

# Poznatky s uplatněním vyššího podílu asfaltového R-materiálu v asfaltové směsi pro ložní a obrusné vrstvě na silnici I. třídy – první aplikace v ČR

*Pavla Vacková, Jan Valentin*

*České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, ČR*

*e-mail: jan.valentin@fsv.cvut.cz*

## **Souhrn**

*Znovuzískaná asfaltová směs (nepřesně označovaná též jako asfaltový recyklát) vzniká jako materiál při frézování či vybourání starých konstrukcí vozovek. S postupem času a nezbytností provádět opravy na větším počtu pozemních komunikací jeho množství vzrůstá a dle dosavadní legislativy se v zásadě vždy jednalo o odpad, který tříděním a předrcením byl přeměňován na druhotnou surovinu označovanou jako R-materiál (samozřejmě při splnění i environmentálních požadavků). Využívání tohoto materiálu do konstrukčních vrstev silnic je známé a to nejen v podobě nestmeleného materiálu v podkladních vrstvách nebo jako obsyp krajnic, ale i jako dílčí náhrada kameniva v asfaltové směsi. Technické předpisy platné v ČR nicméně dosud limitovaly využití v krytovém souvrství a současně klíčový správce pozemních komunikací – Ředitelství silnic a dálnic – neumožňovalo použití takového materiálu pro obrusné a ložní vrstvy u silnic I. třídy a u dálnic. K postupné změně dochází od roku 2018, kdy byl realizován první zkušební úsek na silnici I. třídy, kde se aplikovalo až 50 % -materiálu v ložní a obrusné vrstvě společně s volbou vhodných aditiv nebo vhodného asfaltového pojiva. Vlastní pokládce předcházel podrobný technologický návrh asfaltových směsí s testováním v laboratoři. Zvoleny byly technicky vhodné varianty, které byly realizovány a u kterých byl po provedení vlastního úseku v délce přibližně 1 km proveden odběr a rozšířený soubor zkoušek. Souhrnné poznatky jsou shrnuty v příspěvku.*

***Klíčová slova:*** *asfaltová směs, recyklace vozovek, znovuzískaná asfaltová směs, rejuvenátor, modifikovaný asfalt, R-materiál, volumetrické zkoušky, vodní citlivost*

## **Úvod**

Recyklace asfaltových vrstev je v silničním stavitelství přístupem, který je postupně rozvíjen již od 70. let minulého století. Spouštěcími faktory do jisté míry byly dva aspekty. Jednak ropné krize, kterými si mezinárodní ekonomika prošla jak v sedmdesátých letech, tak později znovu i počátkem let osmdesátých, jakož i skutečné poznání, že vozovky nelze v žádném ohledu realizovat jako konstrukce s nekonečnou životností. Zatímco ropné krize ukázaly reálné hrozby omezené dostupnosti ropy a z nich získávaných destilátů – tedy i asfaltového pojiva – skutečnost, že vozovku nelze mít jako trvalou konstrukci bez nutnosti její obnovy, předznamenala reálný problém vzniku odpadu, který bude nezbytné vhodným způsobem dříve či později řešit. Výhoda asfaltových vrstev, pokud dosáhnou konce své technické životnosti, je, že obsahují asfaltové pojivo, které lze opět rozehtívat a v rozumné míře tak z hlediska pojivých schopností reaktivovat. To je hlavní odlišnost tohoto typu kompozitu od betonu, který je ve stavebnictví využíván v mnohem větší míře. Velmi jednoduše lze říci, že asfaltovou vrstvu lze při opětovném využití znovu uplatnit pro stejný účel a recyklovatelný materiál použít v podobě tzv. up-cyclingu. To, bohužel, u betonu nelze, resp. do určité míry by bylo proveditelné, je ale dosud ekonomicky neobhajitelné – tzn. jisté složky betonu lze vhodnými postupy do určité míry reaktivovat a takový materiál pak jako příměs pro cement či obdobné hydraulické pojivo opět použít.

Vraťme se zpět k asfaltové vozovce. Před přibližně 50 lety začali vznikat první pokusy a reálné aplikace. V té době víceméně přidáním vybouraného a předrceného materiálu zpět do asfaltových směsí, později i se snahou takový materiál v jednoduchých vařičích rozehtívat, čímž se stala směs opět viskózní, bylo možné ji rozhrnovat, hutnit a navrátit zpět do stavu „nové“ asfaltové vrstvy. Uvozovky jsou použity záměrně, protože ruku v ruce s prvotním rozvojem recyklace asfaltových vrstev za horka šlo i poznání, že asfaltové směsi používáním degradují. Tato degradace je dána skutečností, že asfaltové pojivo je organický materiál, který je ovlivněn reakcemi s kyslíkem, resp. kombinací účinku kyslíku a UV

záření. Oba tyto působící faktory jsou přirozené (kyslík jako součást atmosféry a UV záření jako součást slunečního světla). V důsledku účinku obou faktorů dochází k tomu, že v asfaltovém pojivu dochází k chemickým přeměnám v uhlovodíkových řetězcích, ze kterých je asfalt poskládán. Tyto změny jsou v řadě ohledech nevratné. Lze je zpomalovat, nelze je však udělat reversibilními. V podstatě je to stejný fenomén jako u živého organismu (včetně člověka). Vlivem stárnutí kompozitní materiál asfaltové směsi zvyšuje svou tuhost – to je pozitivní z hlediska snižování rizika vzniku trvalé deformace, kterou většina čtenářů zná jako podélné koleje ve vozovce. Současně s tím ale tento viskoelastický materiál také křehne a tudíž se stává méně odolným na opakovaný účinek zatížení a na opakovaný účinek střídání teplot. Opět jevy, které nelze při používání pozemní komunikace eliminovat, protože jejím účelem je umožnit mobilitu a to v přirozeném prostředí, kde v letním měsících je teplota a v zimním období mráz. Křehnutím se tak zvyšuje riziko vzniku trhlin. Uvedené tak determinuje důvod, proč vozovku nelze navrhnout jako konstrukci s nekonečnou životností. Museli bychom totiž obelstít přírodu, což naštěstí neumíme. A tak nám nezbývá nic jiného než po určitém čase provést opravu či obnovu konstrukce, přičemž cílem správného inženýrského přístupu by samozřejmě mělo být, aby provozní období bylo co nejdélejší. Jednoduše protože liniové stavby jsou materiálově a ekonomicky náročné.

Na počátku recyklace asfaltových vozovek druhý aspekt – tedy omezená životnost – nehrál tak zásadní roli. V sedmdesátých letech se i v rozvinutých ekonomikách silniční infrastruktura budovala a rozvíjela, přičemž podíl oprav byl velmi malý. Ostatně bylo i menší dopravní zatížení s nižšími intenzitami dopravy. Význam tohoto aspektu začal narůstat někdy v devadesátých letech, kdy postupně nejvíce rozvinuté ekonomiky dospěly do stavu rozvinuté silniční infrastruktury, v rozvíjejících zemích se postupně budovaly další stovky kilometrů silnic a dálnic. Postupně začala být aktuální potřeba stávající síť začít obnovovat, což do budoucna představuje jednu z velkých výzev dopravní infrastruktury – nejen ekonomicky ale i z hlediska minimalizace dopadů na omezení mobility a na zvyšování negativních dopadů na životní prostředí. Pokud si přitom představíme, že jenom v České republice máme přes 55 tis. km silnic a dálnic mimo města a obce, přičemž pro jednoduchost budeme uvažovat, že průměrná šířka takové pozemní komunikace je 9 m a v průměru je tloušťka asfaltového souvrství 15-20 cm asfaltových směsí, je zjevné, že jenom tato silniční infrastruktura je poměrně velký liniový kamenolom, který navíc v sobě obsahuje i nemalé množství zabudovaného asfaltového pojiva (samozřejmě ne všechny pozemní komunikace jsou asfaltové, ale i kdyby jich bylo „jen“ 50 tis. km je to pořád velký objem, který dříve nebo později bude vyžadovat opravu či obnovu.

V České republice se recyklaci asfaltových vozovek věnujeme od devadesátých let. První období bylo spíše objevováním nových světů a dlouhé období jsme vybouraný či vyfrézovaný materiál používali převážně pro druhořadé účely – např. pro zpevňování polních cest, pro obsypy krajnic nebo jako nestmelený materiál do podkladních vrstev. Použití tohoto materiálu opět za horka – tedy rozehřátím a použitím jako substituentu za přírodní kamenivo a čerstvé pojivo v asfaltové směsi na obalovně je nadále omezeno jen na některé typy asfaltových směsí (označujeme je jako asfaltové betony), přičemž ještě do nedávné doby dokonce ani u těchto typů nebylo normově přípustné použití v každém typu. Aktuálně můžeme u obrusných vrstev (tedy svrchní 3-5 cm vozovky) používat max. 15-25 % recyklovaného materiálu (označujeme jej jako R-materiál), o ložní vrstvy, která je umístěna pod obrusnou, je toto množství limitováno 30-40 % a v poslední asfaltové vrstvě – podkladní – můžeme použít až 60 % R-materiálu v závislosti na kvalitativní třídě použité směsi. Ročně se přitom v České republice vygeneruje 600-700 tis. tun znovuzískaných asfaltových směsí, což zdaleka přesahuje reálné možnosti jeho opětovného využití v nových asfaltových směsích.

V posledních přibližně šesti letech bylo v ČR postupně realizováno několik zkušebních úseků, jejichž cílem bylo ověřit nové technologické trendy při uplatnění asfaltových směsí se zvýšeným nebo vysokým obsahem asfaltového R-materiálu. Jednotlivé úseky byly realizovány na silnicích II. nebo III. třídy a to ve více krajích České republiky, např. úsek Kaznějov – Mrtník, [1]. Ověřována v rámci těchto úseků byla technologie pěnoasfaltů, využití různých typů rejuvenátorů (látek oživujících vlastnosti degradovaného asfaltového pojiva v R-materiálu), nebo kombinace použití nízkoteplotní asfaltové směsi a rejuvenátoru s posouzením kombinovaného účinku. V neposlední řadě je třeba zmínit i zkušební úseky, kde bylo provedeno základní porovnání mezi systémem s rejuvenátorem a variantou, která využije polymerem modifikované asfaltové pojivo se zvýšeným podílem elastomeru (tzv. PMB RC pojivo). Zde lze jako první sledovaný úsek uvést průtah obcí Domašov, [2]. Samostatnou kapitolu pak tvořil zkušební úsek na silnici

II/227 (Rakovník – Kněžveses), kde bylo cílem ověřit využitelnost R-materiálu u asfaltové směsi typu SMA. Tato oblast nadále zůstává dle platných norem nezměněna a pro běžné použití R-materiálu u těchto asfaltových směsí nepřipouští. A tak nám mnohem rychleji rostou zásoby asfaltového recyklátu (znovuzískané asfaltové směsi), než jsme schopni opětovně využít či recyklovat. Přitom snaha recyklovat již jednou použité suroviny je jedinou rozumnou volbou, pokud chceme i dalším generacím zajistit důstojnou úroveň života. V systému s omezenými přírodními zdroji – a takovým prostorem naše planeta bez pochyby je – se nelze chovat jako v systému, kde žádné limity neexistují.

Opomenout v celém výčtu nelze ani případ, kdy došlo k ověření použití asfaltového betonu se 70-80 % R-materiálu v konstrukci železničního spodku [3]. Tedy nejen vozovky mohou být potenciálním místem pro opětovné využití a recyklaci staré asfaltové vozovky, ale možnosti se ověřují i v dalších segmentech dopravního stavitelství.

Co nám dosud chybělo, byly monitorované poznatky se skutečnou výkonností asfaltových směsí, kde se aplikuje více jak 30 % R-materiálu a tyto směsi se uplatní v krytovém souvrství na silnici I. třídy nebo na dálnici – tedy obecně na pozemní komunikaci ve správě Ředitelství silnic a dálnic. V případě dálničních vozovek se jistě můžeme setkat s asfaltovou směsí typu VMT (směs s vysokým modulem tuhosti), kde se využilo 15-30 % R-materiálu. Nicméně používání VMT směsí se v uplynulých letech orientovalo především do podkladních vrstev a navíc hranice 30 % R-materiálu je pro asfaltové směsi s vysokým modulem tuhosti limitní. Díky tomu tedy dosud nebylo možné sledovat a hodnotit, jak se vozovka s vysokým dopravním zatížením bude chovat, pokud se v obrusné a ložní vrstvě uplatní nejméně 30 % R-materiálu. Nemáme tedy potřebné informace, které by umožnily v širší míře požadovat opětovné využívání R-materiálu v odpovídajících směsích a současně by poskytovaly potřebnou technickou informaci, jak se takové vozovky v porovnání k tradičním konstrukcím a asfaltovým směsím chovají: Stejně? S rizikem rychlejší degradace? Nebo naopak přinášejí neočekávané přínosy v podobě lepší provozní výkonnosti a trvanlivosti?

Na přelomu let 2016 a 2017 byla ve spolupráci ŘSD ČR a ČVUT v Praze formulován výchozí představa a byl identifikován vhodný homogenní úsek, který umožnil vedle sebe umístit referenční úsek a alespoň dva úseky s uplatněním R-materiálu. Důležitá při tom byla také myšlenka, která předpokládala provedení selektivního frézování obrusné a ložní vrstvy s uplatněním získaného materiálu (po přetřídění a předczení) zpět do asfaltové směsi určené pro jednotlivé konstrukční vrstvy. S ohledem k rozpracované přípravě opravy silnice I/61 mezi dálnicí D7 (exit Lidice) a městem Kladno byl vyčleněn přibližně 1,2 km dlouhý úsek pro ověření použití až 50 % R-materiálu v konstrukci krytového souvrství vozovky. Bylo zpracováno variantní technické řešení se změněnými požadavky na složení asfaltové směsi. Celý záměr byl předložen Státnímu fondu dopravní infrastruktury v rámci programu Nové technologie, kde získal potřebnou podporu. Počátkem roku 2018 byl vybrán zhotovitel první etapy mezi obcí Lidice a začátkem města Kladno. Tato etapa byla rozdělena na několik stavebních objektů, přičemž ve staničení km 3,820 – km 5,000 byl umístěn vlastní zkušební úsek rozdělený na dvě části. Zhotovitelem celé etapy bylo sdružení stavebních společností Froněk s.r.o., Pozemní komunikace Bohemia, a.s. a Swietelsky stavební s.r.o. s realizací v období 04-07/2018. Provedení vlastního zkušebního úseku dostala na starosti první z uvedených stavebních firem.

## **Informace ke zkušebnímu úseku**

Ředitelství silnic a dálnic jako příslušný správce dlouhodobě připravovalo opravu silnice I/61 v úseku mezi mimoúrovňovou křižovatkou s dálnicí D7 (exit 7) a stykovou křižovatkou se silnicí III/0066 (směr Hřebeč). Celková délka úseku je 5,0 km, přičemž pro účely vlastní opravy byl úsek rozdělen na dvě etapy s předělem ve staničení km 2,100. V roce 2018 byla pro opravu naplánována etapa mezi km 2,100 a km 5,000. Tato etapa byla rozdělena na tři dílčí podetapy, kdy v úseku přibližně prvních 700 m byla provedena výměna krytového souvrství s uplatněním obrusné vrstvy se sníženou hlučností (BBTM 8 NH s pojivem modifikovaným pryží). Zde se v rámci realizace uplatnilo jiné inovativní technologické řešení, kdy se pryží modifikované pojivo pro vylepšení charakteristik zpracovatelnosti kombinovalo se syntetickým voskem. V úseku km 2,800 až km 3,100 byla provedena celková rekonstrukce, včetně zbudování nové okružní křižovatky napojující obec Buštěhrad a průmyslovou zónu Dřín. Poslední část této etapy zahrnovala vlastní zkušební úsek a provedena byla výměna krytového souvrství.

V rámci prvotních stavebních prací bylo v souladu se zadávací dokumentací provedeno selektivní (oddělené) frézování obrusné a ložní vrstvy. Jak se později ukázalo, materiál tzv. ložní vrstvy byla ve skutečnosti z větší části starší obrusnou vrstvou, která byla v minulosti překryta novou obrusnou vrstvou. Tedy v daném úseku na sobě ležely dvě vrstvy stejného typu. Tato skutečnost je do jisté míry potvrzena i dříve zpracovaným diagnostickým průzkumem, ze kterého vyplynulo, že u řady provedených zkušebních vývrtů byla v ložní vrstvě nalezena asfaltová směs typu OKS, která se svými parametry (podle zrnitostního rozboru) podobala asfaltovému betonu s maximálním zrnem 11 mm. Tato skutečnost vedla při laboratorním návrhu nové směsi ke zjištění, že použití tohoto materiálu do asfaltového betonu ACL 22S se 40 % nebo 50 % R-materiálu není možné. Proto bylo nutné přistoupit ke změně, kdy pro obrusnou vrstvu zkušebního úseku bylo možné využít jako R-materiál znovuzískanou asfaltovou směs z provedeného frézování, v ložní vrstvě však bylo nutné použít na obalovně dostupný R-materiál označený 16 RA 0/11. Selektivní frézování tak v tomto případě sice bylo využito, nicméně z praktického hlediska nevedlo k plné uplatnitelnosti R-materiálu z původní konstrukce vozovky. Tento poznatek je důležitým hlediskem, na který bude nutné vždy při diagnostických průzkumech a následné volbě či požadavku na použité materiály pamatovat. A to včetně požadavku selektivního frézování.

Souhrnně lze konstatovat (i ve vazbě na uvedené poznatky), že selektivní frézování má smysl, nicméně pouze tehdy, pokud je reálné frézovaný materiál jako rozdělenou znovuzískanou asfaltovou směs z obrusné a ložní vrstvy opětovně využít pro nové asfaltové směsi těchto konstrukčních vrstev. Je přitom důležité, aby první informaci tohoto typu poskytl již diagnostický průzkum. Druhým aspektem je skutečnost, že selektivní frézování zejména obrusných vrstev asfaltové vozovky má smysl, pokud je stávající povrch materiálově v rozumné míře homogenní, tedy pokud se na něm nevyskytují různé lokální opravy či výměny obrusné vrstvy s použitím různých typů materiálů. Zde je nutné vést diskusi, co představuje hranici pro tuto „rozumnou“ míru.

## Návrhy asfaltových směsí

Návrh asfaltových směsí zkušebního úseku provedla Fakulta stavební ČVUT v Praze.

Pro směs ACO 11S byly zpracovány dva laboratorně optimalizované návrhy s využitím R-materiálu klasifikovaného jako 11 RA 0/11mm (v souladu s ČSN EN 13108-8) v množství 30 % asfaltové směsi. Vlastní R-materiál pocházel z původní obrusné vrstvy silnice I/61. První varianta obsahovala asfaltové pojivo PMB 45/80-65 a rejuvenátor REJU182. Druhá varianta obsahovala asfaltové pojivo PMB 45/80-50 RC. Jedná se o typ asfaltového pojiva, které je více jak 10 let prakticky používáno a dostatečně ověřeno z hlediska stejného účelu použití v Německu, kde jej vyrábí a na trh dodává hned několik výrobců. Oproti standardnímu PMB pojivu se vyznačuje zvýšeným obsahem elastomeru, který má zajistit dostatečně pružné vlastnosti nejen vlastního pojiva, ale i pojiva, které získáme po smísení s degradovaným asfaltem v R-materiálu. Tato vlastnost se deklaruje hodnotou vratné duktility. S ohledem k probíhající diskusi nad začleněním PMB RC pojiv do normy ČSN 65 7222-1 a to včetně zmíněné charakteristiky vratné duktility a její minimální požadované hodnoty nemohl být použitý asfalt deklarován podle české normy.

Pro směs ACL 22S byly zpracovány čtyři laboratorně optimalizované návrhy s využitím R-materiálu 16 RA 0/11mm v množství 40 % a 50 % asfaltové směsi. Pro vlastní realizaci byly následně požadovány, jen varianty dvě. V prvním případě se použilo asfaltové pojivo PMB 25/55-60 a rejuvenátor REJU182, v druhém případě potom byl zvolen modifikovaný asfalt PMB 25/55-55 RC.

Pro jednotlivé navržené varianty asfaltové směsi bylo použito kamenivo z lomu Sýkořice/Zbečno (spilit) a filer z lokality Velké Hydčice. Použitý rejuvenátor je na bázi složek rostlinných extraktů a minerálních olejů. Jedná se o produkt českého původu, který byl ověřován od roku 2014 v rámci výzkumných aktivit řešených ČVUT v Praze a UniCRE Litvínov. V rámci provedených návrhů asfaltových směsí zkušebního úseku a jejich optimalizací nebyla věnována pozornost podrobnému ověřování vlastností asfaltových pojiv, jelikož toto nebylo předmětem zadání. Navíc jako klíčové se nadále jeví co nejlepší porozumění vlastnostem a užitému chování asfaltové směsi, která vedle použitých asfaltových pojiv či rejuvenátoru obsahuje zvýšené množství R-materiálu. Z tohoto důvodu byly jednotlivé varianty asfaltových směsí podrobeny nejen základním zkouškám (stanovení mezerovitosti, odolnosti proti účinkům vody – ITSR a odolnosti proti trvalé deformaci) ale i dalším charakteristikám (stanovení tuhosti

pro 0 °C, 15 °C a 27 °C; stanovení odolnosti proti šíření trhliny na půlválcových zkušebních tělesech při 0 °C a v některých případech při 15 °C; stanovení pevnosti v tahu za ohybu při 0 °C). Uvedené dodatečné zkoušky byly prováděny ve většině případech na nezestárlých zkušebních tělesech i zkušebních tělesech, které v souladu s normou prEN 12697-52 byly vystaveny simulovanému dlouhodobému stárnutí a to po dobu 5 dní při teplotě 85 °C. Jedná se o jednu z možných metod, které norma uvádí a kterou ČVUT v Praze již více jak 4 roky uplatňuje. Účelem takového postupu je ověřit dlouhodobější výkonnost směsi.

**Tabulka 1: Charakteristiky asfaltové směsi ACO 11S s 30 % R-materiálu**

Asfaltová směs		ACO 11S s 30 % R-mat.	
		PMB 45-80/65	PMB 45/80-50 RC
Pojivo			
Rejuvenátor		REJU182	---
Mezerovitost	%-obj.	3,8	3,9
Odolnost proti trvalé deformaci			
PRD <sub>AIR</sub>	%	2,4	2,3
WTS <sub>AIR</sub>	mm/10 <sup>3</sup> c.	0,041	0,021
ITS suchá (MPa)	MPa	1,93	2,21
ITSR <sub>ČSN EN</sub> (TSR <sub>AASHTO</sub> )	%	86,9 (90,0)	87,8 (82,3)
Modul tuhosti IT-CY @15°C	MPa	9 753	9 819
Lomová houževnatost K <sub>IC,i</sub> @0°C	N/mm <sup>3/2</sup>	49,4	50,1
Lomová energie do max. síly	J	2,3	2,1
Lomová energie celková	J	3,3	2,8
Pevnost v tahu za ohybu @ 0°C	MPa	5,0	6,1
Deformační energie zkoušky pevnosti v tahu za ohybu (do max. síly)	J	1,5	1,5

Tabulka 1 shrnuje charakteristiky asfaltové směsi ACO 11S s 30 % R-mat. Obě varianty byly v rámci zkušebního úseku aplikovány, přičemž množství přidávaného asfaltového pojiva bylo na úrovni 4,4 %-hm.; množství celkového pojiva v asfaltové směsi (tedy včetně pojiva obsaženého v R-materiálu) činilo 6,1 %-hm. Z hlediska sledovaných charakteristik jsou obě varianty vzájemně dobře souměřitelné, přičemž se vyznačují velmi dobrou odolností proti účinkům vody a výbornou odolností proti trvalé deformaci, kterou dokládá i vysoký modul tuhosti. Na druhé straně nelze z hlediska charakteristik posuzujících chování asfaltové směsi v oboru nízkých teplot zaznamenat významnější rozdíly.

Pro doplnění dodáváme, že charakteristika ITSR<sub>AASHTO</sub> představuje parametr odolnosti proti účinkům vody stanovený podle modifikovaného postupu americké normy AASHTO T283, kdy odlišně od evropské normy je aplikován mrazový cyklus po dobu min. 16 hodin a následné uložení zkušebních těles ve vodní lázni o teplotě 60 °C po dobu 24 hodin. Obecně se má za to, že tento přístup kondicionování zkušebního tělesa je v důsledku kombinace účinku chladu a vyšší teploty vody náročnější.

**Tabulka 2: Charakteristiky asfaltové směsi ACL 22S s 40-50 % R-materiálu**

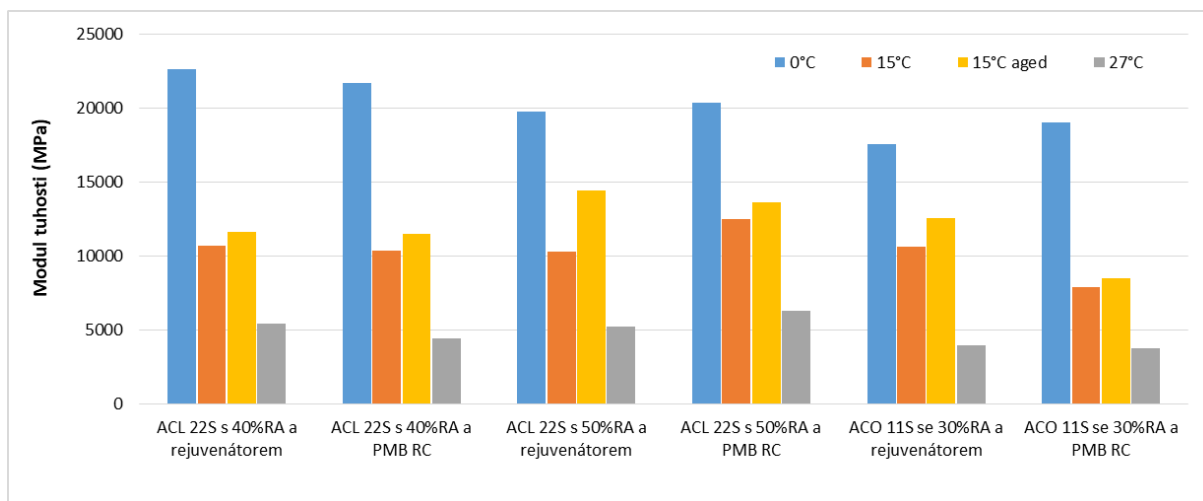
Asfaltová směs		ACL 22S s 40 % R-mat.		ACL 22S s 50% R-mat.	
		PMB 25-55/60	PMB 25/55-55 RC	PMB 25-55/60	PMB 25/55-55 RC
Pojivo					
Rejuvenátor		REJU182	---	REJU182	---
Mezerovitost	%-obj.	5,0	4,9	5,0	5,2
Odolnost proti trvalé deformaci					
PRD <sub>AIR</sub>	%	2,1	1,8	1,9	1,4
WTS <sub>AIR</sub>	mm/10 <sup>3</sup> c.	0,022	0,019	0,018	0,010
ITS suchá (MPa)	MPa	2,44	2,28	2,18	2,73
ITSR <sub>ČSN EN</sub> (ITSR <sub>AASHTO</sub> )	%	87,0 (78,5)	90,6 (88,0)	89,8 (81,5)	86,3 (79,3)
Modul tuhosti IT-CY @15°C	MPa	10 701	10 360	10 249	12 446
Lomová houževnatost K <sub>IC,i</sub> @0°C	N/mm <sup>3/2</sup>	51,1	51,4	51,9	50,6
Lomová energie do max. síly	J	2,4	2,9	3,0	2,5
Lomová energie celková	J	3,1	4,1	4,8	3,3
Pevnost v tahu za ohybu @ 0°C	MPa	8,7	9,7	8,9	10,3
Deformační energie zkoušky pevnosti v tahu za ohybu (do max. síly)	J	1,7	1,7	1,8	2,2

V neposlední řadě uvádíme upřesnění k charakteristikám deformační (lomové) energie. V případě zkoušky odolnosti proti šíření trhliny, kde klíčovým parametrem dle ČSN EN 12697-44 je lomová houževnatost (kritická hodnota), se v důsledku více jak pětiletého sledování parametru na ČVUT v Praze ukazuje, že tato charakteristika sama o sobě pravděpodobně neumožňuje dostatečně odlišit asfaltové směsi různé kvality. Proto je při hodnocení zkoušky analogicky ke zkoušce silové duktility prováděné u asfaltových pojiv i zde zvolen přístup, kdy se z pracovního diagramu síly a deformace stanovuje lomová energie a to jak do dosažení maximální síly (iniciace trhliny), tak i celková energie, která vyjadřuje stav odpovídající celkové propagaci trhliny zkušebním tělesem (zahrnuje odtěžovací větev pracovního diagramu). Dle našeho názoru by energetická charakteristika měla být vhodnější pro rozlišení méně nebo naopak více kvalitní asfaltové směsi. Identický přístup je pak zvolen v případě zkoušky stanovení pevnosti v tahu za ohybu. Ta je provedena v souladu s TP 151, Příloha 2 a je opět doplněna o výpočet energie, která je potřebná pro dosažení maximální síly v tahu za ohybu.

U variant ACL 22S, v případě použití rejuvenátoru, vycházelo optimální množství pojiva na úrovni 4,5 %-hm. Přidávané množství čerstvého asfaltového pojiva bylo 2,5 %-hm. v případě varianty se 40 % R-materiálu a 2,3 %-hm. pojiva v případě varianty s 50 % R-materiálu. Pro varianty s PMB 25/55-55 RC byly tyto hodnoty o 0,1 %-hm. vyšší.

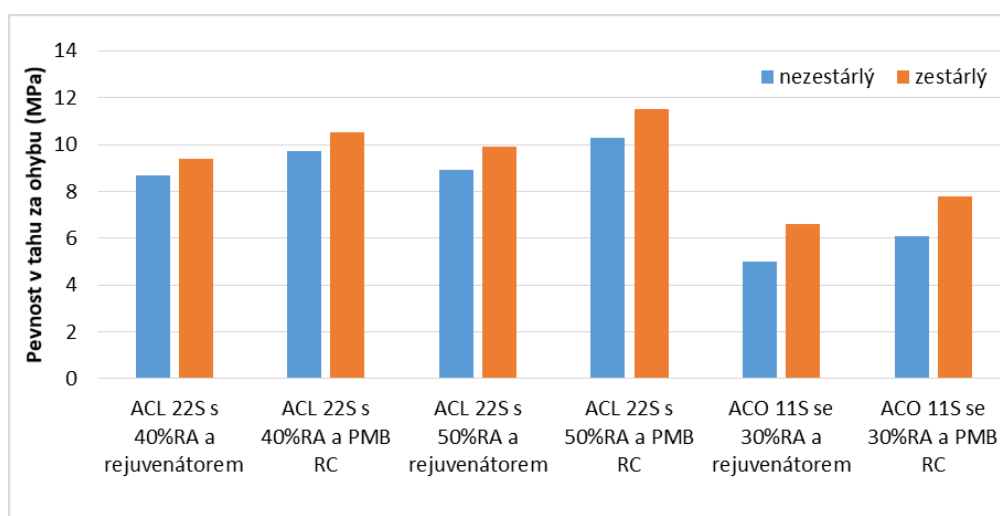
Vliv množství R-materiálu se projevil především v oblasti deformačních charakteristik, kdy bylo dosaženo velmi dobré odolnosti proti trvalé deformaci a vysokých hodnot modulů tuhosti. Tyto charakteristiky téměř ve všech případech rostly s vyšším množstvím R-materiálu. Uvedenou skutečnost přitom bylo možné předpokládat s ohledem k charakteru materiálu, který substituuje asfaltové pojivo a kamenivo. Samozřejmě takový poznatek oprávněně může vést k obavě spojené s vyšší křehkostí asfaltové směsi. Použijeme-li jedno ze dvou existujících kritérií, které v ČR uplatňujeme pro chování asfaltové směsi v oboru nízkých teplot u VMT (pevnost v tahu za ohybu při teplotě  $\leq 0$  °C), potom minimální mez stanovená v Technických podmínkách MD ČR, TP 151 hodnotou 6 MPa byla splněna u všech sledovaných asfaltových směsí. Varianty s 50 % R-materiálu vykazaly dokonce vyšší hodnotu pevnosti v tahu za ohybu než varianty se 40 % R-materiálu. Tuto skutečnost podporuje i dopočítaná deformační energie k této zkoušce, která zjednodušeně znamená, že pro porušení zkušebního tělesa je potřeba větší množství energie. Samozřejmě, aby bylo možné tvrdit, zda je taková směs z hlediska chování při nízkých teplotách méně náchylná na porušení křehkým lomem, musela by být provedena minimálně i zkouška relaxace, ideálně by potom bylo vhodné se zabývat i nalezením kritické teploty při ochlazovací zkoušce. Souběžně se sledováním pevnosti v tahu za ohybu byla pozornost věnována alternativní metodě posuzování chování směsi v oboru nízkých teplot – stanovením odolnosti proti šíření trhliny na půlválcových zkušebních tělesech. Jednotlivé varianty jsou přitom z hlediska lomové houževnatosti v zásadě identické, čímž se do jisté míry znovu ukazuje, že tato charakteristika pravděpodobně není nejvhodnější pro určení, zda je konkrétní směs více či méně kvalitní. Výpočtem lomové energie jsou již odlišnosti jednotlivých variant patrnější. Lze usuzovat, že při aplikaci 40 % R-materiálu v asfaltové směsi typu ACL bude mít řešení s pojivem obsahujícím zvýšený podíl polymeru pravděpodobně lepší dopad na chování asfaltové směsi. Pokud tento poznatek porovnáme s aplikací 50 % R-materiálu, potom nedochází k žádné výraznější změně, je však patrné, že uplatnění PMB RC dosáhne své meze a naopak kombinace běžného PMB pojiva s rejuvenátorem hodnoty lomové energie mírně zvýší. Je však třeba zdůraznit – a to platí pro veškeré zde uváděné výsledky – ačkoli byly voleny vyšší počty zkušebních těles, pořád se jedná pouze o jeden typ asfaltové směsi s jedním typem použitých vstupních složek. Proto by bylo chybné výsledky generalizovat.

Pro doplnění uvedme, že z hlediska trvanlivosti asfaltové směsi všechny varianty dosáhly velmi dobrých hodnot odolnosti proti účinkům vody. U směsi typu ACL je patrnější dopad amerického postupu se zmrazovacím cyklem, kdy se hodnoty ITSR dostávají na hranici požadavků, které běžně uplatňujeme pro ITSR provedeného dle ČSN EN 12697-12. Vyjdeme-li však s dlouhodobého poznatku ČVUT v Praze, dle kterého v průměru rozdíl mezi  $ITSR_{\text{ČSN EN}}$  a  $ITSR_{\text{AASHTO}}$  je deset procentních bodů, potom jsou zde prezentované výsledky mírně nad tímto průměrem a celkově trvanlivost jistě v nejmenším nemůže být argumentem proti používání R-materiálu.



**Obrázek 1: Souhrn modulů tuhosti u jednotlivých variant asfaltových směsí ACO 11S a ACL 22S**

Obrázek 1 shrnuje výsledky měření modulu tuhosti a to zkouškou opakovaného namáhání v příčném tahu na válcových zkušebních tělesech (metoda IT-CY, Příloha C normy ČSN EN 12697-26). Tuhost asfaltové vrstvy je jedna z důležitých charakteristik pro návrh konstrukce vozovky, přičemž obecně by se pro sledované typy asfaltových směsí měla pohybovat minimálně na úrovni 7.500 až 8.000 MPa. Jak již bylo uvedeno výše, moduly jsou obecně poměrně vysoké a to zejména u variant ACL 22S, kde by při splnění požadavků na mezerovitost tyto směsi s přehledem splnily požadavky na asfaltovou směs typu VMT (a to nejen z hlediska tuhosti). Pokud bychom spočetli teplotní citlivost, která se jednoduše určí jako poměr tuhosti při nejnižší a nejvyšší teplotě měření, zjistili bychom, že v případě ACL 22S s dvěma úrovněmi R-materiálu je aplikace 50 % R-materiálu méně citlivá na změnu teploty. Druhým aspektem, který se dá odvodit z přiloženého grafu, je index stárnutí. Index stárnutí je jednoduchý ukazatel, se kterým zatím v ČR nijak nepracujeme, který však může rychlým způsobem indikovat náchylnost na změnu chování v důsledku termooxidativního stárnutí asfaltového pojiva. Pro tento účel jsou již několik let na ČVUT v Praze prováděny simulace stárnutí kondicionováním zkušebních těles nebo volně ložené směsi při zvýšené teplotě po dobu 5-10 dní s nuceným přísunem vzduchu. Z výsledků plyne, že tuhost při 15 °C stárnutím narůstá o 7-40 %. Tento nezvykle velký interval je v našem případě ovlivněn variantou ACL 22S s 50% R-materiálu a rejuvenátorem. Lze dále konstatovat, že pokud se porovnají jen varianty s PMB RC pojivem, potom se zvýšení tuhosti odehrává ve velmi úzkém intervalu 7-10 %. V širším porovnání s dosud existujícími výsledky se s výjimkou jedné z uvedených směsí zbývající varianty nijak nevymykají asfaltovým směsím bez R-materiálu.



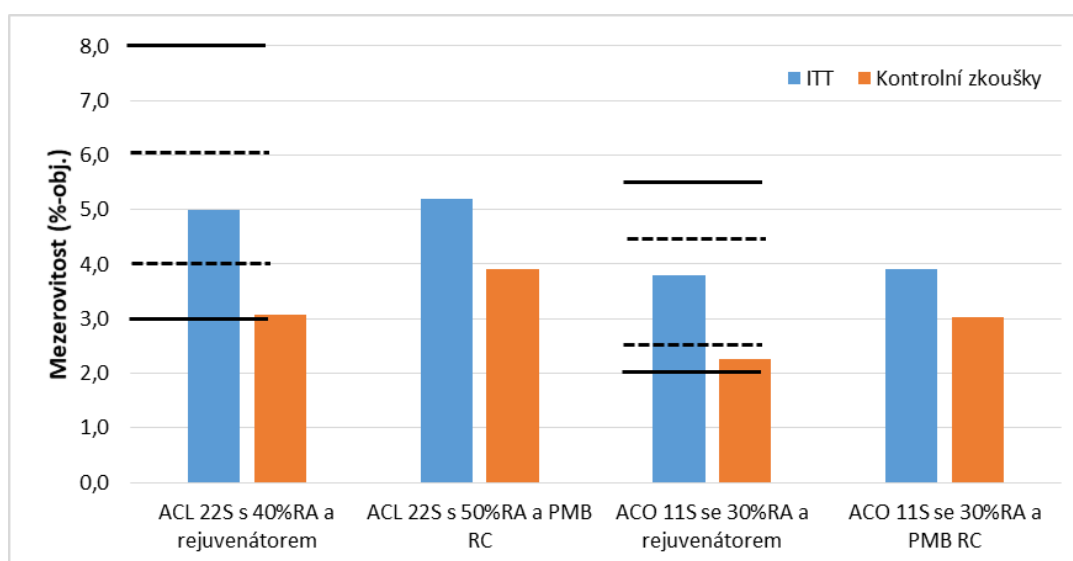
**Obrázek 2: Porovnání pevnosti v příčném tahu pro varianty asfaltových směsí ACO 11S a ACL 22S**

Pro doplnění lze podobné grafy znázornit i pro pevnost v tahu za ohybu nebo z ní odvozenou charakteristiku deformační energie (v tomto článku neuvedena). Zde je možné si všimnout, že vlivem stárnutí pevnost v tahu za ohybu a v některých případech oproti očekávání i deformační energie narůstají. Tyto změny přitom nejsou nijak dramatické, což je důležité především v případě mírných poklesů deformační energie, která lépe indikuje pravděpodobné oslabení výkonnosti asfaltové směsi v oboru nízkých teplot. Proto se domníváme, že tato charakteristika by do budoucna mohla jak v případě zkoušky pevnosti tahu za ohybu, tak v případě odolnosti proti šíření trhliny pomoci lépe indikovat kvalitu asfaltové směsi z hlediska kombinovaného účinku stárnutí a nízkých teplot (tedy rizika křehkého lomu a vzniku mrazových trhlin).

## Poznatky v poločase

Označení „poločas“ zde volíme zcela záměrně. ČVUT v Praze spoluzajišťovala provedení kontrolních zkoušek realizovaných asfaltových vrstev. Tato skutečnost umožnila jednak doprovázet vlastní pokládku zkušebního úseku a současně získat i potřebné informace a poznatky porovnávající asfaltové směsi navržené v laboratoři s reálně vyrobenými asfaltovými směsmi. Nadále se předpokládá minimálně dvouletý monitoring. Z pohledu univerzity je nezbytné podobné úseky sledovat po mnohem delší časové období, nicméně to nelze provádět bez zajištění dostatku finančních prostředků na takovou expertní činnost, což obecně v České republice není ve stavebnictví snadno zajistitelné. Proto nelze delší období v současnosti garantovat.

Dosud provedené kontrolní zkoušky rozšířené o některé funkční charakteristiky s opatrností potvrzují potenciální přínosy, které vhodné a zejména technicky dobře řízené využití R-materiálu může mít. Na Obrázku 3 je uvedeno porovnání mezerovitostí jednotlivých asfaltových směsí a to včetně mezí, které jsou v národní příloze ČSN EN 13108-1:2008 uvedeny pro počáteční zkoušky typu a pro kontrolní zkoušky. Hodnoty kontrolních zkoušek vycházejí z více provedených odběrů a stanovení, přičemž se opakovaně ukazuje mnohem větší citlivost asfaltových směsí s R-materiálem na kolísání objemových hmotností a tedy i mezerovitosti asfaltové směsi. To považujeme za skutečnost, se kterou vždy budeme muset počítat a která si vyžaduje zvýšenou kontrolu při výrobě, jak se ostatně realizující zhotovitel v uplynulých letech již opakovaně poučil. R-materiál má bezesporu řadu technických předností, má však i svá úskalí. Tím klíčovým je jeho menší či větší heterogenita. Druhým poznatkem, který lze odvodit z výsledků sledování mezerovitosti je zjevně vyšší účinek zhutnění při aplikaci rejuvenátoru. Je možné, že v důsledku naměkčení zestárlého asfaltu v R-materiálu dochází při hutnění k intenzivnějšímu zaklínění jednotlivých zrn směsi, což vede k nižší mezerovitosti v porovnání s variantou uplatnění pojiva PMB RC. Zdůrazňujeme přitom, že toto je naše domněnka, kterou nelze v současnosti podložit relevantními daty.



Obrázek 3: Mezerovitosti použitých asfaltových směsí s R-materiálem (zkouška typu vs. kontrolní zkoušky)



Z našeho pohledu neméně zajímavé je porovnání tuhostí jednotlivých variant a to nejen vůči původním laboratorním návrhům, ze kterých vzešly počáteční zkoušky typu, ale i v porovnání se směsí ACO 11S a ACL 22S, které v rámci realizované stavby byly použity též a neobsahovaly žádný R-materiál. Porovnání laboratorního návrhu a reálně vyrobené a položené asfaltové směsi uvádí Tabulka 3. V případě dvou asfaltových směsí dosud nebyla veškerá měření dokončena, a proto u nich hodnoty nejsou uvedené. Výsledky neudávají žádný jednoznačný trend, lze toliko konstatovat, že s výjimkou varianty ACO 11S se 30% R-materiálu a použitím rejuvenátoru se tuhost návrhu asfaltové směsi s tuhostí asfaltové směsi z kontrolní zkoušky dobře shodují. U zmíněné jedné varianty nemáme pro tak odlišnou hodnotu v tuto chvíli vysvětlení. Pokud porovnáme pro realizované varianty indexy stárnutí, potom výsledky z kontrolních zkoušek indikují větší rozpětí, než tomu bylo u počáteční zkoušky typu, celkově však pořád nárůst tuhosti stárnutím je do 20 % výchozí hodnoty.

**Tabulka 3: Moduly tuhosti stanovené v rámci kontrolních zkoušek**

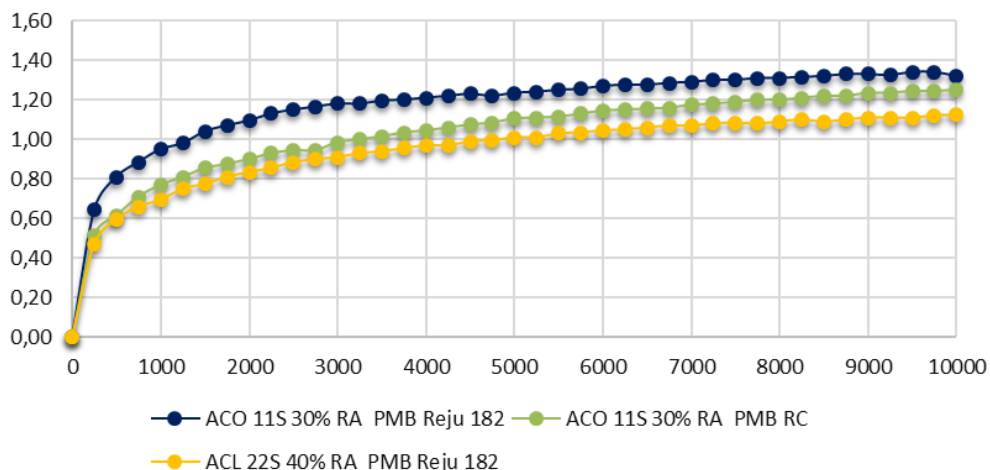
		Modul tuhosti (MPa)				
		nezestárlá			zestárlá	
		0 °C	15 °C	15°C (zkouška typu)	0 °C	15 °C
ACO 11S 30% RA PMB 45/80-50 RC	#1	18 561	7 743	7 909	18 673	7 170
	#2	19 665	8 232		-	-
ACO 11S 30% RA reju182	#1	16 160	5 579	10 607	18 125	5 826
	#2	16 314	6 318		15 577	7 100
ACL 22S 40% RA reju182	#1	24 667	9 820	10 701	25 805	12 038
	#2	21 259	10 035		22 363	10 653
ACL 22S 50% RA PMB 25/55-55 RC	#1	22 789	14 685	12 446	-	-
	#2	24 490	13 327		23 142	13 166

Další důležitou charakteristikou je odolnost asfaltové směsi proti vzniku a šíření trvalé deformace. Tato zkouška byla v rámci monitoringu průběhu stavby provedena u tří asfaltových směsí a výsledky jsou shrnuty dále v tabulce 4. Všechny kontrolní zkoušky s přehledem vyhověly hranicím pro zkoušky typu. Pro asfaltovou směs ACO 11S jsou maximální hranice  $WTS_{AIR} = 0,07 \text{ mm}/10^3 \text{ cyklů}$  a  $PRD_{AIR} = 5,0 \%$ . Pro asfaltovou směs ACL 22S jsou maximální hranice  $WTS_{AIR} = 0,05 \text{ mm}/10^3 \text{ cyklů}$  a  $PRD_{AIR} = 3,0 \%$ .

**Tabulka 4: Odolnost vůči trvalým deformacím asfaltových směsí z pokusného úseku I/61 Kladno – exit 7 D7**

	pr.hl.koleje po 5 000 cyklech	pr.hl.koleje po 10 000 cyklech	d 10 000 - d 5 000	$WTS_{AIR}$	$PRD_{AIR}$
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(%)
ACO 11S 30% RA PMB Reju 182	1,24	1,32	0,09	0,017	3,1%
ACO 11S 30% RA PMB RC	1,11	1,25	0,15	0,029	2,8%
ACL 22S 40% RA PMB Reju 182	1,01	1,13	0,12	0,023	2,0%

Asfaltová směs ACO 11S s rejuvenátorem RC dosáhla mírně horších výsledků než varianta s PMB RC pojivem. Tento fakt potvrzuje i dříve zjištěné závěry, že díky rejuvenátoru dochází k výraznějšímu naměkčení pojiva a tím ke snížení pevnostních charakteristik.



**Obrázek 4: Odolnost vůči trvalým deformacím asfaltových směsí ACO 11S a ACL 22S**

## Závěr

Souhrnně lze konstatovat, že koncept využívání R-materiálu v asfaltových směsích přináší některé podnětné poznatky. Současně s tím však bezesporu vyžaduje důslednější technickou pozornost především z hlediska dlouhodobého chování ve vozovce. Co je nad to podstatné, že dosud získané poznatky neukazují, že by využívání R-materiálu zpět do konstrukcí asfaltových vrstev vozovek – a to i pro nejvyšší třídy dopravního zatížení, vedlo k závěru, že tento směr je technicky méně vhodný. Naopak vedle dlouhodobě proklamované environmentální prospěšnosti má technické přínosy (v neposlední řadě pak i ekonomické efekty). Proto je nezbytné mu dát dostatečný prostor a zkušenosti sbírat a rozvíjet.

*Tento příspěvek vznikl za podpory výzkumného centra CESTI, projekt TE01020168 Technologické agentury ČR.*

## Literatura

- [1] Koudelka, T., Varaus, M., Hrbek, K.: Asfaltový beton s vysokým obsahem R-materiálu – zkušenosti ze zkušebního úseku. Sborník Asfaltové vozovky 2017, článek 4.8, Praha, 2017.
- [2] Varaus, M., Koudelka, T.: ACO 11+ PMB 45/80 RC - použití speciálního asfaltového pojiva pro asfaltové směsi s použitím R-materiálu (průtah obce Domašov). Ověřená technologie, VUT v Brně, 2015.
- [3] Lidmila, M., et al. Ověření konstrukce pražcového podloží s využitím asfaltové směsi se 70 % R-materiálu. Silnice a železnice. Vol. 13(1), s. 109-112. ISSN 1801-822X. Praha, 2018.