

Chování asfaltových směsí typu VMT z pohledu tuhosti a odolnosti proti šíření trhliny

Asfaltové směsi typu VMT (asfaltová směs s vysokým modulem tuhosti) představuje speciální typ asfaltové směsi, který se v České republice využívá přibližně 20 let. Jejich historie je přitom delší a první návrhy těchto směsí prováděné ve Francii sahají 40 let nazpět [1], proto se též lze setkat s označením EME (Enrobé a Module Élevé).

Asfaltové směsi typu VMT (asfaltová směs s vysokým modulem tuhosti) představují speciální typ asfaltové směsi, který se v České republice využívá přibližně 20 let. Jejich historie je přitom delší a první návrhy těchto směsí prováděné ve Francii sahají 40 let nazpět [1], proto se též lze setkat s označením EME (Enrobé a Module Élevé), v anglické terminologii potom s označením *high modulus asphalt concrete*. Anglický termín tak nejlépe vystihuje podstatu této asfaltové směsi, kdy jde tedy o specifický asfaltový beton, jehož návrh je proveden způsobem, aby asfaltová směs vykazovala zvýšené hodnoty tuhosti a byla tak využitelná u konstrukcí vozovek, kde vyžadujeme velmi dobrou odolnost asfaltových vrstev proti trvalé deformaci a současně díky předpokládanému zatížení potřebujeme dostatečně dlouhou únavou životnost. Pro dosažení tohoto cíle je předpokladem použití mírně zvýšeného obsahu asfaltového pojiva ve směsi, přísnější požadavky na přípustný interval mezerovitosti a obecně použití tvrdších asfaltových pojiv. Asfaltové směsi VMT lze aplikovat v podkladní i ložní vrstvě, přičemž česká zavedená praxe dlouhodobě tyto směsi využívá především v podkladní asfaltové vrstvě. Zda je tato preference vždy tím neefektivnějším, by pravděpodobně bylo na samostatnou velmi dlouhou diskuzi. Obecně lze při užití VMT směsí uvažovat se snížením celkové konstrukce vozovky, přičemž takový přístup je třeba vždy volit uvážlivě a s dostatečným početním posouzením vozovky. Příliš subtilní konstrukce vozovky totiž jinak povede k nežádoucímu zkrácení životnosti konstrukce vozovky. Proto se opakovaně doporučuje, aby se při takových konceptech optimalizace konstrukce vozovky zohledňoval i přístup nákladů životního cyklu (LCC) a vozovka se nehodnotila jen z pohledu investičních nákladů, ale i nákladů údržby a oprav [2, 4]. Tento přístup jsme si, bohužel, v České republice zatím nedokázali osvojit. Nutno dodat ke škodě hospodárnosti vozovek. S přínosy a potenciály omezení celkové tloušťky vozovek, kde se VMT uplatnily, se lze setkat v celé řadě článků či výzkumných zpráv (např. [5, 6]), přičemž se zde lze setkat se snížením tloušťek o 25 % až 30 %. V mnoha případech je však takový potenciál vždy dáván do souvislosti s náklady životního cyklu. To je klíčový aspekt v případech, kdy se rozhodneme na vozovku s uplatněním VMT nahlížet jako na konstrukci s prodlouženou životností, což by v širším pojetí měl být zájem každého veřejného

správce. V těchto případech pak platí pravidlo, že „méně nutně neznamená více“. Přeneseno do jednoduché řeči, často je lepší nevyužít celkový potenciál úspory tloušťky konstrukční vrstvy, kterou například VMT přináší, akceptovat zvýšené investiční náklady, a to výměnou za snížené nároky spojené s pozdějšími opravami a výměnami konstrukčních vrstev vozovek. To vede ve výsledku k významně nižším nákladům životního cyklu v porovnání s tradičním a mnoho let udržovaným status quo. Proto se opakovaně zdůrazňuje nutnost provádět nákladové analýzy životního cyklu již v době volby vhodného návrhu složení vozovky. To ostatně může být jedno z kritérií při realizaci staveb metodou design & build, kdy by se institut odpovědného zadávání, které je nově zakotveno v zákoně o zadávání veřejných zakázkách, mohl efektivně naplnit. Pokud tedy bude uchazečům dána možnost „zvol efektivní konstrukci vozovky i za předpokladu vyšší pořizovací ceny“ v kombinaci s odpovědností za takové řešení například prodlouženými zárukami, jedná se bezesporu o odpovědný přístup. Ten totiž vede k hospodárnému nakládání s materiálovými zdroji i s disponibilními finančními prostředky daňových poplatníků – je totiž rozdíl, zda vozovku začnu opravovat nákladnějšími operacemi po 10 letech, nebo například po 18 letech. Takové řešení je také mnohem více „udržitelné“ v porovnání s nekonečným usilováním o nejnižší ceny a zkracováním cyklů obnovy konstrukcí. Zdánlivě tento tradiční přístup může znamenat nekonečný přísun zásoby práce, z pohledu zdrojů je to nicméně krajně nevhodné a daňového poplatníka (tedy každého čtenáře) nevyhodné.

Pro doplnění ještě uvedme, že například Espersoon [1] ve své studii shrnuje výsledky výpočtů snížení tloušťky podkladní vrstvy z VMT v porovnání s tradiční podkladní asfaltovou vrstvou s uplatněním běžného silničního asfaltu provedené pro letištní vozovky při různých teplotách. Rys et al. [3] shrnul ve svém příspěvku analýzu více jak 80 úseků sledovaných v Polsku. Tyto úseky dohromady čítaly přibližně 1 300 km silnic. Provedeno bylo posouzení chování asfaltových vrstev z hlediska odolnosti proti šíření trhlin. Také v tomto případě se porovnávaly vrstvy s VMT s tradičním asfaltovým betonem. V případě tohoto monitoringu se ukázalo, že v celé řadě případů vozovky s VMT směsmi měly větší sklon k výskytu trhlin v porovnání s konvenční podkladní asfaltovou vrstvou. Ten poznatek je dobrým

argumentem pro diskuzi, zda je dostačující věnovat pozornost tuhosti a odolnosti proti trvalé deformaci s upozaděním problematiky vzniku a šíření trhlin, nebo zda by bylo rozumné i trhlinám věnovat patřičnou pozornost.

Variety asfaltových směsí

Není tajemstvím, že jednou z oblastí, které se Fakulta stavební ČVUT v Praze již řadu let věnuje, je snaha sběru dat o chování asfaltových směsí. Pravidelné provádění stanovení tuhosti pro asfaltové směsi typu VMT v tomto pohledu není výjimkou, a naopak nabízí možnost takový dobrovolný sběr dat provádět. Do zde prezentovaného zhodnocení vlastností asfaltových směsí typu VMT 22 bylo zařazeno 47 variant zkoušených v roce 2019 a 2020, přičemž další data z let 2017–2018 nebo nejnověji z roku 2021 jsou nasbírána též, nejsou však v tomto článku zahrnuta. Důvod omezení se pouze na VMT 22 je jednoduchý, směsi VMT 16 se v České republice v zásadě neuplatňují nebo jsou navrhovány jen velmi výjimečně. Zda je to ve všech ohledech dobrý směr, by pravděpodobně zasluhovalo jinou diskuzi a hlubší zamyšlení.

Asfaltové směsi byly rozděleny do dvou skupin dle použitého asfaltového pojiva – PMB a nemodifikované. Do skupiny „PMB“ bylo zařazeno 5 variant obsahujících PMB 10/40-65, 24 variant s PMB 25/55-60, resp. 65 a 4 varianty s pojivem Polybitume EP. Dohromady bylo tedy v této skupině zařazeno 33 variant asfaltových směsí typu VMT. „Nemodifikovaná“ skupina (ve výsledcích označována jako HB = *hard binders*) obsahovala 11 variant s asfaltovým pojivem 20/30, jednu variantu s TSA 15/25 a dvě varianty s 30/45. Dohromady tedy 14 variant.

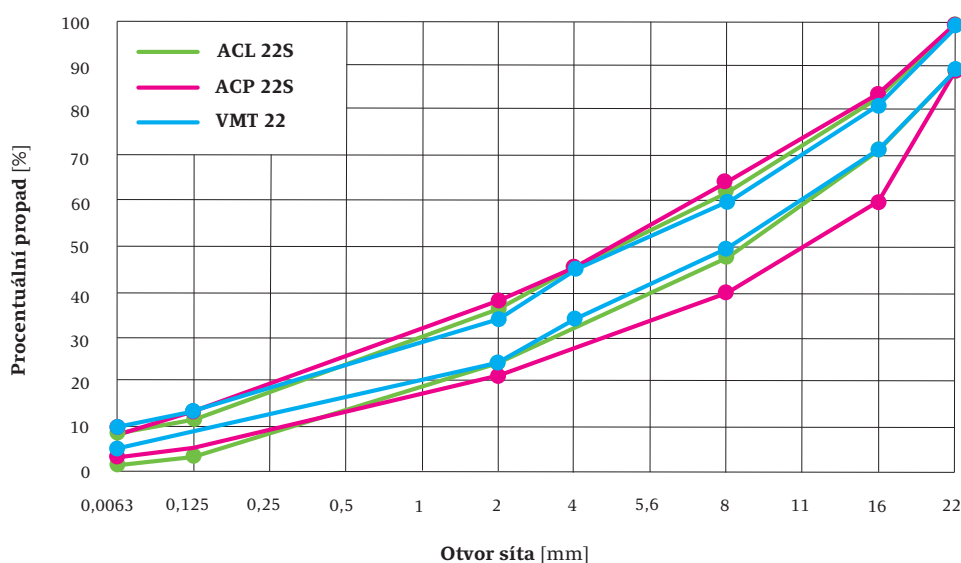
Asfaltové směsi typu VMT mají v porovnání podobnou zrnitost jako asfaltové betony pro ložní vrstvy ACL, však obor zrnitosti je mírně užší. V porovnání s ACL 22S však asfaltové směsi VMT 22 obsahují výrazně vyšší podíl asfaltového pojiva. Normou ČSN 73 6121 je pro ACL 22S definován minimální podíl asfaltového pojiva 4,0 %-hm. U VMT 22 je TP 151 definován obsah pojiva v rozmezí 4,1 %-hm až 5,4 %-hm. v závislosti na koeficientu sytosti a objemovém podílu pojiva ve směsi (min. 10,5 %-obj.).

V nově připravené normě ČSN 73 6120 je obsah pojiva definován rozmezí 4,2 %-hm až 5,6 %-hm. Podmínka koeficientu sytosti a objemového podílu pojiva ve směsi je vypuštěna. Uvedené intervaly pokrývají obě varianty, tedy VMT 22 i VMT 16, přičemž se pro každý z těchto typů meze mírně liší.

Pro asfaltové směsi VMT 22 je v porovnání s běžnými asfaltovými betony definován užší obor mezerovitosti 3,0 % až 5,0 %, resp. 2,5 % a 6,0 % pro kontrolní zkoušky. U tradičních asfaltových betonů ACL 22S je to 4,0 % až 6,0 %, resp. 3,0 % až 8,0 % pro kontrolní zkoušky.

Nejzásadnější stanovovanou vlastností je pro směs s VMT bezesporu modul tuhosti. V případě České republiky je to hodnota tuhosti stanovená při teplotě 15 °C (S_{15}), která je rozhodující dle návrhové metodiky v TP 170. V stávajícím předpisu TP 151 je určena jako minimální hodnota $S_{15,min} = 9\ 000$ MPa. Tento limit platí jak pro stanovení na zkušebním tělese tvaru komolého klínu dle ČSN EN 12697, příloha A, tak pro stanovení na Marshallových tělesech dle ČSN EN 12697, příloha C. V normě ČSN 73 6120 je již tento požadavek rozdělen, kdy pro modul tuhosti stanovený na komolém klínu zůstává limit 9 GPa, avšak pro stanovení na Marshallově tělese se minimální požadovaná hodnota zvýšila na 9,5 GPa. Důvodem toho zvýšení jsou dosavadní poznatky, ale i řadou studií opakovaně prokázané výsledky, dle kterých hodnoty stanovené dle obou metod nevedou ke shodnému výsledku. Obdobný poznatek ostatně platí i pro porovnání např. s čtyřbodovou zkouškou na trámečkovém tělese. V současné době tak bezpečně víme, že stanovení tuhosti opakovaným namáháním v příčném tahu na Marshallových tělesech vede při stejné teplotě zkoušky k vyšší tuhosti, než je tomu v případě dvoubodové zkoušky na zkušebních tělesech komolého klínu. Pro normu byl zvolen konzervativně malý rozdíl, protože soubor dat, který by pomohl stanovit procentuální rozdíl mezi oběma metodami, teprve vzniká.

V článku prezentované asfaltové směsi byly porovnávány z pohledu objemové hmotnosti, mezerovitosti, modulu tuhosti stanoveném při teplotách 0 °C, 15 °C, 27 °C a 40 °C na Marshallo-



Obrázek 1: Porovnání zrnitosti VMT a příbuzných asfaltových betonů

vých tělesech opakovaným namáháním v příčném tahu, jak je od devadesátých let prováděno na ČVUT v Praze, a odolnosti vůči teplotně indukovaným trhlinám stanoveným dle modifikované metody vycházející z ČSN EN 12697-44.

Výsledky posouzení variant VMT

Výsledky použité v tomto článku byly sdruženy z většího množství různých výzkumných projektů, a především pak ověřování tuhosti pro reálné a komerčně nabízené asfaltové směsi, a ne všechny vlastnosti byly stanoveny u všech 47 variant. V některých případech nebyla provedena měření modulu tuhosti při všech 4 teplotách, v několika případech nebyla stanovena mezerovitost. Na straně druhé takto získaný soubor je již do značné míry velmi reprezentativní, protože pokrývá návrhy provedené různými laboratořemi s využitím různého typu kameniva, jak se u silničních projektů následně skutečně aplikují.

Objemová hmotnost zkušebních těles byla stanovena u všech variant, avšak maximální objemová hmotnost sloužící k výpočtu mezerovitosti byla stanovena pouze u cca 70 % variant. Ze stanovených mezerovitostí vyplývá, že zhruba polovina zahrnutých variant nevyhovuje hranici mezerovitosti pro zkoušky typu. Pokud by byla použita benevolentnější hranice pro kontrolní zkoušky, stále by nevyhovělo 20 % variant.

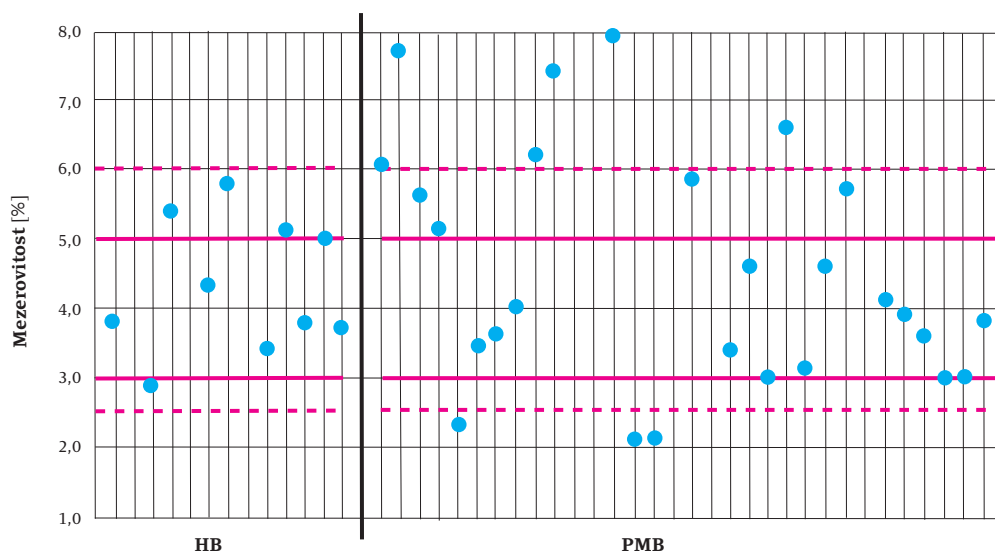
Problém s mezerovitostí je především u asfaltových směsí s modifikovanými pojivy. Tento poznatek je zásadní z pohledu zpracovatelnosti asfaltové směsi, ale i dalších vlastností. Mezerovitost a v případě realizace míra zhutnění hotové vrstvy velmi podstatně ovlivňují vlastnosti asfaltové směsi/vrstvy. Je možné, že vyšší obsah, zpravidla tvrdšího, asfaltového pojiva a zvýšený obsah jemných částic může částečně zhoršovat zpracovatelnost. Na druhou stranu mezerovitost asfaltové směsi je klíčová, a to především při návrhu, a je tedy nutné nevyhovující asfaltové směsi navrhnout buď s jinou zrnitostí, nebo s vyšším obsahem asfaltového pojiva. Při použití tvrdého asfaltového pojiva je nutné pracovat s dostatečnými teplotami jak výroby, tak hutnění. TP 151 definovaly hodnoty pracovních teplot mezi 170 °C až 195 °C dle typu asfaltového pojiva. Norma ČSN 73 6120

definuje interval mezi 160 °C až 190 °C pro nemodifikovanou pojiva a 155 °C až 180 °C pro polymerem modifikované asfalty. Snížení pracovních teplot je jistě přínosné, jak pro ekologii, tak pro hospodárnost výroby asfaltových směsí, ale o to více je důležité dbát na správný návrh mezerovitosti asfaltové směsi a k tomu navazujících vlastností. Zpracovatelnost lze také zlepšit vhodnými nízkoviskózními přísadami.

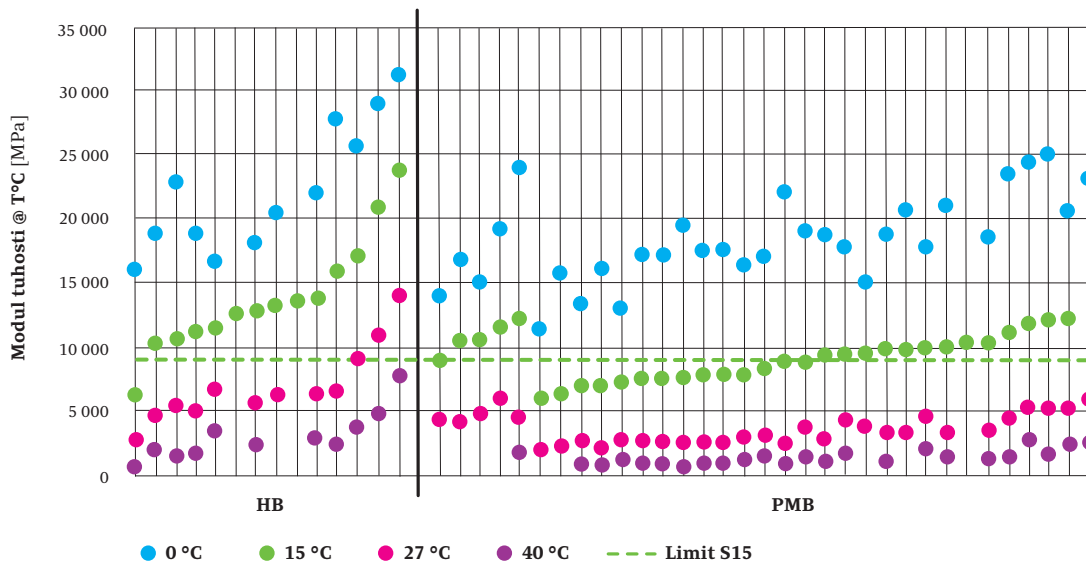
Analýza modulu tuhosti

Modul tuhosti byl stanoven při 4 zkušebních teplotách: 0 °C, 15 °C, 27 °C a 40 °C. Jak bylo uvedeno výše, rozhodující teplotou je 15 °C, pro kterou platí i příslušné mezní požadované hodnoty. Limitní hranici nevyhověla jedna směs s tvrdým asfaltovým pojivem (konkrétně varianta s 30/45). U modifikovaných asfaltových směsí je výsledek horší a pro pojiva PMB 25/55-60, -65 odpovídá dlouhodobě „potížím“ při nalezení vhodného složení asfaltové směsi, která současně splní minimální hodnotu tuhosti. Je přitom samozřejmě otázkou, zda tato skutečnost je z pohledu výkonnosti použitého modifikovaného pojiva správná a zda nebude potřebné požadovanou minimální hodnotu v budoucnosti přehodnotit. Jedním z aspektů, kterému je na ČVUT v Praze též věnována několik let pozornost, je vliv stárnutí asfaltové směsi. Stárnutí vede vždy ke ztužení a minimálně v podobě krátkodobě zestárnutého pojiva se fakticky vyskytuje asfaltová směs i v realizované konstrukční vrstvě. Při laboratorním stanovení modulu tuhosti však nadále pracujeme pouze s nezestárnutou asfaltovou směsí a kvantifikujeme tak úroveň tuhosti, která je ve vozovce fakticky jiná.

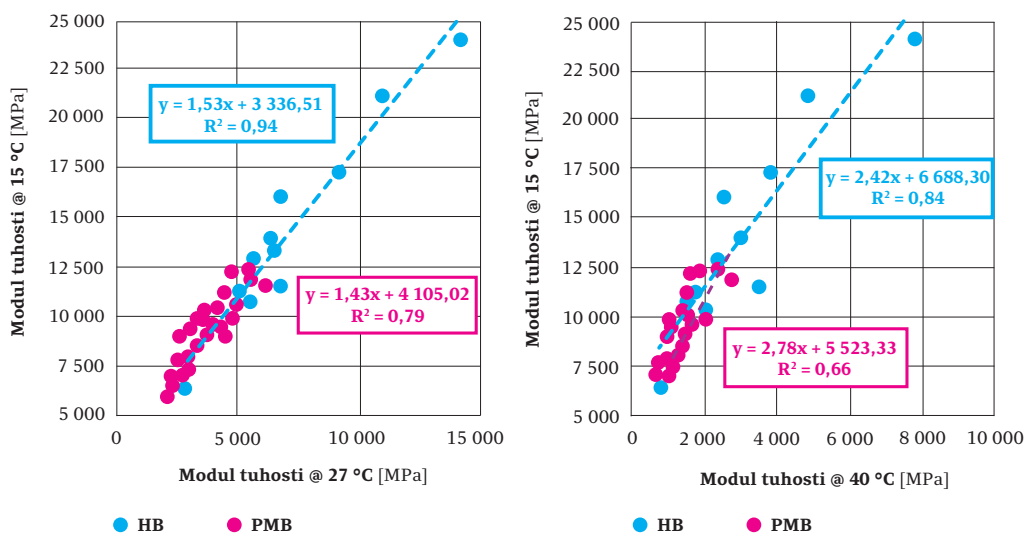
Mírnější stávající hranici nevyhovělo 14 variant z 32, tedy téměř polovina zkoušených směsí. Přísnější hranici by nevyhověly další dvě směsi, jejichž modul byl mezi 9 GPa a 9,5 GPa. Což znamená, že z hodnocených návrhů asfaltových směsí VMT se dle současných požadavků u poloviny nejedná o směsi s vysokým modulem tuhosti, ale o asfaltové betony pro ložní, resp. podkladní vrstvy s vyšším obsahem asfaltového pojiva. Z hlediska uplatnění především v podkladní vrstvě toto není zcela logické, a to především při snaze v ČR zavádět i směsi typu ACP RBL,



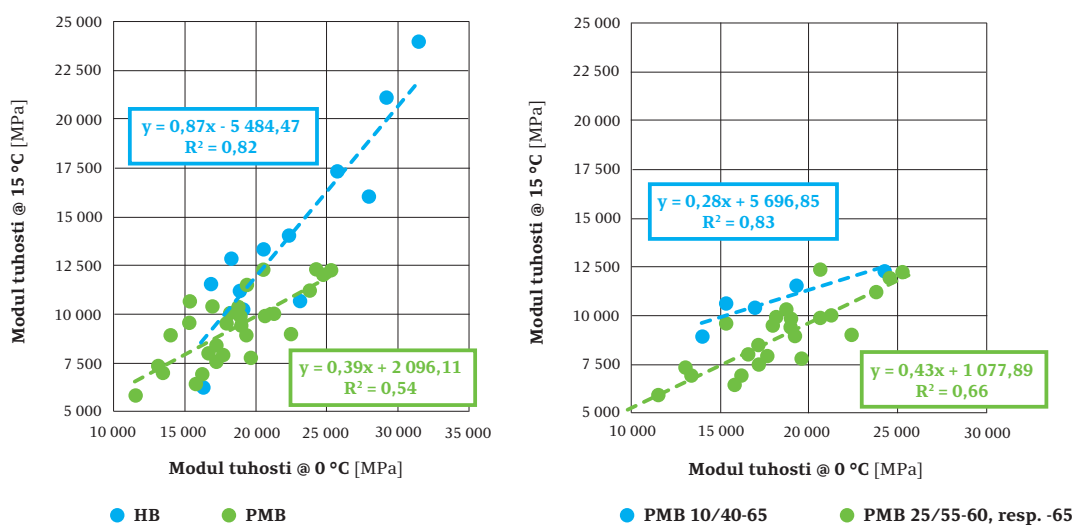
Obrázek 2: Mezerovitost asfaltových směsí typu VMT



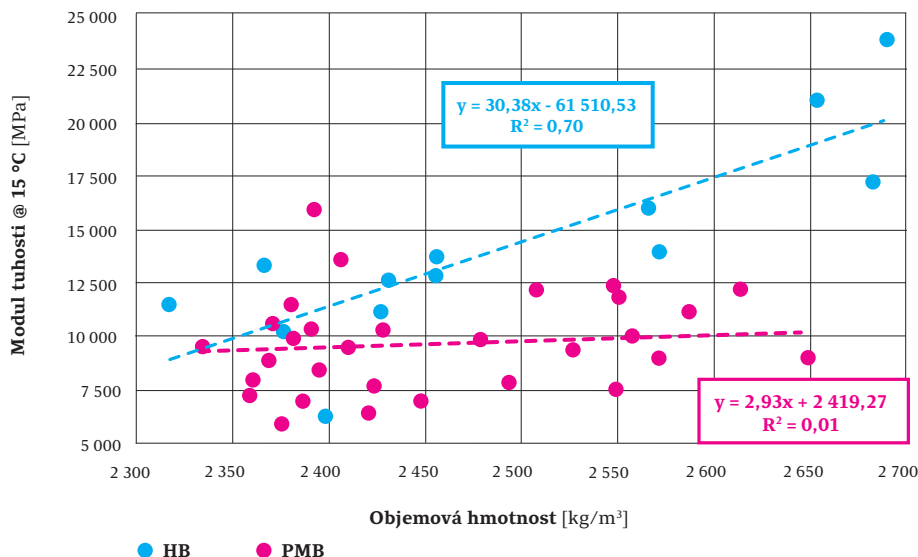
Obrázek 3: Moduly tuhosti asfaltových směsí VMT



Obrázek 4: Porovnání modulů tuhosti S₁₅ a S₂₇, resp. S₄₀ asfaltových směsí VMT



Obrázek 5: Porovnání modulů tuhosti S₁₅ a S₀ asfaltových směsí VMT



Obrázek 6: Porovnání modulů tuhosti S_{15} a objemové hmotnosti asfaltových směsí VMT

Tabulka 1: Statistiky modulů tuhosti asfaltových směsí VMT

Sledovaná statistika	0 °C			15 °C			27 °C			40 °C	
	HB	PMB 10	PMB 25	HB	PMB 10	PMB 25	HB	PMB 10	PMB 25	HB	PMB 25
Střední hodnota	22 445	17 994	18 607	13 932	10 770	9 410	6 992	4 841	3 456	3 076	1 377
Chyba střed. hod.	1 465	1 798	655	1 203	557	420	888	332	215	584	117
Sm. odchylka	5 074	4 020	3 403	4 502	1 245	2 259	3 077	743	1 119	1 938	562
Min.	16 213	14 036	11 533	6 345	8 976	5 951	2 739	4 165	2 030	778	693
Max.	31 426	24 254	25 164	23 930	12 271	15 932	14 159	6 085	5 981	7 790	2 732
Rozdíl max.-min.	15 213	10 218	13 630	17 585	3 296	9 981	11 420	1 920	3 952	7 012	2 039
Počet	12	5	27	14	5	29	12	5	27	11	23

HB = silniční asfalt nebo tvrdé silniční pojivo

PMB 10 = PMB 10/40/65

PMB 25 = PMB 25/55-60, PMB 25/55-65 nebo Polybitume EP

kde požadujeme oproti klasickému ACP zvýšené množství asfaltového pojiva, neakcentujeme nijak zásadně vysoký modul tuhosti a naopak očekáváme lepší únavovou životnost. Je otázkou, zda by těmto požadavkům varianty VMT, které nespĺnily mez pro modul tuhosti, vyhověly.

Na obrázku 3 jsou výsledky tuhosti rozděleny do dvou částí, kdy první část obsahuje výsledky pro nemodifikované varianty („HB“) a druhá část výsledky pro modifikované varianty („PMB“). Asfaltové směsi jsou v daných skupinách seřazeny dle modulu tuhosti S_{15} a toto řazení je zachováno pro všechny prezentované grafy (včetně obrázku 2). Prvních pět „PMB“ variant obsahuje tvrdší modifikované pojivo PMB 10/45-65. Všechny ostatní modifikované varianty jsou seřazeny dle modulu tuhosti S_{15} bez dalšího rozdělení dle aplikovaného PMB.

U nemodifikovaných asfaltových směsí VMT funguje poměrně dobře korelace modulů tuhosti stanovených při jiných

teplotách a při 15 °C ($R^2 = 0,82$ až $0,94$). U variant s nemodifikovaným asfaltovým pojivem lze tedy s určitou opatrností tvrzení predikovat tuhosti i při dalších teplotách. Toto tvrzení však neplatí bezpodmínečně a je nutné zdůraznit, že do hodnocení bylo zahrnuto pouze 14 variant, tedy jedná spíše o menší vzorek stanovení a výsledky korelace je nutné brát s rezervou.

U variant asfaltových směsí VMT s modifikovanými pojivy je rozptýl v charakteristice tuhosti vyšší. Při vyšších teplotách zkoušení je zjevný podobný trend jako u nemodifikovaných směsí – sklon směrnice korelační křivky je podobný, ale koeficient determinace je nižší ($R^2 = 0,79$, resp. $0,66$).

Při teplotě zkoušení 0 °C je zcela zřejmý odlišný vliv jednotlivých modifikací. Koeficient determinace pro skupinu PMB je pouze $0,54$, což znamená, že určitá závislost parametrů je zřejmá, ale je pouze středně silná. Sklon směrnice trendu je zcela odlišný od sklonu nemodifikované skupiny a je mírnější – tedy

dochází k pomalejšímu nárůstu modulu tuhosti se snižující se teplotou. Při dalším rozdělení PMB skupiny dle použitých typů PMB (PMB 10/40-65 a PMB 25/55-60, resp. -65 + Polyme-bitume EP) je patrný vyšší rozptyl výsledků pro „měkčí“ PMB pojivo. To může být mimo jiné způsobené tím, že i přestože mají pojiva stejný komerční název, jsou od různých zdrojů výrobců asfaltových poživ, a tedy jejich vlastností je dosaženo za použití odlišných postupů nebo odlišných typů aditiv.

Rozptyl výsledků u PMB skupiny směsí je patrný také u porovnání modulu tuhosti S_{15} a objemové hmotnosti, jakkoliv si uvědomujeme, že porovnání s objemovou hmotností a ne mezerovitostí (která ale nebyla stanovena u všech variant) může být částečně zavádějící a ne zcela vypovídající.

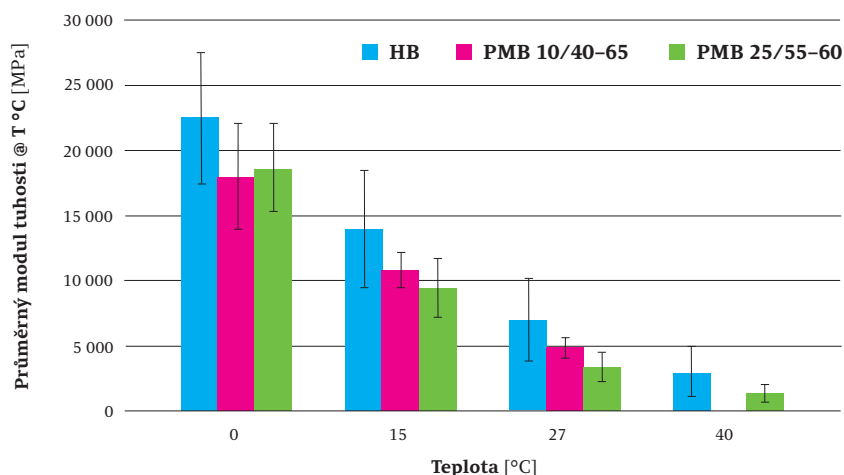
Průměrné hodnoty stanovených tuhostí jsou nejvyšší pro nemodifikované asfaltové směsi s tvrdými silničními asfalty. Tento poznatek je v zásadě očekávatelný vzhledem ke snížené penetraci a tím zvýšené tuhosti asfaltového pojiva, které navíc nemá nijak výrazné elastické chování.

V modifikované skupině platí, že modul tuhosti stanovený při teplotě 15 °C a 27 °C je vyšší pro skupinu s PMB 10/40-65, což opět potvrzuje vliv penetrace pojiva na tuhost asfaltové směsi. Při teplotě 0 °C však vyšších modulů dosáhly směsi s PMB 25/55-60, resp. 65 + Polybitume EP. Tato skutečnost pak indikuje pravděpodobnou vyšší teplotní citlivost této skupiny asfaltových poživ. Přehledně jsou výsledky teplotní citlivosti shrnuté v tabulce 2, kdy tento poměrový ukazatel byl stanoven jako podíl tuhosti stanovené při 0 °C a při 27 °C. Jelikož měření při teplotě 40 °C byla provedena jen pro některé sledované varianty, nebylo možné zvolit pro teplotní citlivost tuto teplotu.

Výsledky zkoušky odolnosti proti šíření

Chování asfaltových směsí typu VMT v oboru nízkých teplot je klíčové, vzhledem k tomu, že asfaltové směsi jsou velmi tuhé a zpravidla mohou být náchylnější ke vzniku mrazových (teplotně indukovaných) trhlin. Dle TP 151 by směsi měl dosáhnout pevnosti v tahu za ohybu stanové tříbodovým ohybem na trám-kovém tělese min. 6 MPa. Tento požadavek je však v nově připravené ČSN 73 6120 již vypuštěn, čímž jsme sledování tohoto typu chování ve skutečnosti v České republice opustili. V rámci zde prezentovaného porovnání byla zařazena zkouška odolnosti vůči vzniku trhliny dle modifikovaného postupu vycházejícího z normy ČSN EN 12697-44. Metodika je podobně popsána např. v [7]. Nejzásadnější změnou je použití menšího průměru zkušebních těles (\varnothing 100 mm), nižší zatěžovací rychlosti (2,5 mm/min) a definováním dalších lomových parametrů jako např. lomová práce. Důvodem volby této zkoušky je její relativní jednoduchost, možnost získání pevnostních i energetických charakteristik současně a především proveditelnost zkoušky na zkušebních tělesech, která nejprve byla využita pro stanovení tuhosti.

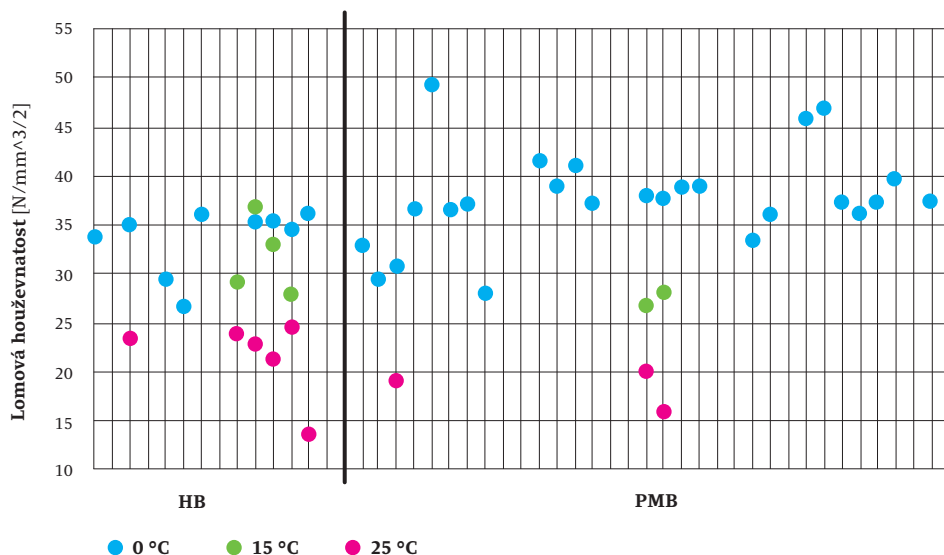
Zkouška byla provedena jak při standardní a také normou ČSN 12697-44 preferované teplotě 0 °C, tak při teplotách 15 °C a 25 °C, které se v posledních letech sledují v řadě experimentálních studiích prováděných nejen v USA. Při vyšších zkušebních teplotách se přitom jedná o kvazi stanovení odolnosti vůči únavové trhlíně. Také zde je třeba zdůraznit, že zkouška neposkytuje v takovém případě informaci o únavovém chování jako takovém, přináší hrubou kvalitativní informaci o náchylnosti ke vzniku trhliny při středních teplotách. V žádném případě tak nelze touto informací nahrazovat únavovou zkoušku, zjištěné hodnoty lze



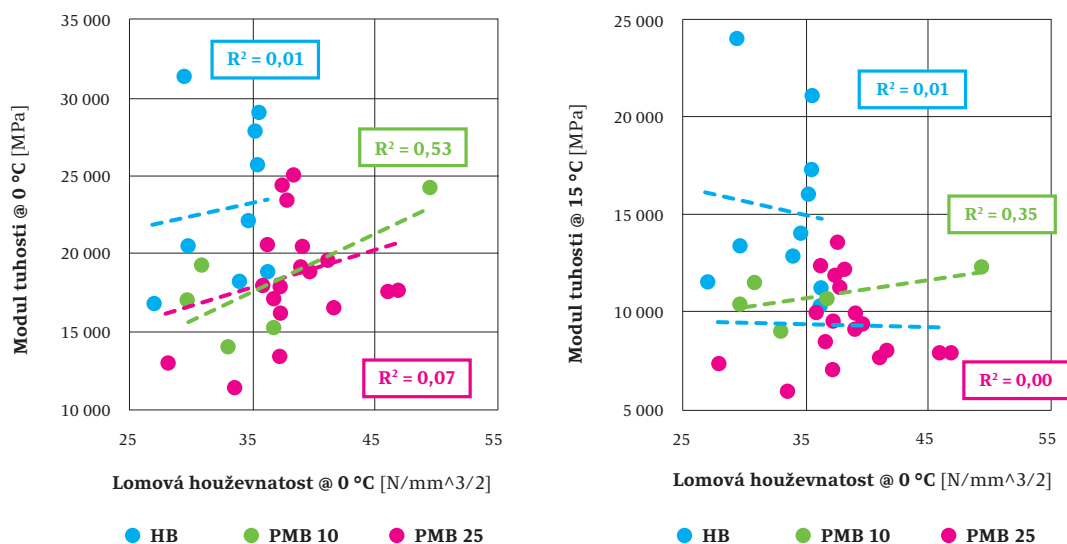
Obrázek 7: Střední hodnota modulů tuhosti asfaltových směsí VMT

Tabulka 2: Teplotní citlivost asfaltových směsí VMT

Asfaltové pojivo	Střední hodnota	Směrodatná odchylka	Min.	Max.
Silniční asfalt	3,53	0,69	2,22	5,92
PMB 10/40-65	3,75	0,79	3,16	5,17
PMB 25/55-60(65)	5,69	1,29	3,84	8,82



Obrázek 8: Odolnost vůči vzniku trhliny asfaltových směsí VMT



Obrázek 9: Porovnání lomové houževnatosti stanovené při 0 °C a modulů tuhosti stanovených při 0 °C a 15 °C

Tabulka 3: Statistiky odolnost vůči vzniku mrazové trhliny při 0 °C asfaltových směsí VMT

Sledovaná statistika	Lomová houževnatost [N/mm ^{3/2}]			Lomová energie do F _{max} [J/m ²]			Celková lomová energie [J/m ²]		
	HB	PMB 10	PMB 25	HB	PMB 10	PMB 25	HB	PMB 10	PMB 25
Střední hodnota	33	36	38	835	1 052	1 111	1 193	1 295	1 416
Chyba střední hodnoty	1	4	1	87	176	72	148	209	82
Směrodatná odchylka	3	8	4	276	392	313	467	467	358
Min.	27	30	28	492	704	733	583	1 004	998
Max.	36	49	47	1 257	1 668	2 169	2 171	2 114	2 389
Rozdíl max-min	9	20	19	765	964	1 436	1 588	1 110	1 392
Počet	10	5	20	10	5	19	10	5	19

HB = silniční asfalt nebo tvrdé silniční pojivo

PMB 10 = PMB 10/40/65

PMB 25 = PMB 25/55-60, PMB 25/55-65 nebo Polybitume EP

uvažovat jako pomocné ukazatele, které mohou indikovat náchylnost k propagaci trhliny při působícím zatížení.

Na obrázku 8 jsou uvedeny výsledky pro obě skupiny asfaltových směsí VMT. Jednotlivé varianty jsou pořád ve stejném pořadí dle velikosti modulu tuhosti při 15 °C. Z výsledků by se mohlo zdát, že mezi modulem tuhosti a lomovou houževnatostí existuje jakýsi trend, ale není příliš silný. Z koeficientů determinace, které jsou uvedené u regresních křivek na obrázku 9, je však zcela patrné, že tyto dvě veličiny spolu nesouvisí.

U charakteristik lomové mechaniky je přesně opačný trend než u modulů tuhosti, tedy se zvyšující se penetrací a s uplatněním modifikace asfaltového pojiva, rostou lomové parametry.

Závěr

Z výsledků je patrné, že PMB zpravidla vedou k nižším tuhostem, což nezbytně nemusí znamenat, že je špatně. Zdánlivý nedostatek to může být z ohledu charakteristiky tuhosti, nicméně ta sama o sobě neurčuje komplexnější pohled na výkonnost asfaltové směsi typu VMT. Jistě, opakovaně se setkáváme s větším počtem asfaltových směsí VMT, kde je použito pojivo PM 25/55-60 nebo -65, které mají tuhost při 15 °C na úrovni 8 500 MPa až 8 900 MPa. Z pohledu požadavků TP 151 nebo nově ČSN 73 6120 je to špatně. Bude to však nedostatečné v širším pojetí výkonových parametrů takové asfaltové směsi? Nižší tuhost je dobře vysvětlitelná zvýšenou pružností daného pojiva, což dle zde prezentovaných výsledků zjevně vede k výhodnějším lomovým charakteristikám a zvýšené odolnosti proti trhlinám. Lze tak dokonce předpokládat, že zde bude i zvýšená únavová životnost, která by při převažujícím uplatnění VMT v podkladní vrstvě a tahových namáhání především spodní plochy této vrstvy měla sehrávat srovnatelnou úlohu s tuhostí. Ve skutečnosti se tak neděje, výmluvně z důvodu, že únavová zkouška je časově náročná a drahá. Jistě, z pohledu milionových infrastrukturních staveb je cena únavové informace (60 000 Kč až 100 000 Kč) neakceptovatelný výdaj. Co když ale tuhosti dosahované na straně druhé s použitím silničních pojiv nižších gradací – nežádka překračujících 13 000 MPa – z dlouhodobého hlediska představují potenciál snížené únavové životnosti a dosud jsme měli štěstí, že se tento možný problém projevil v omezené míře?

A to v posuzování tuhosti a únavové životnosti nemáme zatím nijak zahrnutý a zohledněný aspekt přirozeného stárnutí asfaltové směsi. Z hlediska technických požadavků na asfaltové směsi se totiž permanentně tváříme, že stárnutí neexistuje. Dosavadní omezení – a zde zatím neuveřejněné – výsledky naznačují, že minimálně z hlediska odolnosti proti šíření trhlin stárnutí bude lomové charakteristiky ovlivňovat. U tuhosti negativní trend nevidíme a ani jej nelze očekávat, jak již i v minulosti bylo ukázáno – tam má stárnutí pozitivní vliv. Nicméně rostoucí tuhost málokdy znamenala sníženou křehkost materiálu. Úměra v tomto případě je zpravidla přímá, nikoli naopak.

Snahou je samozřejmě hledat i možné závislosti mezi fyzikálními či mechanickými charakteristikami. Pokud se nejprve podíváme na možnou závislost mezi zhuštěnou objemovou hmotností (příp. mezerovitostí) a tuhostí lze vypořádat určitou závislost, avšak pouze v případě silničních asfaltových pojiv. V případě VMT směsí s PMB se taková závislost nepotvrzuje.

Pokud se zaměříme na hledání korelace mezi tuhostí a lomovými charakteristikami, tak ani v tomto případě zjevný silnější trend či závislost patrné nejsou, a to i v případech, kdy charakteristiky byly stanoveny při stejné teplotě. Důvodů této skutečnosti bude pravděpodobně více. Jedním z důležitých vlivů bude nesporně skutečnost, že stanovení tuhosti se v zásadě provádí v podmínkách lineární viskoelastické chování. Lomové charakteristiky při snížené rychlosti zatěžování jsou i primárně destruktivní a vymykají se oblasti lineární viskoelastického chování.

Co si lze odnést závěrem. Jednak je pravděpodobně vhodné pokračovat ve sběru dat, přičemž by bylo účelné tato data doplnit na jedné straně o informace o vlivu množství asfaltového pojiva ve směsi VMT a na straně druhé o charakteristiky získané po stárnutí asfaltové směsi. Dále je třeba kontinuálně vést diskuzi – i přes blízké vydání normy ČSN 73 6120 – jaké charakteristiky a s jakými parametry v budoucnosti chceme sledovat. V neposlední řadě celý soubor získaných dat, jehož výhodou je, že posuzuje nemalý soubor reálně uplatňovaných asfaltových směsí, které se fakticky zabudovávají do konstrukcí vozovek. Tudíž tyto poznatky je vhodné využít i při revizi TP 170, kde pracujeme s určitými předpoklady a v minulosti zjištěnými hodnotami. Je přitom nesporné, že na numerické posouzení vozovky bude mít vliv, zda předpokladem pro VMT směsi bude například hodnota $S_{15} = 8\,500$ MPa nebo $S_{15} = 10\,000$ MPa.

Tento příspěvek vznikl v rámci aktivit projektu TE01020168 programu Center kompetence TA ČR.

**Ing. Jan Valentin Ph.D., Ing. Pavla Vacková, Ph.D.,
Majda Belhaj, MSc.
ČVUT v Praze, Fakulta stavební**

Literatura:

- [1] Espersson M. *Effect in the high modulus asphalt concrete with the temperature. Construction and Building Materials* 2014, vol. 71, p. 638–643.
- [2] Miró R., Valdés G., Martínez A., et al. *Evaluation of high modulus mixture behaviour with high reclaimed asphalt pavement (RAP) percentages for sustainable road construction. Construction and Building Materials* 2011, vol. 25 (10), p. 3854–62.
- [3] Rys D., Judycki J., Pszcola M., et al. *Comparison of low-temperature cracks intensity on pavements with high modulus asphalt concrete and conventional asphalt concrete bases. Construction and Building Materials* 2017, vol. 147, p. 478–487.
- [4] Corté J.-F. *Development and uses of hard-grade asphalt and of high-modulus asphalt mixes in France. In: J.W. Button (Ed.), Perpetual Bituminous Pavements, Transportation Research Circular* 2001, p. 12–31.
- [5] Newcomb D. *Perpetual Pavements – A Synthesis. Asphalt Pavement Alliance* 2002.
- [6] Geng H., Clopotel C. S., Bahia H. U. *Effects of high modulus asphalt binders on performance of typical asphalt pavement structures. Construction and Building Materials* 2013, vol. 44, p. 207–213.
- [7] Vacková P., Valentin J. *What information can be provided by the asphalt crack propagation test done on semicylindric specimens? World Multidisciplinary Civil Engineering – Architecture – Urban Planning Symposium* 2020.