

# Experimentální posouzení asfaltového betonu s 50 % R-materiálu a oživovací přísadou (rejuvenátorem) Anova 1817

Článek se zaměřuje na poznatky experimentálního posouzení vlivu nového typu komerčně dostupného rejuvenátoru na vlastnosti asfaltové směsi s vyšším podílem R-materiálu při zohlednění různého procenta dávkování přísady s cílem dosáhnout odpovídající efekt oživení zestárnutého asfaltu. Jelikož takový účinek má být pokud možno i trvanlivý, jsou do výsledků zahrnuty též poznatky se simulací dlouhodobějšího stárnutí. Vedle toho je provedeno posouzení základních charakteristik pro zpětně získané pojivo vydestilované z použitého R-materiálu, do kterého jsou vmíchány podobné podíly rejuvenační látky. Základní zkoušky jsou doplněné o některé poznatky funkčních zkoušek pojiv, které se zaměřují například a deformační chování nebo změnu reologických charakteristik v závislosti na teplotě, při které k měření dochází. Pro výsledky získané u asfaltového pojiva s různými úrovněmi použitého dávkování oživovací přísady je následně vymezen index rejuvenace jako jistá možnost rychlého posouzení kvalitativního účinku přísady na zdegradované pojivo.

**Klíčová slova:** asfaltový beton s vyšším podílem R-materiálu; rejuvenace; oživovací látka; tuhost; šíření trhliny; stárnutí; vlastnosti pojiva; MSCR test; BTSV test; index rejuvenace

*The paper focuses on the findings of an experimental assessment of the effect of a new type of commercially available recycling agent (rejuvenator) on the properties of asphalt mixtures with a higher proportion of reclaimed asphalt, taking into account different percentages of additive dosage, in order to achieve an adequate rejuvenation effect of aged bitumen. Since such an effect is to be preferably durable, the results also include the findings with the simulation of long-term ageing. In addition, an assessment of the basic characteristics is made for a recovered binder distilled from the used reclaimed asphalt with similar proportions of rejuvenating agent mixed in. The basic tests are complemented by some findings from functional tests of binders, which focus on, for example, deformation behaviour or the change in rheological characteristics depending on the temperature at which the measurement occurs. A rejuvenation index is then defined for the results obtained for asphalt binder with different levels of applied dosage of the rejuvenating additive as a certain possibility to quickly assess the qualitative effect of the additive on the degraded binder.*

**Keywords:** Asphalt concrete with elevated RA content; rejuvenation; recycling agent; stiffness; crack propagation; ageing; binder properties; MSCR test; BTSV test; rejuvenation index

## Úvod

V posledních letech byla publikována celá řada článků věnující se problematice asfaltových směsí se zvýšeným podílem R-materiálu. Tato technologická úprava tradičních asfaltových směsí se především u asfaltových betonů stává zavedeným standardem, přičemž na potřebnost efektivně asfaltový R-materiál opětovně využít by měla reagovat i probíhající revize normy ČSN 73 6121. V současnosti z řady úseků pozemních komunikací známe aplikace asfaltové směsi typu ACP s 40 % až 60 %-hm. R-materiálu. Přibližně 40% podíl R-materiálu se postupně „zabydluje“ také u směsí typu ACL, přičemž i další dílčí zvýšení takového podílu dle dosavadních experimentálních poznatků by nemělo představovat z hlediska trvanlivosti a životnosti asfaltové vrstvy riziko, pokud se samozřejmě dodrží technologická kázeň a nezbytné další kroky, kterými je například použití oživovacích přísad nebo vhodného typu modifikovo-

vaného asfaltu. V případě asfaltových směsí pro obrusné vrstvy je náš přístup obecně obezřetnější, ačkoli i zde by použití 30 % až 40 % R-materiálu v dohledné době nemělo být nemožné. Samozřejmě takový přístup si vyžádá odpovídající třídění a volbu R-materiálu, nicméně to je především věcí efektivního hospodaření s druhotnými surovinami, což by v současnosti již měla být zavedená součástí systému výroby každého zavedeného výrobce asfaltových směsí.

V rámci konference Asfaltové vozovky 2021 byly prezentovány kromě jiného dva články s dílčími výsledky získanými na ČVUT v Praze. Jeden [1] se věnoval srovnání několika typů rejuvenátorů, další [2] se potom zaměřil na využití těchto a dalších rejuvenátorů v asfaltové směsi ACL 16+ s 30 % R-materiálu. U této směsi byl jako přidávané pojivo použit silniční asfalt 50/70 a přírodní kamenivo pocházelo z lokality Zbraslav (s dílčím doplněním části frakce 0/4 mm z kamenolomu Lašovice). Pro tyto

vstupy byly souběžně navrhovány i varianty ACL 16+ s 50 % R-materiálu, přičemž některé výsledky lze dohledat např. v [3]. Tuto skutečnost uvádíme z důvodu, že stejná směs byla zvolena pro posouzení efektu nového typu oživovací přísady založené na rostlinné bázi (bio-produkt), který se na českém trhu zavádí pod označením Anova 1817 a jejímž výrobcem je americký koncern Cargill. Z hlediska vlivu na zestárnuté asfaltové pojivo byla tato přísada v ČR testována již dříve, viz především zpráva [4], a někteří výrobci asfaltových směsí již testovali její využití ve výrobě.

Na základě poznatků odborné zprávy [4] a upřesnění od výrobního distributora výrobku pro ČR společnosti CIUR a.s. bylo provedeno experimentální posouzení účinku oživovací přísady Anova 1817 v množství 6 %, 10 % a 14 % z hmotnosti zestárnutého pojiva v R-materiálu. Optimální množství oživovací přísady pro daný typ R-materiálu jehož penetrace se pohybovala v rozmezí 15 p.j. až 20 p.j. bude někde v rozmezí 6 % a 10 %. Tuto optimalizaci zde podrobněji nepředstavujeme, protože nebyla primárním cílem a předmětem provedených laboratorních zkoušek.

Pro doplnění byla vedle referenční směsi, kterou představoval asfaltový beton s 50 % R-materiálu bez jakékoli oživovací přísady, ještě navržena a posouzena identická směs s pojivem 70/100. Důvodem je skutečnost, že se použití měkkého asfaltového pojiva nadále těší u některých odborníků všeobecné preferenci, ačkoli z našich poznatků, výsledků řady mezinárodních studií i vlivu dlouhodobě diskutovaného fenoménu „dvojitého obalení“ zrn kameniva asfaltem se doporučuje při vyšším podílu R-materiálu měkký asfaltový pojivo nepoužívat. Důvodem je skutečnost, že při vlastním míchání horkého R-materiálu s kamenivem a přidávaným čerstvým asfaltem není reálně šance, aby došlo k promísení zestárnutého pojiva přilnutého k R-materiálu s přidávaným měkkým pojivem. Fyzikálně a mechanicky to zkrátka není možné – kamenivo v R-materiálu by se muselo doslova „svléknout“ z pojiva, aby se toto pojivo promísilo s měkkým asfaltem a následně takto vzniklý blend mohl obalit kamenivo z R-materiálu i přidávané čerstvé kamenivo. V případě použití oživovacích přísad existuje alespoň z chemického a fyzikálního hlediska naděje, že přidávaná přísada postupně difunduje do zestárnutého pojiva a dílčím způsobem ovlivní jeho vlastnosti. Tedy nejen, že dojde ke snížení bodu měknutí (to zajišťuje celá paleta změkčovacích přísad), ale dojde i k účinku na některé charakteristické chemické skupiny a vzájemný poměr obsahu asfaltů a malténů.

## Základní charakteristiky asfaltové směsi ACL 16+ s 50 % R-materiálu

Mezi základní posuzované charakteristiky asfaltové směsi patří ověření odolnosti asfaltové směsi proti účinkům vody stanovené v souladu s ČSN EN 12697-12, kdy pevnost v příčném tahu je stanovena vždy při 15 °C. Dále byla stanovena objemová hmotnost zhutněné směsi a mezerovitost. Samostatně byla později pozornost věnována odolnosti asfaltové směsi proti šíření trhliny, která může sloužit jako indikátor kvality asfaltové směsi pro její chování v oboru nízkých teplot, což je u asfaltových směsí s vyšším podílem R-materiálu a rizikem zvýšené tuhosti, a tudíž i vyšší náchylnosti ke křehkému lomu důležité hledisko. Zde byla využita tělesa po zkoušce tuhosti, kdy 3 tělesa byla vždy zkoušena jako nezestárnutá (celkově 6 půlválcových těles) a 3 tělesa po laboratorním stárnutí, jak je popsáno samostatně dále. Zkouška byla provedena dle ČSN EN 12697-44 s modifikací postupu, který je dlouhodobě uplatňován a opakovaně publikován ze strany ČVUT v Praze a spočívá v provádění na zkušebních tělesech o průměru 100 mm s rychlostí zatěžování 2,5 mm/min. Navíc jsou uplatněna tělesa hutněná Marshallovým pěchem, nikoli gyrátorem, jak uvádí, resp. vyžaduje předmětná norma.

Pro úplnost doplníme, že všechny varianty asfaltové směsi ACL 16+ s 50 % R-materiálu se vyznačovaly použitím stejného typu kameniva i fileru, stejně tak byl použit stejný zdroj asfaltového R-materiálu 0/8 mm. Uvedená frakce byla zvolena s ohledem k nastavení výroby obalovny, s jejíž recepturou bylo v rámci laboratorního posouzení pracováno. Asfaltové směsi měly také stejný obsah přidávaného asfaltového pojiva, kterým byl silniční asfalt 50/70. Z hlediska laboratorní výroby asfaltové směsi byl nejprve míchán R-materiál s rejuvenátorem, následně bylo přidáno kamenivo a teprve v poslední fázi asfaltové pojivo. R-materiál byl ohříván na 130 °C, což by v dostatečné míře mělo simulovat přístup při výrobě na obalovně s paralelním sušicím bubnem. Současně tím způsobem bylo do jisté míry snahou simulovat vhodnější proces výroby na obalovně, kdy rejuvenátor je buď nastříkovan na studený R-materiál na dopravníku, nebo těsně před či za paralelním sušicím bubnem. Tím získává oživovací přísada delší dobu na zreagování s vlastním R-materiálem, resp. pojivem, které obsahuje.

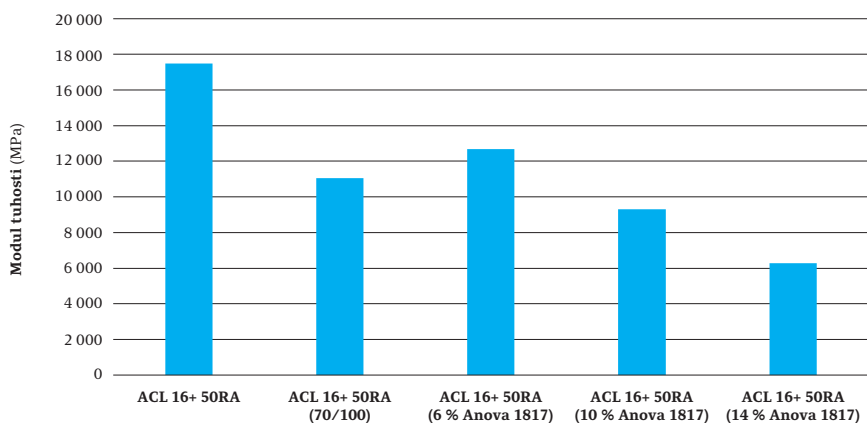
Z výsledků základních charakteristik (viz tabulka 1), mezi které patří mezerovitost a odolnost proti účinkům vody plyne, že zvyšující se množství přidávaného rejuvenátoru má kladný vliv na zpracovatelnost asfaltové směsi, což se projevuje poklesem mezerovitosti. Z hlediska zkoušky stanovení odolnosti proti

**Tabulka 1:** Výsledky základních zkoušek asfaltové směsi, varianty ACL 16+ s 50 % R-materiálu

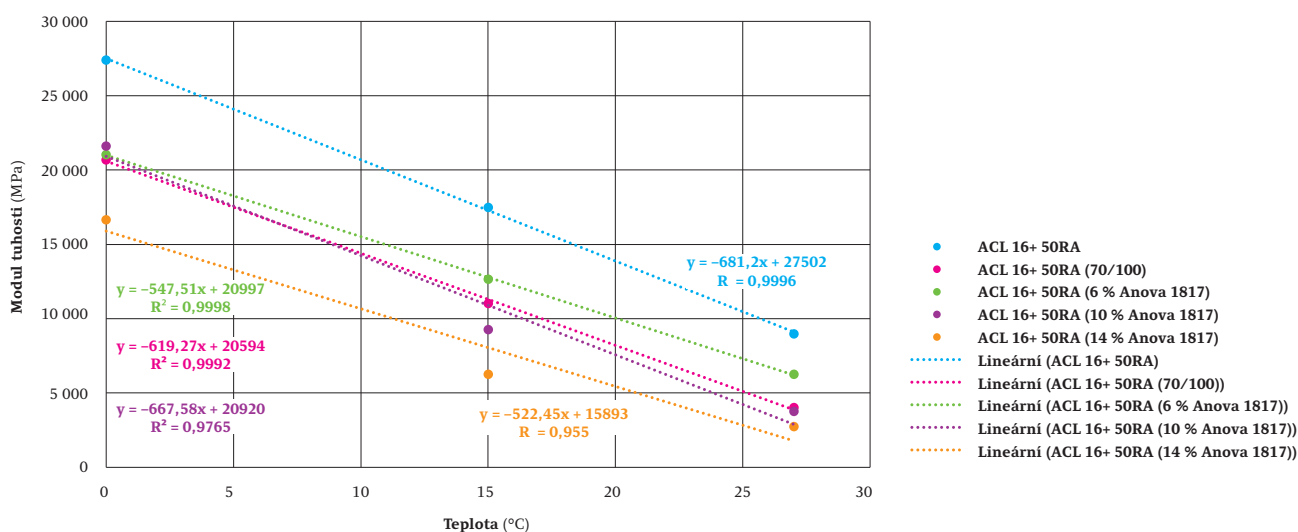
Asfaltová směs	Objemová hmotnost zhutněná	Mezerovitost	Pevnost v příčném tahu (suchá)	ITSR
	(g.cm <sup>-3</sup> )	(%-obj.)	(MPa)	(%)
ACL 16+ 50RA	2,390	6,40	3,05	79,6
ACL 16+ 50RA s 6 % ANOVA 1817	2,388	6,23	2,01	79,3
ACL 16+ 50RA s 10 % ANOVA 1817	2,388	4,43	1,76	94,4
ACL 16+ 50RA s 14 % ANOVA 1817	2,436	2,46	1,26	97,8

**Tabulka 2:** Výsledky zkoušky stanovení modulu tuhosti asfaltové směsi

Asfaltová směs	Modul tuhosti (MPa)			Teplotní citlivost
	0 °C	15 °C	27 °C	
ACL 16+ 50RA	27 407	17 497	8 991	3,05
ACL 16+ 50RA (70/100)	20 712	11 039	4 021	5,15
ACL 16+ 50RA (6 % Anova 1817)	21 048	12 669	6 278	3,35
ACL 16+ 50RA (10 % Anova 1817)	21 637	9 292	3 792	5,71
ACL 16+ 50RA (14 % Anova 1817)	16 678	6 289	2 768	6,02



**Obrázek 1:** Modul tuhosti posuzovaných variant směsi ACL 16+ stanovený při 15 °C



**Obrázek 2:** Závislost modulu tuhosti na teplotě posuzovaných variant směsí ACL 16+ s 50 % R-materiálu

**Tabulka 3:** Výsledky zkoušky stanovení modulu tuhosti po stárnutí

Směs	Modul tuhosti – zestárnutý (MPa)		Index stárnutí (-)	
	0 °C	15 °C	0 °C	15 °C
ACL 16+ 50RA	27 734	21 378	1,01	1,22
ACL 16+ 50RA (70/100)	24 838	16 259	1,20	1,47
ACL 16+ 50RA (6 % Anova 1817)	22 724	15 119	1,08	1,19
ACL 16+ 50RA (10 % Anova 1817)	21 346	11 625	0,99	1,25
ACL 16+ 50RA (14 % Anova 1817)	16 250	7 548	0,97	1,20

účinkům vody lze odvodit, že jednak není třeba mít zvýšené obavy, že vyšší podíl R-materiálu v asfaltové směsi může způsobit nedostačující hodnotu ITSR (tedy zhoršenou trvanlivost), jednak, že s rostoucím procentem rejuvenátoru naopak dochází k zvýšení charakteristiky odolnosti proti účinkům vody. Při velmi zjednodušeném shrnutí takového poznatku by bylo možné tvrdit, že asfaltová směs se dokonce stává trvanlivější. Toto může být způsobeno difúzí rejuvenátoru do zdegradovaného asfaltového pojiva, kdy právě může docházet vedle změkčení i k výše naznačeným změnám v chemické struktuře pojiva. Je však třeba zdůraznit slovo „pravděpodobně“, protože odpovídající analytické zkoušky organické chemie, jako je infračervená spektrometrie (FTIR) nebo analýza podílu saturátů, aromátů, pryskyřic a asfalténů (SARA) nebyly prováděny.

### **Moduly tuhosti asfaltové směsi se zvýšeným obsahem R-materiálu a rejuvenátorem Anova 1817**

Modul tuhosti byl stanoven na všech variantách asfaltové směsi typu ACL 16+ s 50 % RA, a to metodou C (opakované namáhání v příčném tahu) dle ČSN EN 12697-26, a to vždy na 6 zkušebních tělesech. R-materiál byl tvořen frakcí 0/8 mm s obsahem asfaltového pojiva (zestárnutého) v množství cca 6,0 %-hm. Zvolené dávkování je odlišné od experimentálních měření provedených v posouzení vlivu oživovací přísady na pojivo vyextrahované z R-materiálu, jak je uvedeno dále v článku.

Výsledky jsou prezentované v dále uvedených dvou grafech a souhrnné tabulce, přičemž data v tabulce udávají vždy průměr 6 měření. Zde stojí za pozornost hodnota teplotní citlivosti, která je poměrovým ukazatelem tuhosti při nejnižší a nejvyšší teplotě. Jak se opakovaně ukazuje, při vyšší míře rejuvenace, resp. změkčení celkového asfaltového pojiva, je vždy směs více náchylná k změně tuhosti v závislosti na teplotě.

Z hlediska přínosu pro asfaltovou směs lze konstatovat, že při porovnání přístupu s uplatněním oživovací přísady a přístupu s měkčím asfaltovým pojivem bude odpovídající úroveň dávkování rejuvenátoru v intervalu 7 % až 8 %.

Z našeho pohledu zajímavým a důležitým indikátorem je charakteristika tuhosti nebo jiné pevnostní či deformační veličiny, která je opětovně stanovena po zkoušce simulovaného stárnutí. Na Fakultě stavební ČVUT v Praze pro tento účel dlouhodobě uplatňujeme jednu z metod dle prEN/TS 12697-52, při které jsou zkušební tělesa umístěna na dobu 5 dní do sušárny s nucenou cirkulací vzduchu, a to při teplotě 85 °C. O této skutečnosti jsme opakovaně referovali v celé řadě článků zpracovaných v posledních 10 letech na ČVUT v Praze. Po simulovaném procesu stárnutí jsou prováděny zvolené zkoušky – v našem případě stanovení modulu tuhosti. Lze samozřejmě provádět i jiný postup, kdy nejsou stárnutá celá zkušební tělesa, ale volně ložená asfaltová směs (oblíbený přístup propagovaný např. technickou univerzitou v Braunschweigu). Z našeho pohledu nevýhodou tohoto postupu je, že nemůžeme zkoušet identická zkušební tělesa, tedy zkušební těleso, kde jsme stanovili po jeho výrobě modul tuhosti při 15 °C lze při námi voleném postupu opětovně podrobit dané zkoušce znovu. V případě stárnutí volně ložené směsi zkoušíme identickou směs, nikoli identická zkušební tě-

lesa, přičemž zkušební tělesa ztuhne pro zkoušku sledované charakteristiky po stárnutí jsou dodatečně zatížena ohřevem teploty hutnění. Dalším důvodem upřednostnění postupu, který jsme zvolili, je skutečnost, že zkušební ztuhne tělesa odpovídají stavu asfaltové směsi ve vrstvě. Samozřejmě ve vrstvě není těleso rovnoměrně zahříváno stejnou teplotou a vzduch nemá přístup k celému povrchu, nicméně pořád tento postup považujeme za bližší realitě než například postup s volně loženou asfaltovou směsí.

Z výsledků je patrné, že asfaltové směsi jsou z hlediska tuhosti více citlivé na účinek stárnutí při teplotách 15 °C (a dle našich zkušeností i vyšších). Naopak v oboru nízkých teplot, které jsou reprezentovány 0 °C, je zpravidla změna tuhosti velmi malá, a to jak v podobě nárůstu, tak ale i mírného poklesu. V tomto ohledu získané výsledky nejsou překvapující, protože se nezdá stává, že hodnota po stárnutí mírně poklesne. Důvodem, proč teplota 0 °C není z hlediska stárnutí citlivá na změnu tuhosti, tkví ve skutečnosti, že asfaltový kompozit je při této teplotě již značně tuhý sám o sobě, a tedy převyšuje zpravidla jeho fyzikální tuhost nad dodatečným ztužením v důsledku zestárnutí asfaltového pojiva. Relevantní z dlouhodobých měření, kterým se na FSV ČVUT v Praze věnujeme, jsou hodnoty tuhosti stanovené při teplotě 15 °C a při této teplotě odvozené indexy stárnutí, které jsou indexovou charakteristikou stanovenou jako poměr tuhosti po stárnutí a před stárnutím. Z výsledků této charakteristiky lze velmi snadno odvodit, že dochází-li k většímu projevu stárnutí – zvyšuje se tuhost pojiva – potom narůstá i vlastní modul tuhosti a hodnota indexu stárnutí (AI) se vzdaluje od hodnoty 1,0. Pokud tedy vlivem stárnutí dochází k menší degradaci pojiva ve smyslu zvyšování tuhosti, která by se projevila sníženou penetrací, potom se hodnota AI přibližuje hodnotě 1,0.

Z prezentovaných výsledků lze odvodit, že v závislosti na množství použitého rejuvenátoru vliv stárnutí bude vždy podobný, tedy pro interval zvoleného dávkování 6 %-hm až 14 %-hm rejuvenátoru. Dosažený index stárnutí je velmi podobný i variantě referenční asfaltové směsi, kde je použito asfaltové pojivo 50/70 a 50 % R-materiálu. V porovnání s touto hodnotou lze říci, že míra stárnutí je podobná. Neznamena to, že po simulovaném stárnutí je asfaltová směs stejně zdegradovaná, protože modul tuhosti referenční asfaltové směsi je již na počátku vyšší. Naopak zajímavý – a v minulosti již též potvrzený – výsledek přináší pro porovnání uvedená varianta s měkčím asfaltovým pojivem. Zde se naopak ukazuje, že míra degradace asfaltové směsi vlivem stárnutí, což se projeví zvýšeným modulem tuhosti, zde je významně větší. Tato skutečnost svědčí o větší citlivosti kombinace měkčí silniční asfaltové pojivo a R-materiál ke stárnutí. Uvedený poznatek tak je dalším argumentem ve prospěch používání oživovací přísady. Nicméně toto je třeba vždy uvádět jako argument s opatrností a je třeba posuzovat i další charakteristiky a případně volit i delší doby simulovaného stárnutí.

### **Stanovení odolnosti proti šíření trhliny v oboru nízkých teplot**

Z výsledků zkoušky odolnosti asfaltové směsi proti šíření trhliny jsou poznatky obdobné jako u předešlých zkoušek. Asfaltová směs, kde je použit pouze R-materiál bez jakéhokoli změkče-

**Tabulka 4:** Výsledky zkoušky odolnosti proti šíření trhliny, varianty ACL 16+ s 50 % R-materiálu

Asfaltová směs	Lomová houževnatost		Lomová energie do $F_{max}$		Celková lomová energie	
	$K_{IC}$ (N/mm <sup>1,5</sup> )		$G_{f,max}$ (J/m <sup>2</sup> )		$G_f$ (J/m <sup>2</sup> )	
	Nezestárnutá	Zestárnutá	Nezestárnutá	Zestárnutá	Nezestárnutá	Zestárnutá
ACL 16+ 50RA	30,3	34,4	558,0	546,7	953,2	680,0
ACL 16+ 50RA + 6 % ANOVA 1817	35,3	46,6	993,3	1460,0	1115,3	1795,1
ACL 16+ 50RA + 10 % ANOVA 1817	48,4	36,7	1736,2	1354,6	2240,3	2004,2
ACL 16+ 50RA + 14 % ANOVA 1817	45,9	42,3	1469,0	1586,7	1824,3	2059,0

**Tabulka 5:** Výsledky bodu měknutí a penetrace pro vyextrahovaný asfalt z R-materiálu s vlivem rejuvenace

Vzorek	Bod měknutí KK (°C)	Penetrace při 25 °C (dmm)	Penetrační index
RA	60,2	18	-1,02
RA + 4 % ANOVA 1817	53,8	32	-1,25
RA + 8 % ANOVA 1817	48,6	51	-1,52
RA + 12 % ANOVA 1817	44,6	76	-1,69

**Tabulka 6:** Výsledky zkoušky silové duktility pro vyextrahovaný asfalt z R-materiálu s vlivem rejuvenace

RA pojivo s 0 %-hm. ANOVA 1817			RA pojivo se 4 %-hm. ANOVA 1817		
Deformační energie (J/cm <sup>2</sup> )	První vzorek	Druhý vzorek	Deformační energie (J/cm <sup>2</sup> )	První vzorek	Druhý vzorek
$E_{max. síla}$	0,3163	0,9416	$E_{max. síla}$	0,3467	0,3496
$E_{20 cm}$	4,3708	4,8719	$E_{20 cm}$	1,7956	1,6060
$E_{40 cm}$	–	–	$E_{40 cm}$	–	–
$E_{40-20 cm}$	–	–	$E_{40-20 cm}$	–	–
$E_{porušení}$	4,3860	4,8960	$E_{porušení}$	1,8337	1,6103
RA pojivo s 8 %-hm. ANOVA 1817			RA pojivo s 12 %-hm. ANOVA 1817		
Deformační energie (J/cm <sup>2</sup> )	První vzorek	Druhý vzorek	Deformační energie (J/cm <sup>2</sup> )	První vzorek	Druhý vzorek
$E_{max. síla}$	0,1190	0,1233	$E_{max. síla}$	0,0520	0,0516
$E_{20 cm}$	0,6388	0,7908	$E_{20 cm}$	0,3060	0,3161
$E_{40 cm}$	0,6618	0,7855	$E_{40 cm}$	0,3716	0,3891
$E_{40-20 cm}$	0,0230	0,0247	$E_{40-20 cm}$	0,0655	0,0740
$E_{porušení}$	–	–	$E_{porušení}$	–	–

ní nebo oživení pojiva se vyznačuje nejnižší hodnotou lomové houževnatosti a lomové energie. Tedy sklon ke vzniku teplotně indukované trhliny zde bude největší. S postupným přidáváním rejuvenátoru se hodnoty zvyšují, což lze přisuzovat účinku oživovací přísady. Nicméně dlouhodobě se domníváme – a pro

asfaltové směsi s R-materiálem toto platí obzvláště – že je potřeba pozornost zaměřit i na dlouhodobost účinku rejuvenátoru, resp. schopnost udržet dobrou odolnost proti šíření trhliny i v čase, kdy je asfaltová směs vystavena stárnutí. Zde samozřejmě nadále jsou varianty s oživovací přísadou (rejuvenáto-



rem) z hlediska výsledných hodnot lepší než varianta výchozí, kde kromě R-materiálu nebylo uplatněno žádné další opatření na snížení tuhosti a křehkosti asfaltové směsi. Nicméně současně není zcela jednoznačná závislost „čím více rejuvenátoru, tím lépe“. To se ukazuje především u charakteristiky lomové houževnatosti, méně již v případě energetických veličin. Tento poznatek je také důvodem, proč z našeho pohledu u zkoušky odolnosti proti šíření trhliny je třeba vždy brát v potaz obě charakteristiky – tedy lomovou veličinu i energetické charakteristiky. Přístup evropské normy ČSN EN 12697-44, která dlouhodobě uvažuje jen lomovou houževnatost, je proto nedostačující a v řadě případů může vést k až zavádějícím interpretacím výsledků o tom, co je „kvalitní“.

### Posouzení vlivu rejuvenátoru na vyextrahované pojivo z R-materiálu

Pro tuto část prováděného posouzení bylo nejprve zajištěno dostatečné množství asfaltového pojiva vyextrahovaného z R-materiálu frakce 0/8 mm. Následně byl prováděn předem stanovený soubor zkoušek v rozsahu stanovení bodu měknutí, penetrace i silové duktility při teplotě zkoušky 15 °C dle ČSN EN 13398. Vyextrahované asfaltové pojivo je dále v jednotlivých tabulkách a grafech označováno jako „RA“.

Z výsledků základních zkoušek asfaltového pojiva je patrný vliv rejuvenátoru, který při smíchání s asfaltovým pojivem snižuje jeho tuhost, a tudíž zvyšuje penetraci a dociluje nižší hodno-

ty bodu měknutí. Samozřejmě v případě rejuvenátorů bychom neměli brát zřetel jen na tyto fyzikálně-mechanické změny, ale pozornost by měla být ve větší míře zaměřena i na změny v chemické struktuře, které se zpravidla projevují různým zastoupením karbonylových a sulfoxidových skupin, které s rostoucí přítomností těchto skupin indikují vyšší míru oxidace. Měření se v tomto případě provádí infračervenou spektrometrií (analýzy FTIR).

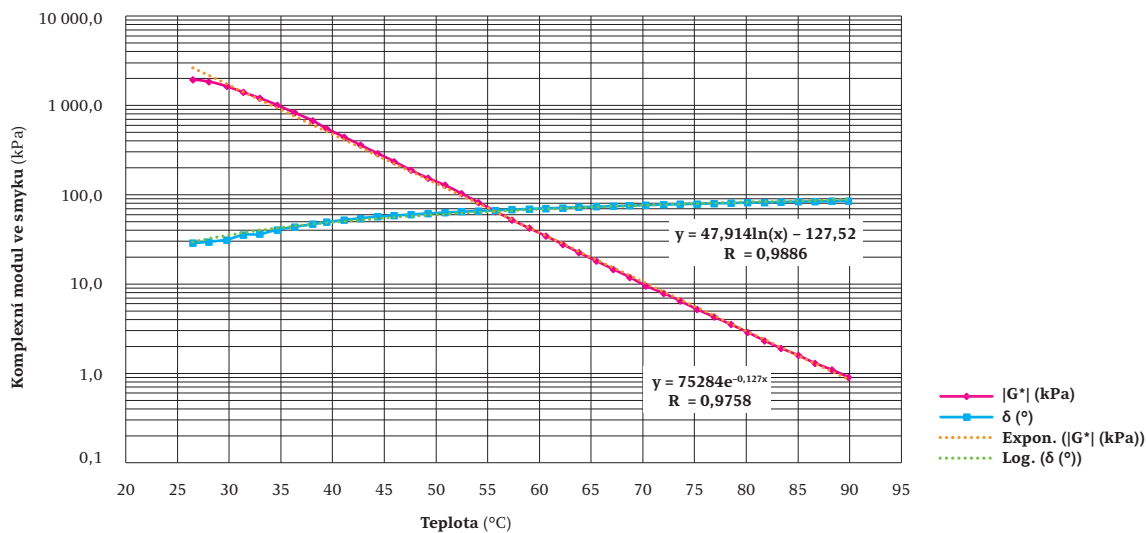
Výsledky silové duktility uvedené v tabulce 6 ukazují, že pokud bychom chtěli zachovat jako jedno z určujících kritérií hodnotu deformační energie stanovené pro interval protažení 20 cm až 40 cm, potom teplota zkoušky 15 °C je pro vyextrahovaný asfalt a variantu se 4 % rejuvenátoru nízká a k přetržení asfaltového vlákna dochází dříve než před jeho protažením na délku 40 cm. To může představovat jeden z možných indikátorů přínosu zvolené dávky oživovací přísady a naznačuje, že s vyšším podílem rejuvenátoru je asfaltové pojivo z hlediska působícího tahového namáhání duktilnější. Jiným indikátorem může být například hodnota deformační energie při protažení na délku 20 cm. V tomto případě je velmi dobře vidět, jak v závislosti na množství dávkované oživovací přísady ANOVA 1817 hodnota deformační energie klesá. To znamená, že pracovní diagram závislosti síly a délky protažení je pro pojivo s vyšším podílem rejuvenátoru plošší. V případě variant s 8 % a 12 % rejuvenátoru ANOVA 1817 potom není uvedena žádná hodnota deformační energie při porušení vzorku asfaltového pojiva. Tato skutečnost je dána tím,

**Tabulka 7:** výsledky zkoušky MSCR asfaltového pojiva vyextrahovaného z R-materiálu s vlivem rejuvenace

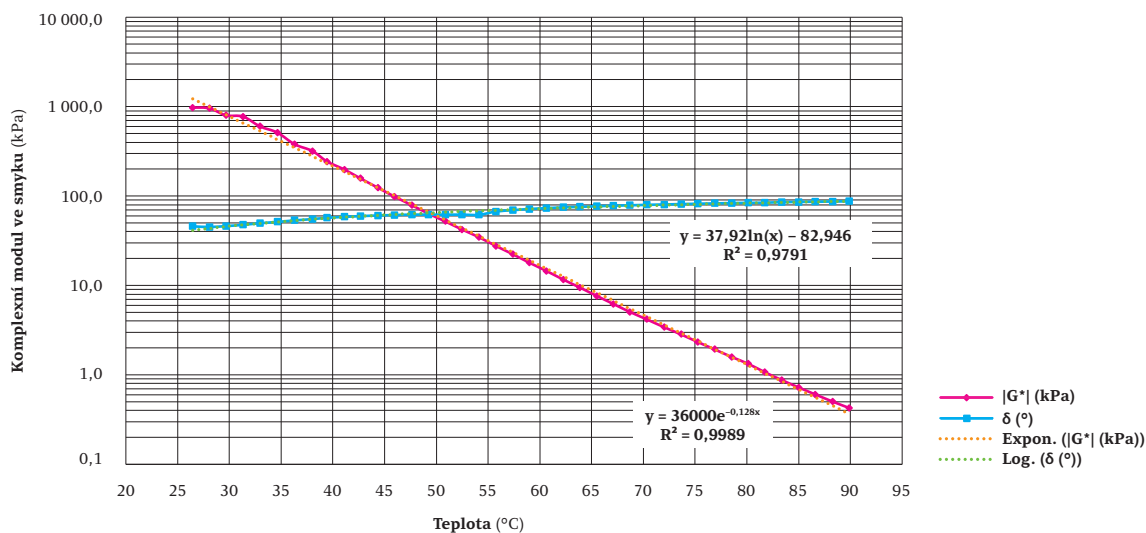
Vzorek	Teplota	Nevratná smyková poddajnost		Elastické zotavení		$(J_{nr\ diff})$	$(R_{diff})$
		$(J_{nr\ 0,1\ kPa})$	$(J_{nr\ 3,2\ kPa})$	$(\%R_{0,1\ kPa})$	$(\%R_{3,2\ kPa})$		
RA	60 °C	0,199	0,218	26,2	21,7	9,4	16,9
	70 °C	0,678	1,140	15,4	4,8	16,5	61,3
RA + 4 % ANOVA 1817	60 °C	0,555	0,655	19,8	10,7	17,9	46,2
	70 °C	2,318	2,380	8,8	1,6	22,1	81,9
RA + 8 % ANOVA 1817	60 °C	1,417	1,742	13,0	3,2	23,0	75,4
	70 °C	5,474	6,895	4,8	-0,7	4,8	114,1
RA + 12 % ANOVA 1817	60 °C	2,735	3,447	9,6	1,1	26,0	88,7
	70 °C	9,757	12,460	3,2	-0,8	27,7	124,1

**Tabulka 8:** Výsledky zkoušky BTSV se stanovením „horní kritické teploty“ asfaltového pojiva vyextrahovaného z R-materiálu s vlivem rejuvenace

Vzorek pojiva	Teplota (°C) splňující podmínku		Fázový úhel posunu (°) při	
	$T( G^* =15kPa)$	$T( G^* =50kPa)$	$T( G^* =15kPa)$	$T( G^* =50kPa)$
RA	67,1	57,6	74,0	66,7
RA + 4 % ANOVA 1817	60,8	51,4	72,8	66,4
RA + 8 % ANOVA 1817	59,4	50,2	73,9	67,5
RA + 12 % ANOVA 1817	54,3	46,5	74,2	68,6



**Obrázek 4:** Průběh komplexního modulu ve smyku a úhlu fázového posunutí v intervalu měření 20 °C až 90 °C, vzorek RA



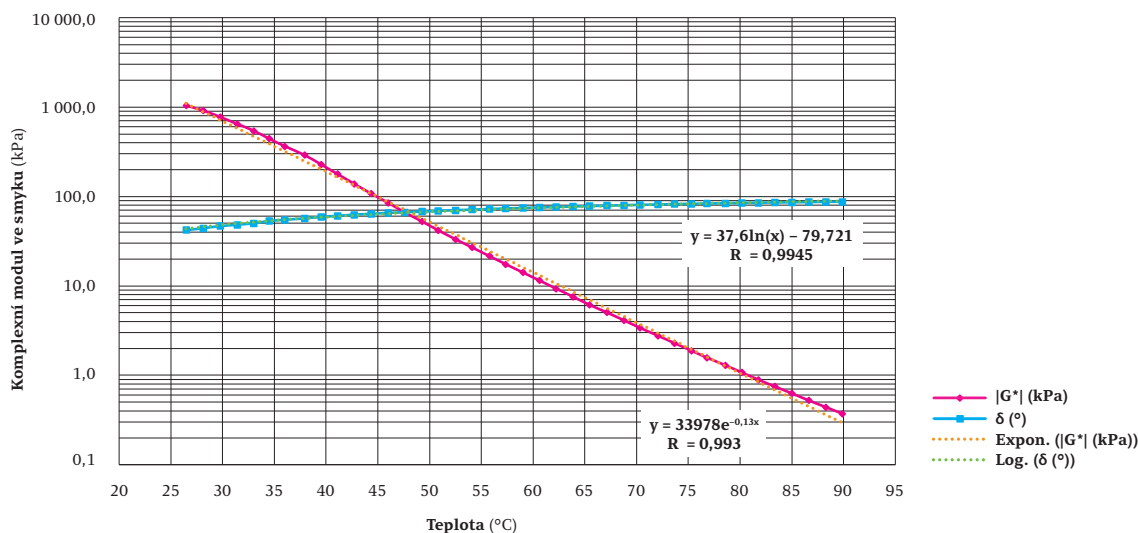
**Obrázek 5:** Průběh komplexního modulu ve smyku a úhlu fázového posunutí v intervalu měření 20 °C až 90 °C, vzorek RA + 4 % ANOVA 1817

**Tabulka 9:** Indexy rejuvenace vybraných vlastností

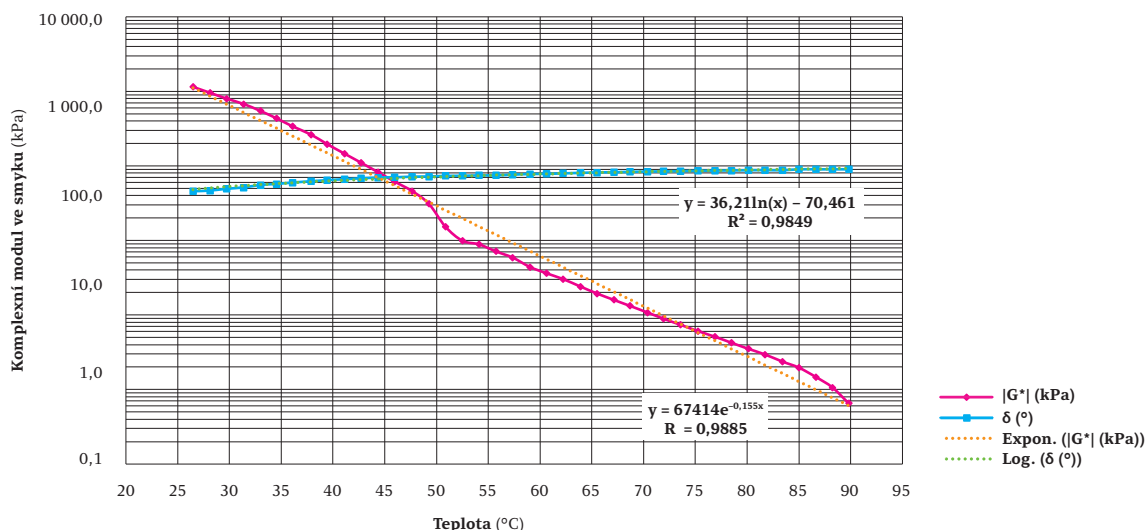
Vzorek	Index rejuvenace (ReI)				
	Penetrace	Bodu měknutí	Dynamické viskozity při 135 °C	T( G* =50kPa)	Deformační energie při protažení 20 cm
RA + 4 % ANOVA 1817	0,78	-0,11	-0,48	-0,11	-0,63
RA + 8 % ANOVA 1817	1,83	-0,19	-0,53	-0,13	-0,85
RA + 12 % ANOVA 1817	3,22	-0,26	-0,66	-0,19	-0,93

že nastavený průběh zkoušky je u silového duktilometru nastaven tak, že po dosažení protažení na 40 cm je zkouška automaticky zastavena. Pokud při této délce protažení asfaltového vlákna nedojde k jeho porušení, potom nelze zaznamenat ani odpovídající deformační energii.

Účinek vlivu oživovací přísady na zdegradovaný asfalt, včetně vlivu dávkovaného množství, dobře znázorňují i výsledky zkoušky MSCR a především tedy charakteristika nevratné smykové poddajnosti. Pro obě teploty prováděné zkoušky je patrná závislost mezi množstvím dávkovaného rejuvenátoru a poddaj-



**Obrázek 6:** Průběh komplexního modulu ve smyku a úhlu fázového posunutí v intervalu měření 20 °C až 90 °C, vzorek RA + 8 % ANOVA 1817



**Obrázek 7:** Průběh komplexního modulu ve smyku a úhlu fázového posunutí v intervalu měření 20 °C až 90 °C, vzorek RA + 12 % ANOVA 1817

ností  $J_{nr, 3,2 \text{ kPa}}$ . Obdobně toto platí i pro charakteristiku elastického zotavení  $\%R_{3,2 \text{ kPa}}$ .

Poslední provedenou zkouškou je oscilační teplotní rampa (BTSV) provedená na dynamickém smykovém reometru. Také v tomto případě je zjevná závislost mezi množstvím přidávaného rejuvenátoru a snižující se hodnotou ukazatelů  $T(|G^*|=15 \text{ kPa})$ , resp.  $T(|G^*|=50 \text{ kPa})$ . Oproti hodnotám stanoveného bodu měknutí je interval, ve kterém se při daném kritériu hodnoty výsledných teplot pohybují, užší. Tato skutečnost je velmi dobře vidět při porovnání dosažených indexů rejuvenace, jak jsou uvedeny v tabulce 9. Současně je možné si všimnout, že množství přidávaného rejuvenátoru má v tomto případě jen minimální vliv na hodnotu fázového úhlu. Ten byl zjištěn při teplotě daného kritéria dosažení komplexního modulu ve smyku 15 kPa nebo 50 kPa.

Jako závěrečný krok byl v případě tohoto souboru provedených zkoušek pro některé charakteristiky stanoven index rejuvenace (dle anglického názvu vymezen zkratkou Rel), který může posloužit jako rychlá charakterizace přínosu použitého

rejuvenátoru na vlastnosti zestárnutého asfaltového pojiva. Jedná se o index, který jsme definovali pro účely zpracovaného posouzení rejuvenátoru ANOVA 1817 a přístup se tedy neopírá o poznatky zahraniční literatury. K indexu rejuvenace byl zvolen jednotný přístup a vlastní index je vždy spočten dle dále uvedeného výpočetního vztahu (a):

$$Rel = \frac{\text{(vlastnost zdegradovaného pojiva-vlastnost rejuvenovaného pojiva)}}{\text{(vlastnost zdegradovaného pojiva)}} \quad (b)$$

„Vlastností“ se zde rozumí vždy ověřovaná či měřená charakteristika, jako je penetrace, bod měknutí dynamická viskozita atd. Zdegradovaným pojivem se rozumí asfaltové pojivo, které bylo získáno extrakcí z R-materiálu 0/8 mm. V tabulce 9 uvedené indexy rejuvenace značí, že v případě penetrace čím vyšší kladné hodnoty je dosaženo, tím výraznější je efekt dávkované-



ho množství rejuvenátoru. U zbývajících charakteristik platí, že čím vyšší je záporná hodnota, tím je opět účinek dávkovaného množství rejuvenátoru výraznější.

### Poděkování

Tento článek vznikl jako část řešení studentského výzkumného projektu SGS22/040/OHK1/1T/11.

**Ing. Jan Valentin, Ph.D., Ing. Pavla Vacková, Ph.D.,  
Majda Belhaj, MSc., ČVUT v Praze, Fakulta stavební  
Ing. David Matoušek, CIUR a.s.**

### Literatura:

[1] Valentin J., Belhaj M., Vacková P. Vybrané poznatky zkoušení funkčních charakteristik zestárnutých asfaltových pojiv s rejuvenátory. In: PROCHÁZKOVÁ, ed. Sborník ASFALTOVÉ VOZOVKY 2021. Asfaltové vozovky 2021, České Budějovice, 2021-11-23/2021-11-24. Praha 4: PRAGOPROJEKT, a.s., 2021. ISBN 978-80-906809-6-8.

[2] Vacková, P. et al. Porovnání vlivu rejunávetorů na vlastnosti asfaltových směsí s různým procentuálním zastoupením R-materiálu. In: PROCHÁZKOVÁ, E., ed. Sborník ASFALTOVÉ VOZOVKY 2021. Asfaltové vozovky 2021, České Budějovice, 2021-11-23/2021-11-24. Praha 4: PRAGOPROJEKT, a.s., 2021. ISBN 978-80-906809-6-8.

[3] Vacková, P. et al. Influence of Rejuvenator on Selected Characteristics of an Asphalt Concrete Containing 50% Reclaimed Asphalt. In: HA-MINH, C. et al., eds. CIGOS 2021, Emerging Technologies and Applications for Green Infrastructure. CIGOS 2021: Emerging Technologies and Applications for Green Infrastructure, Ha Long, 2021-10-28/2021-10-29. Cham: Springer International Publishing, 2022. s. 705-713. ISSN 2366-2557. ISBN 978-981-16-7159-3. DOI 10.1007/978-981-16-7160-9\_71.

[4] Coufalík P., Koudelka T. Zkoušení oživovacích přísad. Výzkumná zpráva. FAST VUT v Brně, 2018.