



VYUŽITELNOST SOUČASNÝCH DAT A PŘEDPOKLADY ROZVOJE NÁSTROJŮ SIMULACE DEGRADAČNÍHO CHOVÁNÍ VOZOVEK

Zpracovali: Ing. Jan Valentin, Ph.D., Ing. Josef Žák, Ph.D., Ing. Petr Mondschein, Ph.D. (Fakulta stavební ČVUT v Praze); Ing. Jiří Fiedler (Eurovia), Ing. Bořek Křivánek (HOCHTIEF CZ a.s.)

Souhrn

V oblasti degračních modelů konstrukcí vozovek se v současnosti vychází z dat a principů, které byly nastaveny a rozvíjeny před více jak dvaceti lety. Zejména u asfaltových vozovek modely nezahrnují data a poznatky získané v oblasti funkčního zkoušení asfaltových směsí a nových přístupů, které se uplatňují například u zkoušek únavového chování. Tyto modely dále nezahrnují aspekty stárnutí a možností simulace tohoto jevu. V neposlední řadě v minulosti vytvořené modely a přístupy nemohly brát v potaz otázky recyklace, což se nejvíce projevuje v oblasti technologií recyklace za studena, kde v zásadě neexistují simulace degračního chování vůbec a sběr potřebných dat se celoevropsky nachází ve fázi zpřesňování podmínek pro jednotlivé funkční zkoušky.

V tomto ohledu byla pozornost věnována několika aspektům. Byla provedena podrobná analýza podmínek sběru dat a zkoušek únavového chování a to včetně nástrojů statistického vyhodnocování a zohlednění variability výsledků únavových zkoušek v návrhové metodice pro asfaltové vozovky. Byla věnována pozornost aspektům zkoušky odolnosti proti trvalým deformacím a to se zaměřením na odvození kumulované ustálené funkce poddajnosti jako dalšího možného parametru vhodného pro simulaci deformačního chování asfaltové vrstvy při středních a zejména vyšších teplotách. V neposlední řadě došlo k podrobnému rozboru současných podmínek a možných nástrojů, které by bylo možné aplikovat při zpřesněné simulaci a predikci chování konstrukčních vrstev provedených technologiemi recyklace za studena a to s ohledem ke skutečnosti, že pro tuto skupinu stmelených směsí existuje poznatků nejméně a

parametry degradace a její predikce nejsou v technických předpisech zahrnuty vůbec. Tato oblast je o to komplikovanější, že více než s jednoznačně daným viskoelastickým nebo čistě elastickým materiálem pracuje s kombinovanými pojivy, čímž vytváří nové typy kompozitních konstrukčních vrstev.

Oblast použití

Nástroje predikce degračního chování a odpovídající degrační modely, které lze využít pro numerické simulace, představují jeden z důležitých nástrojů moderního systému hospodaření s vozovkou. Současně jsou předpokladem pro mnohem efektivnější využívání funkčních přístupů a zpřisňování požadavků na technickou kvalitu budované či obnovované infrastruktury. V neposlední řadě mnohem lépe umožňují posunout zavedené přístupy z oblasti deterministických přístupů k více pravděpodobnostním řešením, kde lze lépe určit a předpovědět možné scénáře vývoje a s uplatněním opatrnostního principu zvolit ve vhodný okamžik nejvíce účinné technické řešení. Činnost prováděná v roce 2014 tvoří základ pro další vymezení či zpřesnění již existujících deformačních modelů a současně postupně zajišťovala data, která jsou nezbytná pro postupný rozvoj probabilistických predikčních modelů. Bezprostřední využití v praxi je omezené, jelikož se jedná více o vstup pro další etapy řešení, nicméně i v této fázi umožňuje při aktivnějším zapojení veřejných správců získávat poznatky, které ve zjednodušené míře mohou být do používaných jednoduchých systémů hospodaření implementovány již dnes. Současně řešení této aktivity přináší další argument pro vhodnost a potřebnost zavádění funkčních zkoušek nejen u asfaltových směsí.

Metodika a postup řešení

V oblasti odvození kumulované ustálené funkce poddajnosti bylo cílem na základě prováděných měření deformačních charakteristik asfaltových směsí průběžně sbírat vedle komplexních dynamických modulů hodnoty poddajnosti v takové podobě, že je možné ji využít k aproximaci dat měřených zkouškou opakovaného zatížení s odtížením. Lokální minima každého měřeného cyklu po odtížení pak bylo cílem vybrat z naměřeného souboru dat a extrahovat do odděleného souboru, který vyjadřuje nevratnou deformaci vzorku během testu. Následně došlo k vymezení numerického vyjádření ekvivalentních diskrétních hodnot, lokálních minim, s použitím teorie lineární viskoelasticity. Dále je využito intervalové aproximace s ohledem na redukci času potřebného k výpočtu aproximace. Tento postup byl zpřesňován a ověřován na souboru dat vybraných typů asfaltové směsi. Z hlediska využitelnosti funkce poddajnosti se z naměřených dat provedl výpočet diskrétního retardačního spektra s použitím čtyř článků standardního Kelvin-Voigtova modelu a následně se stanovila vlastní kumulovaná funkce.

V případě únavových charakteristik a jejich statistického vyhodnocení byly činnosti zaměřeny do tří na sebe vzájemně navazujících tematických oblastí. V prvním kroku byla hodnocena variabilita výsledků únavových zkoušek z kruhových zkoušek provedených ve Francii a ze zkoušek, které byly realizovány v České republice, bylo provedeno stanovení intervalu spolehlivosti regresní přímky statistickou metodou s použitím t-rozdělení. Se znalostí statisticky „zaručených“ únavových vlastností je lze aplikovat ve výpočetních modelech konstrukcí vozovek. Z těchto důvodů byla věnována pozornost i problematice vlivu přestávek mezi zatěžovacími cykly na únavové charakteristiky asfaltových směsí. Dále pak i vlivu teploty zkoušky resp. rozdělení teploty v konstrukci vozovky na životnost konstrukce vozovky.

Pravděpodobně nejnáročnější podoblastí řešenou v roce 2014 bylo vymezení vhodného přístupu k vymezení degračních modelů u směsí recyklace za studena a to včetně jejich zahrnutí do návrhové metodiky. Byla provedena

širší analýza přístupů, které se dnes v souvislosti se směsmi či vrstvami recyklace za studena ve světě uplatňují a získané poznatky byly rozděleny na empirické a analytické metody. V prvním případě se pozornost zaměřila především na postupy, které lze nalézt ve Velké Británii, Irsku a některých částech USA, nebo s nimi pracují návrhové metodiky v Austrálii či JARu. U těchto metod se zpravidla vychází z tzv. strukturního čísla každého typu konstrukční vrstvy, kdy bylo nezbytné podrobněji popsat a porovnat přístupy ke stanovení takového parametru, jenž je odvislý od předpokládané tloušťky konstrukční vrstvy a bezrozměrného parametru, který vychází z mechanického přínosu dané vrstvy pro celkovou konstrukci. V druhém případě se analyzoval pravděpodobně náročnější přístup analytických metod, které již vycházejí z dat funkčních charakteristik a vedle deformačních charakteristik, zde důležitou roli sehrává únavové chování. V tomto ohledu bylo důležité takové chování pro potřeby simulačních technik a degračních modelů dobře popsat a analyzovat poruchy či degrační jevy, ke kterým může konkrétní typ chování vést. Obecně se tedy jednalo o analytický přístup rozboru získaných poznatků, které následně byly kombinovány i s daty, která lze v současné době získat v ČR. Neméně důležitá je skutečnost, že tento přístup umožňuje definovat požadavky na konkrétní data, která je třeba pro dané směsi či konstrukční vrstvy sbírat, aby bylo možné chování v čase předikovat a daný materiál co nejpřesněji do návrhu konstrukce vozovky zahrnout.

Výsledky

Pro kumulovanou funkci poddajnosti byla potvrzena její využitelnost jako parametru pro stanovování odolnosti asfaltových hutněných směsí k trvalým deformacím vyjadřujícím dlouhodobou životnost. Navrhovaný postup je demonstrován na experimentálních datech ze dvou zkušebních zařízení. Zkoušky opakovaného zatížení s odtížením jsou provedeny ve smykových testech. Bylo také zjištěno, že stanovené hodnoty kumulované ustálené funkce poddajnosti korelují s parametry určujícími odolnost materiálu proti trvalým deformacím. S ohledem na známý princip, kdy dlouhotrvající procesy jsou vystiženy parametry

retardačního spektra, je použití kumulované ustálené funkce poddajnosti vhodné jako numerické kritérium určující odolnost materiálu proti trvalým deformacím.

Z hlediska provedeného statistického vyhodnocení dat únavového chování asfaltových směsí je zajímavé, že různé možnosti zohlednění rozptylu únavových vlastností při návrhu vozovek byly ilustrovány na příkladu francouzské a americké návrhové metody. Zhodnocení podnětů ze zahraničních návrhových metod může být užitečným podkladem pro revizi návrhové metody používané u nás. Je však nutné nevycházet jen z teoretických předpokladů a laboratorních zkoušek, je nutné respektovat chování skutečných vozovek za reálných podmínek, tj. teplotních a klimatických, a uvažovat skutečné dopravní zatížení, které nemá charakter opakujícího se zatížení s konstantní velikostí.

Podnětným tématem zejména pro vozovky s dlouhou životností se potom jeví realizace konstrukcí vozovek, ve kterých při zatížení dopravou dochází k velmi malým přetvořením. Při přestávkách mezi zatěžovacími cykly (zatížení dopravou) dochází k relaxaci materiálů a lze předpokládat, že k porušení únavou při tomto malém přetvoření prakticky nemůže dojít.

V případě zahrnutí směsí recyklace za studena do návrhových numerických metod a degračních simulací se v současné době jako nejkritičtější jeví velmi malá znalost únavového chování tohoto typu materiálu. Únavové charakteristiky lze v zásadě ignorovat pouze v případech, kdy směsí recyklace za studena budou obsahovat méně jak 2 % zbytkového asfaltového pojiva. Obdobně tento předpoklad platí pro směsí stmelené čistě hydraulickým pojivem. V těchto případech lze za klíčové z hlediska návrhových parametrů považovat úroveň přetvoření podloží. Pozornost pak je třeba věnovat svislým deformacím a především jejich změnám na horní hraně vrstvy recyklované za studena.

Únavové chování směsí recyklace za studena s větším množstvím asfaltového pojiva je třeba vždy posoudit, přičemž úroveň minimálního množství asfaltového pojiva ve směsí, od kterého sehrává únavové chování zásadnější úlohu, je třeba volit i v závislosti na klimatické

oblasti. Na základě chování během zrychlených zatěžovacích zkoušek a některých výsledků únavových zkoušek lze předpokládat, že významnější vliv je možné očekávat pro směsí, kde množství cementu je vyšší než 2 % a celkové množství pojiva je vyšší než 4 %. Tento předpoklad je nicméně nezbytné potvrdit dalšími testy a ověřením únavových charakteristik, jež by měly být doplněny potřebným sběrem dat ze skutečných konstrukcí vozovek, kde technologie recyklace za studena byla aplikována.

Z hlediska volby vhodného empirického či analytického přístupu je harmonizovaná metoda v zásadě nemožná a to s ohledem k příliš velkému odlišnostem, které lze v Evropě spatřovat. Tudiž v podmínkách ČR je pravděpodobně smysluplné dále rozvíjet existující metodu a spíše zvažovat analogický přístup, který je patrný v moderní americké návrhové metodě MEPDG. Ta zavádí obecné rovnice, které zahrnují různé kalibrační konstanty. Tím je možné aplikovat takový početní přístup pro jakkoli region a s ohledem ke konkrétním podmínkám pak volit a použít vhodné koeficienty. Základní rovnice, která se využije pro hodnocení odolnosti proti únavě směsí recyklace za studena (resp. z ní vytvořené vrstvy), pak může mít následující podobu:

$$N_f = C \beta_{1p} \beta_{1t} k_1 \left(\frac{1}{\varepsilon_t} \right)^{\beta_{2p} \beta_{2t} k_2} \left(\frac{1}{E} \right)^{\beta_{3t}}$$

Kde

C je laboratorní opravný faktor, který oproti reálným podmínkám ve vozovce zohledňuje intenzitu dopravy a podobné vlivy;

β_{1p}, β_{2t} opravný faktor, který zohledňuje menší pravděpodobnost vzniku trhlin;

$\beta_{1t}, \beta_{2t}, \beta_{3t}$ teplotní opravný faktor;

k_1, k_2 laboratorně stanovené únavové parametry;

E modul pružnosti směsí.

Závěr

Činnosti v roce 2014 vytvořily základy ve dvou oddělených oblastech. Jednak z hlediska únavového chování zpřesnily s využitím statistických nástrojů data a jejich variace při běžně prováděných laboratorních zkouškách, kde je snahou simulovat možný vývoj tohoto významného fenoménu u chování zatěžovaných konstrukcí. Dále vymezily základní předpoklady pro vhodné zahrnutí technologií recyklace za studena do návrhových metodik a zejména do oblasti potřebné předpovědi degradačního chování u tohoto typu materiálu s ohledem ke skutečnosti, že o něm v současné době nic nevíme. V navazujícím roce 2015 bude pozornost zaměřena mnohem více na návrhy úprav stávajících degradačních modelů, které se v ČR uplatňují a vstupují např. i do výpočtů v nástroji HDM-4. Současně budou popsány požadavky a předpoklady pro postupný převod stávajících degradačních modelů na úroveň pravděpodobnostních modelů, kde bude nutné v mnohem větší míře zahrnout a popsat i funkce nejistot, které souvisejí s nemožností přesné předpovědi vlivů, které na konstrukci vozovky v čase působí.

Literatura

- [1] Žák, J.: Numerical characterization of asphalt mixture properties. Disertační práce, Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2014.
- [2] Fiedler, J., Mondschein, P., Jarušková, D., Žák, J.: Statistické hodnocení únavových zkoušek a jejich využití v návrhu konstrukce vozovky, část 1-4, Silnice mosty č. 3/2013, 4/2013, 1/2014, 2/2014.
- [3] Khosravifar, S., Schwarz, Ch., Goulias, D.: Mechanistic structural properties of foamed asphalt stabilised base materials, Journal of Pavement Engineering, 2014.
- [4] Timm, D., Priest, A.: Methodology and calibration of fatigue transfer functions for mechanistic-empirical flexible pavement design, 2006.