VALIDACE VYBRANÝCH FUNKČNÍCH ZKOUŠEK PRO RŮZNÉ TYPY ASFALTOVÝCH SMĚSÍ

Zpracovali: Ing. Jan Valentin, Ph.D., Ing. Josef Žák, Ph.D., Ing. Petr Mondschein, Ph.D.,(Fakulta stavební ČVUT v Praze); Ing. Václav Neuvirt (Nievelt Labor Praha, s.r.o.); doc. Dr. Ing. Michal Varaus, Ing. Petr Hýzl, Ph.D. (Fakulta stavební VUT v Brně), Ing. Petr Bureš (Eurovia)

Souhrn

V souvislosti s periodickou revizí evropských výrobkových norem pro asfaltové směsi je patrný rostoucí důraz kladený na uplatňování tzv. funkčního přístupu při navrhování a posuzování asfaltových směsí. Hlavním smyslem při upřednostnění funkčních charakteristik je v mnohem lepší míře v rámci posuzování, hodnocení či optimalizace asfaltových směsí a následně i hotových úprav využít takový popis chování, který co nejlépe bude odpovídat reálným podmínkám, bude zohledňovat faktory změny teplot, změny zatížení či celkovou dynamiku zatížení konstrukce vozovky. Současně v mnohem větší míře bude klást důraz na aspekty reologie, které jsou s ohledem k viskoelastickému charakteru asfaltových pojiv i směsí důležitým aspektem. Pro tento účel je nezbytné jednak porovnávat existující metody (např. stanovení tuhosti či únavy asfaltové směsi), zpřesňovat okrajové podmínky používaných zkušebních postupů (např. ověřování odolnosti proti vzniku trvalých deformací při různých teplotách zkoušky), rozvíjet nové metody a přístupy (např. sledování smykových vlastností asfaltových směsí zcela unikátními postupy) a dále rozvíjet charakteristiky, kterým není vždy věnována dostatečná pozornost (např. chování asfaltových směsí v oboru nízkých a záporných teplot). V souvislosti s uvedenými skutečnostmi se činnosti v této dílčí aktivitě v zásadě věnovaly většině z uvedených oblastí (vyjma intenzivnějšího zkoušení únavových charakteristik). Byly zvoleny různé typy asfaltových směsí, u kterých se různými přístupy posuzovala tuhost, kde byla prováděna zkouška vyjetí kolem (trvalé deformace) při teplotách 50°C a 60°C a posuzovala se využitelnost tří metod pro popis nízkoteplotního chování.

Oblast použití

Jak již bylo uvedeno, funkční přístup při navrhování a posuzování asfaltových směsí představuje jedno z hlavních hledisek, které je zohledňováno při probíhající celoevropské revizi výrobkových norem pro asfaltové směsi. Snahou tohoto procesu je jednak přiblížit evropské normy v oblasti asfaltových směsí více podmínkám, které jsou již řadu let zavedeny v Severní Americe, a dále sjednocovat přístupy, které v jednotlivých zemích nejen EU dnes existují. V tomto druhém případě lze za klíčový problém vnímat velký rozdíl mezi skupinou zemí, která již funkční zkoušky běžně používá, přizpůsobuje tomu návrhové metodiky, ale i způsoby zadávání veřejných zakázek či umí díky tomu mnohem lépe využívat přístupy analýz životního cyklu. Druhou skupinou zemí – kam lze zařadit i ČR – jsou státy, kde funkční zkoušky jsou používané v omezené míře či vůbec. Přínosem přitom není pouze možnost zadávat v budoucnosti stavební práce u asfaltových vozovek výkonově, nýbrž v mnohem lepší míře dokázat predikovat chování a dlouhodobé kvalitativní parametry vozovek, současně přitom využívat i možnosti simulací a modelování různých jevů a degradace.

Výsledky činností v této aktivitě jsou tak přímo využitelné v rámci tvorby a zpřesňování národních příloh technických norem či při revizích a obměně stávajících národních technických předpisů. Současně umožňují optimalizovat vlastní návrhy a standardy kvality asfaltových směsí a pro veřejné správce a investory mohou představovat velmi dobrý nástroj kontroly dodržování mezních parametrů vyžadovaných pro asfaltové směsi – zejména z hlediska rychlé degradace vozovky či předčasného výskytu poruch v konstrukci.

Metodika a postup řešení

Tato aktivita pokrývá poměrně široké spektrum využitelných zkoušek, kde lze sledovat průběžný rozvoj a modifikace zkušebních postupů. Z tohoto důvodu se konkrétní činnosti zaměřily na problematiku deformačního chování stanovením tuhosti či odolnosti asfaltové směsi proti trvalým deformacím, problematiku trvanlivosti asfaltové směsi s intenzivním ověřováním vhodnosti postupů, kde kromě saturace zkušebních těles vodou probíhá také účinek mrazu (přejímání přístupu definovaného v americkém předpisu AASHTO T283), rozvoj vlastní nové zkoušky pro popis smykového chování, které v současnosti není ani v evropských normách zahrnuto, a v neposlední řadě studiem dostupných zkušebních metod pro posouzení chování asfaltové směsi při nízkých teplotách.

Tento výsledek byl vytvořen s finanční podporou programu Centra kompetence TA ČR, projekt č.TE01020168

Z hlediska deformačního chování byly zvoleny některé typy asfaltových směsí či jejich varianty s různými asfaltovými pojivy, u kterých byla provedena zkouška stanovení modulu tuhosti či komplexního dynamického modulu v souladu s ČSN EN 12697-26. Jednalo se o provedení dvoubodové zkoušky na trámečkových tělesech při teplotě 15°C a při frekvenci 5, 10, 15, 20 a 25 Hz; dále potom o stanovení modulu tuhosti na válcových tělesech metodou IT-CY při teplotách 0°C, 5°C, 10°C, 15°C, 20°C či 30°C a v neposlední řadě provedení čtyřbodové zkoušky na trámečkových tělesech v teplotním intervalu 0-30°C s frekvencemi z intervalu 0,1-50 Hz. V posledním případě je vlastní měření a analýza získaných dat pro jednotlivé teploty doplněna o využití výpočtu a vykreslení tzv. řídící křivky (master curve) pro charakteristiku modulu a fázového posunu. Jedná se o komplexní grafický výstup, který může sloužit k vyjádření deformačního chování asfaltové směsi v širokém intervalu možných teplot a stavů zatížení. Jiným příkladem posuzování deformačního chování bylo ověření odolnosti směsi proti vzniku trvalých deformací zkouškou vyjetí kolem při dvou různých teplotách. Toto ověření se provádělo v různých laboratořích na stejném typu směsi s cílem porovnat vhodnost obou teplot a umožnit do budoucna nově specifikovat okrajové podmínky této zkoušky.

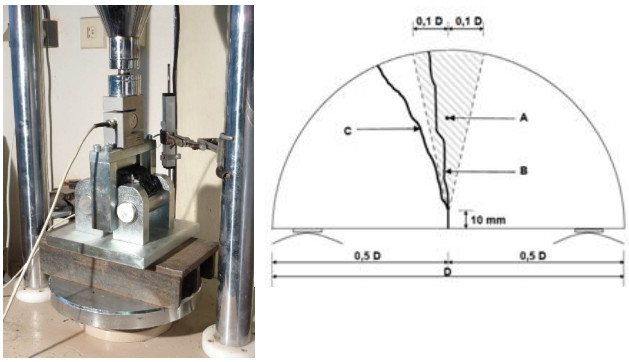
U trvanlivosti asfaltových směsí je řešená problematika rozdělena do několika rovin. Prvním aspektem je stávající zkušební postup dle ČSN EN 12697-12 se saturací zkušebních těles vodou po dobu 72 hodin při teplotě 40°C s následným stanovením poměru ITSR. S tím souvisí případná možnost provedení nedestruktivních měření s využitím obdobného poměrového ukazatele, avšak vztaženého k tuhosti asfaltové směsi. Jiným řešeným hlediskem je vedle saturace vodou zahrnutí zmrazovacího cyklu. Důvodem je skutečnost, že na vozovky v ČR nepůsobí pouze voda, nýbrž i mráz či v horším případě kombinovaný účinek obou těchto jevů. Tyto skutečnosti jednoznačně ovlivňují trvanlivost asfaltové směsi, a proto je nezbytné věnovat jim pozornost při vlastní predikci a posouzení chování vyráběných či navrhovaných asfaltových směsí.

Zaměření na rozvoj vhodné metody posouzení smykových charakteristik asfaltových směsí vychází ze skutečnosti, že při zatěžování asfaltové směsi v oboru středních či vyšších teplot nedochází pouze ke kumulaci trvalých deformací stlačením a následnou relaxací materiálu, nýbrž existují zde i smykové účinky, které dosud nejsou při posuzování deformačních charakteristik zohledňovány. Proto byl v rámci vědecké aktivity ČVUT v Praze rozvíjen jednoosý smykový přístroj, který byl postupně vylisován s postupy, které jsou zavedeny v USA (SuperPave Shear Tester). Zkoušky byly prováděny na vybraném souboru asfaltových směsí při vyšších zkušebních teplotách. Vlastní zařízení a výsledky zkoušek v tuto chvíli nemohou být dále blíže prezentovány s ohledem k probíhajícímu mezinárodnímu patentovému řízení.

Obr. 1 Jednoosý smykový přístroj.

Poslední skupinu představují zkoušky popisující chování asfaltových směsí v oboru teplot <0°C. V tomto jsou v současné době stanoveny základní požadavky pouze pro asfaltové směsi VMT s využitím tříbodové zkoušky pevnosti v tahu za ohybu. V rámci evropské normalizace byla zavedena zkouška odolnosti směsi proti šíření trhlin (ČSN EN 12697-44) a stanovení nízkoteplotních charakteristik asfaltových směsí dle ČSN EN 12697-49 (thermal stress restrained specimen test – TSRST). Pro uvedené zkušební postupy byly postupně ověřovány vhodné okrajové podmínky jejich provádění. Jednotlivé postupy byly a nadále budou posuzovány pro zvolené typy asfaltových směsí – vedle VMT i pro směsi typické pro obrusné vrstvy.

Obr. 2 Zkušební zařízení pro zkoušku TSRST.



Obr. 3 Princip zkoušky odolnosti směsi proti šíření trhliny.

Tento výsledek byl vytvořen s finanční podporou programu Centra kompetence TA ČR, projekt č.TE01020168

Výsledky

Prvním příkladem dosažených výsledků jsou hodnoty tuhosti stanovené pro identické typy směsí dvěma rozdílnými zkušebními postupy – dvoubodovou zkouškou na trámečcích a metodou IT-CY na válcových zkušebních tělesech. V obou případech zkoušky pracují na odlišném principu a se zadáním rozdílných vstupních parametrů – v prvním případě je opakované zatížení řízeno zvolenou frekvencí, v druhém případě má zatěžovací puls pevně danou délku. Usuzuje se však, že hodnoty obou měření by se měly nejvíce přibližovat pro zatížení při 10 Hz (T=15°C). Dále prezentované výsledky nicméně tento předpoklad nepotvrzují. Zatímco pro první čtyři směsi vede zkušební postup IT-CY k výrazně vyšším hodnotám tuhosti, v případě směsí E a F je stav opačný. Nelze přitom vysledovat vhodnou korelaci ani s dalšími frekvencemi měření.

Tab. 1 Moduly tuhosti směsí VMT pro metodu 2PB-PR.

Směs	Moduly tuhosti (MPa) při 15°C				
	Zkušební frekvence				
	5 Hz	**10 Hz**	15 Hz	20 Hz	25 Hz
VMT A	9809	**10102**	10423	10627	10775
VMT B	10188	**10770**	11073	11344	11542
VMT C	11288	**11983**	12475	12873	13043
VMT D	9397	**10031**	10393	10685	10850
VMT E	9099	**9827**	10357	10686	10955
VMT F	10489	**10962**	11316	11527	11708

Tab. 2 Moduly tuhosti směsí VMT pro metodu IT-CY.

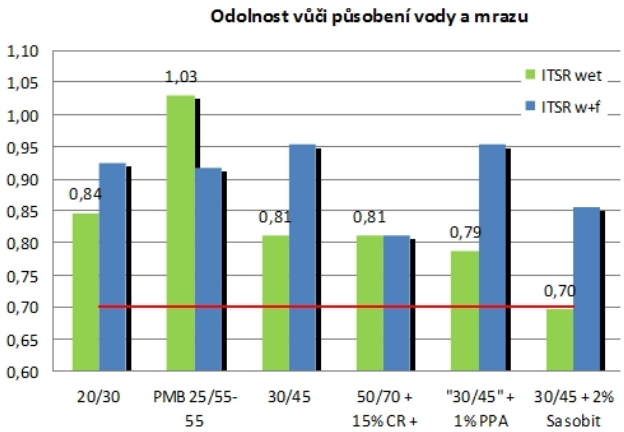
Směs		Modul tuhosti při zvolené teplotě			
		10 °C	**15 °C**	**20 °C**	**30 °C**
		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
A	20/30	21458	19453	13436	5458
B	PMB 25/55-55	13562	12440	7578	3775
C	30/45	19073	14031	9380	3925
D	50/70+CRaPPA	16641	12336	9514	4067
E	30/45+1%PPA	11124	8216	6037	2624
F	30/45+ 2%FTP	13265	8216	7447	3945

Prezentovány nejsou výsledky čtyřbodové zkoušky metodou 4PB-PR, která byla provedena pro podobné teploty, jak uvádí tabulka 2, avšak s frekvencemi podobnými tabulce 1. Ani zde však dosud nebylo možné nalézt vhodnou korelaci.

Trvanlivost asfaltových směsí v současnosti představuje jednu z oblastí, která je ve výrobkových normách zahrnuta. Nicméně zkouška se omezuje pouze na saturaci vodou při zvýšené teplotě temperování zkušebních těles (40°C). Souběžně jsou pro vybrané skupiny směsí prováděna i měření na zkušebních tělesech stejného zhutnění, kde proběhlo zmrazování po dobu min. 16 hodin při teplotě -18°C s následnou temperací saturovaných těles ve vodní lázni při 60°C. Výsledky pro směsi ACO11+ a VMT jsou prezentovány dále. Na obrázku 4 je navíc vyznačena mezní hodnota, která by mohla být stanovena i pro trvanlivost měřenou s jedním zmrazovacím cyklem. Výsledky přinášejí některá překvapující zjištění, která jsou dílče popsána i v rámci dalších technických listů. Zejména se v řadě případů nepotvrzuje, že zmrazovací cyklus by nutně měl vést k výraznému zhoršení pevnostních charakteristik asfaltové směsi. Současně se opakovaně daří prokazovat, že aplikace principu tzv. nízkoteplotních asfaltových směsí nevede k zhoršení trvanlivosti asfaltové směsi v důsledku obavy ze zhoršené kvality vytvoření dostatečného asfaltového filmu u zrn kameniva ve směsi.

Tab. 3 Výsledky zkoušky trvanlivosti směsi AC, porovnání.

Směs	ITSR	ITSR vč. zmrazovacího cyklu	Poměr modulů pružnosti
ACO 11+ 3% RH	1,23	0,90	1,22
ACO 11+ 3% FTP	1,13	0,67	1,58
ACO 11+ 1% IT	1,10	1,07	1,08
ACO 11+ 0,1% ZT	1,08	0,77	0,93



Obr. 4 Trvanlivost asfaltové směsi VMT s porovnáním obou přístupů.

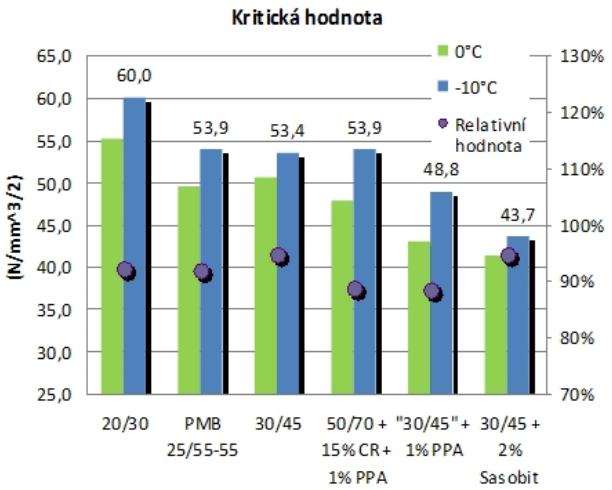
V případě ověřování nové smykové zkoušky byla pozornost věnována zejména posouzení korelace nově vyvinuté metody s již zavedeným americkým postupem. V tomto směru byla zvolena sada několika směsí, které byly opakovaně měřeny s nastavením obdobných podmínek testu a následným širším statistickým vyhodnocením.

Tab. 4 Korelace provedené pro různé směsi mezi jednoosým smykovým přístrojem a americkým SST.

Measured value	UST					
	Mix #1	Mix #2	Mix #3	Mix #4	Mix #5	Average
Resilient modulus	9	19.7	16	8.1	12.1	12.98
M-value	1.70E-02	2.00E-02	3.10E-02	2.10E-02	2.00E-02	0.0218
5% PSS	1.20E+08	1.20E+11	3.00E+06	2.10E+05	2.90E+10	2.98E+10
Measured value	SST					
	Mix #1	Mix #2	Mix #3	Mix #4	Mix #5	Average
Resilient modulus	16.2	11.7	92.6	10.1	28.1	31.74
M-value	4.60E-02	1.50E-02	4.10E-02	3.20E-02	3.10E-02	0.033
5% PSS	6.70E+06	2.10E+09	1.50E+05	2.40E+04	4.90E+08	5.19E+08

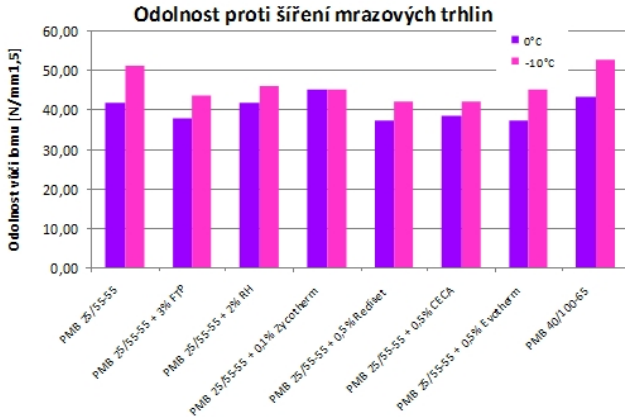
Tento výsledek byl vytvořen s finanční podporou programu Centra kompetence TA ČR, projekt č.TE01020168

Poslední z posuzovaných oblastí jsou nízkoteplotní charakteristiky asfaltových směsí, které jsou v rámci aktivit WP1/CESTI dnes standardně prováděny jako doplňkové zkoušky u všech asfaltových směsí. Prováděno je jak porovnání uvedených tří zkušebních metod, tak zejména nezbytný sběr dat pro pozdější zpřesnění podmínek provádění zkoušky a to zejména z hlediska zvolených zkušebních teplot či zvolené rychlosti zatěžování zkušebního tělesa (týká se zkoušky pevnosti v tahu za ohybu). Zkušební teploty jsou standardně voleny z intervalu 0°C až -10°C, přičemž se pro různé směsi opakovaně potvrzuje očekávaný mírný nárůst hodnoty lomové houževnatosti při vyšší zkušební teplotě. Pro budoucí zahrnutí tohoto zkušebního postupu do technických předpisů je diskutabilní, zda má být použita jedna z uvedených teplot, či zda by mělo dojít ke sjednocení zkušební teploty se zkouškou pevnosti v tahu za ohybu. V případě zachování dvou zkušebních teplot, zde vedle kritické hodnoty totiž uvádět i poměrový ukazatel zjednodušené teplotní citlivosti, která by popisovala míru změny charakteristiky lomové houževnatosti v závislosti právě na zvolené zkušební teplotě.

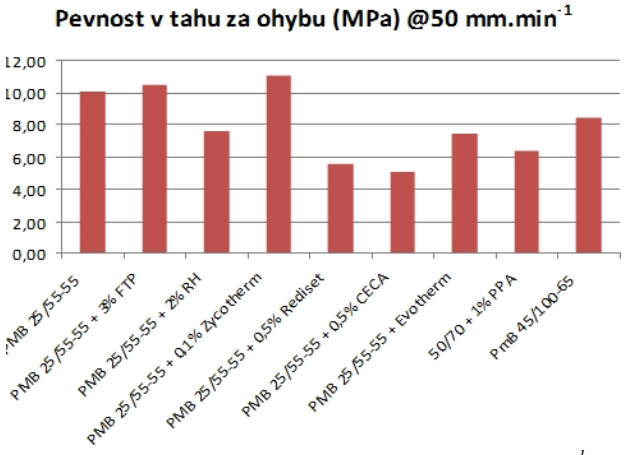


Obr. 5: Výsledky zkoušky odolnosti proti šíření trhliny, směsi VMT.

V případě zkoušky pevnosti v tahu za ohybu je potom klíčovým aspektem diskuse rychlost, kterou je zkušební těleso zatíženo. Pokud bychom chtěli provádět porovnání této zkušební metody s uvedenými výsledky zkoušky odolnosti proti šíření trhliny, potom se nabízí, aby v obou případech byla jednotně používána rychlost zatížení 5 mm.min^{-1}.



Obr. 6 Výsledky zkoušky odolnosti proti šíření trhliny, směsi SMA.



Obr. 7 Pevnost v tahu za ohybu (MPa) při 50 mm.min-^{1} a teplotě 0°C.

Závěr

Dosavadní výsledky přinesly řadu poznatků, kterým je nezbytné nadále věnovat pozornost a měření funkčních charakteristik dle možností provádět pro co nejširší skupinu asfaltových směsí rozvíjených a posuzovaných i v dalších aktivitách řešených v rámci WP1/CESTI. V oblasti nízkoteplotních charakteristik budou zpřesněny doporučené parametry pro provádění zkoušek odolnsoti proti šíření trhliny a pevnosti v tahu za ohybu. U smykových vlastností bude probíhat další sběr dat a budou identifikovány korelace s dalšími vlastnostmi – zejména deformačními. V neposlední řadě bude v roce 2015 validace zkušebních metod pro funkční charakteristiky rozšířena o ověřování únavových charakteristik, kde dnes v podmínkách ČR lze volit obdobně jako u tuhosti minimálně tři zkušební postupy.

Literatura

[1] Žák, J.: Numerical characterization of asphalt mixture properties. Disertační práce, Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2014.