

je klíčovým dokumentem Nařízení o stavebních výrobcích (CPR) a je v zodpovědnosti výrobce. DoP lze poskytovat v tištěné podobě nebo elektronicky. Výrobky podle harmonizovaných norem s vydaným DoP se musí označit označením CE. DoP pro asfaltová pojiva musí být k dispozici od 1. 7. 2013, neboť označení CE se již používá. Příklad DoP je uveden v příloze ZA harmonizovaných EN. Ne všechna asfaltová pojiva však mají revidovanou specifikaci v souladu s Nařízením o stavebních výrobcích (CPR). Nařízení CPR s tím počítá a do doby vydání revidovaných norem a získání potřebných dokumentů lze vydat DoP podle stávajících platných dokumentů (tj. podle ES certifikátů notifikovaných osob).

Třetí příspěvek J.-P. Michauta (EAPA) se zabýval potřebami silničního stavitelství. K tomuto tématu se 12. června v Bruselu konal seminář. Silniční stavitelství potřebuje především vhodné zkušební metody pro kontrolu kvality a pro určení funkčního chování. Potřebuje levné praktické rutinní zkoušky. Důležité jsou informace k recyklovatelnosti, znalost hustoty a čerpatelnosti, popř. znalost speciálních vlastností (např. odolnost vůči palivům). V současné době mají k dispozici jen specifikaci silničních asfaltů. U ní se neví, zda se pojiva téhož druhu chovají ve směsích stejně. Jako příklad uvedl chování dvou pojiv stejného druhu z různých rafinerií ve směsi asfaltového betonu. Asfaltové směsi měly výrazně odlišné moduly tuhosti. Silniční stavitelé požadují zejména více informací a zkoušek u komerčních pojiv. Specifikace s rozmezím vlastností jim nestačí, chtějí raději deklarované hodnoty.

Závěrečný příspěvek Mike Southerna, předsedy Eurobitume, reagoval na příspěvek předcházející a vyjádřil představu, jak bude průmysl asfaltových pojiv reflektovat požadavky odběratelů. Připomněl sběr dat k budoucí funkční specifikaci. Asociace Eurobitume analyzovala korelace mezi zkušebními metodami u získaných 146 sad asfaltových pojiv. K tomu byla připravena hodnotící zpráva obsahující výstupy korelací. Je dostupná na stránkách www.eurobitume.eu. Dále se zabýval novými požadavky silničních stavitelů. U zkoušky přilnavosti byla vytvořena společná skupina odborníků z CEN/TC 227/WG 1 a CEN/TC 336/WG 1, která konstatovala, že není k dispozici žádná jednoduchá zkouška k hodnocení přilnavosti, která by byla v blízké budoucnosti zavedena. Navržených 9 zkušebních metod neměří ani tak přilnavost jako citlivost směsi vůči vlhkosti. Pro hodnocení krátkodobé odolnosti proti stárnutí byla vybrána metoda RTFOT, pro odolnost proti dlouhodobému stárnutí metoda PAV. Tedy ani zde nic nového. Alternativní metody stárnutí budou schváleny, pokud poskytnou ekvivalentní výsledky. Z porovnání základních vlastností před stárnutím a po stárnutí je evidentní, že u penetrace, bodu měkknutí a tuhosti na BBR hodnoty po stárnutí dobře korelují s hodnotami originálních pojiv, jakoby zkoušky stárnutí ani nemusely být zapotřebí. Skupina odborníků v RILEM vyhodnocovala únavový test na přístroji DSR, avšak 30 % laboratoří měřilo s problémy, týkajícími se převážně teploty. Otevřenou otázkou je porovnání výsledků únavy pojiv s výsledky únavy směsí. Zavedení metody měření únavy na DSR jako evropské normy bylo hodnoceno jako nevhodné. Mike Southern dále uvedl, že současné normy připouštějí určitý rozptyl chování, a proto se nelze na specifikaci spoléhat. Větší význam pro silniční stavitele by měla mít zkouška typu

konkrétního pojiva než obecná specifikace. Stejný druh pojiva ještě neznamená stejné vlastnosti.

Závěrem lze dodat, že jednodenní konference uspořádaná ve Stockholmu pod záštitou firmy Nynas byla velmi přínosná. Představila aktuální stav v oblasti zkoušení vlastností asfaltových pojiv a umožnila porovnání evropského a amerického přístupu.

STATISTICKÉ HODNOCENÍ ÚNAVOVÝCH ZKOUŠEK ASFALTOVÝCH SMĚSÍ A JEJICH APLIKACE PŘI NAVRHOVÁNÍ VOZOVEK – ČÁST 1

Ing. Jiří Fiedler, Ing. Josef Žák,
Ing. Petr Mondschein, Ph.D., prof. RNDr. Daniela Jarušková, CSc., ČVUT v Praze, Fakulta stavební

1. Úvod

Životnost asfaltových hutněných směsí v konstrukci vozovky je v laboratorních podmínkách simulována zkouškou odolnosti proti únavě. Výsledky únavové zkoušky jsou nejčastěji aproximovány Wöhlerovými křivkami. Parametry únavy jsou dále využívány jako charakteristika vstupující do návrhu konstrukce vozovky. Protože jde o složitou problematiku, je příspěvek rozdělen na tři části. V první části budou popsány základní vztahy při hodnocení únavových zkoušek a zhodnocen postup podle evropské normy. V druhé části, v příštím čísle zpravodaje, bude popsáno stanovení intervalu spolehlivosti regresní přímky a komentována variabilita únavových zkoušek. Bude to ilustrováno na kruhových zkouškách únavy ve Francii. Aplikaci v návrhové metodě pak bude věnována třetí část příspěvku.

2. Vyhodnocování únavové zkoušky pomocí regresní přímky

Zkouška odolnosti proti únavě byla do dubna 2008 součástí *ČSN 73 6160 Zkoušení silničních živitných směsí*. Zkouška se prováděla na tělese ve tvaru komolého klínu. Po zavedení evropských norem se zkouška provádí podle *ČSN EN 12697-24 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 24: Odolnost vůči únavě*. V evropské normě jsou uvedeny zkoušky na několika typech přístrojů (komolý klín označený 2PB-TR, zkouška na trámečku ve čtyřbodovém ohybu 4PB-PR atd.).

Zkouška se provádí obvykle na 18 tělesech. V průběhu opakovaného zatěžování každého zkušební tělesa dochází v závislosti na počtu cyklů k postupnému poklesu tuhosti tělesa. V EN je porušení zkušební tělesa definováno buď konvenčně jako počet cyklů, při kterém dojde k poklesu tuhosti na polovinu počáteční hodnoty, nebo jako počet cyklů, při kterých dojde k porušení vzorku trhlinou. Tento počet cyklů, stanovený na každém zkušebním tělese, se pak vynáší do grafu znázorňujícího vztah mezi počtem cyklů a zvoleným napětím či deformací při zkoušce. (Při vyhodnocování únavových zkoušek je však možné použít i jiný přístup, jak je zmíněno i v samotné EN; postup je popsán dále v textu.)

Tabulka 1: Únavové parametry čtyř směsí vyhodnocené dle EN (přílohy A, B) a bývalé ČSN (platná do dubna 2008)

Směs	ε_6 [10^{-6}]		b		R^2	$\Delta\varepsilon_6$ [10^{-6}]	Rozdíly na vodorovné ose pro $N = 10^6$			
	EN	ČSN	EN	ČSN			L_1	L_2	L_{1r}	L_{2r}
VMT	155	157	-0,110	-0,094	0,86	7	-7	+7	-8	+7
6	102	106	-0,261	-0,245	0,94	12	-11	+13	-13	+12
22 (F)	103	104	-0,172	-0,160	0,94	3	-3	+3	-3	+3
3	88	98	-0,201	-0,166	0,83	19	-17	+21	-24	+18

kde

ε_6 je deformace, při které dojde k porušení při milionu cyklů

$L_1 = \varepsilon_1 - \varepsilon_6$ $L_2 = \varepsilon_2 - \varepsilon_6$, vzdálenosti L mají rovněž rozměr 10^{-6} ($\mu\text{m}/\text{m}$), tj. mikrostrain – μs

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$ jsou deformace vypočtené postupem dle EN 12697-24 (vzorce (9) a (10) dále v textu).

$L_{1r} = \varepsilon^{\text{min}} - \varepsilon_6$ $L_{2r} = \varepsilon^{\text{max}} - \varepsilon_6$ $\varepsilon^{\text{min}}, \varepsilon^{\text{max}}$ jsou deformace vypočtené statistickou analýzou ze zobrazení, ve kterém je stejně jako v EN počet cyklů na svislé ose. Označení veličin indexy min a max znamená, že jde o hodnoty vztahující se ke křivkám představujícím dolní a horní meze 95% intervalu spolehlivosti regresní přímky.

Podle obou norem se při analýze naměřených dat předpokládá, že vztah mezi počtem cyklů do porušení zkušebního tělesa a napětím či přetvořením vzorku je ve zkoušeném oboru ve dvojitém logaritmickém měřítku lineární. Mezi zkouškou podle bývalé ČSN a platné EN jsou však i významné rozdíly. Jedním z rozdílů je způsob vyhodnocení naměřených výsledků. Postup používaný v ČSN platné do dubna 2008, v TP 77 a TP 170, článek B.7.8.4, vycházel z rovnice únavy ve tvaru:

$$\log(\varepsilon) = a + b \times \log(N) \quad (1)$$

Proto se výsledky zkoušky vynášely v grafu, kde na svislé ose bylo přetvoření vzorku. To odpovídalo tradičnímu způsobu prezentace únavové zkoušky u jiných materiálů. Křivky únavové pevnosti, kde je počet cyklů zaznamenáván na vodorovné ose, jsou například i v ČSN EN 1993-1-9 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-9: Únava z roku 2006. V normě ČSN EN 12697-24 pro zkoušení asfaltových směsí je vztah pro zkoušky 2PB-TR vyjádřen v příloze A normy v článku A.5.1 vzorcem A.2:

$$\log(N) = a + \left(\frac{1}{b}\right) \times \log(\varepsilon) \quad (2)$$

V grafech prezentace únavové zkoušky je ve všech částech zmíněné EN na svislé ose zaznamenán počet cyklů. V poznámce pod vzorcem v článku A.5.1 je připomenuto, že tento způsob prezentace je opačný než postup běžně používaný. Obdobný jako vzorec pro zkoušky 2PB-TR je vzorec pro zkoušky 4PB-PR v článku B.5 v příloze B normy, který lze psát ve tvaru:

$$\ln N = A_0 + A_1 \times \ln \sigma \quad (3)$$

kde σ je napětí od zatížení.

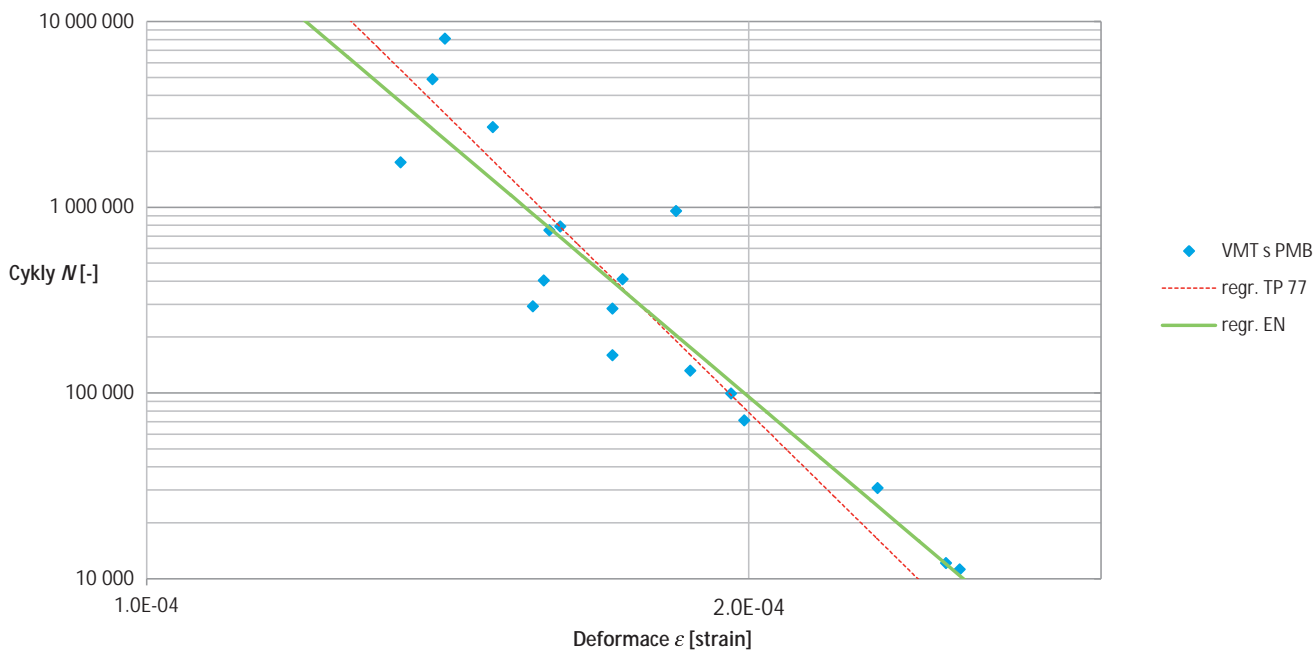
Únavové charakteristiky v rovnicích (1), (2), (3) mají jiný význam a velikost (přestože označení konstant v rovnicích (1) a (2) je v textech norem stejné). To je třeba brát při vyhodnocování únavových zkoušek v úvahu. Protože výsledky únavových zkoušek vykazují poměrně velký rozptyl, je nutné používat při jejich vyhodnocení regresní analýzu. Rovnice (1) až (3) lze považovat za základní vztah pro lineární regresi s jednou vysvětlující proměnnou

(neboli jednoduchou lineární regresi). Nejčastěji používanou metodou pro odhad parametrů regresní přímky je metoda nejmenších čtverců [4].

Při regresní analýze s jednou proměnnou se ve statistice obvykle předpokládá, že závisle proměnná je na svislé ose. Někteří autoři, preferující při znázornění souhrnného výsledku únavové zkoušky vynášení počtu cyklů na vodorovné ose, řeší situaci tak, že parametry regresní přímky vypočtou pro počet cyklů jako závisle proměnnou, ale výsledky prezentují v souladu s tradicí tak, že na svislé ose jsou zaznamenány deformace. Jiní ale počítají parametry regresní přímky přímo ze vztahu (1). Proto je zapotřebí při posuzování či aplikaci výsledků zkoušek vždy sledovat i to, jakým postupem byly únavové parametry stanoveny.

Při analýze dat existují z matematického pohledu dvě regresní přímky, z nichž jedna minimalizuje odchylky ve svislém směru a druhá ve směru vodorovném. Obě přímky se protínají v bodě o souřadnicích $[x_{\text{prům}}, y_{\text{prům}}]$. Je-li korelace těsná, je rozevření obou přímek malé a jejich parametry se příliš neliší. U některých materiálů může být korelace těsná, takže způsob vyhodnocení výsledků nemá velký vliv na velikost únavových parametrů. Bohužel při zkoušení únavy asfaltových směsí na komolém klínu či trámečku je rozptyl výsledků někdy poměrně velký, takže obě regresní přímky pak mají nezanedbatelně rozdílné parametry charakterizující odolnost směsi proti únavě.

Lze to ilustrovat na několika příkladech v tabulce 1. (Charakteristiky uvedené v posledních 4 sloupcích jsou podrobněji zmíněny v kapitole 3.) Směs VMT s modifikovaným asfaltem byla zkoušena na VUT v Brně v roce 2011 pro EUROVIA, další 2 zkoušky byly provedeny před několika lety na směsi ABH se silničním asfaltem a s menším obsahem pojiva. Výsledky byly EUROVII poskytnuty v rámci práce na výzkumném projektu CIDEAS. Směsi byly označeny anonymně čísly 3 a 6. Jejich složení nám nebylo sděleno. Dále jsou uvedeny výsledky na směsi AC zkoušené ve Francii při kruhových zkouškách v laboratoři s číslem 22, které máme k dispozici. Při zmíněných kruhových zkouškách bylo dosaženo velmi malého rozptylu výsledků. Podrobnosti o těchto kruhových zkouškách, na jejichž základě byla stanovena v článku A.7 EN 12697-24 opakovatelnost a reprodukovatelnost, budou uvedeny v druhé části článku. Označením ČSN je v tabulce míněna norma ČSN 73 6160 platná do dubna 2008.



Obrázek1: Vyhodnocení únavové zkoušky směsi VMT – rozdíl mezi dvěma regresními přímkami

Z tabulky je vidět, že při větším rozptylu zkoušky by již mohl být rozdíl v únavových parametrech výrazný. Grafické znázornění dvou regresních přímk je na obrázku. Plná čára znázorňuje vyhodnocení dle EN a čárkovaná dle bývalé ČSN a TP 77.

Pokud by se parametry únavové přímky zjištěné u směsi č. 3, kde byl rozptyl největší, použily pro počty cyklů zatížení dle vzorce B.7.6 v TP 170 (respektive ze vzorce B.10.6 bez dílčích součinitelů spolehlivosti a součinitelů C), byl by výsledný rozdíl v počtu cyklů velký. Například pro zvolenou hodnotu přetvoření báze asfaltové vrstvy 100 μ s by počet cyklů do porušení pro únavové parametry vyhodnocené dle ČSN EN byl 543 tisíc, ale dle dříve platné ČSN 915 tisíc, tj. téměř o 70 % více.

Rozdíl mezi vypočtenými hodnotami ϵ_6 závisí nejen na úhlu, který svírají obě regresní přímky, ale též na tom, jaký byl průměrný počet cyklů ze všech zkoušených těles. U francouzské směsi byl 424 tisíc, u směsi VMT 314 tisíc, kdežto u směsi 6 jen 89 tisíc, tj. několikrát méně. Bod, ve kterém se regresní přímky protínaly, byl tedy u směsi číslo 6 dále od milionu cyklů, pro který se stanovuje hodnota ϵ_6 .

Při únavové zkoušce v příčném tahu bývá rozptyl menší. Rozdíl mezi oběma regresními přímkami je malý. Tato zkouška má ovšem některé nevýhody popsané v odborné literatuře. Při srovnávacích únavových zkouškách RILEM [1] byl zjištěn velký rozdíl mezi únavovými parametry zjištěnými touto metodou a ostatními metodami uvedenými v EN 12697-24. Proto se ve většině evropských zemí pro zjišťování parametrů únavy pro navrhování vozovek používá zkouška na koleném klínu či trámečku.

Zkoušky odolnosti proti únavě lze provádět metodou řízeného napětí, nebo řízeného přetvoření. Přitom oba postupy dávají velmi rozdílné výsledky. Při samotné zkoušce může být dle EN odolnost proti únavě sledována nejen podle dříve uvedených vzorců, ale též jako ztráta modulu tuhosti nebo změna disipace energie [7]. V rámci výzkumných prací se jako výhodná jeví metoda invariantu druhého deviatorického přetvoření [5], sledová-

na může být i celá řada dalších parametrů. Únavovou zkoušku lze vyhodnocovat i tak, že nezávislou proměnnou je počet cyklů a závislou proměnnou modul tuhosti při zvoleném konstantním přetvoření či zvoleném konstantním působícím napětí. Pro stanovení únavových parametrů lze tedy použít regresní přímku, ve které je nezávislou proměnnou buď počet cyklů N , nebo přetvoření či napětí zkušebního tělesa.

Při vzájemném porovnávání směsí z pohledu výzkumného je možné použít jak vztah (1) tak (2). Pokud mají být výsledky únavové zkoušky použity při návrhu vozovky, dává se obvykle přednost vztahu (2), protože většina návrhových metod používá při návrhu vozovky vztah mezi počtem přejezdů návrhovéopravy a deformací vozovky ve tvaru $N = f(\epsilon)$. Některé návrhové metody nepoužívají vztahy zjištěné z laboratorních zkoušek, ale vycházejí z tzv. transferové funkce, odvozené ze zkoušek na únavových drahách či z pozorování chování vozovek. Transferové funkce jsou obvykle ve tvaru:

$$N = K1 \times (1/\epsilon)^{K2} \text{ nebo } N = K1 \times (1/\epsilon)^{K2} \times (1/E)^{K3}, \text{ kde } E \text{ je modul pružnosti asfaltové vrstvy.}$$

Vzorce jsou tedy analogické se vzorcem v EN na únavu. Vyhodnocení experimentů na únavové dráze pro stanovení „transfer function“ je uvedeno například v [6].

Lze tedy shrnout, že při vyhodnocování únavových zkoušek je možné použít různé metody. Při prezentaci výsledků by mělo být uvedeno nejen to, o jaký typ zkoušky se jedná, ale také to, zda byl při vyhodnocování únavových charakteristik použit postup uvedený v EN 12697-24 či postup jiný. Pokud byl použit postup jiný, měl by být popsán, aby nedošlo k chybné interpretaci stanovených únavových parametrů.

3. Únavové parametry uvedené v ČSN EN 12697-24

V normě se doporučuje uvádět při prezentaci výsledků zkoušky i další charakteristiky únavy. Při zkoušce na trámečku v příloze B normy to má být hodnota $\Delta\sigma_0$, která má dle článku B.5.2 a vzorce B.4 představovat „95% interval spolehlivosti hodnoty σ_0 “.

Analogický parametr $\Delta \varepsilon_6$ v příloze A normy je v článku A.5.2 a vzorci A.5 označen jako „index kvality“. Jiný název pro obdobnou veličinu může být pro uživatele matoucí. V obou případech se jedná o přibližné stanovení vodorovné vzdálenosti od regresní přímky ke křivkám představujícím dolní a horní meze 95% intervalu spolehlivosti regresní přímky. Vzdálenost vypočtená dle vzorců v EN (L_1 a L_2 v tabulce 1) se mírně liší od hodnot stanovených striktně podle zásad statistické analýzy (L_1 , L_2 v tabulce 1). Dalším nepříliš vhodným detailem v EN je, že reziduální odchylka regrese označená v příloze A ve vzorci A.4 symbolem S_N je v příloze B ve vzorci B.3 označena symbolem $s_{x/y}$, zatímco symbolem S_N je ve vzorci B.3 označena směrodatná odchylka souboru počtu cyklů.

Na grafu v příloze A normy je pro transformované proměnné $X = \log(\varepsilon)$ a $Y = \log(M)$ znázorněn i interval spolehlivosti zjištěné regresní přímky, aniž by bylo uvedeno, jak ho stanovit. To uživateli normy komplikuje práci, i když určení intervalu spolehlivosti je popsáno v učebnicích statistiky. Proto nejprve stručně vysvětlíme význam některých vzorců použitých v EN a potom připojíme komentář.

V regresní analýze obecně platí, že chceme-li stanovit 95% interval spolehlivosti pro odhad hodnoty Y odpovídající nezávisle proměnné s hodnotou X_0 , tj. $E(Y | X = x_0)$ použijeme vzorec:

$$A + B x_0 - 2\beta \leq E(Y|X = x_0) \leq A + B x_0 + 2\beta \quad (4)$$

Koeficient β je v normě ČSN EN 12697-24 označen symbolem S_0 (vzorec A.6). Odvození tohoto vzorce lze nalézt v učebnicích statistiky [4]. Ve vzorci A.6 v EN 12697-24 by mohlo snadno dojít k záměně logaritmu přetvoření na místo průměru z logaritmu přetvoření celého souboru dat. Tím může snadno dojít ke špatné interpretaci výsledků uživatelem normy, který samozřejmě nekontroluje správnost uváděných vzorců. Podotýkáme, že pro únavovou zkoušku na trámečku, pro kterou se dle přílohy B v EN 12697-24 stanovuje charakteristika σ_6 , je u analogické rovnice, označené B.6 uvedeno, že σ je „tension at a middle point“, tj. napětí ve středním bodě, což může být též matoucí. V rovnici A.6. pro odchylku S_0 v bodě ε_6 by bylo lepší použít jasnější označení průměru z logaritmu přetvoření, například:

$$S_0 = S_N \times \sqrt{\frac{1 + [\log(\varepsilon_6) - \log(\varepsilon)]^2}{(n-1) \times S_{\log(\varepsilon)}^2}} \quad (5)$$

Vhodnějším označením odchylky S_0 by bylo označení S_6 , aby si indexy odpovídaly. (V dřívější francouzské normě bylo uvedeno, že S_0 je odhad odchylky $\log N_0$ pro zvolené ε_0 .) Pro libovolnou deformaci ε_0 se tedy příslušná odchylka S_0 stanoví tak, že se v rovnici použije ε_0 místo ε_6 .

Při označení odchylky od regresní přímky podle EN na únavu, tj. místo β se použije hodnota S_6 , bude pro libovolnou hodnotu $x_0 = \log \varepsilon_0$ pro nejmenší počet cyklů do porušení (tj. bod ležící na křivce dolní meze 95% intervalu spolehlivosti) $y_0^{\min} = A + B x_0 - 2 S_0$ a pro největší počet cyklů do porušení (tj. bod ležící na křivce horní meze 95% intervalu spolehlivosti) $y_0^{\max} = A + B x_0 + 2 S_0$.

Poté, co stanovíme hodnotu S_6 , můžeme pro příslušnou hodnotu x_0 vypočítat dolní mezní hodnotu y_0^{\min} a horní mezní hodnotu y_0^{\max} a interval spolehlivosti regresní přímky pro zvolené body do grafu zakreslit. Pro deformaci pro porušení po milionu cyklů, pro kterou platí $x_0 = \log \varepsilon_6$, bude pro bod y_0 ležící na vypočtené regresní přímce:

$$y_0 = \log 10^6 = A + B x_0 \quad (6)$$

Potřebujeme nyní nalézt takovou hodnotu x_1 , pro kterou bude na křivce dolní meze intervalu spolehlivosti regresní přímky počet cyklů jeden milion:

$$y_0^{\min} = \log 10^6 = A + B x_1 - 2 S_1 \quad (7)$$

Platí tedy:

$$A + B x_0 = A + B x_1 - 2 S_1, \text{ tj. } x_0 = x_1 - \frac{2 S_1}{B} = x_1 - 2 b S_1 \quad (8)$$

$$\text{tj. } x_1 = x_0 + 2 b S_1$$

Po převodu na deformace bude deformace na dolní mezní křivce 95% intervalu spolehlivosti:

$$\varepsilon_1 = 10^{x_1} = 10^{x_0} \times 10^{2 b S_1} = \varepsilon_6 \times 10^{2 b S_1} \quad (9)$$

Obdobně deformace na horní mezní křivce 95% intervalu spolehlivosti bude:

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_6 \times 10^{-2 b S_2} \quad (10)$$

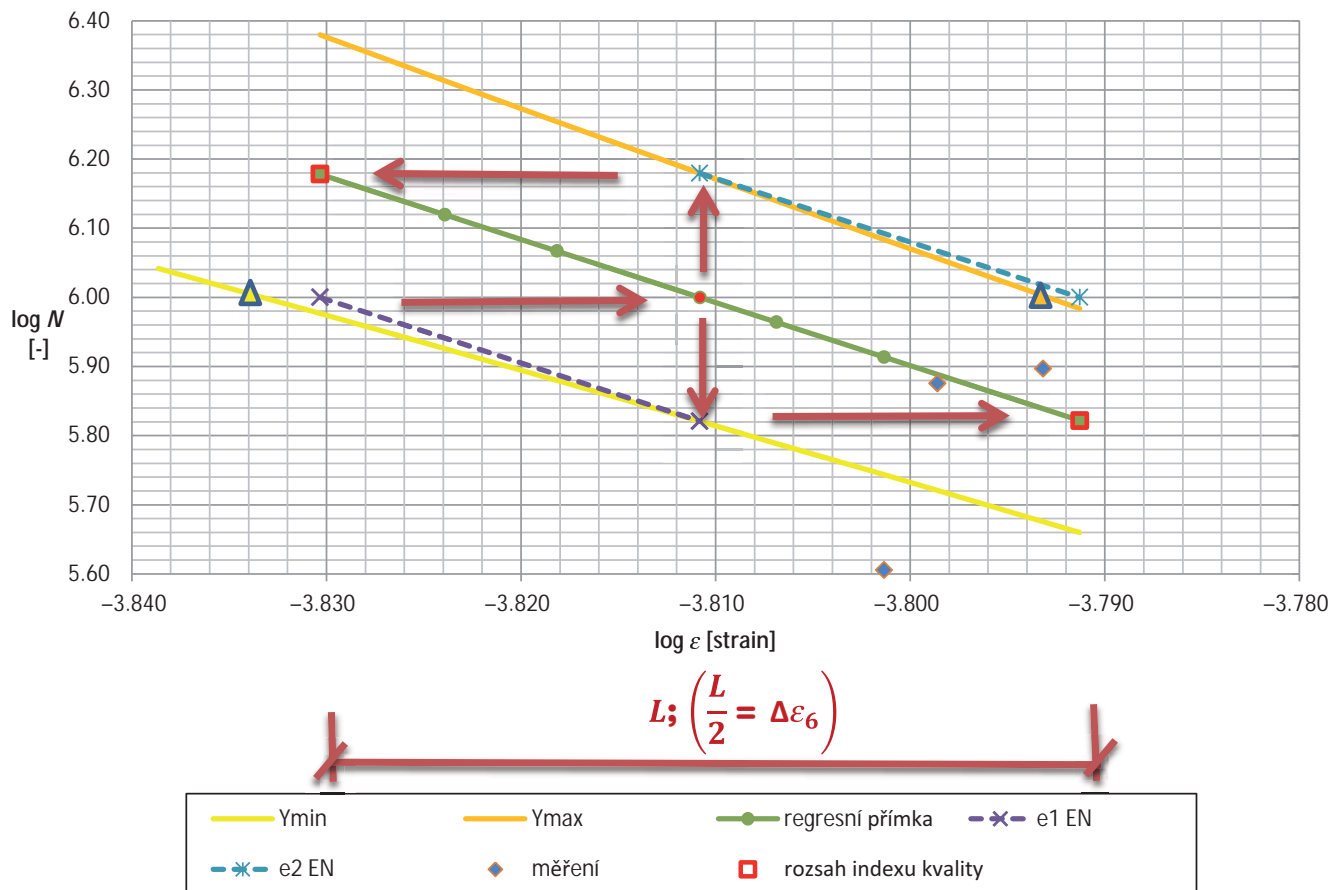
Pokud zjednodušíme situaci tím, že hodnotu S_0 uvažujeme v intervalu deformací od ε_1 do ε_2 konstantní, bude i vodorovná vzdálenost mezi regresní přímkou a křivkou dolní meze 95% intervalu spolehlivosti v daném intervalu konstantní (neboť přenásobením konstantní hodnoty S_0 konstantou b , vyjadřující sklon regresní přímky, dostáváme i vodorovnou vzdálenost od regresní přímky konstantní). Místo křivky meze spolehlivosti jsme tím tedy v intervalu od ε_1 do ε_2 zavedli přímku rovnoběžnou s regresní přímkou. Poloviční hodnota z rozdílu obou deformací pak bude:

$$\Delta \varepsilon_6 = \frac{(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)}{2} = 0,5 \varepsilon_6 \times (10^{-2 b \times S_0} - 10^{2 b \times S_0}), \quad (11)$$

tedy vzorec A.5 v EN 12697-24.

Pro snazší pochopení rozdílu mezi postupem dle EN a křivkami mezi spolehlivosti stanovenými ze statistické analýzy je na obrázku 2 vykreslen detail intervalu spolehlivosti pro jednu směs. Rozdíl mezi „čárkovanými“ přímkami a křivkami mezi 95% intervalu spolehlivosti pro $\log(M) = 6,0$ ukazuje tedy rozdíl mezi postupem dle EN a přesným řešením.

Podle přílohy B v EN se ve vzorci B.5 nepočítá hodnota $\Delta \sigma_6$ jako polovina na grafu vyznačené vzdálenosti L , ale z rozdílu mezi bodem na regresní přímce (tj. pro σ_6) a bodem na pravé čárkované přímce pro milion cyklů. Pokud bychom podle vzorce



Obrázek 2: Detail regresní přímky a intervalu spolehlivosti v okolí hodnoty ε_6

B.5 pro $\Delta\sigma_6$ počítali též $\Delta\varepsilon_6$, vyšlo by například u zmíněné směsi VMT $\Delta\varepsilon_6 = 7,2 \times 10^{-6}$ místo $7,0 \times 10^{-6}$ (stanovených dle A.5), tj. zanedbatelný rozdíl.

Jak je známo ze statistiky, nejmenší hodnota svislé vzdálenosti mezi mezemi spolehlivosti je v bodě $[x_{\text{prům}}, y_{\text{prům}}]$, resp. $[(\log \varepsilon)_{\text{prům}}, (\log M)_{\text{prům}}]$. S rostoucím rozdílem mezi $(\log \varepsilon)_{\text{prům}}$ a $\log \varepsilon_6$ roste i rozdíl mezi náhradní přímkou rovnoběžnou s regresní přímkou a skutečnou křivkou meze spolehlivosti.

V tabulce 1 je vidět, že pro směs VMT s PMB, kde byl rozptýl výsledků menší, bylo $\Delta\varepsilon_6 = 7 \mu\text{s}$. Vzdálenost k mezním křivkám spolehlivosti, stanovená podle statistiky, je $-8 \mu\text{s} + 7 \mu\text{s}$. Rozdíl oproti $\Delta\varepsilon_6$ je tedy malý. Naproti tomu pro směs č. 3, kde byl nadměrně veliký rozptýl výsledků s hodnotou $\Delta\varepsilon_6 = 19 \mu\text{s}$ byl rozdíl vypočtený zjednodušeným postupem dle EN $-17 \mu\text{s} + 21 \mu\text{s}$, ale vodorovná vzdálenost od regresní přímky ke křivkám mezi intervalu spolehlivosti již byla $-24 \mu\text{s} + 18 \mu\text{s}$.

Obdobné výsledky jsou uvedeny v článku o únavě asfaltových směsí [2] v tabulce 4. U dvou směsí byla při únavové zkoušce při teplotě 10°C hodnota $\varepsilon_6 - \Delta\varepsilon_6$ o $1 \mu\text{s}$ větší než hodnota $\varepsilon_6^{\text{min}}$ na dolní mezi spolehlivosti. Pro směs č. 2 bylo $\varepsilon_6 = 122,4 \mu\text{s}$, $\Delta\varepsilon_6 = 7,0 \mu\text{s}$, tj. $\varepsilon_6 - \Delta\varepsilon_6 = 115,4 \mu\text{s}$, ale minimální hodnota $\varepsilon_6^{\text{min}}$ uvedená v tabulce 4 (která odpovídá bodu na dolní mezi 95% intervalu spolehlivosti) byla $\varepsilon_6^{\text{min}} = 114 \mu\text{s}$.

4. Závěr

V článku jsou popsány principy vyhodnocování únavových zkoušek asfaltových směsí a je uvedeno několik konkrétních příkladů

rozdílů při hodnocení a vlivu rozptýlu výsledků zkoušky. V navazujícím článku se budeme především zabývat zhodnocením rozptýlu únavových zkoušek. Ve třetím díle pak aplikací únavových zkoušek v návrhové metodě. Dílčí poznámky k aplikaci únavových zkoušek v návrhové metodě, zejména vliv modifikovaných asfaltů, budou popsány v příspěvku prvních tří autorů na konferenci Asfaltové vozovky 2013 [8].

Článek byl z části podpořen z projektu SGS13/050/OHK1/1T/11T, ČVUT v Praze, Fakulty stavební.

Literatura:

- [1] Benedetto, H. – La Roche, C. – Baaj, H. – Pronk, A. C.: *Fatigue of bituminous mixtures: different approaches and RILEM group contribution. Sixth International RILEM Symposium on Performance Testing and Evaluation of Bituminous Materials, 2003.*
- [2] Bodin, D. – Terrier, J.-P. – Perroteau, C. – Hornych, P. – Marsac, P.: *Effect of temperature on fatigue performance of asphalt mixes. 11th International Conference on Asphalt Pavements, 2010.*
- [3] Fiedler, J. – Bureš, P.: *Optimalizace návrhu vozovek pozemních komunikací, dílčí výzkumná zpráva Eurovia, projekt CIDEAS. prosinec 2010.*
- [4] Jarušková, D.: *Pravděpodobnost a matematická statistika. Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2006.*
- [5] Li, N. – Molenaar, A. A. A. – van de Ven, M. F. C. and Wu, S.: *Application of A New Fatigue Analysis Approach on Different*

Laboratory Fatigue Tests. In Braunschweig, Germany: EAPA, 2013.

- [6] Priest, A.: *Calibration of Fatigue Transfer Functions for Mechanistic-Empirical Flexible Pavement Design*. Auburn University, 2005.
- [7] Žák, J. – Valentin, J. – Mondschein, P.: *Analyza únavového chování asfaltových hutněných směsí – současné trendy a metody*. *Silniční obzor. Česká silniční společnost 2013 (2)*, strana 31 až 34.
- [8] Žák, J. – Fiedler, J. – Mondschein, P.: *Poznámky k únavovým vlastnostem asfaltových směsí a k navrhování vozovek*. *Sborník konference Asfaltové vozovky 2013*.

POVRCHOVÉ VLASTNOSTI VOZOVEK POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ: ČÁST 8 – MĚŘENÍ PROTISMYKOVÝCH VLASTNOSTÍ K PŘEJÍMCE PRACÍ PRO UVEDENÍ ÚSEKU DO PROVOZU A NA KONCI ZÁRUČNÍ DOBY

Leoš Nekula, Měření PVV, Vyškov

Úvod

V minulém pokračování seriálu článků „Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací“ byla jako následující ohlášena Část 8 – Protismykové vlastnosti technologií údržby a oprav cementobetonových krytů. Protože však toto číslo bude k dispozici účastníkům konference Asfaltové vozovky 2013 v Českých Budějovicích, bylo rozhodnuto o změně. Téma měření protismykových vlastností při přejímce prací pro uvedení úseku do provozu a na konci záruční doby je totiž v současnosti opět velmi živým problémem. O této problematice již bylo stručně pojednáno v závěru 4. části seriálu článků.

Jako každým rokem, tak i letos před letními prázdninami nastal první vrchol uvádění úseků nových nebo opravených povrchů pozemních komunikací do provozu. K přejímce prací je na úsecích dálnic, rychlostních silnic a silnic I. třídy většinou požadováno měření protismykových vlastností povrchu nové obrusné vrstvy. V České republice, na rozdíl od většiny okolních států, je toto měření vyžadováno před uvedením nového úseku do provozu, v době kdy na stavbě ještě probíhají stavební práce. Při zpracování revize ČSN 73 6177 *Měření a hodnocení protismykových vlastností povrchů vozovek*, bylo v kapitole 4 Zásady měření, v článku 4.2 přijato kompromisní znění, že pro přejímku nových povrchů před uvedením do provozu se měření provádí po ukončení všech prací na měřeném úseku. Toto znění se ovšem v praxi ukázalo jako neproveditelné, protože práce probíhají do posledního okamžiku před uvedením do provozu, takže měření nesplní podmínku normy – po ukončení všech prací. A pokud je měření provedeno po uvedení úseku do provozu, tak nesplní podmínku, že má být provedeno před zprovozněním úseku. Technický dozor investora však většinou požaduje měření protismykových vlastností před uvedením úseku do provozu, a pokud naměřené hodnoty součinitele tření nesplní požadova-

nou klasifikaci, vyplyne z toho značný problém ve vztahu investor – zhotovitel.

Dalším sporným bodem současného stavu je měření protismykových vlastností na konci záruční doby. Záruční doba nového povrchu pozemní komunikace je podle TKP 1, Příloha 7, kapitola 3, tabulka 1 u hutněných asfaltových vrstev i cementobetonových krytů 5 let. V současnosti se však často sjednává smluvními podmínkami, zvláště na dálnicích, záruční doba ještě delší. Je otázka, zda na komunikacích s velmi vysokým dopravním zatížením je v případě protismykových vlastností vůbec technicky možné zajistit do konce záruční doby požadovanou klasifikaci hodnocení protismykových vlastností podle tabulky A.5 přílohy A v ČSN 73 6177, nebo dokonce zpřísněné požadavky podle smluvních podmínek.

Měření protismykových vlastností při přejímce prací pro uvedení úseku do provozu

V současnosti je u převážné většiny staveb a oprav povrchu vozovky na dálnicích a rychlostních silnicích technickým dozorem investora požadováno měření protismykových vlastností a podélných nerovností (IRI) povrchu vozovky před uvedením do provozu. Zhotovitel proto objednává měření s dostatečným předstihem, aby zprávy o kontrolních zkouškách mohl zahrnout do závěrečné zprávy pro přejímku prací. Zatímco dříve zhotovitel nevěnoval přípravě povrchu vozovky příliš pozornosti, v současnosti se již snaží měřený úsek v maximální míře vyčistit a zajistit jeho volnou průjezdnost. Je však otázka, zda je vůbec v technických možnostech zhotovitele vyčistit povrch vozovky tak, aby nebyly negativně ovlivněny naměřené hodnoty součinitele tření. Na základě dlouholetých zkušeností mohu prohlásit, že to možné není, a to z těchto důvodů:

- ▶ U asfaltových obrusných vrstev bez podrcení jsou zrna kameniva obalena asfaltovým pojivem (viz obrázek 1). Přestože makrotextura povrchu vozovky je velmi dobrá, způsobuje překrytá mikrotextura povrchu zrn kameniva značnou kluzkost povrchu vozovky. Mikrotextura kameniva se postupně obnovuje odstraňováním filmu asfaltového pojiva provozem. Doba odstranění je přímo závislá na intenzitě provozu a pohybuje se od několika týdnů až po desítky měsíců.
- ▶ U asfaltových obrusných vrstev s podrcením nelze žádným způsobem před uvedením úseku do provozu odstranit volné drobné kamenivo zaklíněné v makrotextuře povrchu vozovky. Na obrázku 2 je celkový pohled na obrusnou vrstvu SMA s podrcením, která je na první pohled čistá, bez viditelného znečištění. Na obrázku 3 je však detail téhož povrchu, kde je již viditelná volná drť. Při měření součinitele tření měřicí pneumatika brzděná na 25% prokluz na uvolněné drti prokluzuje, a tím se snižují naměřené hodnoty součinitele tření a hodnocení protismykových vlastností.
- ▶ U nových cementobetonových krytů nastává stejný problém s pískem, který se při měření uvolňuje z textury vytvořené při pokládce vlečenou jutou. Častým znečištěním cementobetonového krytu před uvedením do provozu je také pogumování povrchu v místech přechodu cementobetonového a asfaltového povrchu (viz obrázek 4). Pogumovaný povrch vykazuje rovněž snížené hodnoty součinitele tření.