

Pokročilé zkoušení a návrh asfaltových směsí na E&E kongresu 2024

K tématu pokročilé zkoušení a návrh asfaltových směsí byly na osmém ročníku European Asphalt Pavement Association a Eurobitume kongresu, pořádaném v červnu 2024 v Budapešti, ústně prezentovány čtyři příspěvky. Tuto sekci moderoval José Luís Peña.

S ohledem na zaměření příspěvků v této oblasti lze uvést tři základní nastíněné směry. První směr se týká zkoušení asfaltových směsí. Zde jsou představeny nové metody zkoušení, které zatím nebyly na evropské úrovni normovány a které se týkají důležitých charakteristik asfaltových směsí, jako je např. zpracovatelnost litého asfaltu. Druhý směr se orientuje na nové metody návrhu asfaltových směsí založené na zcela nových principech, jež se zásadně odlišují od dosavadního a po celá desetiletí zaběhnutého způsobu laboratorního návrhu. Třetím směrem jsou pak specifikace pro asfaltová pojiva a asfaltové směsi včetně jejich zkoušení, které postihují oblast extrémního namáhání asfaltových směsí například na letištních vozovkách. Tři následující podrobněji popsané příspěvky by měly výše uvedené směry čtenáři přiblížit.

Vyhodnocení laboratorní zkoušky zpracovatelnosti litého asfaltu

Zpracovatelnost je základní vlastností asfaltových směsí. Dobrá zpracovatelnost u asfaltových směsí zajišťuje, že asfaltové směsi lze snadno rozprostřít na vozovku, a významně přispívá k zajištění celkové trvanlivosti po celou dobu životnosti. Zejména pro litý asfalt je dobrá zpracovatelnost zásadní vlastností, protože po pokládce není nutné hutnění. Zatím však není k dispozici žádná evropská standardní zkušební metoda. V popisovaném postupu byla použita laboratorní zkušební metoda pro hodnocení zpracovatelnosti litého asfaltu. Ukázalo se, že tato metoda je citlivým nástrojem pro zjišťování rozdílů s ohledem na složení směsi a její kvalitu složek. Zvláštní pozornost je věnována úloze typu asfaltu a jeho vlivu na zpracovatelnost. Je poskytnut první odhad opakovatelnosti měření zpracovatelnosti.

V mezinárodní literatuře je popsáno několik různých metod měření zpracovatelnosti. Na evropské úrovni však dosud neexistuje žádná standardizovaná zkušební metoda pro litý asfalt. V této souvislosti provedlo Belgické výzkumné centrum pro silniční dopravu (BRRC) výzkum zpracovatelnosti litého asfaltu v roce 2006 v rámci přednormalizačního projektu TOPTREMA, financovaného Belgickým úřadem pro normalizaci (NBN).

Tento článek se soustředí na metodu, která se zabývá měřením krouticího momentu během ochlazování litého asfaltu po

výrobě a poskytuje výsledky výzkumu vlivu složek směsi na její zpracovatelnost. Zvláštní pozornost je věnována úloze různých typů asfaltů a možnosti předvídat zpracovatelnost litého asfaltu již na úrovni pojiva.

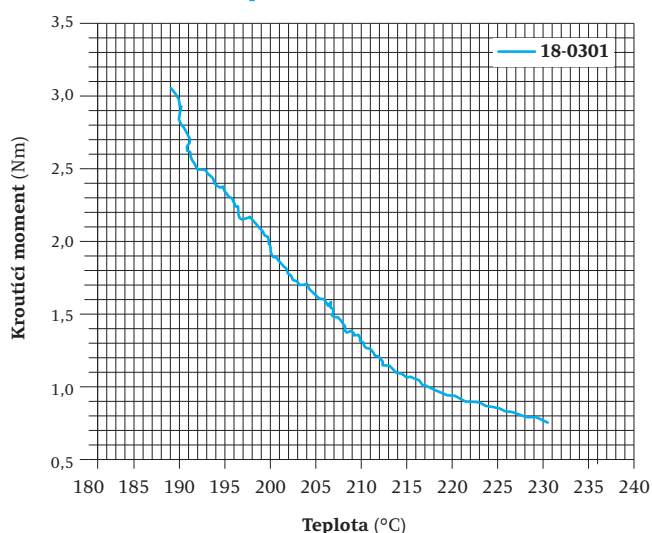
Pro měření se litý asfalt naplní do nádoby na vzorky (obrázek 1 vlevo). Míchadlo se třemi páry křídel (obrázek 1 vpravo) a spojené s motorem se ponoří do litého asfaltu. Během měření se měří odpor proti míchání, který určuje snímač krouticího momentu jako funkce teploty.



Obrázek 1: Nádoba na vzorky vlevo, míchadlo s třemi páry křídel vpravo [1]

Příklad typické křivky měření zpracovatelnosti je uveden na obrázku 2. Měření obvykle začíná při teplotě výroby nebo teplotě pokládky litého asfaltu a krouticí moment se zaznamenává během fáze chladnutí. K malé teplotní ztrátě v důsledku přenosu materiálu z míchačky do zařízení pro měření zpracovatelnosti dochází, pokud se měření provádí bez stabilizace počáteční teploty ohřívacího pláště při zkoušce zpracovatelnosti pomocí zařízení pro měření zpracovatelnosti. Ochlazení se dosáhne bez vnějšího zásahu (přirozené ochlazení litého asfaltu během zkoušky). Měření se zastaví, jakmile je dosaženo maximálního krouticího momentu zařízení pro měření zpracovatelnosti.

Zpracovatelnost litého asfaltu



Obrázek 2: Záznam měření zpracovatelnosti [1]

Jako pojivo pro lité asfaltu podle evropské normy EN 13108-6 se používají silniční asfaltu, tvrdé silniční asfaltu a polymerem modifikované asfaltu. Přísady a přírodní asfaltu mohou být přidávány pro zlepšení vlastností litého asfaltu, jako je zpracovatelnost, odolnost vůči trvalým deformacím nebo snížení výrobní teploty.

Litý asfalt obsahuje ve srovnání s jinými asfaltovými směsmi vysoké procento fileru. Granulometrické vlastnosti a také mezerovitost dle Rigdena hrají důležitou roli v tuhosti plniva v litém asfaltu. Pro posouzení vlivu fileru na zpracovatelnost byla referenční asfaltová směs z litého asfaltu namíchána se dvěma

různými filery a byla změřena zpracovatelnost. Všechny směsi byly připraveny se stejným naftenickým asfaltu.

Je vidět, že směsi obsahující pouze zaoblená zrna těžného písku 0/2 mají lepší zpracovatelnost než lité asfaltu obsahující směs drčeného a těžného písku.

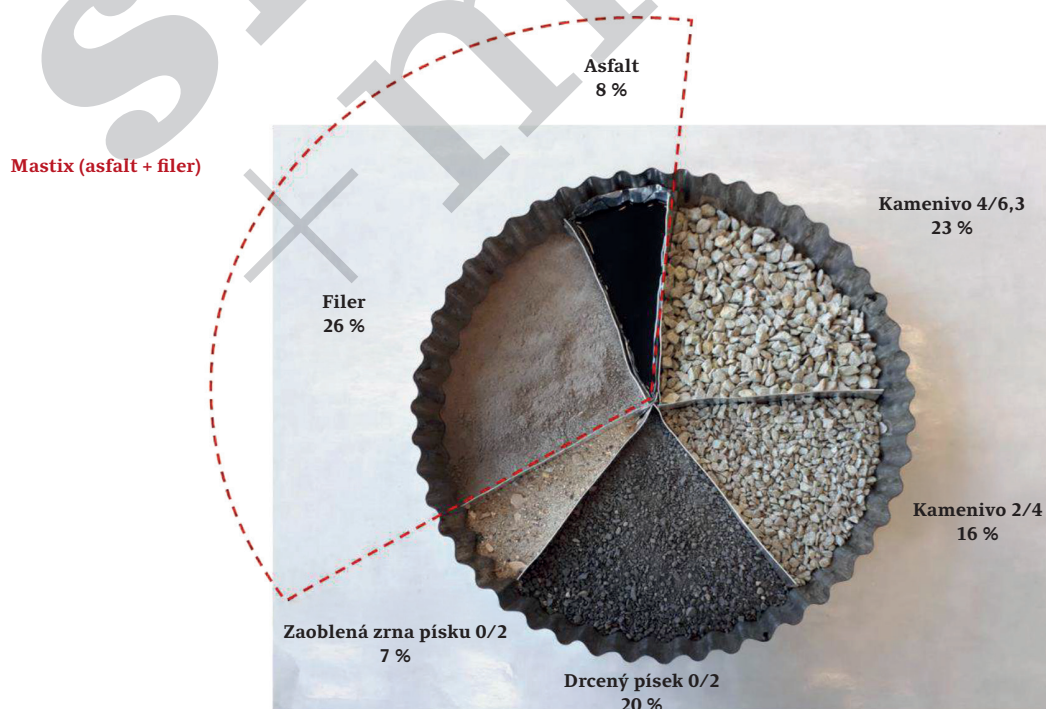
Závěr

Rozhodující vlastností litého asfaltu je zpracovatelnost. Zatím není k dispozici žádná evropská standardní laboratorní zkouška pro laboratorní zkoušení. V této souvislosti provedlo BRRC výzkumnou studii, v níž bylo použito zkušební zařízení založené na měření kroutícího momentu pro vyhodnocení zpracovatelnosti litého asfaltu.

Byla vyhodnocena přesnost opakovatelnosti zkoušky a vliv složek směsi na zpracovatelnost. Lze konstatovat, že toto uspořádání zkoušky zpracovatelnosti je citlivé pro hodnocení vlivu složení směsi na zpracovatelnost litého asfaltu. Měření z různých případových studií jsou logická a v souladu se známými vlivy složek směsi na vlastnosti asfaltové směsi.

Z této práce lze vyvodit následující závěry:

- ▶ Byl stanoven první odhad opakovatelnosti zkušební sestavy zpracovatelnosti. Koeficient je přibližně 15 %.
- ▶ Asfaltová pojiva se stejnou viskozitou nevedou vždy ke stejné zpracovatelnosti.
- ▶ Typ asfaltového pojiva (naftenický nebo parafinický původu) má velký vliv na zpracovatelnost litého asfaltu. Směsi obsahující asfalt naftenického původu vykazují lepší zpracovatelnost než směsi obsahující asfalt parafinického původu.



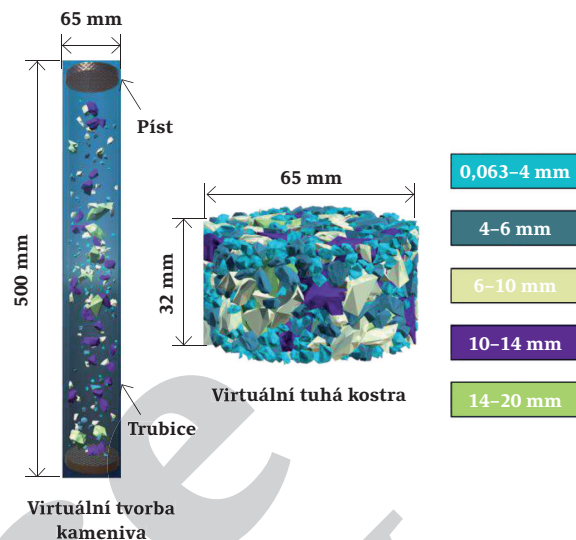
Obrázek 3: Složení litého asfaltu [1]

- ▶ Zpracovatelnost lze zlepšit zvýšením podílu asfaltu a přidáním aditiv.
- ▶ Mezerovitost fileru dle Rigdena má vliv na zpracovatelnost litého asfaltu. Filery s nižší mezerovitostí mají nižší ztužující účinek a vedou k lepší zpracovatelnosti.
- ▶ Zpracovatelnost lze zlepšit zvýšením procenta těžného písku frakce 0/2 ve směsi litého asfaltu.

Nová metoda návrhu asfaltových směsí založená na virtuální skladbě směsí

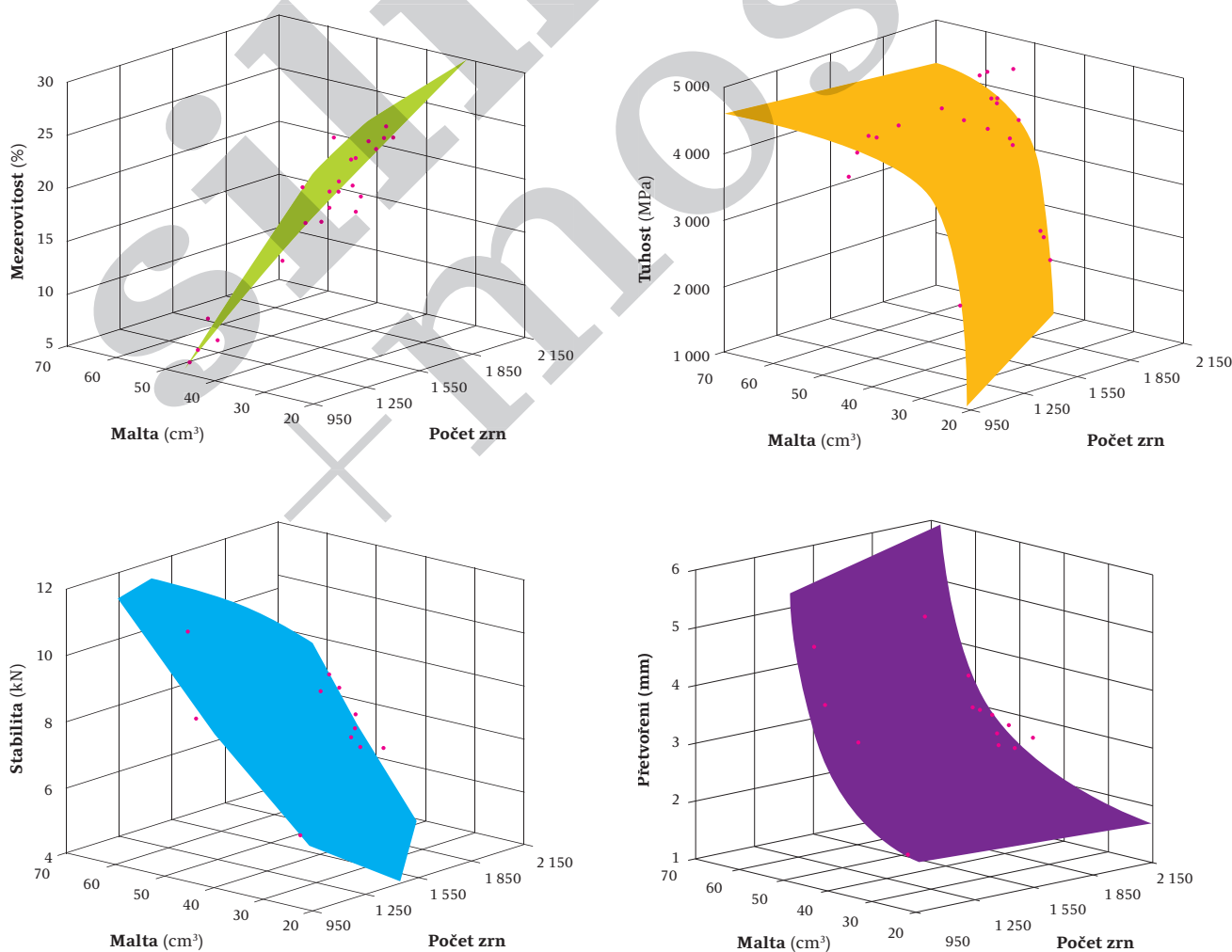
V této studii se představuje nový přístup k navrhování asfaltových směsí, který se vymyká konvencím a odstraňuje potřebu náročných a drahých fyzikálně-mechanických zkoušek pro určení vlastností asfaltových směsí. Metodika se zaměřuje na množství zrn kameniva a objem asfaltové malty, aby se zjistila mezerovitost, modul tuhosti, Marshallova stabilita a přetvoření.

Navrhování asfaltových směsí je časově náročný proces, který obvykle vyžaduje kvalifikované laboranty provádějící opakované zkoušky. Různé analýzy zkoumaly použití umělé inteligence (AI) a statistických metod k předpovídání vlastností asfaltových směsí. Některé studie využily umělé neuronové sítě ke stanovení empirické korelace mezi modulem tuhosti



Obrázek 4: Virtuální tvorba kameniva a kamenné kostry [2]

a Marshallovou stabilitou. Alternativní přístupy zahrnovaly též využití metod diskrétních prvků, při nichž se virtuálně simuluje kamenivo a zhutňovací proces. To umožňuje vytvářet modely, které pak simulují pevnou kostru asfaltových směsí a poskytují informace o procesu zhutňování.



Obrázek 5: Modely mezerovitosti, tuhosti, Marshallovy stability a přetvoření v závislosti na objemu asfaltové malty a počtu zrn [2]

Zatímco tradiční metody návrhu směsí mohou být náročné na práci, umělá inteligence a statistické metody vyžadují rozsáhlé soubory dat a komplexní znalosti vstupů pro návrh. Cílem předkládaného článku je stanovit vztahy mezi různými návrhovými výkonnostními ukazateli běžně používanými při navrhování asfaltových směsí. Kromě toho článek navrhuje použití nomogramu, grafického nástroje, který usnadňuje navrhování asfaltových směsí.

Pro složení asfaltových směsí se použilo jako kamenivo žula: 0,063/4 mm (G1), 4/6 mm (G2), 6/10 mm (G3), 10/14 mm (G4) a 14/20 mm (G5).

Pro každou velikost kameniva bylo vybráno celkem 80 zrn, které byly podrobeny fotografické dokumentaci, která zachycovala jak horní, tak i dolní část kameniva a čelní perspektivy. Tyto snímky byly následně použity k určení morfologických atributů kameniva.

Za účelem vývoje prediktivních modelů klíčových parametrů návrhu bylo použito celkem dvacet čtyři asfaltových směsí vyrobených v laboratoři. Tyto směsi se vyznačovaly různými maximálními velikostmi zrna kameniva, konkrétně 20 mm, 14 mm, 10 mm a 6 mm. Obsah asfaltu se pohyboval od 4 % do 7 % z celkové hmotnosti asfaltové směsi.

Objemová hmotnost vzorků asfaltu byla stanovena podle pokynů uvedených v normě BS EN 12697-6:2020. Kromě toho byly pro výpočet mezerovitosti použity postupy uvedené v normě BS EN 12697-8:2018. Pro posouzení modulu tuhosti asfaltové směsi byla provedena zkouška v příčném tahu na válcových vzorcích (IT-CY) dle metodiky popsané v normě BS EN 12697-26:2018. Ta zahrnovala vystavení vzorku pěti po sobě jdoucích zatěžovacích impulsů v jednom směru. Následně byl vzorek otočen o 90 stupňů a následovala další sada pěti zatěžovacích impulsů. Modul tuhosti byl stanoven zvlášť pro každé zatížení impulsu. Nakonec byl celkový modul tuhosti vzorku získán výpočtem průměrné hodnoty z jednotlivých impulsů.

Následovalo vytvoření virtuálního 3D modelu kameniva. Tato studie použila fyzikální postup Unity3D k vytvoření 3D modelů asfaltových směsí. Tyto modely umožnily snadnou kvantifikaci počtu zrn kameniva a objemu malty v asfaltové směsi, což je nezbytné pro předpověď jejich vlastností. Unity3D použil vlastní metodu založenou na impulzech pro simulaci virtuálních kameniv a výpočet jejich pohybu a srážky zrn během hutnění. Simulace používala tuhé částice bez tření s časovým krokem 0,007 sekundy. Virtuální kameniva byla vytvořena deformací hranolů a úpravou jejich rozměrů tak, aby odpovídala skutečným zrnům.

Přizpůsobovací plochy a nezpracované údaje z laboratoře (znázorněné červenými body) o mezerovitosti, tuhosti, stabilitě a přetvoření asfaltových směsí spolu s odpovídajícím počtem zrn kameniva a objemem malty jsou znázorněny na obrázku 5.

Vývoj kritérií pro vysoce výkonnou asfaltovou směs pro vojenské letištní povrchy

Tento článek představuje výsledky vývojové práce, jejímž cílem je stanovit nejefektivnější způsob specifikace vysoce „výkon-

ných“ asfaltových směsí pro povrchy vojenských leteckých základen v různých regionech a klimatických podmínkách ve Velké Británii. Kromě známých výzev, jako je intenzivní používání letadel s vysokým tlakem v pneumatikách, otáčení na frekvencovaných křižovatkách, pomalá pohybující se nebo zastávající letadla, se předpokládá, že nové typy letadel, provozní logistika a klimatické změny (globální oteplování) zvýší ještě více tlak na povrch letištních ploch. V této souvislosti je třeba aktualizovat požadavky tak, aby byla zachována provozuschopnost letištních vozovek. V článku je představena metodika a rozsah přijatý při aktualizaci specifikace „Organizace pro obrannou infrastrukturu pro vojenská letiště“. Jsou prezentovány optimalizace požadavků na polymerem modifikované asfalty a jejich vysokoteplotní vlastnost. Klíčová zjištění naznačují, že je třeba přejít na specifikace polymerem modifikovaných asfaltů, které nabízejí vyvážené vlastnosti v závislosti na teplotě a klimatických podmínkách v provozu. Výsledky z mobilního zatěžovacího simulátoru ukazují, že kombinovaný vliv vysoké teploty a přítomnosti vody na dlouhodobé vlastnosti letištních asfaltových povrchů lépe simulují skutečné podmínky než malé laboratorní zařízení pro sledování odolnosti asfaltových směsí proti trvalým deformacím.

Metodika

Metodika použitá k dosažení cíle práce se skládala ze 4 etap:

1. Etapa

Zahrnovala shromáždění záznamů o údržbě, přezkoumání národních a mezinárodních osvědčených postupů při používání a specifikaci polymerem modifikovaných asfaltů. Tyto činnosti zahrnovaly též diskuse s výrobcí asfaltů. Zjištění z této pracovní etapy byla následně využita v etapě 2.

2. Etapa

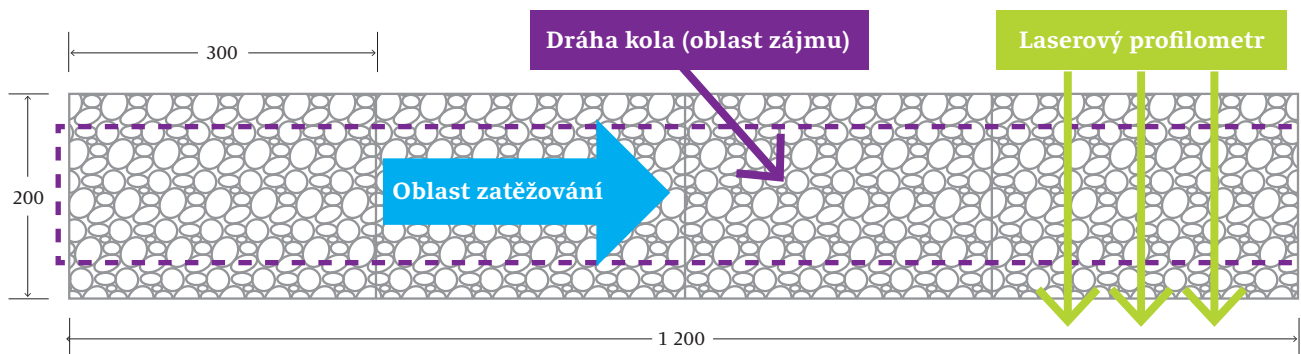
Byly zkoumány základní vlastnosti některých polymerem modifikovaných asfaltů. Dále byly tyto posouzeny v laboratoři společnosti AECOM v Nottinghamu a byla stanovena kritéria přijatelnosti těchto asfaltových pojiv pro praktické použití pro MA (litý asfalt), PFC (obrusnou drenážní vrstvu) a SMA (asfaltový koberec mastixový).

3. Etapa

Byl vytvořen užší seznam souborů vzorků pro každý typ směsi a tyto soubory byly podrobeny jak základním zkouškám asfaltových směsí (ITT), tak dodatečným zkouškám, které postihovaly specifické podmínky pro danou lokalitu.

4. Etapa

Výsledky získané ve 3. etapě byly využity při revizi tří specifikací. V této souvislosti byla aktualizována příloha „Z“ každé specifikace, aby pomohla zadavatelům při nastavení kritérií specifických pro danou lokalitu.



Obrázek 6: Uspořádání zkoušky MLS – mobilní zatěžovací simulátor [3]

Výsledky investigativní studie

Z investigativní studie o použití PMB do letištních asfaltových vozovek byly doporučeny následující parametry PMB:

- ▶ třída penetrace 75–130, s možnou volbou třídy 65–105,
- ▶ bod měknutí nejméně 75 °C,
- ▶ koheze při silové duktilitě při 5 °C nejméně 2 J/cm²,
- ▶ bod lámavosti ne vyšší než -20 °C,
- ▶ bod vzplanutí nejméně 250 °C,
- ▶ stabilita při skladování: rozdíl v bodu měknutí ne větší než 5 °C a u penetrace ne větší než 9 dmm,
- ▶ po RTFOT: MSCR při 60 °C parametry J_{nr} ne vyšší než 0,5 a vratná deformace ne nižší než 50 %,
- ▶ po RTFOT + PAV: m-hodnota teploty BBR (60s) > 0,3 a tuhost (60s) < 300 MPa ne vyšší než -18 °C.

Různé metody zkoušení odolnosti proti tvorbě trvalých deformací letištních asfaltových směsí nabízejí různé odstupňování výsledků zkoušek. WTSD (malé zkušební zařízení) na vzduchu, které je nejčastěji používanou metodou pro zkoušení deformační odolnosti letištních asfaltových směsí, se zdá být nejméně citlivou metodou pro hodnocení různých typů asfaltových směsí. Na druhou stranu MLS (mobilní zatěžovací simulátor) ve vodě poskytl nejlépe vypovídající výsledky pro různé typy smě-

sí. V této souvislosti je pak citlivost výsledků z WTSD ve vodě mezi WTSD na vzduchu a MLS ve vodě.

Prof. Dr. Ing. Michal Varaus,
Vysoké učení technické v Brně

Literatura

- [1] Gall A., Vanelstraete A. (2024) Evaluation of a laboratory test for workability of mastic asphalt. In Proceedings of 8th E&E congress, pp. 74–86.
- [2] Wan L., Garcia-Hernandéz A., Cui G., Liu P. (2024) A new asphalt mix design method based on virtual asphalt creation. In Proceedings of 8th E&E congress, pp. 651–663.
- [3] Widyatmoko I., Handri O., Ojum Ch., Aboufoul M., Cook J. (2024) Developing specification for high-performance asphalt surfacing for military airfield pavements. In Proceedings of 8th E&E congress, pp. 272–283.
- [4] Gajári G., Kisgyörgy L., Mahler A. (2024) New asphalt design based on the verified viscohypoplastic asphalt model. In Proceedings of 8th E&E congress, pp. 87–95.

Inzerce

Zážitkový den

ROAD

Brno FEST 2025

19. září 2025

9.00 – 17.00 hod.

ulice Kudelova, Brno

SDRUŽENÍ
PRO VÝSTAVBU
SILNIC

SPŠ STAVEBNÍ
STŘEDNÍ PRŮMYŠLOVÁ ŠKOLA STAVEBNÍ
BRNO

RoadFest2025
 www.roadfest.cz
 roadfest2025