

Aplikace recyklovaného asfaltového betonu v konstrukci železničního spodku

Vít Lojda, Ondřej Bret, Martin Lidmila, Katedra železničních staveb, Fakulta stavební, ČVUT v Praze

Souhrn

Tento příspěvek se zabývá alternativním uplatněním vedlejšího produktu asfaltového recyklátu vzniklého převážně z konstrukčních vrstev asfaltového betonu, který se po přetřídění a případném předrcení označuje asfaltový R-materiál. Uvedené označení R-materiál pochází z terminologie silničního stavitelství, z jehož prostředí se vedlejší produkt, případně odpad, nejčastěji získává. Příspěvek uvádí popis a možnosti aplikace R-materiálu v železničním stavitelství, shrnuje výhody a nevýhody jeho aplikace v konstrukci železniční trati. Příspěvek referuje o použitých technických předpisech, na základě kterých k aplikaci R-materiálu došlo. Na katedře železničních staveb, Fakulty stavební, ČVUT v Praze se pro ověření možností aplikace R-materiálu realizovala od roku 2011 řada laboratorních zkoušek. Realizovaný výzkum byl ve své první části zahájen výrobou laboratorního modelu pražcového podloží železniční trati v měřítku 1:1. Konstrukce pražcového podloží byla v modelu tvořena vrstvou R-materiálu. Železniční svršek byl v modelu tvořen betonovým pražcem uloženým ve šterkovém loži. Model byl podroben zatěžovacím cyklům simulujícím pojezd náprav železničních vozidel. Cílem sledování modelu bylo ověření receptury R-materiálu založené na měření únosnosti asfaltové vrstvy a sledování trvalých a dočasných deformací vlivem zatěžování. Ve druhé části výzkumu došlo k aplikaci R-materiálu v konstrukci zkušebního úseku železniční tratě, který byl realizován Katedrou železničních staveb, Fakulty stavební, ČVUT v Praze ve spolupráci s firmou GJW Praha s.r.o. Zkušební úsek s R-materiálem zřízený na jednokolejně železniční trati v obci Štáhlavy v roce 2016 zahrnuje železniční přejezd a přilehlou část trati o délce 80 m. Receptura směsi v konstrukční vrstvě se vyznačuje vysokým podílem R-materiálu. Sanace pomocí R-materiálu byla v tomto úseku železniční trati zvolena na základě dlouhodobých problémů s udržení geometrických parametrů koleje. Druhým opodstatněním této aplikace bylo opatření vyplývající z nepříznivého vodního režimu v podloží, při kterém bylo zemní těleso ohroženo nepříznivými účinky mrazu. Oba zmíněné problémy vedly k poškození konstrukce železniční tratě. Zkušební úsek je nyní provozován a sledován pomocí zvolených měřících profilů. Ve zvolených měřících profilech jsou metodou jádrových vývrtů průběžně odebrány vzorky R-materiálu a jsou měřeny deformační charakteristiky. Na základě zkušeností a provedených měření ve zkušebním úseku budou vyhodnoceny možnosti budoucího rozšíření odpadního asfaltového betonu v železničním stavitelství. Vlastním přínosem tohoto příspěvku jsou výsledky a popis laboratorních zkoušek provedených na směsi R-materiálu uloženého ve zkušebním úseku. Dále byly provedeny laboratorní zkoušky na zkušebních tělesech odebraných z konstrukční vrstvy metodou jádrových vývrtů, na základě kterých byla vyhodnocena pevnost v prostém tlaku. Závěr článku se skládá z vyhodnocení provedených laboratorních zkoušek, ze souhrnu relevantních poznatků o aplikaci recyklovaného asfaltového betonu v konstrukci pražcového podloží a z informací o možném dalším rozšíření aplikace R-materiálu.

Klíčová slova: odpad, recyklace, asfaltový beton, pražcové podloží, železniční spodek, R-materiál.

Úvod

Od roku 2000 je na Katedře železničních staveb Fakulty stavební ČVUT v Praze průběžně řešeno v rámci různých výzkumných aktivit téma „Využití alternativních materiálů v konstrukci pražcového podloží“. Příkladem řešení mohou být práce věnované popilkovému stabilizátu [1], betonovému recyklátu [2,3], drceným automobilovým pneumatikám [4] a recyklovaným asfaltovým směsím [5,6]. Použití asfaltových směsí v konstrukci pražcového podloží bylo v podmínkách tehdejších ČSD sledováno již v 60. a 70. letech 20. století. S ohledem na vysoké počáteční náklady a technologickou komplikovanost však u nás toto řešení dosud není běžné a používá se pouze ve speciálních případech.

Technologickým vývojem v oblasti silničního stavitelství resp. výroby asfaltových směsí pomocí tzv. paralelního sušícího bubnu, případně sušícího bubnu z dvojitým pláštěm nebo mobilních recyklérů, lze vyrobit mimo běžné asfaltové směsi, i směsi obsahující vyšší podíl R-materiál.

R-materiál je asfaltová směs znovuzískaná odfrézováním asfaltových vrstev nebo drcením desek vybouraných asfaltových vozovek nebo velkých kusů asfaltové směsi z neshodné nebo nadbytečné výroby, která byla přetříděna a předrcena na požadovanou frakci. Tento materiál je přesně specifikován normou ČSN EN 13108-8. Složení R-materiálu musí tvořit více jak 95 % asfaltových materiálů s maximálním obsahem 5 % hmotnostních ostatních recyklovaných materiálů jako je: beton, betonové výrobky, malta, betonové zdící prvky, jíl a další přilnavé nečistoty, kovy, neplovoucí dřevo, stavební plasty a pryž, sádrová omítka a další.

R-materiál patří do skupiny recyklovaných stavebních materiálů (RSM) obsahujících asfaltové směsi. Do této skupiny dále patří „Recyklát z vozovek“ a „Recyklát asfaltový“ (nově dle EN 13108-8:2016 pouze jako znovuzískaná asfaltová směs). Uvedené materiály se vzájemně liší podílem obsahu asfaltových směsí a dalších složek. Produkce odpadu z asfaltových směsí nebo oprav a rekonstrukcí asfaltových vozovek dosahovala v letech 2007 až 2015 množství v rozmezí přibližně 430 – 600 tisíc tun [5]. Podíl jejich využití v technologiích recyklovaných asfaltových směsí v posledních letech rostl a v roce 2013 dosáhl hodnoty 72 %. Cílem pro další období je dosažení 75 % recyklace odpadů z vytěžených a vybouraných asfaltových směsí. Jednou z možných cest zvyšování podílu využití recyklovaných asfaltových směsí je jejich aplikace v konstrukcích pražcového podloží.

Potenciál využití R-materiálu v konstrukčních vrstvách pražcového podloží

Možnost využití asfaltových směsí v konstrukčních vrstvách pražcového podloží byla historicky motivována především snahou zvýšit jeho deformační odolnost a zlepšit ochranu zemní pláň před účinky mrazu a vody. Konstrukční vrstvy vyrobené z asfaltových směsí se vyznačují vyšší mechanickou odolností, včetně schopnosti přenášet tahová napětí. V důsledku nižší tepelné vodivosti asfaltových směsí, ve srovnání s (běžně používaným) drceným kamenivem, je při jejich použití zemní pláň lépe chráněna před účinky mrazu. Současně může konstrukční vrstva z asfaltových směsí významným způsobem omezit pronikání srážkové vody na zemní pláň a naopak zabránit vztlínání vody a jemnozrnného materiálu zemní pláň do kolejového lože.

Základní nevýhodou aplikace asfaltových směsí do konstrukce pražcového podloží v ČR je jejich cena, která je ve srovnání s drceným kamenivem (štěrkodrt' frakce 0/32) přibližně 6× vyšší. Další významnou nevýhodou je závislost kvality konstrukčních vrstev z asfaltových směsí na teplotě při jejich pokládce. Drcené kamenivo lze zpracovávat prakticky bez teplotního omezení s výjimkou zákazu zpracovávat zmrzlé drcené kamenivo. První možností jak snížit cenu konstrukční vrstvy vyrobené z asfaltové směsi je při její výrobě maximálně využít na potřebnou teplotu ohřátý recyklovaný materiál označovaný jako R-materiál. Druhou možností je při pokládce vrstvy použít pouze základní stavební techniku typu: zemní válec, grejdr, nákladní automobil, rypadlo. Z hlediska dosažení lepší efektivity pokládky a zejména co nejlepší homogenity zhutnění a stejné rovinatosti se nicméně doporučuje používat standardní finišery.

Aplikací vysokého podílu R-materiálu do asfaltových směsí a asfaltových vrstev se v zahraničí zabývali například (Chen et al., [7]), (Silva et al., [8]), (Olard et al., [9]) a (Dinis-Almeida et al., [10]). Ze zahraniční studie (Kučera, [5]) vyplývá, že v celosvětovém měřítku probíhají výzkumné práce zaměřené na aplikace R-materiálu v množství od 30 do 100 % objemové hmotnosti v asfaltové směsi, která byla dále posuzována dle požadavků oboru silničního stavitelství. Výsledky zahraničních prací jednoznačně ukazují na potřebu R-materiál ohřívat na teploty od 60 do 160 °C, která má zásadní vliv na mechanické vlastnosti, na mezerovitost a na odolnost výsledné konstrukční vrstvy proti účinkům vody.

Od roku 2011 je na Katedře železničních staveb Fakulty stavební ČVUT v Praze systematicky realizován výzkum možnosti aplikace asfaltových směsí obsahující 100 % R-materiálu ohřátého na teplotu 80 až 120 °C bez aplikace dalších příměsí či pojiv do konstrukční vrstvy pražcového podloží [5]. Pro takovou to aplikaci nejsou v oboru železničního ani silničního stavitelství v ČR stanoveny postupy, normy a předpisy. V letech 2011 až 2014 byly postaveny v měřítku 1:1 dva malé laboratorní modely o rozměrech (900 × 790 × 480 mm) a tři velké laboratorní modely o rozměrech (2095 × 990 × 800 mm) konstrukce pražcového podloží s vrstvou z asfaltové směsi obsahující 100 % R-materiálu.

Výsledky laboratorního výzkumu vlastností asfaltových betonů vyrobených ze 100 % R-materiálu pro aplikace do konstrukcí pražcového podloží provedeného na Katedře železničních staveb (Kučera [5]) lze shrnout do Tab. 1 a Tab. 2. Současně na základě výsledků laboratorních zkoušek byla doporučena minimální teplota 100 °C směsi R-materiálu při pokládce (zhuťování) konstrukční vrstvy asfaltového betonu. Na pozitivní výsledky navázala v roce 2016 realizace zkušební úseku v blízkosti železniční stanice Štáhlavy.

Tab. 1 – Návrhové požadavky na asfaltovou směs s obsahem 100 % R-materiálu.

kvalitativní ukazatel	parametry R-materiálu	zkušební metoda
maximální objemová hmotnost ρ_{mv}	2400 až 2600 kg.m ⁻³	ČSN EN 12697-5
obsah rozpustného pojiva S	4 až 7 %	ČSN EN 12697-1
zrnitost kameniva	0/16 až 0/22 mm	ČSN EN 12697-2 a ČSN EN 933-1

Tab. 2 – Požadavky na položenou konstrukční vrstvu z asfaltové směsi s obsahem 100 % R-materiálu.

kvalitativní ukazatel	parametry směsi	zkušební metoda
mezerovitost V_m	max. 15 %	ČSN EN 12697-8
pevnost v prostém tlaku R_c	min. 2,5 MPa	ČSN EN 13286-41
odolnost proti mrazu a vodě R_{cxx}	min. 85 % pevnosti v prostém tlaku	SŽDC S4, příloha 6 a ČSN EN 14227-1

Zkušební úsek s recyklovaným asfaltovým betonem

Realizovaný zkušební úsek o délce přibližně 80 m se nachází na celostátní železniční trati Plzeň – České Budějovice v katastrálním území obce Štáhlavy v Plzeňském kraji v nadmořské výšce 360 metrů nad mořem. Jedná se o jednokolejnou elektrifikovanou trať s dovolenou traťovou třídou zatížení D3, která je definována přípustným zatížením na nápravu 22,5 t, resp. 7,2 t na běžný metr.

Zkušební úsek začíná v km 326,095 a končí v km 326,169 a zahrnuje také železniční přejezd v km 336,111. Poloha zkušební úseku byla vybrána z důvodu dlouhodobých problémů s udržení geometrických parametrů jízdní dráhy způsobených jak namáháním železničního přejezdu silniční dopravou, tak navíc i nepříznivým vodním režimem. Problémy s geometrickými parametry koleje vyústily v nepřijatelné hodnoty zborcení koleje v místě železničního přejezdu a správcem trati byla naplánována komplexní rekonstrukce přejezdu a přilehlých úseků trati. Vlastní rekonstrukci přejezdu, přilehlých traťových úseků a zkušební úseku realizovala firma GJW Praha s.r.o. ve dnech 20.-24. května 2016.

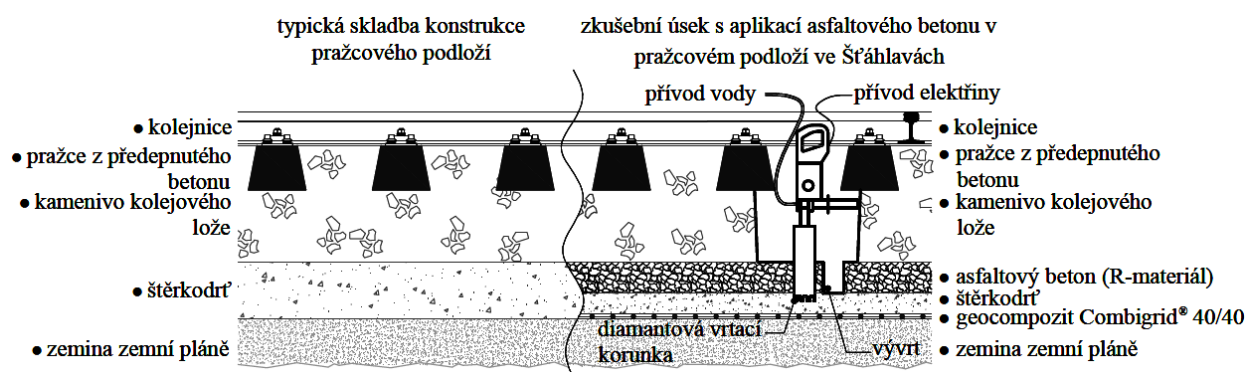
Zkušební úsek je vyjma železničního přejezdu situován v mělkém zářezu s hloubkou do 1,5 m (Obr. 1). Železniční svršek je v tomto úseku tvořen betonovými pražci SB8, tuhým upevněním typu K a kolejnicemi tvaru 49 E1. Původní projekt rekonstrukce pražcového podloží v daném úseku předpokládal vložení typické konstrukční vrstvy ze štěrku o tloušťce 250 mm, viz Obr. 2. Tento návrh byl pracovníky Katedry železničních staveb, Fakulty stavební, ČVUT v Praze po konzultaci s investorem v místech zkušební úseku upraven tak, že část tloušťky vrstvy štěrku byla nahrazena vrstvou z R materiálu zpracovaného za tepla, viz Obr. 2.

Stavební práce byly zahájeny snesením kolejového roštu a odtěžením starého kolejového lože a starých konstrukčních vrstev, až na úroveň nově projektované zemní pláně. Zemní pláň byla přehutněna a bylo položeno kompozitní geosyntetikum Combigrad 40/40 s funkcí výztužnou, separační a filtrační. Na geosyntetikum byla z technologických důvodů položena vrstva štěrku frakce 0/32 o tloušťce 100 mm po zhuťování. Následně byla uložena konstrukční vrstva z recyklované asfaltové směsi o tloušťce 150 mm po zhuťování. Celkový pohled na složení konstrukce pražcového podloží

ve zkušebním úseku je na Obr. 3. R-materiál byl dovezen nákladními automobily, ze kterých byl odebírán za použití dvoucestného bagru MHS.2. Rozhrnování R-materiálu z osy koleje po šířce a jeho výšková úprava byla provedena pomocí grejdrů HBM BG 110. Asfaltová směs byla hutněna se střední vibrací pomocí zemního tahačového válce AMMANN ASC 90 o hmotnosti 9000 kg. Na vrstvu asfaltového betonu byla uložena vrstva kameniva kolejového lože, pražce z předepnutého betonu a instalovány kolejnice.



Obr. 1 – Pohled na zkušební úsek ve směru proti staničení



Obr. 2 – Podélný řez zobrazující typickou skladbu konstrukce železniční trati a skladbu s aplikací R-materiálu ve Štáhlavech s naznačením způsobu jeho odběru metodou jádrových vývrtů

Konstrukční vrstva asfaltového betonu byla vyrobena ze směsi označené dle ČSN EN 13108-1 jako ACP 22+ se silničním asfaltem 50/70. Tato asfaltová směs obsahovala 70 %-hm. tříděného R-materiálu frakce 0/22 mm. Směs vyrobila firma Froněk, spol. s r.o. Rakovník. Teplota směsi při nakládání byla 140 °C a při zpracování na stavbě klesla teplota na rozpětí mezi 100 °C až 120 °C. Vyššího obsahu podílu R-materiálu ve směsi nebylo možné z technologických a přepravních důvodů dosáhnout.



Obr. 3 – Celkový pohled na složení konstrukčních vrstev pražcového podloží (po zhutnění) ve zkušebním úseku s horní vrstvou z asfaltové směsi s obsahem 70 % R-materiálu

Po cca 4 hodinách od pokládky konstrukční vrstvy z asfaltové směsi s vysokým obsahem R-materiálu byly provedeny odběry zkušebních vzorků. Zkušební tělesa byla odebírána technologií jádrového vrtání pomocí vrtací korunky s vodním výplachem (Obr. 4). Celkem bylo odebráno 6 kusů zkušebních těles. Pohled na odebraná zkušební tělesa je na Obr. 5. Na zkušebních tělesech byla Katedrou železničních staveb, Fakultou stavební, ČVUT v Praze později laboratorně stanovena pevnost v prostém tlaku.



Obr. 4 – Odběr zkušebních těles metodou jádrových vývrtů s vodním výplachem



Obr. 5 – Válcová zkušební tělesa z R-materiálu pro laboratorní zkoušku pevnosti v prostém tlaku

Laboratorní zkouška pevnosti v prostém tlaku

Zkušební tělesa (Obr. 5) byla podrobena laboratorní zkoušce pevnosti v prostém tlaku s cílem stanovit vrcholovou pevnost R_c . Pevnost zkušebních těles v prostém tlaku R_c byla vypočtena podle následujícího vztahu [11]:

$$R_c = \frac{F}{A_c}$$

kde R_c je pevnost zkušebního tělesa z R-materiálu v tlaku v MPa,
 F - mezní síla dosažená při zatěžování zkušebního tělesa v kN,
 A_c - průměrná průřezová plocha zkušebního tělesa před provedením laboratorní zkoušky v mm^2 .

Laboratorní zkoušky byly provedeny dne 14. února 2017 a u zkušebních těles tak lze předpokládat mírnou degradaci krátkodobým stárnutím, které je pro asfaltové směsi přirozené. Technický předpis popisující metodu stanovení pevnosti recyklovaného betonu v prostém tlaku není v rámci předpisové základny EN norem dostupný. Z tohoto důvodu byly požadavky na laboratorní zařízení pro provádění testu, postup provádění zkoušky a metoda výpočtu pevnosti v prostém tlaku přejaty z technické normy [11] zaměřené na zkoušení nestmelených směsí a směsí stmelených hydraulickými pojivy. Rovnoběžnost dolní a horní podstavy válcových zkušebních těles byla upravena s ohledem na předpis [11].

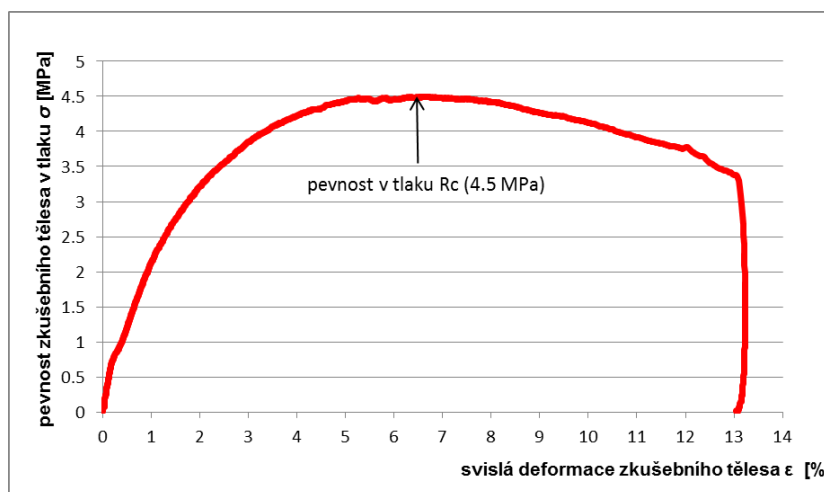
Zkušební tělesa měla tvar válce s podstavou o průměru daném vnitřním průměrem vrtné korunky, tj. průměrně 94,3 mm. Výška válcových zkušebních těles, odpovídala tloušťce konstrukční vrstvy z asfaltového betonu ve sledovaném profilu zkušebního úseku, a pohybovala se v rozmezí od 125 do 150 mm s průměrnou hodnotou 132,4 mm. Základní naměřené hodnoty jednotlivých zkušebních těles jsou uvedeny v Tab. 3. Průměrná objemová hmotnost konstrukční vrstvy z asfaltové směsi s obsahem 70 % R-materiálu vypočtená z rozměrů a hmotnosti těles dosáhla hodnoty $2460 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Pro porovnání lze uvést, že při výrobě laboratorních válcových zkušebních těles z asfaltové směsi odebrané při vlastní realizaci bylo dosaženo metodou vodou nasyceného povrchu (SSD) objemové hmotnosti $2358 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ až $2427 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ v závislosti na zvolené teplotě hutnění v intervalu $100 \text{ }^\circ\text{C}$ až $140 \text{ }^\circ\text{C}$.

Zkušební tělesa č. 1 a č. 2 byla využita pro navržení a ověření zkušebního postupu. U těchto zkušebních těles byla provedena nedestruktivní zkouška sadou deseti statických zatěžovacích cyklů s mezemi zatížení od 1,0 do 3,5 kN. Cílem tohoto postupu bylo urovnání zkušebního tělesa v lisu za účelem vyrovnání napětí před provedením vlastní destruktivní laboratorní zkoušky. Z vyhodnocení statických cyklů však vyplynulo, že zkušební těleso z R-materiálu se už při zatížení 3,5 kN plasticky přetvářelo. Z toho důvodu bylo od statických cyklů ustoupeno. Výsledky zkušebních těles č. 1 a č. 2 není vhodné s výsledky ostatních zkušebních těles přímo porovnávat, a proto nebyly publikovány. Relevantní data o pevnosti R-materiálu v prostém tlaku vyplývají ze zkušebních těles č. 3 až č. 6.

Laboratorní zkouška pevnosti v prostém tlaku byla provedena ve zkušebním listu typu EU40 s maximálním možným zatížením 200 kN. Průběh laboratorní zkoušky byl řízen zvolenou rychlostí zatěžování $0,1 \text{ kN}\cdot\text{s}^{-1}$. Zkušební tělesa byla zatížena prostým tlakem s plynulým zvyšováním zatížení až do jejich destrukce. V průběhu laboratorní zkoušky byla kontinuálně zaznamenávána svislá deformace zkušebních těles a zatěžovací síla. Svislý posun po výšce zkušebních těles byl měřen třemi LVDT snímači posunu upevněnými v magnetických stojácích. Snímače posunu byly rozmístěny rovnoměrně po obvodu zkušebního tělesa. Záznam síly a posunu byl ukládán do datalogeru typu Ahlborn Almemo 2690. Příklad průběhu vyhodnocení laboratorní zkoušky pevnosti v prostém tlaku zkušebního tělesa č. 5 je na Obr. 6. Výsledky pevnosti v prostém tlaku jednotlivých zkušebních těles jsou uvedeny v Tab. 3.

Průměrná pevnost zkušebních těles z asfaltové směsi s obsahem 70 % R-materiálu v tlaku stanovená podle výše popsaného postupu dosáhla hodnoty $R_c = 4,3 \text{ MPa}$. Zvolený zkušební postup zatěžování prostým tlakem stanovil nejvyšší dosaženou sílu, ze které byla vypočtena pevnost zkušebních těles z R materiálu. Při dosažení síly, ze které je vypočtena pevnost zkušebního tělesa, došlo k významnému stlačení zkušebních těles, a to v rozmezí od 15 do 20 mm. Takové stlačení nekoresponduje se skutečným stlačením konstrukční vrstvy v železniční trati, ale je charakteristikou R-materiálu při zvoleném postupu provádění laboratorní zkoušky. Výsledky v Tab. 3 by bylo vhodné doplnit a porovnat s výsledky z triaxiálního přístroje. Obdobně je vhodné kvalitu recyklovaných asfaltových směsí posoudit

typickými zkouškami jako je pevnost v příčném tahu dle ČSN EN 12697-23 nebo modul tuhosti dle ČSN EN 12697-26. Provést lze i zkoušky cyklického zatížení v prostém tlaku dle ČSN EN 12697-25



Obr. 6 – Záznam průběhu normálového napětí a deformace zkušebního tělesa č. 5 s vyznačením vrcholové pevnosti v tlaku R_c

Tab. 3 – Výsledky laboratorních zkoušek provedených na zkušebních tělesech

číslo zkušebního tělesa	1	2	3	4	5	6	Průměrná hodnota
průměr [mm]	94,3	94,3	94,3	94,4	94,3	94,3	94,3
výška [mm]	125,8	150,4	139,4	126,1	124,5	128,3	132,4
objemová hmotnost ρ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	2455	2464	2479	2470	2480	2413	2460
pevnost v prostém tlaku R_c [MPa]	-	-	4,1	4,2	4,5	4,3	4,3
Mezerovitost V_m [%]	2,0	1,5	1,3	1,9	0,7	4,0	1,9

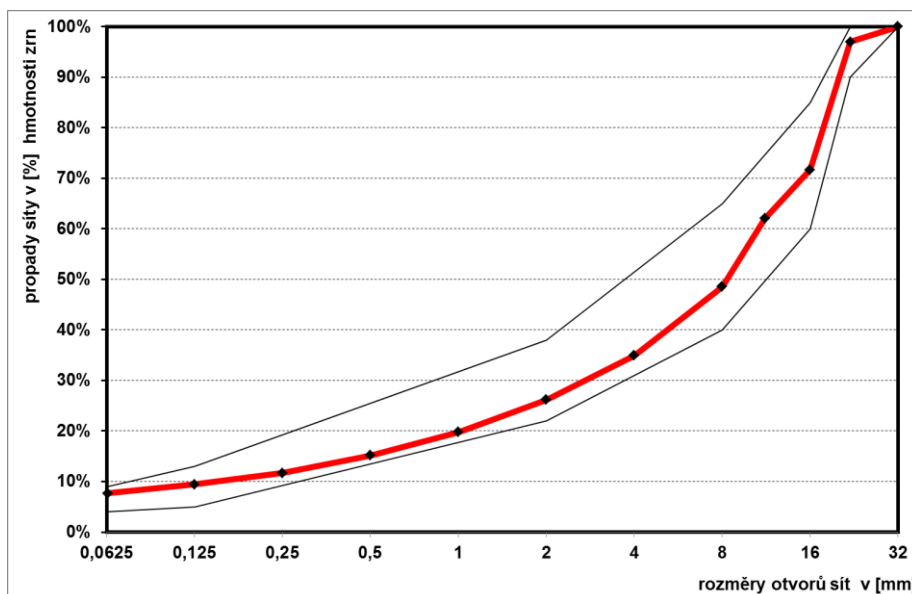
Laboratorní zkoušky směsi použité na zkušebním úseku

Pro zpětnou analýzu vlastností vyrobené asfaltové směsi s obsahem min. 70 % R-materiálu bylo v průběhu výstavby odebráno cca 100 kg směsi. Asfaltová směs byla dopravena do akreditované silniční laboratoře Fakulty stavební ČVUT v Praze. Na asfaltové směsi byly provedeny laboratorní zkoušky, viz Tab. 4.

Tab. 4 – Laboratorní zkoušky asfaltové směsi s obsahem R-materiálu

název laboratorní zkoušky	značka	zkušební postup
zrnitost směsi R-materiálu	-	ČSN EN 12697-2+A1
obsah rozpustného pojiva	S	ČSN EN 12697-1
maximální objemová hmotnost	r_{mv}	ČSN EN 12697-5

Výsledky laboratorní zkoušky zrnitosti asfaltové směsi s R-materiálem jsou graficky uvedeny na Obr. 7. Provedená zkouška potvrdila, že vyrobená asfaltová směs splnila z pohledu zrnitostního složení požadavky na asfaltové směsi typu ACP 22 S.



Obr. 7 – Průběh křivky zrnitosti použité asfaltové směsi na zkušební úseku s vyznačením hranic pro směs ACP 22 S

Dále byla provedena laboratorní zkouška stanovující obsah rozpustného asfaltového pojiva v asfaltové směsi. Vyrobená asfaltová směs s podílem 70 % R-materiálu obsahovala hmotnostně 4,5 %-hm. asfaltového pojiva. Naměřená hodnota pojiva $S = 4,5 \%$ vyhovuje návrhovým požadavkům, viz Tab. 1. Poslední laboratorní zkouškou provedenou na asfaltové směsi odebrané na zkušební úseku bylo stanovení maximální objemové hmotnosti volumetrickým postupem dle ČSN EN 12697-5, viz Obr. 8. Laboratorní zkouškou byla dosažena hodnota $\rho_{mv} = 2501 \text{ kg.m}^{-3}$. Hodnota maximální objemové hmotnosti pak byla použita při výpočtu mezerovitosti zkušebních těles odebraných na zkušební úseku, viz Tab. 4.



Obr. 8 – Pohled na laboratorní zkoušku stanovení maximální objemové hmotnosti asfaltové směsi v silniční laboratoři Fakulty stavební ČVUT v Praze

Závěr

Realizace laboratorních modelů včetně laboratorních zkoušek umožnila stanovit základní návrhové parametry pro asfaltové směsi s vysokým obsahem R-materiálu. Při výrobě asfaltové směsi, použité do zkušebního úseku, se z technologických důvodů nepodařilo vyrobit směs s obsahem 100 % R-materiálu a vyrobená směs dosáhla pouze cca 70 % obsahu R-materiálu. Z tohoto důvodu byly očekávány výsledky laboratorních zkoušek na straně směrem k vyšší kvalitativní hranici než hodnoty navržené na základě laboratorního výzkumu, viz Tab. 1. Tato hypotéza se potvrdila (s výjimkou obsahu asfaltového pojiva) a vzájemné porovnání návrhových a dosažených parametrů je uvedeno v Tab. 5. Současně dosažené výsledky v obecné rovině korelují s výsledky zahraničních autorů.

Tab. 5 – Porovnání návrhových a dosažených parametrů asfaltové směsi a vrstvy

kvalitativní ukazatel	návrhové parametry pro 100 % R-materiál	dosažené parametry pro 70 % R-materiál
maximální objemová hmotnost r_{mv}	2400 – 2600 kg.m ⁻³	2501 kg.m ⁻³
objemová hmotnost vrstvy	-	průměr 2460 kg.m ⁻³
obsah rozpustného pojiva S	4 – 7 %	4,5 %
zrnitost kameniva	0/16 až 0/22 mm	0/22 mm
pevnost v prostém tlaku R_c	min. 2,5 MPa	průměr 4,3 MPa
mezerovitost V_m	max. 15 %	průměr 1,9 %

Z pohledu praktických zkušeností z realizace zkušebního úseku je možno konstatovat, že lze běžnou stavební mechanizací položit konstrukční vrstvu s vysokým obsahem R-materiálu a že tato vrstva dosahuje navrhovaných parametrů.

Pro podrobnější analýzu a hodnocení konstrukční vrstvy s vysokým obsahem R-materiálu v asfaltové směsi bude zkušební úsek pracovníky Katedry železničních staveb v následujících letech podrobně sledován a vyhodnocován.

Přes výše uvedené pozitivní výsledky jsou si autoři článku vědomi toho, že konstrukční vrstva z asfaltové směsi obsahující vysoké procento R-materiálu, bude navrhována a realizována spíše ve speciálních případech a její intenzivní nasazení se nedá očekávat. Klíčovými parametry pro další rozvoj této konstrukce v podmínkách železničního stavitelství bude dostatečný počet obaloven vybavených technologiemi pro výrobu tohoto typu asfaltových směsí s vysokým podílem R-materiálu (paralelní buben nebo dvouplášťový buben) a do značné míry také výrobní náklady spojené s takovou technologií a vztažené k jedné vyrobené tuny. Alternativou této technologie mohou být v silničním stavitelství řadu let známé aplikace 100% recyklace prováděné za studena.

Poděkování

Podpořeno projektem „Zkušební úsek s konstrukční vrstvou z R-materiálu v pražcovém podloží“, označení ISPROFOND 500 621 0236, poskytovatel SFDI ve spolupráci s SŽDC.

Literatura

- [1] M. Lidmila, V. Lojda, L. Kopecký, a Z. Prošek, „Popílkový stabilizát v konstrukci pražcového podloží“. VUT v Brně, Fakulta stavební, s. 133, 2015.
- [2] O. Zobal, P. Padevět, M. Lidmila, P. Tesárek: Možnosti recyklace betonu. In Betonářské dny 2010. Praha: Česká betonářská společnost ČSSI, 2010, díl 1, s. 491-494. ISBN 978-80-87158-28-9.

- [3] J. Šablatura: Experimentální ověření recyklátu z betonových prážců v konstrukční vrstvě prážcového podloží. Diplomová práce. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 2012, s. 111.
- [4] O. Bret: Determination of rubber granulate frost protection. Juniorstav 2017, Brno: Brno University of Technology, Faculty of Civil Engineering, 2017.
- [5] P. Kučera, Utilization of alternative materials in railway trackbed. Dissertation, Czech Technical University in Prague, Prague, 2015.
- [6] M. Lidmila, T. Zikmund, J. Dvořák, J. Kaiser, V. Lojda: Application of Non-destructive Method for the Determination of Microstructural Parameters of Recycled Asphalt Concrete in Track Bed. In: Key Engineering Materials. Trans Tech Publications, Switzerland. Vol. 722, pp 235-240, 2017. ISSN: 1662-9795.
- [7] J. S. Chen et al., Engineering characterization of recycled asphalt concrete and aged bitumen mixed recycling agent, Journal of Material Science 42 (2007) 9867-9876.
- [8] H. M. R. D. Silva et al. Are totally recycled hot mix asphalts a sustainable alternative for road paving? Resources, Conservation and Recycling 60 (2012) 38-48.
- [9] F. Olard. et al., Laboratory performance-based assessment of half-warm mix asphalts with high recycling rate by means of the factorial experiment design approach. In: A. Scarpas, T. Loizos (Eds.), Advanced Testing and Characterization of Bituminous Materials, Taylor & Francis Group, 2009, pp. 651-660.
- [10] M. Dinis-Almeida et al., Mix design considerations for warm mix recycled asphalt with bitumen emulsion, Construction and Building Materials 28 (2012) 687-693.
- [11] ČSN EN 13286-41. *Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy - Část 41: Zkušební metoda pro stanovení pevnosti v tlaku směsí stmelených hydraulickými pojivy.* Praha: Český normalizační institut, 2004.