

„100% recyklace“ asfaltových směsí na obalovně – první zkušenosti z České republiky

Dramaticky se zvyšující ceny pojiv, omezení spojená s těžbou kameniva a snaha o nalezení udržitelných řešení nutí výrobce asfaltových směsí hledat způsoby, jak maximalizovat opětovné použití znovuzískaných asfaltových směsí potažmo R-materiálů (RA). Využití technologie s nepřímým ohřevem RA na obalovně (například Ammann RAH 100) umožňuje vyrábět směsi s obsahem RA v rozmezí 80 % až 100 %. Tento článek popisuje výsledky návrhů směsí obsahující maximální množství RA, jež jsou vhodné pro výstavbu méně zatížených vozovek.

Klíčová slova: recyklace, asfaltové směsi, R-materiál

Dramatically rising asphalt binder prices, limitations associated with aggregate extraction and the drive to find sustainable solutions are forcing asphalt mix producers to look for ways to maximize the reuse of site-won asphalts and reclaimed asphalts (RA). The use of indirect RA heating technology on an asphalt plant (e.g., Ammann RAH 100) makes it possible to produce mixtures with an RA content between 80 % and 100 %. This paper describes results of mixtures and binders' tests on asphalt mixtures containing maximum amount of RA.

Keywords: re-use, asphalt mixtures, reclaimed asphalts

Historie a vývoj opětovného použití znovuzískané asfaltové směsi při výrobě asfaltových směsí za horka

Poprvé se zájem o používání R-materiálů (RA) v asfaltových směsích významně zvýšil v 70. letech minulého století. V této době probíhala ropná krize, která způsobila skokové zvýšení cen surové ropy, a tudíž i asfaltových pojiv. První zmínky o opětovném použití znovuzískaných směsí vůbec se však datují až do roku 1915 [1]. Zvýšená pozornost byla recyklaci věnována v USA či Nizozemsku v 70. letech (minulého století) především z ekonomických, sociálních a environmentálních důvodů [1, 2]. Zjistilo se, že použití R-materiálu v za horka vyráběných asfaltových směsích může snížit výrobní náklady o 30 % až 50 % při obsahu R-materiálu v rozmezí 20 % až 50 % [3]. (Pozn. autora: Dle směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) o odpadech č. 2008/E/98 by se měly rozlišovat termíny re-use (opětovné použití) a recycling (recyklace). Autoři si jsou tohoto rozdílu vědomi, nicméně zejména z historických důvodů (terminologie použita ve starších normách, člancích a předpisech) je v některých případech použit v článku termín recyklace, i když se jedná o opětovné použití materiálu, tedy re-use). V 70. letech iniciovala Federální silniční správa (Federal Highway Administration – FHWA) USA projekt No. 39 [4], který měl za cíl připravit cestu k úspoře energie a materiálových zdrojů pomocí maximálního možného opětovného použití. Již v této době byla v rámci laboratorní činnosti a výzkumu věnována pozornost směsím,

kteří obsahovaly 100 % R-materiálu. V roce 1977 došlo k pokládce úseků asfaltových směsí, které obsahovaly postupně 30 %, 70 % a 100 % R-materiálu. Přestože některé zkušební úseky v (např. v Utahu nebo Arizoně) vykazovaly dobré chování [5], byly pozorovány i problémy, které byly spojené zejména s proměnnou kvalitou směsí s obsahem R-materiálu se zvýšeným obsahem škodlivých emisí, které vznikaly během výroby. Mnoho obaloven navíc nebylo vybaveno potřebnou technologií pro zpracování a dávkování vysokého množství R-materiálu. Z toho důvodu se stávalo, že u směsí kolísala obsah asfaltového pojiva, zrnitost směsí byla proměnlivá a často i výsledná tuhost směsí byla příliš vysoká. V některých případech nedošlo ani ke splnění volumetrických parametrů směsí, které jsou kladeny na směsi konvenční, bez R-materiálu. U těchto směsí tak docházelo k předčasnému výskytu poruch a celkové degradaci [6, 7]. Kvůli těmto událostem a problémům se směsmi s vysokým obsahem R-materiálu nebyla problematika recyklace v 90. letech 20. století věnována pozornost v rámci výzkumného programu SHRP (Strategic Highway Research Program). Ze stejné doby pochází také doporučení na používání pouze nízkého „bezpečného“ množství R-materiálu, které přijala většina států USA [1]. Do jisté míry byl podobný vývoj i v Evropě.

Cíle článku

Cílem článku je popis vývoje specifikačního rámce pro výrobu asfaltových směsí s R-materiálem. Důraz je kladen především

na popis norem specifikujících požadavky na směsi typu asfaltový beton (AC), které jsou vyrobeny na obalovně nebo na místě. Podrobně jsou popsány i požadavky vztahující se k těmto typům směsí. V druhé části článku jsou popsány zkušenosti s výrobou směsi typu ACO 16, která obsahovala 80 % R-materiálu, a s laboratorními návrhy směsi typu ACP, která obsahovala 100 % R-materiálu.

Znovupoužití asfaltových směsí, R-materiálů a recyklace v České republice

Výroba asfaltových směsí na obalovně a maximální dávkování R-materiálu

Podobně jako v USA se na začátku 21. století z hlediska zacházení se znovuzískanou asfaltovou směsí (popřípadě R-materiálem) postupovalo i v Evropě. Nicméně v České republice byla již v roce 2008 vytvořena v rámci normy ČSN EN 13108-1:2008 příloha NA-E, která uváděla tabulku NA-E4.5 (nejvyšší přípustný obsah R-materiálu v % hmotnosti asfaltové směsi) specifikující maximální dávkování R-materiálu vzhledem k typu směsi (CH, +, S, bez označení) a vzhledem ke konstrukční vrstvě (obrusná, ložní a podkladní). Už v této době bylo umožněno pro směsi typu ACO 11 používat až 25 % RA a pro směsi typu ACP 16 + až 60 % RA. Například pro směsi typu ACO 11 + nebo ACO 11 S ale dávkování RA umožněno nebylo.

V roce 2019 byla publikována norma ČSN 73 6121:2019 Stavba vozovek – Hutněné asfaltové vrstvy specifikující mimo jiné požadavky na směsi typu AC. V rámci této normy byly částečně upraveny i limity pro maximální dávkování R-materiálu tentokrát uvedené v tabulce E.6 normy. V této normě došlo k potvrzení trendu používání R-materiálu a pro některé typy směsí bylo dávkování zvýšeno, zejména se jednalo o směsi typu ACO. U směsi typu ACL a ACP zůstaly limity stejné jako v předchozím dokumentu. Tento trend byl podpořen i vzhledem ke skutečnosti, že v ČR v letech 2012 až 2019 proběhlo několik výzkumných projektů TA ČR, které se věnovaly právě tématům opětovného použití R-materiálu. Jednalo se například o TA02030549 (*Maximálně efektivní využití recyklovaných asfaltových vrstev vozovek pro výrobu nových asfaltových směsí*), TA04031328 (*Recyklace asfaltových koberců mastixových a vývoj speciálního celulózového vlákna do těchto typů asfaltových směsí*) nebo TJ01000248 (*Použití oživovacích přísad pro prodloužení životnosti recyklovaných vozovek s vysokým obsahem R-materiálu*).

V roce 2018 došlo k publikaci příručky *Recommendations for the use of rejuvenators in hot and warm asphalt production*, kterou publikovala EAPA (*European Pavement Asphalt Association*). V této příručce byly uvedeny zásady návrhu asfaltových pojiv s obsahem oživovacích přísad a metody pro posouzení kvality pojiv v závislosti na stupni zestárnutí.

V letech 2021–2022 byla revidována norma ČSN 73 6121:2019 a v roce 2023 byla publikována aktualizovaná verze této normy ČSN 73 6121:2023. Při této revizi došlo u některých typů směsí opět k navýšení maximálního možného dávkování R-materiálu, opět se jednalo o směsi typu ACO viz tabulka E.5 normy. Další významnou změnou bylo představení tabulky E.6 specifikující

maximální dávkování RA pro směsi s polymerem modifikovaných pojiv (PmB).

V letech 2008–2023 platilo v rámci dávkování R-materiálu při výrobě na obalovnách významné omezení v případě používání směsí obsahující PmB pojivo. Tato omezení byla výrazně změkčena právě v rámci revize normy ČSN 73 6121:2023. Navýšení dávkování R-materiálu bylo umožněno především tím, že v roce 2018 byla vydána změna Z1 normy ČSN 65 7222-1 specifikující tzv. PmB RC pojiva, která musejí být používána, pokud asfaltová směs obsahuje více než 15 % RA a výsledným deklarovaným pojivem je PmB pojivo.

Výroba asfaltových směsí na místě

Z hlediska výroby asfaltových směsí na místě lze uvést jako referenční dokument TP 209 Recyklace asfaltových vrstev netuhých vozovek na místě za horka. Tento předpis se zabývá popisem technologií, které je možné použít pro recyklaci na místě a který stanovuje požadavky na tyto typy směsí. Uvedené technologie mají názvy: *Reshape*, *Repave*, *Remix* a *Remix Plus*. Směsím, které jsou vyrobeny na obalovně se nejvíce podobá technologie *Remix*, která se podle TP 209 skládá z následujících kroků:

- ▶ rozprostření přidávaného kameniva na povrch vozovky (pouze v případě přidávání jen kameniva),
- ▶ ohřátí asfaltové směsi vrstvy určené k recyklaci,
- ▶ rozpojení ohřáté asfaltové směsi,
- ▶ přidání potřebných materiálů (změkčující přísady, silniční asfalt, předobalená směs kameniva),
- ▶ promíchání ohřáté asfaltové směsi s přidávanými materiály,
- ▶ zpětné položení upravené asfaltové směsi,
- ▶ zhutnění upravené asfaltové směsi.

Při tomto procesu (směs *Remix*) dochází k výrobě asfaltové směsi, která může obsahovat až 100 % znovuzískané asfaltové směsi. Takto vyrobená asfaltová směs může být dle předpisu použita pro obrusné, ložní i podkladní vrstvy vozovek.

V roce 2023 byla publikována norma ČSN 73 6148:2023 Recyklace asfaltových vrstev na místě za horka, která je nástupnickým dokumentem TP 209. Z pohledu návrhu směsí nebo smyslu normy nedošlo k zásadním změnám. Byly například upraveny některé volumetrické parametry, třídy zatížení, kde je možné danou technologii použít, požadavky na odolnost proti trvalým deformacím aj. Možnosti použití směsi typu *Remix* dle normy ČSN 73 6148:2023 jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1: Užití recyklovaných asfaltových vrstev v konstrukci vozovky [ČSN 73 6148:2023]

Technologie recyklace	Doporučená třída dopravního zatížení*		
	Obrusná vrstva	Ložní vrstva	Podkladní vrstvy
Remix	III–VI	I–VI	I–III
Remix Plus	–	I–IV	–

*Třídy dopravního zatížení se vztahují na recyklovanou vrstvu.

Požadavky na R-materiály a směsi s obsahem R-materiálu

V roce 2020 došlo k vydání nové normy ČSN 73 6141:2020. Tato norma stanovuje požadavky na použití R-materiálu v asfaltových směsích. V této normě jsou stanoveny dodatečné požadavky, upřesnění a doplnění k normě ČSN EN 13108-8 ed.2:2017 Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 8: R-materiál a vztahuje se na materiály výrobních norem ČSN EN 13108 a normy ČSN 73 6121 a ČSN 73 6122 (Pozn. autorů: Ve výčtu v předmětu normy není uvedena norma ČSN 73 6120 – Stavba vozovek – Ostatní asfaltové vrstvy – Provádění a kontrola shody.), tj. směsi vyrobené za horka na obalovně. V předmětu normy z roku 2020 není na rozdíl výše uvedených norem uvedena norma ČSN 73 6148 z roku 2023, není tam ale uveden ani předpis TP 209. Norma ČSN 73 6141:2020 se tak výhradně vztahuje na směsi vyrobené na obalovně.

V normě ČSN 73 6141:2020 jsou oproti ČSN EN 13108-8 ed.2:2017 uvedeny například následující informace:

- ▶ možnosti použití konkrétního R-materiálu při výrobě nových asfaltových směsí v závislosti na jeho zdroji (litý asfalt, obrusná, ložná, podkladní vrstva atd.),
- ▶ požadavky na zpětně získaná pojiva při obsahu R-materiálu ve směsi > 15,0 %,

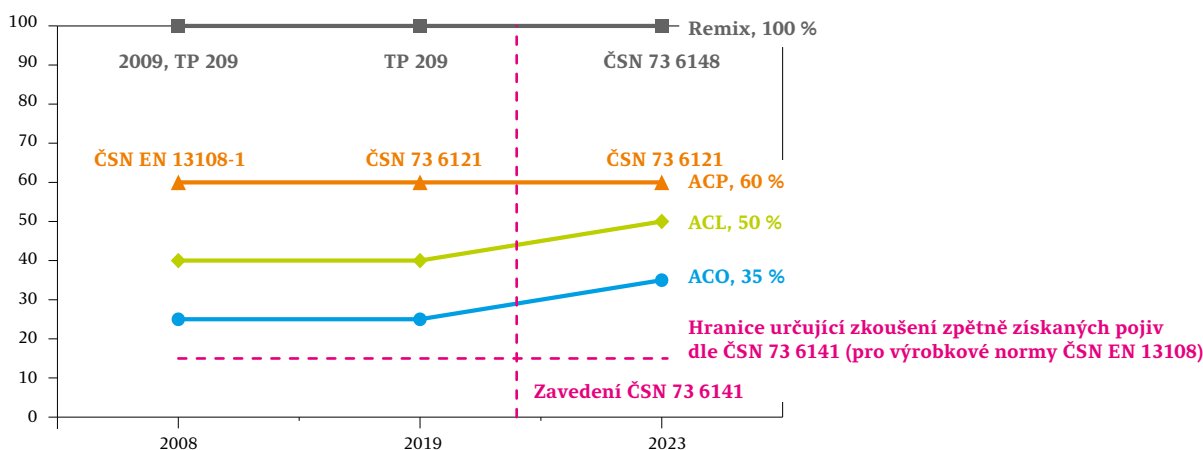
▶ možné způsoby oživení zestárlého pojiva v R-materiálu,

▶ způsoby posouzení homogenity skládky R-materiálu.

Publikací této normy došlo k řešení většiny problémů, které nastaly při zavádění technologie opětovného použití v USA v 70. letech jako např. problémy spojené s proměnnou kvalitou R-materiálu (hodnocení homogenity a možnosti použití dle zdroje R-materiálu) nebo zvýšená tuhost směsí (popis způsobů oživení s návazností na další specifikační dokumenty a požadavky na zpětně získaná pojiva ze směsí s obsahem RA > 15,0 %). Byly zavedeny kontrolní zkoušky, které mají za úkol popsat empirické vlastnosti zpětně získaných pojiv, to znamená, že už nemůže docházet k nadměrnému ohřevu směsi nebo kameniva, protože by nebyly splněny požadavky právě na tyto kontrolní zkoušky.

Porovnání technologií výroby na obalovně a na místě

Na obrázku 1 je provedeno srovnání maximálního dávkování znovuzískané asfaltové směsi/R-materiálu při výrobě asfaltových nemodifikovaných směsí dle normy ČSN 73 6121 (ČSN EN 13108-1) a normy ČSN 73 6148 (TP 209) v časovém intervalu od roku 2008 až do roku 2023. Obrázek zobrazuje vždy maximální dávkování vztahující se k danému typu směsi, tj. pro některé typy směsí (např. S nebo +) mohlo být maximální povolené dávkování nižší.



Obrázek 1: Porovnání dávkování R-materiálu v závislosti na typu vrstvy a technologii (vždy je uvedeno maximální dávkování pro danou konstrukční vrstvu)

Tabulka 2: Směsi typu ACP a ACO vybrané pro porovnání požadavků a TDZ z TP 170

ACP	16R	I–III	I	3 501–7 500
	16+	III–VI	II	1 501–3 500
ACO	11R	III–VI	III	501–1 500
	11+	II–IV	IV	101–500
			V	15–100

Pozn. Rozdíl mezi směsí ACO 11 (TDZV a VI) a ACO 11 + (TDZ II-IV) z ČSN 73 6121:2023 je předevšímv tom, žeu ACO 11 se nepožaduje provádět zkoušky trvalých deformací a odolnosti proti vodě.

Tabulka 3: Požadavky na směsi typu ACP a ACO dle ČSN 73 6121:2023 a ČSN 73 6148:2023

Parametr	Jednotky	ČSN 73 6148		ČSN 73 6121		ČSN 73 6148		ČSN 736121	
		ACP 16R min.	ACP 16R max.	ACP 16+ min.	ACP 16+ max.	ACO 11R min.	ACO 11R max.	ACO 11+ min.	ACO 11+ max.
0,063	%	4	12	4	10	3	13	5	11
0,125	%	5	18	5	16	4	16	7	14
2	%	24	53	25	50	20	50	31	50
4	%					32	78	45	67
8	%	50	85	50	80	60	90	70	85
11	%					85	100	90	100
16	%	85	100	90	100	100	100	100	100
22	%	100	100	100	100				
V _{min}	%	4,0 (3,0)		4,0 (3,0)		2,0 (1,5)		2,5 (2,0)	
V _{max}	%	7,0 (9,0)		7,0 (9,0)		4,0 (5,0)		4,0 (5,0)	
B _{min}	%	–		4,1		–		5,7	
PRD _{AIR}	%	–		–		7,0		6,0	
WTS _{AIR}	mm/10 ³	–		–		0,15		0,08	
ITSR	%	–		–		–		80	

V tabulce 2 na předchozí straně jsou uvedeny směsi, které byly vybrány pro porovnání požadavků na směsi typu ACP a ACO z norem ČSN 73 6121:2023 (označení +) a ČSN 73 6148:2023 (označení R). Porovnání návrhových parametrů je následně v tabulce 3.

Pro konkrétní porovnání byly vybrány směsi, které se používají pro výstavbu komunikací s podobnou třídou dopravního zatížení (TDZ) spolu s jednotlivými TDZ z TP 170 (tabulka 2).

Směsi uvedené v tabulce 2 vlevo a porovnané v tabulce 3 lze považovat za ekvivalentní. Z hlediska požadavků na návrh směsi lze konstatovat, že požadavky na směsi vyrobené na obalovně jsou přísnější než požadavky na směsi vyrobené na místě. To je v podstatě logické, protože při zpracování znovuzískané asfaltové směsi se její homogenita zvyšuje oproti stavu, kdy je tato směs ve vozovce. Lze předpokládat, že vozovka, která bude určena k rekonstrukci bude vykazovat celé spektrum poruch, z nichž některé mohly být v minulosti sanovány. Z toho vyplývá, že vozovka může obsahovat více různých materiálů, které se v ploše vyskytují nerovnoměrně (druhů pojiv a druhů kameniva). Tento fakt byl dobře ilustrován v článku od M. Zaumanise [8] (obrázek 2).

V článku [8] je provedeno posouzení variability parametrů znovuzískané asfaltové směsi ve vozovce na zkušebním úseku v Lotyšsku. Hodnocení variability je provedeno ve třech fázích: ve vozovce, po odfrézování a po zpracování materiálu. Hodnotily se parametry pojiva i kameniva. Pro vyhodnocení maximálního dávkování R-materiálu, tj. hodnocení homogenity pro tyto tři fáze byl v článku použit stejný přístup jako je uveden pro hod-

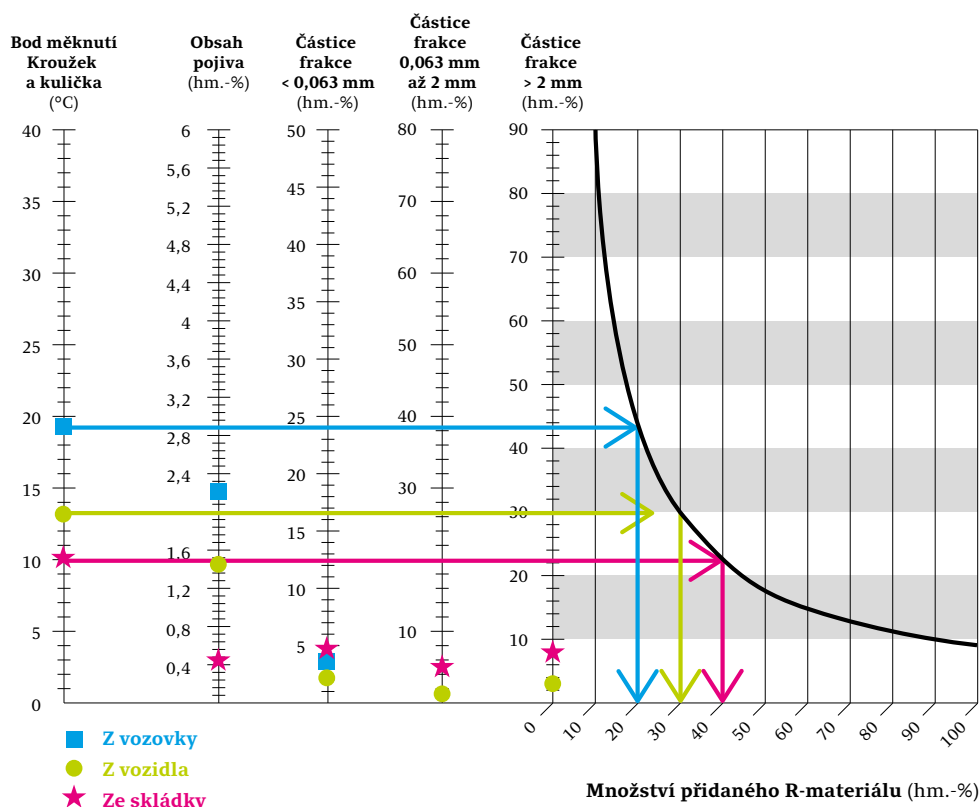
nocení homogenity v normě ČSN 73 6141:2020. **Nejhorší míru variability měl materiál ve vozovce před jeho zpracováním, zatímco nejlepší variabilitu měl materiál ze skládky.**

Při porovnání dvou do jisté míry podobných technologií (opětovné použití R-materiálu na obalovně a opětovné použití R-materiálu na místě) vyplývá:

- ▶ **Požadavky na směsi jsou mírnější v případě výroby směsí na místě (např. širší obor zrnitosti nebo nejsou uvedeny požadavky na obsah pojiva ve směsi).**
- ▶ **Maximální dávkování/použití znovuzískané směsi/R-materiálu je výrazně vyšší u směsí vyrobených na místě než na obalovně.**
- ▶ **Homogenita materiálu ve vozovce je nižší, než homogenita stejného materiálu po jeho odfrézování a zpracování.**
- ▶ **Požadavky na kontrolní zkoušky u směsí vyrobených na obalovně obsahují zkoušky zpětně získaných pojiv, zatímco u směsí vyrobených na místě toto zkoušení není požadováno.**

Na základě uvedených informací se lze domnívat, že požadavky na směsi vyrobené na místě a na obalovně jsou v českých normách nastaveny nerovnoměrně a do jisté míry i nelogicky, přestože obě technologie produkují z hlediska norem ekvivalentní výrobek použitelný pro stejné nebo podobné TDZ nebo i pro stejnou konstrukční vrstvu. Směsi vyrobené na obalovně jsou stanoveným harmonizovaným výrobkem dle EN 13108-1 a podle nařízení EP a Rady (EU) č. 305/2011, kterým se stanoví harmonizované podmínky pro uvádění stavebních výrobků na trh. Směsi

Rozmezí charakteristických hodnot R-materiálu



Obrázek 2: Posouzení homogenity znovuzískané asfaltové směsi/R-materiálu v závislosti na místě odběru materiálu, tj. z vozovky (modrá), z vozidla (zelená) a ze skládky (červená) [8]

vyrobené na místě (technologie *Remix*) jsou výrobkem stanoveným neharmonizovaným. Pro směsi vyrobené na místě by rovněž měl platit předpis ČSN 73 6141:2020, protože z principu tyto směsi obsahují více než 15 % RA, protože norma ČSN 73 6148 požadavky na zpětně získaná pojiva nelogicky neuvádí.

Protože v průběhu času dochází k vývoji technologického vybavení na obalovnách (viz další kapitola) není již nutné omezovat maximální dávkování R-materiálu na obalovně při výrobě některých typů směsí, a to zejména s přihlédnutím k tomu, že v ČR je v platnosti velmi dobrý systém norem pro hodnocení kvality, který byl zaveden zejména při publikaci předpisu ČSN 73 6141:2020.

Obalovny umožňující výrobu směsí s velmi vysokým obsahem R-materiálu (> 70 %)

Za velmi vysoký obsah R-materiálu při výrobě směsí na obalovně lze považovat 70 %, protože toto dávkování vyžaduje speciální technologie, které umožní ohřev R-materiálu na dostatečnou teplotu při omezení jeho degradace. Výčet některých technologií je uveden níže [9]:

- ▶ RAH 100 (Ammann) – sušící dvoukomorový paralelní buben s nepřímým ohřevem. R-materiál je nahříván proudem horkého vzduchu. Teplota ohřevu R-materiálu může dosáhnout rozmezí 160 °C až 180 °C.
- ▶ RA220HG (Benninghoven) – jednokomorový sušící buben s ohřevem R-materiálu pomocí proudu horkého vzduchu, který má teplotu 400 °C až 600 °C, výstupní teplota R-materiálu je až 165 °C.

▶ HERA (VolkerWessels (KWS Infra a Volker Stevin Materieel ve spojení s firmou Ammann), Nizozemsko – speciálně navržený buben s nepřímým ohřevem. R-materiál prochází bubnem, zatímco je ohříván prostupem tepla z pláště bubnu, v kterém proudí topné medium.

▶ TRX 100 (Mariny Ermont, Fayat) – mobilní kontinuální obalovna s nepřímým ohřevem R-materiálu. Obalovna existuje i ve stacionární verzi.

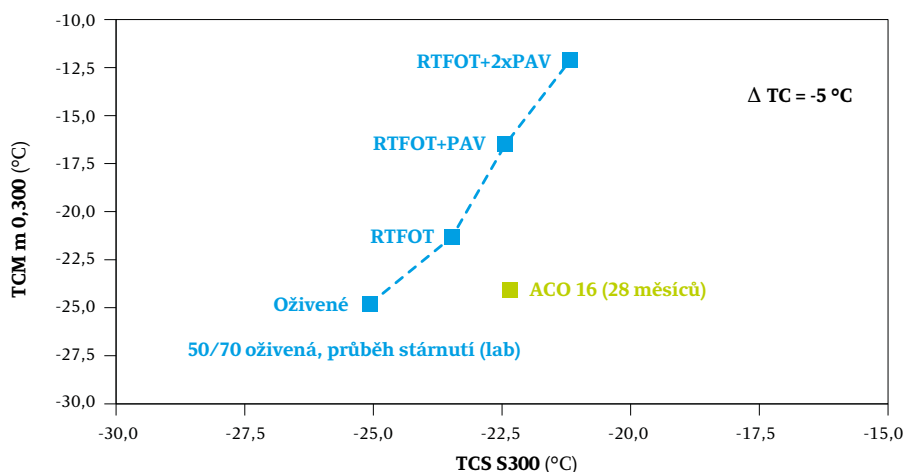
Technologie výroby a technologické vybavení obaloven, které jsou vybavené paralelním bubnem s nepřímým ohřevem bylo dobře popsáno v článku od R. Kadlece [10]. Tento článek byl věnovaný zejména technologii RAH 100 od skupiny Ammann. Při výrobě pomocí této technologie může být R-materiál ohříván na teploty produkce běžných asfaltových směsí. Pokud je u R-materiálu dosaženo této teploty, není nutné nadměrně přehřívát kamenivo. Tímto odpadá poslední ze jmenovaných problémů, které byly identifikovány v 70. letech v USA při prvních pokusech o výrobu směsí obsahující velmi vysoké dávky R-materiálu.

Ověření výroby směsí s velmi vysokým obsahem R-materiálu (> 70 %)

V roce 2020 proběhla výroba asfaltové směsi typu ACO 16, která obsahovala 80 % R-materiálu. Směs byla navržena podle normy ČSN 73 6121:2019 a splňovala všechny požadavky na tento typ směsí (čára zrnitosti a obsah pojiva). Pro výrobu směsí byla použita obalovna Ammann s technologií RAH 100. Zkušební úsek byl proveden na komunikaci s TDZ V-VI (vjezd do areálu,



Obrázek 3: Fotky ze zkušebního úseku se směsí ACO 16 s obsahem 80 % RA. Úsek po pokládce (vlevo) a po uplynutí 24 měsíců (uprostřed a vpravo)



Obrázek 4: Nízko teplotní vlastnosti z BBR pro laboratorně oživené pojivo 50/70 v různém stupni zestárnutí a pro pojivo ze směsi ACO 16 po 28 měsících od pokládky

kde se pohybují těžká nákladní vozidla), přičemž stav úseku se průběžně monitoruje. Na obrázku 3 je zobrazen stav po pokládce směsi v říjnu roku 2020 (vlevo) a stav po uplynutí 24 měsíců (uprostřed a vpravo).

Na zkušebním úseku se po uplynutí 2,5 roku nevyskytují žádné poruchy, které by měly například souvislost s přílišnou tuhostí nebo křehkostí pojiva nebo s jeho kolísajícím množstvím. Potvrdilo se tak, že pokud dojde ke správnému návrhu směsi, je možné se vyhnout komplikacím s předčasným vznikem těchto typů poruch. Při návrhu a výrobě směsi ACO 16 s 80 % RA byla použita oživovací přísada. Její dlouhodobou účinnost je možné ilustrovat pomocí výsledků zkoušek zpětně získaného pojiva dle ČSN 12697-3. Zpětné získání pojiva, jehož výsledky z empirických zkoušek jsou zobrazeny v tabulce 4, proběhlo po uplynutí 28 měsíců od pokládky. I po uplynutí této doby splňuje pojivo požadavek na kontrolní zkoušky dle ČSN 73 6141:2020 pojiva gradace 50/70 po výrobě.

Tabulka 4: Výsledky kontrolních zkoušek penetrace a bod měknutí u směsi ACO 16 po uplynutí 28 měsíců od pokládky

	Penetrace (0,1 mm), EN 1426	Bod měknutí (°C), EN 1427
Požadavek na pojivo 50/70 dle ČSN 73 6141 po výrobě	30–55	48–60
Vyextrahované pojivo ze směsi ACO 16, 28 měsíců	43	57,7

Na obrázku 4 jsou zobrazeny výsledky ze zkoušek nízko teplotních vlastností v BBR dle EN 14771. Na tomto obrázku je popsán vývoj vlastností oživeného pojiva 50/70 v závislosti na stupni zestárnutí a vlastnosti pojiva ze zkušebního úseku po 28 měsících. Při přípravě oživeného pojiva v laboratoři byla použita stejná přísada, jako byla použita při výrobě směsi ACO 16.

Při porovnání vlastností pojiva po 28 měsících a po zkoušce RTFOT je vidět, že pojivo ze stavby má mírně vyšší kritickou teplotu z hlediska tuhosti -22,3 °C (stavba) oproti -23,5 (RTFOT), ale má nižší kritickou teplotu z hlediska mhdnoty – 24,1 °C (stavba) oproti -21,3 °C (RTFOT).

Laboratorní návrhy směsí s obsahem 100 % R-materiálu

V rámci vývoje asfaltových směsí s obsahem 100 % R-materiálu bylo přistoupeno k návrhu směsi typu ACP. Celkem byly navrženy dvě směsi, které byly vyrobeny ze stejného R-materiálu (měly stejné čáry zrnitosti), ale lišily se z hlediska tuhosti výsledného pojiva. Tyto směsi byly označeny jako č. 1 a č. 2. Pro účely porovnání byla zkoušena i konvenční (referenční) směs ACP 16 S, která byla vyrobena na obalovně a neobsahovala R-materiál. R-materiál použitý při výrobě směsí byl klasifikován jako 32 RA 0/16.

Asfaltové směsi byly zkoušeny podle takzvaného funkčního přístupu, aby bylo prokázáno, že směsi splňují funkční návrhové požadavky pro tento typ směsí, které jsou stanovené v předpise TP 170, tj. návrhové charakteristiky únavy a tuhosti. Byl tak použit funkční způsob návrhu směsi dle národní přílohy normy ČSN EN 13108-1:2008 (v r. 2023 již neplatný dokument). Směsi navržené dle této přílohy se označovaly značkou F. Tato příloha byla původně zamýšlena pro návrhy směsí pro vozovky s vysokým TDZ vzhledem k časové náročnosti návrhů směsí. Empirický přístup k návrhu směsí byl v té době stejně jako dnes umožněn používat pro všechny TDZ. V průběhu času se pro návrhy směsí prosadil pouze empirický přístup, a proto byla funkční možnost návrhu z normy ČSN EN 13108-1 Národní příloha NA-E vyňata, a proto ani norma ČSN 73 6121:2019/2023 funkční přístup neobsahovala/neobsahuje.

V tabulce 5 jsou uvedeny výsledky funkčních zkoušek navržených směsí č. 1 a č. 2 a směsi z obalovny. Z hlediska tu-

hosti směsi, která byla zkoušena na dvoubodovém přístroji dle ČSN 12697-26, lze konstatovat, že lze navrhnout směs tak, aby měla tuhost v úrovni směsi referenční bez R-materiálu. Výsledná tuhost směsi může být regulována nastavením tuhosti pojiva v R-materiálu pomocí dávkování oživovací přísady. U směsi č. 1, kde byla tuhost vyšší než u směsi z obalovny, byla zkoušena i odolnost proti únavě. Předpokládá se, že pokud je směs tužší, je nižší její odolnost proti únavě. U směsi č. 1 byl výsledek únavového parametru $106 \cdot 10^{-6}$ ($\mu\text{m}/\text{m}$), tj. došlo ke splnění požadavku dle TP 170 i přesto, že směs měla poměrně vysokou tuhost. Zároveň lze konstatovat, že směs č. 1 splňovala i požadavky na mezerovitost dle ČSN 73 6121 i ČSN 73 6148.

Závěr

V článku je stručně popsána historie vývoje technologie recyklace v USA v 70. letech a jsou vysvětleny důvody, proč po dlouhou dobu bylo používání R-materiálu při výrobě asfaltových směsí významně omezeno. V další části je proveden popis vývoje regulačního rámce, který je spojen s výrobou asfaltových betonů, a v poslední části jsou uvedeny zkušenosti s výrobou a návrhem směsí s velmi vysokým dávkování R-materiálu. Lze uvést následující:

- ▶ Problémy, které vedly k omezování používání vysokého dávkování R-materiálu byly v průběhu času vyřešeny, a to především vývojem specifikačních dokumentů (v ČR ČSN 73 6121) a vývojem na poli technického vybavení obaloven (v ČR např. Ammann RAH 100, obrázek 5).
- ▶ Požadavky na asfaltové betony pro vozovky s nižším TDZ při výrobě na obalovně a na místě jsou nevyvážené ve výrazný neprospěch pro směsi, které jsou vyrobeny na obalovně. U směsí vyrobených na místě se nestanovuje obsah pojiva, nejsou stanoveny požadavky na zpětně získaná pojiva, meze pro zrnitost jsou volnější a požadavky na trvalé deformace mírnější při porovnání se směsmi, které jsou vyráběny na obalovně.

Tabulka 5: Výsledky laboratorních zkoušek směsí typu ACP 16

		Experimentální	Experimentální	Konvenční	Požadavky	
Směs		1. ACP 16 F	2. ACP 16 F	ACP 16 S	ACP 16R	ACP 16+
Výroba		Lab. výroba	Lab. výroba	Obalovna	ČSN 73 6148	ČSN 73 6121 TP 170
Obsah R-materiálu 32 RA 0/16 (%)		100	100	0	100	Max. 60
Tuhost S (MPa)	EN 12697-26	13 929	9 614	10 749		Min. 7 500
Únava ϵ_6 ($10^{-6} \mu\text{m}/\text{m}$)	EN 12697-24	106				Min. 100
Mezerovitost (%)	EN 12697-8	6,3		5,1	4,0–7,0	4,0–7,0

► Bylo ukázáno, že u směs pro obrusné vrstvy (ACO 16) obsahující 80 % R-materiálu může mít dobrou životnost a splňovat požadavky na zpětně získaná pojiva to nejenom z hlediska empirických zkoušek, ale pojivo ve směsi může mít velmi dobré nízkoteplotní chování při posouzení pomocí BBR dle ČSN EN 14 771.

► Bylo ukázáno, že rovněž směs obsahující pouze R-materiál (ACP 16 F) může splňovat funkční parametry směsi, které jsou stanoveny v TP 170. Parametry směsi je navíc vcelku jednoduché modifikovat pomocí změny tuhosti pojiva ve směsi pomocí oživovací přísady.

Z hlediska budoucího vývoje specifikačních norem na národní úrovni je doporučeno, aby bylo umožněno navýšit maximální dávkování R-materiálu ve směsích, které jsou vyráběny stacionárně na obalovně a které jsou z hlediska svého složení nebo funkčního chování na stejné úrovni jako směsi vyráběné na místě například technologií *Remix* dle ČSN 73 6148.

Bohužel se do uzávěrky odevzdání článku nepodařilo vyhodnotit výsledky směsi ACP 16 F obsahující 100 % R-materiálu vyrobené na obalovně a položené na zkušebním úseku dle návrhů v článku, a proto zde v tomto smyslu nemohou být publikovány žádné výsledky. Detaily návrhu směsi typu ACP a popis výroby a získané zkušenosti ze stavby budou proto publikovány v budoucnu.

Ing. Tomáš Koudelka, Ph.D., Vialab CZ s.r.o.

Ing. Petr Bureš, Vialab CZ s.r.o.

Ing. Jakub Šedina, Ph.D., Vialab CZ s.r.o.

Ing. Filip Dostál, Vialab CZ s.r.o.

Tomáš Mery, Vialab CZ s.r.o.

Literatura

[1] West R., Willis J. R., Marasteanu M. (2013) *Improved mix design, evaluation, and materials management practices for hot mix asphalt*

with reclaimed asphalt pavement content, Transportation Research Board, NCHRP report 752, 162 s.

- [2] Mohajeri M. (2015) *Hot mix asphalt recycling practices and principles, Diplomová práce, Technische Universiteit Delft, The Netherlands*
- [3] Al-Qadi I.L., Elseifi M., Carpenter S.H. (2007) *Reclaimed asphalt pavement – a literature review, report FHWA-ICT-07-001, Illinois Department of Transportation, Springfield, USA*
- [4] Hellriegel J. E., (1980) *Bituminous concrete pavement recycling, New Jersey Department of Transportation, DOT-FH-15-267*
- [5] Bloomquist D., Diamond G., Odin M., Ruth B., Tia M. (1993) *engineering and environmental aspects of recycled materials for highway construction, report FHWA-RD-93-088, 1993, Department of Transportation, Federal Highway Administration, Virginia, USA*
- [6] Howard I.L., Cooley L.A., Doyle J.D. (2009) *Laboratory testing and economic analysis of high rap warm mixed asphalt, report FHWA/MS-DOT-RD-09-200, Transportation Research Centre*
- [7] Jimenez, R.A., Meier, W.R. (1986) *Recycled asphaltic concrete mix design, report FHWA/AZ – 86/190, Department of Transportation, Phoenix, Arizona, USA*
- [8] Zaumanis M., Oga J., Haritonovs V. (2018) *How to reduce reclaimed asphalt variability: a full-scale study, Construction and Building Materials 188 (2018) 546–554*
- [9] Koudelka, T. (2020) *Recyklace asfaltových pojiv pomocí oživovacích přísad, Dizertační práce, Brno 2020*
- [10] Kadlec R. *První obalovna asfaltových směsí v České republice umožňující výrobu asfaltových směsí s využitím 90 % R-materiálu? [online]. 2021, 5, 1–10 [cit. 2023-07-07]. Dostupné z: <https://asfaltove-vozovky.cz/rocniky/rocnik-2021/>*



Obrázek 5: Obalovna Ammann ABP 240/320 HRT