

Pokusný úsek pro ověření udržitelné asfaltové technologie – podkladní vrstva z asfaltové směsi se 100 % R-materiálu

Na zkušebním úseku nedaleko Mnichova byl úspěšně ověřen speciální koncept pro asfaltové podkladní vrstvy. Asfaltová směs byla složena ze 100 % R-materiálu vč. příslušných přísad. Cílem testu bylo ověřit nejen ekologickou optimalizaci, ale i snížení manipulační teploty o min. 25 °C ve srovnání s konvenční asfaltovou směsí. Provedené kontrolní zkoušky prokázaly dodržení požadavků na kvalitu asfaltové směsi v souladu s platným technickým předpisem. Výkonové zkoušky dále zvýraznily meze použitelnosti tohoto konceptu.

Úvod

Bavorské ministerstvo pro výstavbu, bydlení a dopravu podporuje řadu let inovativní řešení i v oblasti ekologických asfaltových technologií a technologií, které šetří cenné zdroje nebo optimalizují skladování stavebních materiálů, zejména pak R-materiálu. Značné úsilí je věnováno trvanlivosti a dlouhodobé životnosti asfaltových konstrukcí ve snaze dosáhnout vyšší hospodárnosti a udržitelnosti infrastruktury. Součástí je tak i snaha o maximální opětovné použití vybouraných asfaltových směsí.

Obalovny s moderním technologickým vybavením, kam patří zejména paralelní buben pro nepřímý ohřev R-materiálu horkými plyny, dnes umožňují záruku kvalitního zpracování R-materiálu a jeho přidávání do asfaltových směsí v množství až do 80 hm-%. U těchto obaloven jsou asfaltové směsi s vysokým podílem R-materiálu nedílnou součástí výrobního programu.

Na tomto základě byl v roce 2023 iniciován projekt, jehož cílem bylo vyvinout a prakticky ověřit koncept asfaltové směsi s max. podílem R-materiálu. Pro ověření byla vybrána směs pro podkladní vrstvy s předpokladem porovnání konvenční asfaltové směsi s udržitelnou variantou na jednom zkušebním úseku.

Ačkoliv je dnes řada obaloven vybavena skutečně moderním technologickým zařízením, které umožňuje zpracovávat vysoké podíly R-materiálu (pro podkladní vrstvy až do 80 hm-%), praktické využití je aktuálně limitováno zejména z následujících důvodů:

- ▶ minimální podíl přidávaného nezestárlého asfaltového pojiva, které nezaručuje dosažení požadovaných vlastností výsledného pojiva;
- ▶ stanovené hodnoty pro přidávané asfaltové pojivo v platných předpisech;
- ▶ provozní požadavky pro obalovny vzhledem k přípustným emisním limitům, které zpravidla omezují max. možné přidání R-materiálu;
- ▶ zvýšené náklady na zajištění homogenity, resp. složení R-materiálu, zejména rozpětí jednotlivých veličin;
- ▶ materiál z výhradně laboratorního ověření nevykazuje většinou shodné vlastnosti s materiálem, který byl zpracován za

běžných provozních podmínek při výrobě asfaltové směsi na obalovně.

Na základě diskuse mezi TU v Mnichově a BAM Mnichov byly jednotlivé překážky pro zvýšení obsahu R-materiálu definovány a následně projednány. Navrženy byly následující kroky k jejich eliminaci s dále uvedeným následným postupem:

- ▶ výrazné zvýšení podílu přidávaného R-materiálu a s tím spojené zvýšení udržitelnosti asfaltových technologií je s platnými předpisy TL Asphalt-StB 07/13 a ZTV Asphalt-StB 07/13 možné pouze omezeně;
- ▶ z tohoto důvodu je nutné provést úpravu zadávacích podmínek a smluvních ustanovení;
- ▶ tyto úpravy byly následně realizovány ve spolupráci TU v Mnichově a příslušného bavorského ministerstva.

Jako vhodné místo pro realizaci zkušebního úseku byla vybrána plocha na zkušebním okruhu pro autonomní jízdu v Otto-brunn, který využívá pro zkušební účely a vývoj TU v Mnichově. Vzhledem k cílovému řešení zadavatele, kterým je udržitelnost infrastruktury a dopravy, se podařilo nový koncept udržitelné asfaltové směsi v praxi ověřit za výrazné finanční podpory bavorského Ministerstva dopravy v roce 2024 realizovat.

Rámcové podmínky a smluvní zajištění

Velikost zkušebního úseku je cca 7 000 m². Polovina výměry byla provedena porovnávací technologií – AC 22 TS s výsledným asf. pojivem 30/45 a podílem R-materiálu ve výši 80 %-hm. Druhá polovina složila k ověření nového konceptu asfaltové směsi. Pokládka podkladní vrstvy byla realizována v tl. 14 cm. S ohledem na technické rámcové podmínky a předpokládaných budoucích požadavků na asfaltovou směs (zejm. s přihlédnutím ke snížení manipulační teploty při výrobě a pokládce) byly formulovány dva základní cíle:

- ▶ zvýšení podílu R-materiálu z 80 hm % na hodnotu min. 95 hm %;
- ▶ omezení teploty asfaltové směsi na max. 140 °C.

Pro dosažení těchto cílů byly proto k podmínkám stanoveným v předpise TL Asphalt-StB 07/13 dohodnuty následující požadavky:

- ▶ použití regulátoru pro docílení požadovaných hodnot výsledného asfaltového pojiva, použití povrchově aktivní přísady pro zajištění zpracovatelnosti asfaltové směsi při snížené teplotě;
 - ▶ zpracování zkoušky typu na základě provozně vyrobené asfaltové směsi přímo na obalovně; výroba asfaltové směsi nebyla provedena;
 - ▶ zvýšení maximálně přípustného obsahu fileru pro zkoušku typu z 9,0 hm-% na 10,0 hm-%;
 - ▶ snížení minimální mezerovitosti na Marshallových tělesech pro zkoušku typu z 5,0 obj-% na 4,0 obj-%;
 - ▶ stanovení dodatečných výkonových požadavků:
 - na asfaltové směsi průmyslově vyrobené na obalovně a zhutněné v laboratoři v rámci zkoušky typu;
 - na asfaltové směsi průmyslově vyrobené na obalovně a zhutněné v laboratoři v rámci realizace pokládky;
 - na zkušebních tělesech z vývrtů bezprostředně po realizaci pokládky, následně po dvou, resp. pěti letech po realizaci;
 - vždy pro referenční úsek a udržitelnou variantu;
 - ▶ úzce navazující koncepty asfaltové směsi vzhledem k čáře zrnitosti, obsahu asfaltového pojiva a jeho tvrdosti mezi referenční a udržitelnou variantou; sledování hodnot asfaltového pojiva bylo prováděno při využití zkoušky BTSV;
 - ▶ měření emisí par a aerosolů z asfaltové směsi v souladu s ARS 09/2021 jak pro referenční, tak udržitelnou variantu.
- Požadavky v rámci kontrolních zkoušek v souladu s ZTV Asphalt-StB 07/13 zůstaly nedotčeny.

Koncept asfaltové směsi a zkouška typu

Zkoušky typu pro obě varianty asfaltové směsi byly provedeny v centrální laboratoři společnosti BAM v souladu s požadavky TL Asphalt-StB 07/13. R-materiál byl připraven z vhodných tříd 32 RA 0/22 a 11 RA 0/8. Pro přípravu bylo potřeba provést několik pokusů tak, aby byl konečná směs obsahovala výhradně asfaltový granulát bez jakýchkoli cizích příměsí. Současně muselo být připraveno dostatečné množství R-materiálu jak pro zkoušky typu, tak i pro následnou výrobu asfaltové směsi.

V rámci zkoušky typu provedla TU v Mnichově i doplňující výkonové zkoušky:

- ▶ deformační charakteristiky: cyklická zkouška v tlaku (norma EN 12697-25) na hutněné asfaltové směsi;
- ▶ chování za nízkých teplot pomocí jednoosé zkoušky tahem (EN 12679-46).

Obsah asfaltového pojiva činil v obou případech 4,2 hm-%. Referenční varianta byla realizována s přidáním standardního asfaltového pojiva 70/100 v souladu s bavorskými předpisy. Složení bylo téměř identické – rozdíl v dávkování činil max. 0,3 hm-%. Udržitelná varianta byla realizována s přísadou regulátoru pro nastavení vlastností pojiva a přísadou povrchově aktivní látky pro zlepšení zpracovatelnosti asfaltové směsi při snížené teplotě. Množství regulátoru bylo stanoveno tak, aby teplota ekvivalentního smykového modulu (BTSV) byla shodná s hodnotou pojiva referenční asfaltové směsi. Předem byla posouzena i chemická snášlivost a účinnost.

Obsah fileru činil 9,9 hm-%, což souviselo s obsahem fileru v asfaltovém granulátu. Mezerovitost byla téměř shodná (referenční směs 5,0 obj-%, udržitelná varianta 0,8 obj-%). Hutnění bylo

prováděno konvenčně při teplotě 135±5 °C u referenční asfaltové směsi, resp. při teplotě 125±5 °C u udržitelné asfaltové směsi.

Teploty ekvivalentního smykového modulu zpětně získaného asfaltového pojiva byly téměř shodné (referenční směs 63,9 °C, udržitelná směs 63,2 °C). Zestárlé zpětně získané asfaltové pojivo (stárnutí s využitím PAV) ukázalo rovněž srovnatelné hodnoty (referenční směs 73,4 °C, udržitelná směs 73,1 °C).

Udržitelná varianta vykazala po 10 000 zatěžovacích cyklech o 16 %o nižší odolnost proti vzniku trvalých deformací (referenční varianta 26,3 %o, udržitelná varianta 43,2 %o). Udržitelná varianta vykazala i výrazně lepší chování za nízkých teplot (teplota lomu -21,8 °C proti -15,1 °C u referenční varianty).

Výroba asfaltové směsi a realizace zkušebního úseku v dubnu 2024

Referenční úsek byl situován v západní části pokusné plochy, udržitelná varianta byla provedena následující den ve východní části. Oba dny byly doprovázeny nepřízní počasí (lehký déšť, resp. mírné sněžení, místy silný vítr, teplota mezi 0,5 °C až 5,0 °C).

Doprava asfaltové směsi byla realizována s využitím vozidel s termokorbami, pokládky byla prováděna pásovým finišerem s odsáváním par a aerosolů. Teplota asfaltové směsi na podávacím šneku se pohybovala v průměru na teplotě 165 °C (154 °C až 174 °C) v případě referenční směsi, resp. na teplotě 135 °C (113 °C až 138 °C) v případě směsi udržitelné.

Hutnění bylo kontrolováno nedestruktivní zkouškou pomocí izotopové sondy. První pojezd válcem byl statický s využitím kombinovaného válce (gumová kola vpředu), následně pojezdy dynamické až do dosažení cílové hodnoty zhutnění. U udržitelné varianty bylo zapotřebí 10 až 12 dynamických pojezdů, u varianty referenční pak 8 pojezdů. V některých místech byla prováděna ruční pokládka (okrajové části, pracovní spoje). I přes nepříznivé podmínky se podařilo úspěšně dokončit obě pokládky. Povrch položené vrstvy byl opticky více homogenní u udržitelné varianty.

V průběhu pokládky probíhalo i měření emisí a aerosolů z asfaltové směsi. U většiny pracovních míst byla dodržena hodnota, která je stanovena s platností od 1. 1. 2027. Překročení mezní hodnoty bylo zjištěno pouze na pravé straně lišty finišeru.

Dosažené výsledky a celkové poznatky

Pro kontrolní zkoušky byly k dispozici vzorky z různých částí postupu. K dispozici byly vzorky průmyslově vyrobené asfaltové směsi, která byla použita pro zkoušky typu a následně i pro kontrolu složení směsi i pro výrobu zkušebních desek pro výkonové zkoušky. Další vzorky byly odebrány z asfaltových směsí dodávaných na stavbu. Po dokončení prací na zkušebním úseku byly odebrány vývrt, které byly použity pro přípravu vzorků na laboratorní ověření asfaltové směsi vč. výkonových zkoušek.

Vzorky asfaltové směsi byly odebírány u finišeru. Vývrt jsou prováděny na shodných místech. Zkoušky asfaltového pojiva byly prováděny jak na zpětně získaném pojivu, tak i na laboratorně dlouhodobě zestárlém pojivu. Vybrané výsledky jsou uvedeny v tabulce 1. Po dvou, resp. pěti letech užívání jsou plánovány další laboratorní rozbory, které uvedené hodnoty doplní.

Tabulka 1: Laboratorní výsledky asfaltového pojiva a asfaltové směsi [2]

Vlastnost	Jednotka	Zkouška typu		Asfaltová směs		Vývrt	
		Referenční směs	Udržitelná směs	Referenční směs	Udržitelná směs	Referenční směs	Udržitelná směs
Mezerovitost	obj-%	5,0	4,8	5,9	5,9	4,1	3,8
Stupeň zhutnění	%	–	–	–	–	102,1	101,4
<i>Zpětně získané asfaltové pojivo</i>							
Teplota ekvi. modulu	°C	63,9	63,2	65,2	62,2	64,5	63,9
Fázový úhel	°	75,7	74,2	75,0	74,6	75,1	74,6
Teplota (S = 300 MPa)	°C	–	–	-16,6	-19,0	-16,6	-17,8
<i>Dlouhodobě zestárlé pojivo (PAV)</i>							
Teplota ekvi. modulu	°C	73,4	73,1	72,3	68,6	72,2	71,6
Fázový úhel	°	72,7	71,4	73,2	72,3	72,9	72,5
Teplota (S = 300 MPa)	°C	–	–	-14,8	-17,6	-15,0	-16,8
Cyklická zkouška v tlaku ET_{dyn} (10 000)	mm	2,11	3,48	1,60	1,76	1,91	2,94
Cyklická zkouška v tlaku ET_{dyn} (10 000)	‰	26,3	43,2	19,9	21,8	23,7	36,5
Lomová teplota T_F	°C	-15,1	-21,8	-15,3	-18,7	-20,3	-24,2
Lomové napětí $\sigma_{cry, F}$	MPa	3,471	4,076	3,684	3,173	5,373	5,060

Shrnutí

Obě varianty splňují požadavky platných předpisů pro asfaltové podkladní vrstvy. Zejména cíl dosáhnout stejného stupně zhutnění byl splněn. Rovněž výsledné hodnoty teploty ekvivalentního komplexního modulu realizované vrstvy jsou v mezích preciznosti. Současně se ukázaly i velmi dobré vlastnosti výsledného pojiva s regulátorem v oblasti nízkých teplot. Obě varianty asfaltové směsi dále vykazují velmi podobné chování po dlouhodobém stárnutí pojiva.

Deformační hodnoty u obou směsí vykazují v jednotlivých stádiích (zkouška typu / asfaltová směs / vývrt) rozdílné hodnoty. Nejnižší hodnota je patrná u zkoušky typu, nejvyšší hodnota deformační odolnosti je naopak u asfaltové směsi. Deformační hodnoty u vývrtů jsou pak mezi těmito dvěma hodnotami. Referenční varianta vykazuje ca o 30 % nižší odolnost.

Zkušební tělesa z vývrtů vykazují nejlepší chování za nízkých teplot. Hodnoty jak lomové teploty, tak i lomového napětí jsou u laboratorních vzorků horší. Přitom současně udržitelná varianta asfaltové směsi vykazuje lepší chování za nízkých teplot.

„Vybouraná asfaltová směs“ jako stavební materiál je plně opětovně využitelná. Již dnes se její opětovné použití praktikuje ve formě asfaltového granulátu přidávaného v různých množstvích na řadě obaloven. Výroba asfaltové směsi bez použitých materiálů je pochopitelně možná, stále více ale naráží na nedostatečné materiálové zdroje a smluvní překážky.

V rámci uvedeného pilotního projektu byla ověřena možnost výroby asfaltové směsi s téměř 100 % použitého materiálu. Současně byla ověřena možnost pokládky při snížené teplotě asfaltové směsi. V této souvislosti bylo nutné přizpůsobit některé požadavky na zkoušku typu, doplnit možnost využití regulátoru jako regulační přísady a povrchově aktivní látky pro zajištění požadovaných vlastností asfaltového pojiva a zhutnitelnost asfaltové směsi. Postup vyžadoval i upřesnění některých smluvních podmínek.

Výsledky ukazují, že takto vyrobená asfaltová směs splňuje stanovené normové požadavky a nabízí lepší vlastnosti při nízkých teplotách, současně ale vykazuje nižší odolnost proti vzniku trvalých deformací při laboratorním posouzení. Dosud získané poznatky tvoří důležitý základ pro posuzování vhodných oblastí využití a ukazují potenciál udržitelné technologie asfaltových vozovek. Současně jednoznačně ukazují nezbytnost využití nových zkušebních metod i nezbytnou úpravu smluvních požadavků.

Zpracoval Ing. Václav Valentin

Literatura:

- [1] Bayerische Mischasphalt Werke GmbH+Co München. *Materiály společnosti.*
- [2] Patzak T., Eicher J., Alisov A. *Pilotprojekt zur Erprobung einer nachhaltigen Asphaltbauweise – Asphalttschicht aus 100 % M.-% Asphaltgranula. Straße und Autobahn, 2026, vol. 4, pp. 257–260*