



## OVĚŘENÍ VLIVU REJUVENÁTORŮ A VYBRANÉ POVRCHOVĚ AKTIVNÍ PŘÍSADY NA VLASTNOSTI SMĚSI ACO S 50% PODÍLEM R-MATERIÁLU

Zpracovali: Ing. Pavla Vacková, Ing. Jan Valentin, Ph.D. (Fakulta stavební ČVUT v Praze); Ing. Václav Neuvirt (Nievelt Labor Praha)

### Souhrn

V oblasti technických řešení pro energeticky úsporné asfaltové směsi v kombinaci s využitím asfaltových recyklátů byla pozornost zaměřena ve větší míře na vybrané rejuvenátory a jejich porovnání s některými nízkoteplotními přísadami, které by byly využitelné v asfaltové směsi při aplikaci asfaltového R-materiálu. Byla zvolena standardní asfaltová směs, u které bylo cílem nahradit 50 % kameniva asfaltovým R-materiálem zrnitosti 0-11 se známým obsahem pojiva. Dále byly vybrány komerčně dostupné rejuvenátory, o kterých existují zahraniční poznatky s jejich aplikací a současně s tím několik typů českých vyvíjených oživovacích přísad společnosti PARAMO, která s ČVUT spolupracovala na dobrovolné bázi při řešení tohoto tématu a poskytla potřebné nové přísady. Současně s tím byly zvoleny dvě přísady povrchově aktivních látek, které se standardně aplikují pro tzv. nízkoteplotní asfaltové směsi – v případě s R-materiálem se využívá skutečnosti, že tento materiál nemusí být ohříván na teploty vyšší než 130°C, což omezuje degradaci asfaltového pojiva v R-materiálu. V neposlední řadě bylo zvoleno i průmyslově připravené pojivo, které rejuvenační přísadu již má v sobě. Nízkoteplotní přísady byly aplikovány do asfaltového pojiva, rejuvenátory potom přímo do asfaltové směsi při její výrobě. Pro některé oživovací přísady bylo samostatně ověřeno, jaký vliv má různé dávkování dané přísady a nakolik je možné snížit teplotu R-materiálu z úrovně 130°C na úroveň 110°C. Pro veškeré varianty byly provedeny vybrané empirické a funkční zkoušky s cílem porovnat účinky přísad na vlastnosti výsledné směsi. Souběžně s tím byly vyrobeny i referenční směsi a to bez R-materiálu a s 50% množstvím R-materiálu. Z výsledků jsou patrné různé vlivy jednotlivých přísad, kdy některé ve větší míře vedou k změkčení pojiva v R-materiálu a tudíž pak ovlivňují celkovou tuhost materiálu. Pozitivní je zjištění minimálního vlivu přísad na vlastnosti při nízkých teplotách a současně i velmi dobré hodnoty charakteristiky trvanlivosti.

### Oblast použití

Využití asfaltového R-materiálu v nových asfaltových směsích (především typu AC) se dnes stává již zavedeným standardem. Výrobci jsou vedle normových požadavků stanovených na národní úrovni nadále limitováni především výrobním zařízením a nezbytností ohřevu R-materiálu na vyšší pracovní teploty. Tato skutečnost do určité míry omezuje využití vyššího podílu R-materiálu v asfaltových směsích. Z hlediska normových požadavků jsou limitem vedle nestejnorození materiálu především požadavky na kvalitativní charakteristiky. Oběma aspektům do určité míry lze předcházet či je řešit buď aplikací vhodného typu rejuvenátoru nebo přísady využívané pro tzv. nízkoteplotní asfaltové směsi.

Výsledky experimentální práce provedené v rámci tohoto dílčího úkolu za rok 2014 jsou využitelné právě při řešení uvedených omezujících podmínek. Rejuvenátory umožní zlepšit některé negativní vlastnosti pojiva v původním recyklátu a kombinace s přísadami pro snížení pracovních teplot zajistí ohřev R-materiálu při nižších teplotách. Uvedené poznatky a zejména dosažené výsledky jsou přímo aplikovatelné u výrobců asfaltových směsí a budou využity při provozním testování asfaltových směsí s takovýmto podílem asfaltového R-materiálu.

### Metodika a postup řešení

Při vlastním laboratorním řešení této aktivity byla nejprve zvolena reprezentativní směs. S ohledem k vyšším nárokům a současně jednodušší manipulaci byla vybrána směs ACO11+ s kamenivem Libodřice. Současně byl vtipován R-materiál, kde byla garantována jeho větší dostupnost v průběhu celého roku řešení. Pro tento účel bylo vyčleněno větší množství materiálu, které pak sloužilo k vlastnímu průběžnému odběru potřebného množství v pro laboratoři. Pro R-materiál byla stanovena (opakovaně) čára zrnitosti a byl proveden rozbor materiálu se stanovením množství asfaltového pojiva v R-materiálu. Tato informace je klíčová pro upřesnění množství asfaltu, který byl následně dávkován do vlastní asfaltové směsi

ACO11 s 50 % R-materiálu. V tomto ohledu se předpokládala aktivita celého podílu pojiva v původním R-materiálu. Dále byla vybrána skupina vhodných oživovacích přísad, přičemž byly vybrány jak zavedené a komerčně dostupné přísady (Iterlene, Storflux), tak rejuvenační přísady, které jsou v současné době ve vývoji (spolupráce na bezplatné bázi se společností PARAMO, člen skupiny PKN Orlen). Vedle toho byly vybrány i přísady pro tzv. nízkoteplotní asfaltové směsi. Zde se jednalo především o aditiva Evotherm a Zycotherm. Pro posouzení různých přístupů bylo dále zvoleno i pojivo Regenis, které se aplikuje jako hotový průmyslový produkt, který již obsahuje oživovací přísadu smíchanou s asfaltovým pojivem.

S jednotlivými přísadami či pojivy byla vyrobena asfaltová směs stejné zrnitosti, přičemž R-materiál byl vždy ohříván na teplotu 130°C (s výjimkou posuzované varianty u přísady Iterlene, kde se provedl i ohřev při 110°C). Pro některé přísady bylo dále provedeno ověření množství dávkované přísady na výsledné charakteristiky. Vlastní směs byla vyrobena a hutněna při standardní teplotě 150°C. Na zkušebních tělesech byl postupně proveden soubor empirických a funkčních zkoušek s posouzením mezerovitosti, odolnosti směsi proti účinkům vody, posouzením tuhosti a odolnosti proti trvalým deformacím, jakož i ověření chování asfaltové směsi v oboru nízkých teplot (odolnost proti vzniku a šíření trhliny). Výsledky byly porovnávány s referenční směsí bez aplikace R-materiálu a s upravenou referenční směsí, kde se využilo 50 % R-materiálu bez jakékoli další přísady.

## Výsledky

Pro směsi ACO11+ je z hlediska mezerovitosti určen přípustný interval 2,5-4,5 %-obj. Všechny posuzované směsi jsou nerovnoměrně rozloženy v tomto intervalu. Mezi směsmi nelze sledovat u této charakteristiky žádný logický trend. Největší vliv na objemovou hmotnost a mezerovitost směsi má čára zrnitosti. V případě použití většího množství R-materiálu ve směsi však nejde při stávajícím způsobu získávání R-materiálu (recyklát z různých staveb a různých konstrukčních vrstev) zaručit navrženou křivku zrnitosti. Je proto patrný poměrně významný vliv použití R-materiálu na mezerovitost směsi. Lze doplnit, že jednotlivé asfaltové směsi byly v různých skupinách vyráběny s využitím asfaltového R-materiálu 0/11 s odběrem v různých časových okamžicích, a tudíž v asfaltových směsích nebylo možné dodržet využití identického R-materiálu (ze stejného dne odběru). Na druhé straně je třeba zdůraznit, že i přes opakované rozborů zrnitosti a množství pojiva v tomto R-materiálu není a logicky ani nemůže být garantována jeho

homogenita i přes vyčlenění velkého množství materiálu pro tento výzkum. Důvodem je skutečnost, že u jednotlivých vlastníků asfaltového R-materiálu nikdy neprobíhá oddělené skladování materiálu z různých frézovaných vozovek. Současně s tím nadále přetrvává skutečnost, že frézování jen ve výjimečných případech probíhá odděleně pro jednotlivé vrstvy.

Tab. 1 Základní empirické charakteristiky variant.

Směs	Objemová hmotnost	Maximální objemová hmotnost	Mezerovitost
	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )	(%)
referenční - I	2673	2745	2,6
referenční - II	2679	2747	2,5
referenční - 50% RAP	2532	2600	2,6
referenční - 50% RAP - 10/3/2014	2515	2638	4,7
referenční - 50% RAP - 24/3/2014	2567	2625	2,2
REGENIS	2537	2617	3,1
Regenis (3%)	2554	2610	2,1
Storflux	2493	2570	3,0
Evotherm MA3	2544	2612	2,6
Paramo Reju 182	2531	2611	3,1
Paramo Reju 553	2535	2631	3,7
Paramo Reju 553 (4%)	2539	2602	2,4
Paramo Reju 161	2527	2631	4,0
ITERLENE (2%)	2541	2600	2,3
ITERLENE (1,5%)	2543	2624	3,1
ITERLENE 110	2565	2618	2,1
ITERLENE 110 (4,9%)	2545	2639	3,6

Moduly tuhosti byly stanoveny v souladu s ČSN EN 12697-26 metodou IT-CY (opakované namáhání v příčném tahu nedestruktivní zkouškou) při třech různých teplotách (5°C, 15°C, 27°C). Zjištěné rozpětí modulů tuhosti při 15°C je přibližně od 7 000 do 11 500 MPa. V některých případech dle této charakteristiky směsi v zásadě splňují požadavky na směs typu VMT, což u obrusné vrstvy realizované ve střední Evropě může vést spíše k negativním účinkům a to z pohledu snížené životnosti při nízkých teplotách.

Tab. 2 Moduly tuhosti variant stanovené metodou IT-CY.

Směs	Modul tuhosti			Teplotní citlivost S5/S27
	5 °C	15 °C	27 °C	
	(MPa)	(MPa)	(MPa)	
referenční - 50% RAP	16 978	11 081	3 796	4,5
Regenis	16 562	10 446	2 988	5,5
Regenis (3%)	17 029	7 179	2 177	7,8
Storflux	12 461	7 759	2 055	6,1
Evotherm MA3	18 223	11 558	5 288	3,4
Paramo Reju 182	13 838	8 215	3 909	3,5
Paramo Reju 553	15 782	8 830	4 362	3,6
Paramo Reju 553 (4%)	14 872	8 167	3 082	4,8
Paramo Reju 161	17 363	9 032	2 943	5,9
ITERLENE (2%)	17 670	10 783	3 677	4,8
ITERLENE (1,5%)	16 436	9 973	4 214	3,9
ITERLENE 110	17 373	10 864	4 399	3,9
ITERLENE 110 (4,9%)	14 496	7 688	2 760	5,3

Tělesa každé navržené směsi byla z hlediska trvanlivosti zkoušena v souladu s postupem uvedeným v ČSN EN 12697-12 a dle modifikované metody AASHTO T283. Pro tento účel byly stanoveny tři skupiny těles – suchá tělesa, tělesa podrobena sycení vodou s následným skladováním 72 hodin ve vodní lázni při teplotě 40°C a tělesa podrobena upravenému postupu s jedním

zmrazovacím cyklem, kde jsou tělesa uložena na 18 hodin do teploty  $-18^{\circ}\text{C}$  a poté na 24 hodin uložena ve vodní lázni při teplotě  $60^{\circ}\text{C}$ . Dle dosažených výsledků všechny sledované směsi vyhovují meznímu požadavku ITSR 70 %, který je požadován pro směsi ACO normou ČSN EN 13108-1 a to pro postup dle ČSN EN 12697-12.

Při aplikaci jednotlivých přísad v asfaltovém pojivu je v případě ukazatele ITSR patrné dosažení nárůstu v porovnání se suchými tělesy. S ohledem ke skutečnosti, že tento jev je pozorovatelný u několika směsí, nelze měření považovat za chybná či nesprávná, jakkoli je kladný vliv účinků vody na trvanlivost asfaltové směsi spíše zářející.

Tab. 3 Výsledky posouzení vodní citlivosti směsí.

Směs	Pevnost v příčném tahu			ITSR	ITSR (AASHTO)
	Rdry (MPa)	Rwet (MPa)	Rw+f (MPa)		
referenční - I	1,91	1,71	1,59	0,90	0,83
referenční - II	1,67	1,68	1,80	1,01	1,08
referenční - 50% RAP	2,41	2,33	2,35	0,97	0,97
Regenis_02	2,17	2,03	2,09	0,94	0,97
Regenis (3%)	2,24	1,90	1,90	0,84	0,85
Storflux	1,70	1,41	1,49	0,83	0,88
Evotherm MA3	2,27	2,57	2,25	1,13	0,99
Paramo Reju 182	1,69	1,75	1,73	1,03	1,02
Paramo Reju 553	2,03	2,14	2,15	1,05	1,06
Paramo Reju 553 (4%)	1,89	1,57	1,63	0,83	0,87
Paramo Reju 161	1,85	1,87	1,78	1,01	0,96
ITERLENE (2%)	2,33	2,51	2,10	1,08	0,90
ITERLENE (1,5%)	2,08	2,26	2,44	1,09	1,17
ITERLENE 110	2,37	2,48	2,33	1,05	0,98
ITERLENE 110 (4,9%)	2,31	2,02	1,88	0,87	0,82

Pro další posouzení chování asfaltové směsi při nízkých teplotách bylo provedeno stanovení odolnosti proti šíření trhliny v souladu s normou ČSN EN 12697-44. Půlválcová zkušební tělesa s průměrem 100 mm byla zkoušena při dvou zvolených teplotách, tedy  $0^{\circ}\text{C}$  a  $-10^{\circ}\text{C}$ .

Tab. 4 Výsledky zkoušky odolnosti proti šíření trhliny (SCB).

Směs	Kritická hodnota		Kritická hodnota $-10^{\circ}\text{C} / 0^{\circ}\text{C}$
	$0^{\circ}\text{C}$	$-10^{\circ}\text{C}$	
	K <sub>ic,i</sub> (N/mm <sup>3/2</sup> )	K <sub>ic,i</sub> (N/mm <sup>3/2</sup> )	
referenční - Paramo 50/70	35,49	-	
referenční - OMW 50/70	43,94	49,98	113,7%
referenční - 50% RAP	43,57	35,03	80,4%
REGENIS	45,97	39,21	85,3%
Regenis (3%)	42,13	46,49	110,4%
Storflux	43,86	41,73	95,1%
Evotherm MA3	48,31	40,29	83,4%
Paramo Reju 182	43,45	43,96	101,2%
Paramo Reju 553	43,08	43,60	101,2%
Paramo Reju 553 (4%)	41,62	44,59	107,1%
Paramo Reju 161	46,81	46,73	99,8%
ITERLENE (2%)	40,90	40,60	99,2%
ITERLENE (1,5%)	43,99	44,25	100,6%
ITERLENE 110	45,80	45,49	99,3%
ITERLENE 110 (4,9%)	42,27	45,73	108,2%

U referenčních směsí lze sledovat, jaký vliv na odolnosti vůči šíření trhlin může mít samotné použité pojivo. U referenčních směsí byla použita dvě různá pojiva a jejich kritické hodnoty lomové houževnatosti se liší mezi sebou o téměř 10 N/mm<sup>3/2</sup>. Nejstabilnějších výsledků dosahují směsi s

aplikací rejuvenátorů, tzn. v těchto případech byly sledovány minimální rozdíly mezi kritickými hodnotami lomové houževnatosti při  $0^{\circ}\text{C}$  a při  $-10^{\circ}\text{C}$ . Výraznější rozdíl je zaznamenán u směsi s přísadou Evotherm MA3 a u směsi s průmyslově vyrobeným pojivem Regenis. Tyto směsi dosahují nejvyšších výsledků při  $T=0^{\circ}\text{C}$ , ale naopak nejnižší při  $T= -10^{\circ}\text{C}$ . V případě této zkoušky je dále zajímavé porovnání výsledků u variant směsí s rejuvenátorem Iterlene.

U asfaltových směsí s 50 % R-materiálu se dá předpokládat, že hloubka vyjeté koleje bude vyšší, především při aplikaci oživovacích přísad. Směs s vyšším podílem R-materiálu je obecně sice tužší, ale její schopnost relaxace je omezena již zestárlym pojivem. Navíc zde s ohledem k existenci slepencových zrn z R-materiálu, která se při výrobě asfaltové směsi vlivem teploty rozpadají, dochází k pravděpodobnému zvýšení podílu jemných částic, čímž se ve směsi zvyšuje podíl asfaltového mastixu mezi zrny hrubších frakcí, což může vést opakovaným zatížením při vyšších teplotách k postupnému vytlačování směsi. Z tabulky je patrné, že směsi, které dosahovaly dobrých pevnostních charakteristik, jsou náchylnější k vyjetí kolejí, jakkoli tuto skutečnost nepodporují výsledky dosažených mezerovitostí. Směsi s přísadami Storflux a Reju vykazují velmi nízké hodnoty parametrů odolnosti proti trvalým deformacím. Tyto směsi měly v porovnání s ostatními horší výsledky modulů tuhosti, ale výsledky relaxační zkoušky byly více než pozitivní.

Tab. 5 Výsledky odolnosti směsí proti trvalým deformacím.

Směs	Pokles počátečního napětí na 50% (relaxace)	WTS AIR	PRDAIR
referenční - 50% RAP	184	0,05	3,75
REGENIS	57	0,04	3,01
Storflux	25	0,03	2,51
Evotherm MA3	124	0,04	4,16
Paramo Reju 182	25	0,03	2,70
Paramo Reju 553	65	0,04	3,51
Paramo Reju 553 (4%)	88	0,05	3,88
ITERLENE (2%)	144	0,02	2,64
ITERLENE (1,5%)	167	0,03	3,08
ITERLENE 110	60	0,04	4,26
ITERLENE 110 (4,9%)	47	0,02	2,44

## Závěr

Na vlastnosti asfaltových směsí s velkým procentuálním zastoupením R-materiálu má bezesporu největší vliv zrnitost a kvalita použitého R-materiálu. Před aplikací R-materiálu ve směsi je nutné odebrat dostatečné množství referenčních vzorků a na těch určit základní vlastnosti. Při velkém

objemu výroby je nutné zajistit homogenitu asfaltového recyklátu tak, že bude mít nejen podobnou čaru zrnitosti, ale také podobný obsah a vlastnosti asfaltového pojiva. Tohoto lze dosáhnout především frézováním vozovek po vrstvách, kde se kvalitní obrusná vrstva vyfrézuje a uskladní zvlášť.

Jak je patrné z výsledků studie, typ použitého rejuvenátoru a jeho dávkování má velký vliv na konečné vlastnosti směsi. Asfaltová směs s velkým procentuálním zastoupením R-materiál je obecně sama o sobě tuhá a vykazuje vysoké pevnostní charakteristiky. Směs je ale díky tvrdému zoxidovanému pojivu křehká, což znamená, že je náchylnější k náhlým změnám, ať už klimatických podmínek či zatížení.

U použitých rejuvenátorů lze sledovat obrovské rozdíly ve výsledcích jednotlivých zkoušek. Proto je nutné si před samotným výběrem rejuvenátoru uvědomit, jaké vlastnosti od výsledné směsi vyžadujeme.

V další fázi probíhajícího výzkumu se předpokládá využití i jiných procentuálních podílů R-materiálu pro ověření vlivu přísady při rozdílné přítomnosti R-materiálu, dále budou ve větší míře zahrnuty přísady pro tzv. nízkoteplotní asfaltové směsi a bude prověřena vzájemná kombinace těchto přísad a používaných rejuvenátorů.

## Literatura

- [1] Mogawer, W., et al.: Performance characteristics of plant-produced high RAP mixtures, *J Assoc Asphalt Paving Technol*, 81 (2012), pp. 403–439
- [2] Boriack, P., Katicha, S.W., Flintsch, G.W.: A laboratory study on the effect of high rap and high asphalt binder content on the performance of asphalt concrete
- [3] Terrel, R., Epps, J.: Using additives and modifiers in hot-mix asphalt, *Quality Improvement Series (QIP 114 A)*, NAPA, Lanham, MD (1989)
- [4] Zaumakis, M., Mallick, R.B., Frank, R.: Evaluation of different recycling agents for restoring aged asphalt binder and performance of 100 % recycled asphalt. *Materials and Structures*.
- [5] Guo, N., et al.: Laboratory performance of warm mix asphalt containing recycled asphalt mixtures. In: *Construction and Building Materials*. 2014, s. 141-149. ISSN 09500618. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2014.04.002.
- [6] Zaumakis, M., Mallick, R.B., Frank, R.: 100% recycled hot mix asphalt: A review and analysis. *Resources, Conservation and Recycling*. 2014, vol. 92, s. 230-245. DOI: 10.1016/j.resconrec.2014.07.007.
- [7] Iterchimica. ACF 1000 bitumen regenerator. Technical brochure.