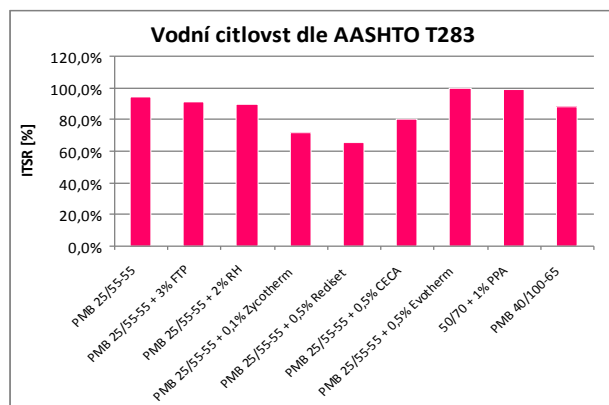
Tab. 1 Základní charakteristiky porovnávaných směsí SMA.

Označení směsi	Použité pojivo	Teplota	Objemová hmotnost	Maximální objemová	Mezerovitost
		hutnění	zhuštěná	hmotnost	
		(°C)	(g.cm ⁻³)	(g.cm ⁻³)	(%)
směs SMA_1	PMB 25/55-55	160	2,508	2,570	2,43
směs SMA_2	PMB 25/55-55 + 3% FTP	140	2,476	2,577	3,91
směs SMA_3	PMB 25/55-55 + 2% RH	140	2,503	2,534	1,21
směs SMA_4	PMB 25/55-55 + 0,1% Zycotherm	140	2,514	2,539	2,92
směs SMA_5	PMB 25/55-55 + 0,5% Rediset	140	2,460	2,584	4,79
směs SMA_6	PMB 25/55-55 + 0,5% CECA	140	2,467	2,529	2,44
směs SMA_7	PMB 25/55-55 + 0,5% Evotherm	140	2,468	2,532	2,53
směs SMA_8	50/70 + 1% PPA	150	2,491	2,544	2,07
směs SMA_9	PMB 40/100-65	160	2,505	2,586	3,13
směs SMA_10	Polybitum 45E	160	2,526	2,613	3,32
směs SMA_11	Polybitum + 3%FTP	140	2,463	2,564	3,95
směs SMA_12	Polybitum + 2%RH	140	2,491	2,541	1,98
směs SMA_13	Polybitum 45E + 0,1% Zycotherm	140	2,469	2,582	4,37
směs SMA_14	Polybitum 45E + 0,5% Rediset	140	2,479	2,580	3,94
směs SMA_15	Polybitum 45E + 0,5% CECA	140	2,493	2,553	2,35
směs SMA_16	Polybitum 45E + 0,5% Evotherm	140	2,447	2,544	2,55

U posuzování trvanlivosti zkouškou vodní citlivosti se prokázalo, že směsi s aplikací jednotlivých přísad vykazovaly srovnatelné – v některých případech dokonce lepší – chování. Lze tak přinejmenším v tomto případě vyvrátit některé opakující se obavy části odborné praxe o možných negativních dopadech snižování pracovních teplot. Velmi dobrých výsledků směsí dosahovaly i při aplikaci přísnějšího postupu dle americké AASHTO. Zde mírně zhoršených výsledků dosahují varianty s přísadami Zycotherm a Rediset (nepotvrzeno při aplikaci s druhým typem PMB).



Obr. 6 Hodnoty poměru ITS pro směsi s PMB 25/55-55.



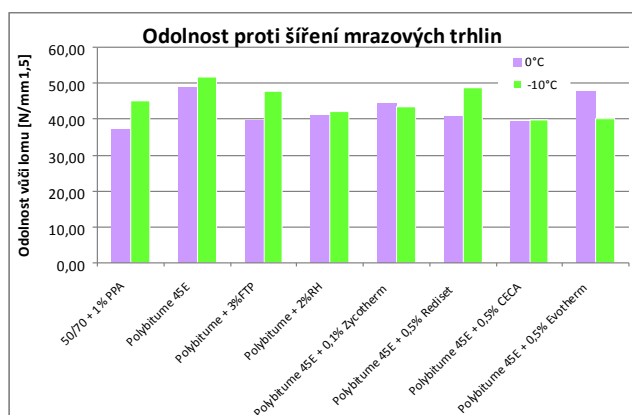
Obr. 7 Hodnoty poměru ITS stanovené metodou s jedním zmrazovacím cyklem pro směsi s PMB 25/55-55.

Pro posouzení odolnosti asfaltové směsi proti účinkům trvalých deformací vyvolaných opakovaným zatížením dopravou byla vedle zkoušky vyjždění kolem aplikována nedestruktivní zkouška opakovaného namáhání v příčném tahu. Z výsledků je v tomto případě patrné, že snížením pracovní teploty při výrobě směsi dochází vyjma varianty s FTP k mírnému poklesu charakteristiky modulu tuhosti při určující teplotě 15°C. Ani v tomto případě při porovnání obou PMB pojiv nelze jednoznačně určit, zda jednotně pro některou z přísad jsou zjištěny zhoršené parametry.

Tab. 2 Hodnoty modulů tuhosti, stanoveno metodou IT-CY.

Označení směsi	Použitá pojivo	Modul tuhosti (MPa) při teplotě		
		5°C	15°C	27°C
směs SMA_1	PMB 25/55-55	16 915	7 007	3 090
směs SMA_2	PMB 25/55-55 + 3% FTP	16 113	7 005	3 650
směs SMA_3	PMB 25/55-55 + 2% RH	15 379	6 828	2 567
směs SMA_4	PMB 25/55-55 + 0,1% Zycotherm	16 510	6 056	1 700
směs SMA_5	PMB 25/55-55 + 0,5% Rediset	13 265	5 776	2 433
směs SMA_6	PMB 25/55-55 + 0,5% CECA	15 072	6 626	2 070
směs SMA_7	PMB 25/55-55 + 0,5% Evotherm	13 805	5 248	1 796
směs SMA_8	50/70 + 1% PPA	13 805	6 542	2 840
směs SMA_9	PMB 40/100-65	14 789	6 709	1 821
směs SMA_10	Polybitume 45E	17 603	8 385	2 962
směs SMA_11	Polybitume + 3%FTP	10 943	6 106	2 737
směs SMA_12	Polybitume + 2%RH	13 726	6 722	2 798
směs SMA_13	Polybitume 45E + 0,1% Zycotherm	10 859	5 608	1 793
směs SMA_14	Polybitume 45E + 0,5% Rediset	13 499	5 952	1 908
směs SMA_15	Polybitume 45E + 0,5% CECA	13 436	5 639	2 624
směs SMA_16	Polybitume 45E + 0,5% Evotherm	14 345	6 646	1 843

Chování asfaltové směsi při nízkých teplotách je důležité zejména s ohledem k střídajícím se ročním obdobím v našich zeměpisných šířkách. Změny teplot vedou k rozdílnému namáhání konstrukce, a to ve vazbě na vazko-pružný charakter asfaltové směsi a případnou přítomnost vody v konstrukci. Zejména první hledisko může při nadměrné křehkosti mít za následek rychlejší degradaci konstrukční vrstvy, resp. možný vznik poruch typu trhliny. Z výsledků je patrné, že při využití zkoušky odolnosti proti šíření trhliny nelze vyvodit negativní dopady jednotlivých typů použitých přísad. Oproti referenčnímu pojivu může docházet k mírnému poklesu charakteristiky lomové houževnatosti, nicméně dosahované výsledky pro obě teplotní úrovně pohybující se na úrovni 40 N/mm^{3/2} lze považovat za více než dobré.



Obr. 8 Výsledky zkoušky odolnosti proti šíření trhliny, pojivo 25/55-55 (druhý typ).

Uvedené lze doložit i výsledky ochlazovací zkoušky TSRST, která stanoví teplotu vzniku trhliny. Vybrané výsledky jsou prezentovány dále. Zde je patrný vliv přísady FTP, která přibližně o 3°C zhoršuje kritickou teplotu.

Tab. 3 Vybrané výsledky ochlazovací zkoušky

Označení směsi	Maximální síla při porušení (kN)	Maximální napětí při porušení (MPa)	Teplota ve zkušební komoře při porušení (°C)	Teplota ve zkušební tělese při porušení (°C)
SMA S1	12,43	4,97	-23,5	-20,5
SMA S2	11,57	4,63	-23,5	-20,7
SMA S7	7,90	3,16	-24,1	-20,1
SMA S9	10,40	4,16	-24,2	-22,2
SMA S11	6,27	2,51	-21,8	-17,5

Závěr

Byl proveden široký soubor porovnání vlivu 6 různých přísad pro snižování výrobních teplot u asfaltových směsí typu SMA. Výsledky potvrdily možnost aplikace těchto přísad bez dopadů na zhoršení chování asfaltové směsi vyrobené při nižší teplotě. Existují jednotlivé výsledky, které mohou poukazovat pro některou z vlastností mírné ovlivnění či zhoršení, v celkovém měřítku však lze spíše dopad přísad hodnotit pozitivně, tzn. nejen z hlediska možnosti omezení výrobní teploty, ale v řadě případů i z hlediska kladných vlivů na chování směsi.

Nebylo provedeno podrobnější vzájemné porovnání charakteristik asfaltových pojiv a směsí, kde tato pojiva byla aplikována. Z hlediska deformačních charakteristik lze předběžně říci, že zde logické souvislosti jsou, nicméně v dalším kroku se předpokládá podrobnější vzájemné posouzení srovnatelných charakteristik pojiv a směsí. Pozornost bude věnována též dokončení ověření chování při nízkých teplotách a zvažováno je posouzení vlivu stárnutí asfaltového pojiva, a to v případné kombinaci s únavovým chováním. Současně poznatky budou využity v rámci skupiny aktivit zaměřujících se na recyklaci asfaltových vozovek pro další posuzování účinku přísad v asfaltové směsi, kde se aplikuje i různé množství asfaltového R-materiálu.

Literatura

- [1] Epps A., et al.: Moisture Sensitivity of WMA – A review and look to the future. Proceedings 2nd International Warm-mix Conference (prezentace), St. Louis, 2011.
- [2] Bennert T., Brouse G.: Influence of Initial Aggregate Moisture Content and Production Temperature on Mixture Performance of Plant Produced Warm Mix Asphalt. Proceedings 2nd International Warm-mix Conference (prezentace), St. Louis, 2011.