

Dynamické zkušební metody týkající se užitečných vlastností asfaltových směsí v evropském kontextu

(Peter Renken, *Strasse+Autobahn*, č. 12/2005, str. 700 - 705)

Příspěvek pojednává o dynamických zkušebních metodách, které budou relevantní pro první generaci evropských norem, tedy od roku 2008. Proto bude třeba objasnit rozdílné evropské systémy pro asfaltové specifikace. Německo zvolilo systém empirických specifikací, naopak jiné evropské země zvolily systém základních specifikací. Oba systémy používají pro posouzení základních vlastností dynamické zkušební metody, které tvoří jednotlivé části norem pro zkoušení asfaltových směsí řady EN 12697.

Pro empirické specifikace (Německo) je dynamickou zkušební metodou zkoušena pouze trvalá deformace. Hutněné asfaltové směsi (LA a AKM) jsou zkoušeny pomocí zkoušky poježdění kolem a dynamická zkouška čísla tvrdosti je používána jen pro zkoušení litého asfaltu. Zde se jedná o nepřímé zkušební metody (vztažené na funkční charakteristiky).

Pro základní specifikace se kromě odolnosti proti trvalé deformaci zkouší i vlastnosti asfaltové směsi: únava a tuhost. Pro posuzování tuhosti existuje v EN celá řada zkušebních metod, z nichž nebyla ještě žádná zvolena. Pro posuzování odolnosti proti trvalé deformaci platí v základních specifikacích jako přímá zkušební metoda (založená na funkčních charakteristikách) zkouška tlaku v triaxiálním přístroji s konstantním radiálním tlakem a pro posuzování únavových vlastností je to zkouška čtyřbodovým ohybem na zkušebních tělesech tvaru trámečku nebo případně dvoubodovým ohybem na tělesech tvaru komolého vetknutého klínu.

Volba jedné jednotlivé zkušební metody pro posuzování vlastností únavy ještě nebyla provedena. Protože je toto rozhodnutí stále otevřené, dvě nejvíce používané zkušební metody v Německu, tj. zkouška míjivým tahovým napětím a dynamická zkouška příčným tahem, je třeba prodiskutovat pro druhou generaci norem.

1. Úvod

Mezi hlavní vlastnosti asfaltové směsi patří kromě povrchových vlastností vrstvy krytu vozovky také:

- trvalá deformace;
- citlivost na vznik trhlin;
- odolnost pro únavě;
- stárnutí a přilnavost (adheze).

Tyto vlastnosti je třeba v rámci systému jedné zkoušky, nazývané také zkouška typu, optimalizovat. Dosud se v Německu asfaltové směsi navrhovaly na základě zkušeností; obzvláště složení směsi, tedy obsah pojiva, zrnitost a mezerovitost, popř. také objemová hmotnost. Evropská norma otevírá nyní také možnost přímo zkoušet funkční vlastnosti optimalizované asfaltové směsi. Při takto uplatněných vlastnostech se hovoří o přímých zkouškách.

Některé z těchto přímých zkoušek jsou široké odborné veřejnosti méně známé, neboť se provádějí dynamicky a potřebná zkušební zařízení pro zkoušení asfaltových směsí nepatří ke standardnímu vybavení německých laboratoří. Ve svém důsledku použití dynamických zkušebních metod sleduje chování asfaltového krytu vozovky, který je při jezdě pneumatikami namáhán také dynamicky.

Pokusíme se proto alespoň částečně představit nejdůležitější dynamické zkušební metody, které jsou součástí evropských norem.

2. Strategie přejímání evropské normy

Nejprve je třeba se krátce dotknout strategií přejímání v rámci evropské normy. Poté vyvstává minimálně uvnitř první generace evropských norem určitý prostor pro transformaci. V současné době může evropská země zvolit konkrétní systém souboru specifikací pro asfaltové směsi a to:

- empirické specifikace;
- základní specifikace.

Zatím co se základní specifikace opírají zejména o požadavky založené na funkčních charakteristikách (korigované poměrně širokými, přípustnými oblastmi pro složení směsi), empirické specifikace se vztahují na poměrně úzké hodnoty pro složení asfaltové směsi.

Empirické specifikace jsou podloženy několika zkouškami asfaltových směsí, které ale pouze nepřímo posuzují vlastnosti asfaltových směsí. Například zde lze uvést Marshallovu stabilitu a Marshallovo přetvoření. Ale také zkouška poježdění kolem a dynamická zkouška čísla tvrdosti patří z evropského

pohledu mezi nepřímé zkušební metody. Pak hovoříme o nepřímých zkušebních metodách (vztahujících se na funkční charakteristiky), tedy zkoušky, které pouze nepřímým způsobem ovlivňují užité vlastnosti asfaltových směsí (tabulka 1).

Tabulka 1 – Systém specifikací evropských norem

Empirické specifikace		Základní specifikace	
Složení směsi:	Zkoušky asfaltových směsí:	Složení směsi:	Zkoušky asfaltových směsí
	Vztahující se na funkční požadavky:		Založené na funkčních požadavcích:
Úzké hodnoty pro složení směsí bez tolerancí	Několik málo zkušebních metod – nepřímé posouzení vlastností asfaltových směsí	Velké tolerance pro složení směsí	Větší množství zkušebních metod – přímé posouzení vlastností asfaltových směsí

Němečtí odborníci, kteří rozhodovali o systému specifikací, byli toho názoru, že se německé asfaltové silniční stavitelství lépe najde v empirických, než v základních specifikacích. Proto se Německo při přejímání první generace norem rozhodlo pro specifikace empirické.

3. Dynamické zkušební metody

Na základě rozdílných systémů specifikací existují dynamické zkušební metody, které musí být klasifikovány jako nepřímé a používány v souvislosti s empirickými specifikacemi a dále existují dynamické přímé zkušební metody, které jsou používány v souvislosti se základními specifikacemi. Tabulka 2 znázorňuje přiřazení jednotlivých zkušebních metod k různým systémům specifikací.

Tabulka 2 – Přiřazení dynamických zkušebních metod evropských norem k systému specifikací

Základní charakteristiky Hlavní vlastnosti asfaltových směsí	Základní specifikace Nepřímé zkoušky (Německý systém)	Základní specifikace Přímé zkoušky
Odolnost proti deformaci	Pro hutněné směsi (AB a AKM): Zkouška pojíždění kolem (AB) podle EN 12697-22 Pro litý asfalt: Dynamická zkouška čísla tvrdosti Podle EN 12697-25	Pro hutněné směsi (AB): Zkouška v triaxiálním přístroji podle EN 12697-25
Tuhost	Žádné stanovené zkoušky týkající se funkčních požadavků	Tuhost podle EN 12697-26
Únava	Žádné stanovené zkoušky týkající se funkčních požadavků	Únava podle EN 12697-24
Mrazuvzdornost	Zkoušená vlastnost v EN chybí	Zkoušená vlastnost v EN chybí

V soustavě evropských technických předpisů se dynamické zkušební metody objevují nejprve pro posouzení **vlastností deformace**, a sice nejen nepřímé – konkrétně zkouška pojíždění kolem pro hutněné asfaltové směsi a pro litý asfalt dynamická zkouška čísla tvrdosti, ale i přímé – pouze v cyklické zkoušce na triaxiálním přístroji. Mimo to existují dynamické zkušební metody pro posouzení **tuhosti** a pro posouzení **odolnosti proti únavě**; v obou případech ale pouze jako přímé zkušební metody.

Nepřímé požadavky na tuhost a únavu jsou vyžadovány pouze pro základní specifikace. Pro empirické specifikace, které přicházejí do užívání v Německu, bude tuhost a únava posuzována bez provedení zkoušek asfaltových směsí pouze nepřímě, pomocí stanovení zrnitosti, obsahu pojiva a mezerovitosti na Marshallově zkušebním tělese. To je pro německé asfaltové technologie v současné době dostačující.

Jak je možné vidět v tabulce 2, Evropa se nezabývá vlastnostmi spojenými s mrazuvzdorností. Proto se musí odborníci, činní v rozhodujících grémiích postarat, o to, aby byla v každém případě ve druhé generaci evropských norem zapracována nová evropská norma na posuzování citlivosti na vznik trhlin (mrazuvzdornost).

4. Podrobné informace o dynamických zkušebních metodách

4.1 Deformace

4.1.1 Nepřímé charakteristiky

V první generaci evropských norem je možné nejprve nalézt (pro Německem zvolené empirické specifikace spojené s nepřímými požadavky) jako dynamickou zkušební metodu pro hutněné asfaltové směsi (AB a také AKM) **zkoušku pojíždění kolem** [1, 2], která je německých asfaltovým technologům z letité praxe nejvíce známa. Jako zkušební těleso se používá buď laboratorně zhutněné desky z asfaltové směsi nebo jádrový vývrt odebraný z vozovky (obrázek 1). Zkouška se provádí na vzduchu kolem opatřeným huštěnou pneumatikou se stanovenými rozměry a stanovenou tvrdostí. Teplota není v evropské normě přesně stanovena, zvolí se v teplotním rozmezí 45 °C až 60 °C.

V institutu Gauer v městě Regenstauf je v současné době zpracováván výzkumný úkol, který má pomoci zjistit optimální teploty pro německé asfaltové směsi a zjistit shodnost zkoušky při této teplotě.

Zkušební těleso:

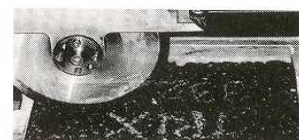
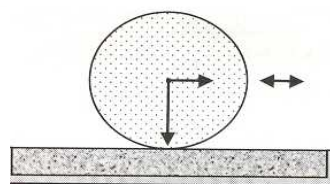
- laboratorně zhutněné desky z asfaltové směsi
- jádrový vývrt z vozovky

Provedení zkoušky:

- kolo opatřené huštěnou pneumatikou
- na vzduchu
- zkušební teplota: $T = 45\text{ °C}$ nebo 50 °C nebo 60 °C

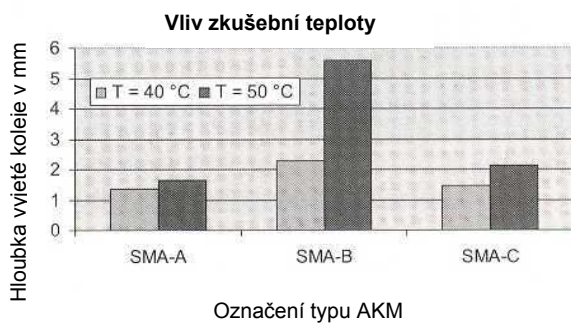
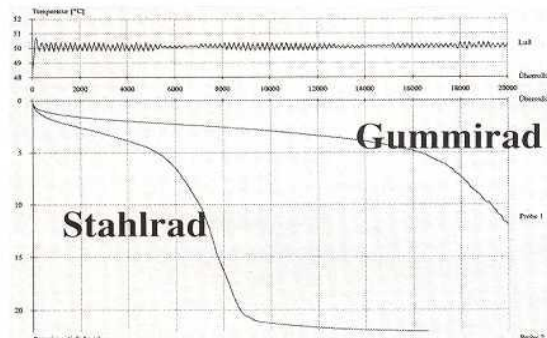
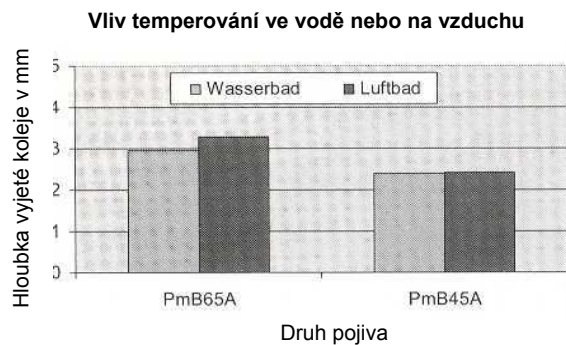
Vyhodnocení pro specifikace:

- průměrný nárůst hloubky vyjeté koleje WTS_{air}
- průměrná poměrná hloubka vyjeté koleje PRD_{air}



Obrázek 1 – Zkouška pojíždění kolem podle EN 12697-22 jako nepřímá zkušební metoda vlastností deformace

Podmínky zkoušky jsou na rozdíl od v současnosti platného technického zkušebního předpisu (zkouška je prováděna ocelovým kolem ve vodě při teplotě 50 °C) zcela odlišné a přinášejí zcela jiné hodnoty pro hloubku vyjíždění kolejí (viz obrázek 2). Výzkumy ukázaly, že pneumatika a zkouška na vzduchu při teplotě 50 °C nedostatečně diferencují mnoho asfaltových směsí, takže pravděpodobně bude nutné pracovat s vyššími teplotami.



Legenda

- | | |
|-----------|------------------------------------|
| Stahlrad | ocelové kolo |
| Gummirad | kolo opatřené huštěnou pneumatikou |
| Wasserbad | ve vodě |
| Luftbad | na vzduchu |

Obrázek 2 – Příklady vlivu „nových“ zkušebních podmínek podle EN 12697-22, zkoušky poježdění kolem, na výsledek zkoušky

Také pro **lité asfalty** jsou stanoveny dynamické zkoušky pro posouzení odolnosti proti deformaci a to vždy, když je pro statickou zkoušku čísla tvrdosti uvedena v empirických specifikacích hodnota 2,5 mm nebo méně. Pak se litý asfalt zkouší podle EN 12697-25 [3] podle metody A při implicitních zkušebních podmínkách pro teplotu, zátěž, hlavní zatížení a druh zatížení (obrázek 3).

Zkušební těleso:

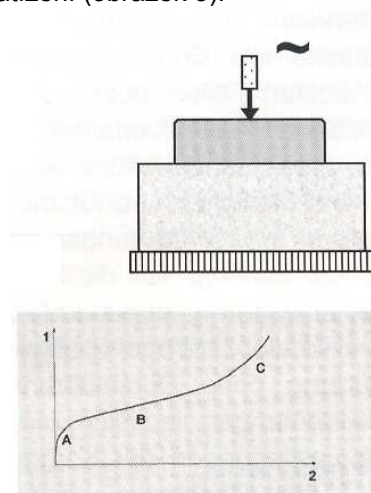
- válcové
- vyrobené v laboratoři nebo odebrané z vozovky
- průměr zkušebního tělesa: 150 mm
- výška zkušebního tělesa: 60 mm

Provedení zkoušky:

- průměr horní zatěžovací desky: 100 mm
- pulz s časovou prodlevou 0,5 Hz
- 3 600 zatěžovacích cyklů
- zkušební teplota: T = 40 °C

Vyhodnocení pro specifikace:

- dynamická hloubka zatlačení trnu l_{dyn} v mm



Obrázek 3 – Dynamická zkouška čísla tvrdosti na litém asfaltu podle EN 12697-25 jako nepřímá zkouška pro posouzení vlastností deformace

Specifikační charakteristika pro litý asfalt je dynamické hloubka zatlačení trnu l_{dyn} na konci zkoušky, vyjádřená v mm.

Velmi povážlivé jsou odchylky od technického zkušební předpisu „Dynamická zkouška čísla tvrdosti se širokým trnem litého asfaltu“ z roku 2003 [4]. Nehledě na skutečnost, že podle EN 12697-25, je na rozdíl od v Německu používaného sinusového impulsu používán impuls blokový, existuje celá řada politováníhodných rozdílů, jako např. hodnoty teploty, osového zatížení a poměr průměru zkušebního tělesa a průměru trnu.

4.1.2 Založené na funkčních charakteristikách

Pro popis vlastností deformace hutněných asfaltových směsí se jako přímá zkušební metoda uvádí jednoduchá zkouška na triaxiálním přístroji (obrázek 4). Jednoduchá zkouška na triaxiálním přístroji proto, že podle EN 12697-25 Část B je aplikován realitě trochu vzdálený boční tlak ne dynamický, nýbrž jen statický, s více či méně volně branou hodnotou. Axiální zatížení následuje s danými hodnotami pro maximální a minimální zatížení dynamické se sinusovými impulsy. Jako zkušební těleso se používá válcové zkušební těleso, zkušební těleso připravené gyrátorem (ne Marshallovo zkušební těleso) nebo jádrový vývrt z vozovky či laboratorně zhutněné deskové zkušební těleso z asfaltové směsi. Ve specifikacích jsou formulovány požadavky na míru dotvarování f_c v kvazi lineární části křivky dotvarování.

Zkušební těleso:

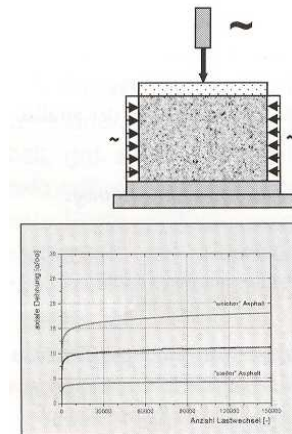
- válcové
- vyrobené v laboratoři nebo odebrané z vozovky
- průměr zkušebního tělesa: 150 mm
- výška zkušebního tělesa: 60 mm

Provedení zkoušky:

- kvadratické sinusové zatěžování 3 Hz
- axiální zatížení 200 kPa nebo 300 kPa
- radiální zatížení 50 kPa nebo 150 kPa
- zkušební teplota: $T = 40\text{ °C}$ nebo 50 °C

Vyhodnocení pro specifikace:

- míra dotvarování f_c
- průměrná poměrná hloubka vyjeté koleje PRD_{air}



Obrázek 4 – Zkouška na triaxiálním přístroji podle EN 12697-25 (Metoda B) jako přímá zkouška pro posouzení vlastností deformace

S triaxiálními zkouškami se musí Německo zabývat ještě intenzivněji, neboť se ukázalo, že pro německé druhy asfaltových směsí není stanovení definovaného komorového tlaku možné kvůli množství variací jednotlivých druhů asfaltových směsí. Ke zodpovězení této otázky očekáváme poznatky z výzkumného úkolu BMVBW (**B**undesministerium für **V**erkehr, **B**au- und **W**ohnungswesen – Spolkové ministerstvo dopravy, stavebnictví a bydlení), který je v současné době dokončován na RWTH Cáchy (**R**heinisch-**W**estfälischen **T**echnischen **H**ochschule – Vysoká škola technická v Porýní Vestfálsku).

Je třeba poznamenat, že v Německu rozšířená zkouška v tlaku v jednoosém přístroji [5] podle technických zkušebních předpisů není žádným druhem triaxiální zkoušky a není tedy v evropské normě zohledněna.

4.2 Tuhost

Pro stanovení tuhosti jako přímé zkušební veličiny asfaltové směsi nabízí EN 12697-26 [6] celou řadu zkušebních metod, které nacházejí využití v jednotlivých zemích. U všech zkoušek se jedná o dynamicky prováděné zkoušky při teplotách 15 °C až 20 °C . Je možné je rozdělit na:

- zkoušky ohybem (dvoubodová, třibodová nebo čtyřbodová zkouška ohybem);
- zkoušky v nepřímém tahu (zkouška příčným tahem na válcových zkušebních tělesech);
- zkoušky jednoosým tahem (pomocí zkoušky namáhání tahem a tlakem nebo jen zkouška tahem, ale pouze statická).

Přehled jednotlivých zkušebních metod a vybraných údajů týkajících se zkušebních podmínek je v tabulce 3. Ve všech případech se vypočítá tuhost S , pro kterou jsou požadavky uvedeny v příslušných částech evropských norem výrobků řady EN 13108.

Tabulka 3 – Stanovení tuhosti podle EN 12697-26 pro základní specifikace

Druh zkoušky	Tvar zkušební tělesa	Teplota	Frekvence nebo doba zatěžování
Dvoubodový ohyb	komolý vetknutý klín	15 °C	10 Hz
Dvoubodový ohyb	tvar trámečku	15 °C	10 Hz
Tříbodový ohyb	tvar trámečku	15 °C	10 Hz
Čtyřbodový ohyb	tvar trámečku	20 °C	8 Hz
Dynamická zkouška příčným tahem	válcové zkušební těleso	20 °C	124 μ s
Zkouška jednoosým tahem a tlakem	válcové zkušební těleso	15 °C	10 Hz
Statická zkouška v prostém tahu	válcové zkušební těleso nebo tvar trámečku	15 °C	0,02 s

4.3 Únava

Pro zkoušení **vlastností únavy** se ze zásady používají stejné zkušební pomůcky jako při zkoušce tuhosti. Možnosti zkoušky byly podle předpokladu „jedna vlastnost asfaltové směsi – jedna zkušební metoda“ značně omezeny.

Zbývají pouze:

- dvoubodová ohybová zkouška;
- čtyřbodová ohybová zkouška.

Tyto zkušební metody jsou popsány v EN 12697-24 [7]. Proč jsou dvě tak rozdílné zkušební metody stále ještě používány, lze zdůvodnit pouze schopností prosazování rozdílných národních zájmů. Korelace mezi oběma zkouškami jistě neexistuje, neboť zkušební těleso i zkušební podmínky jsou příliš rozdílné. V Německu neexistují zkušenosti se žádnou z těchto dvou zkoušek.

Ve **dvoubodové ohybové zkoušce** se zkušební tělesa tvaru komolého vetknutého klínu svoji základnou nalepí ke kovové podkladní desce a na užší horní část je přilepena příchytka (kovový profil). Tato příchytka umožňuje vyvození průhybu hydraulicky nebo pomocí pístnice, takže může dojít k provedení řízeného pokusu (obrázek 5). Experimentálně je průběh zkoušky poněkud nezvyklý, neboť v předběžných zkouškách musí být sinusová amplituda posunu a tedy deformace ϵ boční plochy tak dlouho měněna, dokud nebude nalezena nějaká deformace závislá na veličině zatížení, při které je počáteční komplexní modul tuhosti redukován na polovinu aplikací 10^6 zatěžovacích cyklů.

Zkušební těleso:

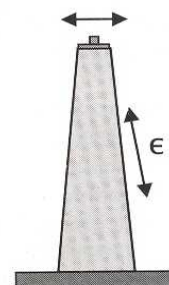
- komolý vetknutý klín
- jádrový vývrt nebo laboratorně zhutněná deska z asfaltové směsi

Provedení zkoušky:

- definuje se zatěžovací amplituda
- frekvence: 25 Hz nebo 30 Hz
- řízení dráhy
- zkušební teplota: T = 10 °C nebo 5 °C

Vyhodnocení pro specifikace:

- deformace ϵ po 10^6 zatěžovacích cyklech



Obrázek 5 – Dvoubodová ohybová zkouška podle EN 12697-24 jako přímá zkouška pro posouzení únavových vlastností

Ve **čtyřbodové ohybové zkoušce** je geometrie zkoušky zcela jiná. Zkoušeny jsou zkušební tělesa tvaru trámečku a také hranoly z asfaltové směsi, které jsou v závislosti na velikosti maximálního zrna kameniva různě velké. Hranoly se vodorovně uloží a ve dvou bodech se v příslušném zkušebním zařízení aplikuje dynamické střídavé zatížení (obrázek 6). Poté následuje podle zadání harmonické ohýbání při teplotě T = 30 ° a frekvenci 30 Hz. Jako kritérium únavy platí i zde přetvoření, které pro

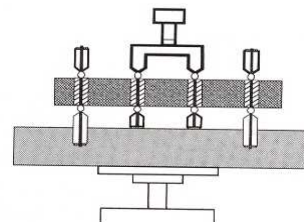
zvolené zkušební podmínky při 10^6 zatěžovacích cyklech vede ke snížení počáteční tuhosti na polovinu.

Zkušební těleso:

- minimálně 18 zkušebních těles ve tvaru trámečku
- jádrový vývrt nebo laboratorně zhutněná deska z asfaltové směsi

Provedení zkoušky:

- definuje se zatěžovací amplituda
- definuje se frekvence
- řízení dráhy nebo řízení síly
- zkušební teplota: $T = 30\text{ °C}$



Vyhodnocení pro specifikace:

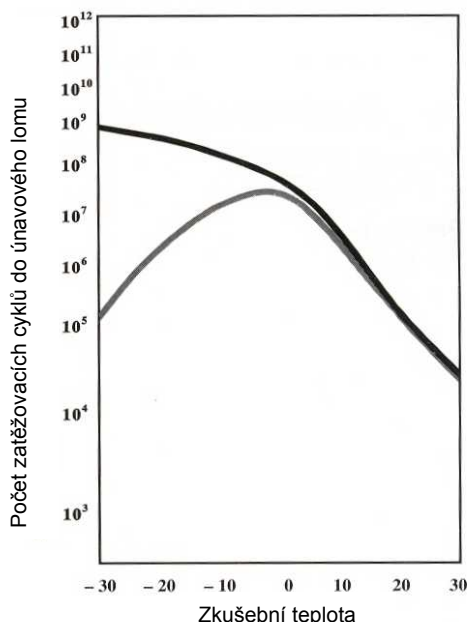
- deformace ε po 10^6 zatěžovacích cyklech

Obrázek 6 – Čtyřbodová ohybová zkouška podle EN 12697-24 jako přímá zkouška pro posouzení únavových vlastností

Tato zkouška není pro posuzování únavových vlastností uspokojivá. Zkoušky jsou na jedné straně všechny (s počtem zkušebních těles přes 18 podle stupně teploty) velmi nákladné (náročné), na druhé straně nejsou zkušební podmínky přesně definovány, takže celkem vzato, vše směřuje k jedné zkoušce, dokud pokles únavy nezapadne do určitého rastru. Rozhodující nedostatek této evropské zkoušky na únavu je ale v tom, že během zkoušky – vzdálené od praxe – není aplikováno minimální napětí. Následuje krátké objasnění problému:

Vrstvy vozovky z asfaltových směsí podléhají při různých teplotách různě velkému základnímu napětí vyplývajícímu z poklesu zatížení teplotou. Toto základní napětí je při nízkých teplotách podstatně vyšší než při teplotách vysokých. Tato napětí se nazývají tepelně indukovaná nebo také kryogenní napětí [8].

Pokud není toto kryogenní napětí při zkouškách únavy zohledněno a je aplikováno výhradně napětí z dopravního zatížení – tedy mechanogenní napětí – jsou asfaltové směsi při nízkých teplotách zkoušeny příliš mírně a dochází k výsledkům (obrázek 7, horní křivka), které jsou nacházeny v evropské, ale i německé literatuře: že totiž asfaltová směs při vyšších teplotách v hodnotě $T = +20\text{ °C}$ je značně citlivější na únavu než při nižších teplotách v hodnotě -10 °C .



Legenda

horní křivka
dolní křivka

zohlednění pouze mechanogenního napětí
zohlednění mechanogenního i kryogenního napětí

Obrázek 7 – Vliv kryogenního napětí a teploty na pokles únavy

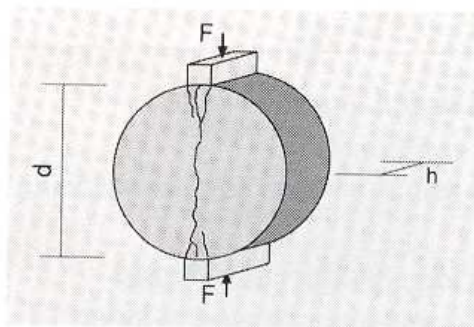
Teprve při dodatečné aplikaci kryogenního napětí jako nedostatečného zatížení k mechanogennímu napětí (obrázek 7, spodní křivka), jsou vlastnosti únavy přijatelně posouzeny. Pak lze také vysledovat, že asfaltové směsi jsou při nízkých teplotách zpravidla citlivější na únavu než při vysokých teplotách. Z obrázku 10 je ale také zřetelné, že je téměř velmi nedbalé, chtít správně posuzovat vlastnosti únavy jen při jedné jediné teplotě. Protože se křivky únavy mohou v síti souřadnic specificky pro asfaltové směsi posunout, může se stát, že při stanovené zkušební teplotě není splněno kritické maximum, nýbrž se při stejné číselné hodnotě pro kritérium únavy u stejné asfaltové směsi vyskytne pokles únavy vlevo, u jiné asfaltové směsi ale vpravo od maxima. Proto se snahy německých výzkumných pracovišť zaměřují na zkoušky únavy pomocí zkoušky míjivým tahovým napětím nebo alternativně pomocí dynamické zkoušky příčného tahu při různých teplotních stupních až do oblastí minusových teplot. U **dynamické zkoušky příčného tahu** se válcová zkušební tělesa – vyvrtaná z jádrových vývrtů nebo z laboratorně zhuštěných desek z asfaltových směsí na povrchu sinusově dynamicky zatěžují. Předtím se aplikuje minimální napětí, které je napodobeno kryogennímu napětí asfaltové směsi při sledované teplotě. Maximální zatížení se optimalizuje podle způsobu zkoušky (obrázek 8). Výsledkem je křivka únavy, ze které lze získat dva materiálně specifické regresní parametry. Pro tuto zkoušku existuje již návrh pracovního návodu, postavený na EN 12697-24. [9]

Zkušební těleso:

- válcové
- jádrový vývrt nebo laboratorně zhuštěná deska z asfaltové směsi
- zkušební těleso připravené gyrátorem

Provedení zkoušky:

- sinusově
 - doba zatěžování 0,1 s
 - doba prodlevy 0,4 s
 - frekvence 2 Hz
- maximální zatížení: optimalizováno pro zkoušku
- minimální zatížení: empiricky odvozeno z kryogenního napětí
- zkušební teplota: $T = 0\text{ °C}, -5\text{ °C}, -15\text{ °C}$



Vyhodnocení:

- grafické znázornění křivky (mocninová funkce)
- výpočet parametru regrese

Obrázek 8 – Dynamická zkouška příčného tahu podle ALP A-StB (Návrh 2004) k posouzení odolnosti proti únavě

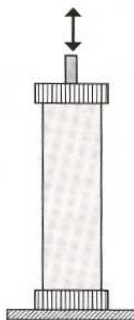
Ve zkoušce **míjivým tahovým napětím** jsou zkušební tělesa ve tvaru trámečku vystavena čelní plochou střídavému zatěžování, přičemž aplikované minimální zatížení přesně odpovídá kryogennímu napětí – stanoveného podle zkoušky ochlazováním. Stanovené napětí (kryogenní) podmíněné dopravním zatížením nebo také mechanogenní napětí se vypočítá v závislosti na konvenčních charakteristických parametrech technologií asfaltových směsí a teploty pomocí programu BISAR (**Bitumen Structure Analysis in Roads – Analýza struktury asfaltu ve vozovce**). V nejjednodušším případě může být toto mechanogenní napětí odhadnuto na základě hodnot podle zkušeností (obrázek 9).

Zkušební těleso:

- ve tvaru trámečku
- jádrový vývrt nebo laboratorně zhuštěná deska z asfaltové směsi

Provedení zkoušky:

- sinusově
 - doba prodlevy 0,4 s
 - frekvence 10 Hz
- řízení zatěžování
- zkušební teplota: $T = +10\text{ °C}, 0\text{ °C}, -10\text{ °C}, -20\text{ °C}$



Vstupní veličiny:

- minimální zatížení: kryogenní tahové zatížení podle zkoušky ochlazováním
- maximální zatížení: mechanogenní napětí (předepsaná hodnota; 1,6 MPa)

Vyhodnocení:

- počet cyklů zatížení N až do lomu
- dynamický modul E

Obrázek 9 – Zkouška míjivým tahovým napětím podle TP A-StB (Návrh 2004) k posouzení odolnosti proti únavě

Výsledkem únavové zkoušky je počet cyklů zatížení až po zlomení zkušební tělesa a dynamický komplexní modul E krátce před lomem. Pro tuto zkoušku existuje návrh technického zkušební předpisu [10]. Z hlediska Evropy nebylo dosud možné tuto zkoušku prosadit s odůvodněním: „Byla by příliš nákladná.“ Ale opak je pravdou: Oproti jiným představeným zkušební metodám se tato metoda vyznačuje nejnižšími zkušebními výdaji.

Pomocí jedné z těchto dvou zkoušek se lépe daří posoudit vlastnosti únavy, je však nutné získat a ověřit potřebné jmenovité hodnoty. Jako důkaz shody této zkušební metody s v praxi relevantním posouzením vlastností únavy asfaltové směsi byl pracovním výborem 7.3 společnosti FGSV (**F**orschungsgesellschaft für **S**traßen- und **V**erkehrswesen – Výzkumné společnosti pro silniční stavitelství a dopravu) koncipován výzkumný projekt v naději, že se aktuálně uvolní k přepracování. Je ještě brzy doufat, že alespoň jedna z těchto zkušebních metod bude zahrnuta do druhé generace evropských norem. Na tuto eventualitu musí být němečtí zástupci velmi dobře připraveni a musí zajistit spolehlivé výsledky výzkumu.

Je zřejmé, že budou dobře vypovídající únavové zkoušky potřebné, aby při použití asfaltových směsí pro projekty B.O.T.¹⁾ bylo možné poskytnout požadované hodnoty nejistoty měření a výpočtů na 30 let.

5. Závěr

Na první pohled se pro německé asfaltové zkušebnictví nic příliš nemění, neboť Německo stále používá empirický způsob specifikací:

- Se **zkouškou pojiždění kolem** na laboratorně zhutněných deskových zkušebních tělesech z asfaltové směsi jsou k dispozici v zásadě rozsáhlé zkušenosti: nahrazeno je ovšem ocelové kolo kolem opatřeným huštěnou pneumatikou, zkouška není prováděna ve vodě, ale na vzduchu a zkušební teplota je pozměněna.
- Také **dynamická zkouška čísla tvrdosti** pro zkoušení litého asfaltu je z principu známá. Samozřejmě jiné zkušební podmínky, tedy blokový impuls, jiné veličiny zatěžování, snížená zkušební teplota a jiná vyhodnocení vedou ke zcela jiným výsledkům zkoušek.

Pro obě zkušební metody chybí dostačující pozadí pro hodnocení, neboť vešly v platnost velmi rychle. S dynamickými zkušebními metodami požadovanými pro základní specifikace dosud neexistuje žádný přímý tlak diskuse. Neboť Evropa bude také z pohledu zkušebně technického stále více srůstat, a Německo se musí otevřít novým technologiím a systému optimalizace asfaltových směsí, budou používány v budoucnosti posílené přímé zkušební metody pro základní specifikace, s nimiž mohou být posuzovány podstatné vlastnosti asfaltových směsí. K tomu jsou třeba spolehlivé zkušební metody pro prognostiku:

- odolnost proti deformaci pomocí zkoušky v triaxiálním přístroji (alternativně dynamická zkouška čísla tvrdosti);
- tuhost;
- odolnost proti únavě a
- mrazuvzdornost.

Čím dříve se bude Německo intenzivně zabývat těmito zkušebními metodami, tím lépe. Neboť provádění projektů B.O.T.¹⁾ v silničním stavitelství již bylo zahájeno. Z tohoto pohledu budou velmi rychle nutné spolehlivé prognostické modely, obzvláště týkající se únavy.

¹⁾ B.O.T. (**B**uild - **O**perate - **T**ransfer – vybuduj - provozuj - převed) je základní koncesní způsob jak financovat rozvojové projekty u momentálně nesolventních investorů, zejména v případě veřejných investic infrastruktury. Soukromí sponzoři a věřitelé financují pořízení investice (mají proto rozhodující vliv na výstavbu), provozují ji (koncese) dočasně a po získání dostatečného kapitálu ji převedou na předem dohodnutého vlastníka (nesolventního investora).

Literatura

- [1] DIN EN 12697-22: Asphalt – Prüfverfahren für Heißasphalt – Teil 22: Spurbildungstest (Deutsche Fassung 2004)
(Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 22: Zkouška pojíždění kolem)
- [2] FGSV: Technische Prüfvorschriften für Asphalt im Straßenbau (TP A-StB), Teil: Spurbildungsversuch – Bestimmung der Spurrinnentiefe im Wasserbad, Köln 1997
(Výzkumná společnost pro silniční stavitelství a dopravu (FGSV): Technické zkušební předpisy, Část: Zkouška pojíždění kolem – Stanovení hloubky vyjeté koleje ve vodě, Kolín, 1997)
- [3] DIN EN 12697-25: Asphalt – Prüfverfahren für Heißasphalt – Teil 25: Druckschwellversuch (Deutsche Fassung Entwurf 2002)
(Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 25: Cyklická zkouška v tlaku (německé vydání návrh 2002))
- [4] FGSV: Technische Prüfvorschriften für Asphalt im Straßenbau (TP A-StB), Teil: Dynamischer Eindringversuch mit ebenem Stempel an Gussasphalt, Köln 2003
(Výzkumná společnost pro silniční stavitelství a dopravu (FGSV): Technické zkušební předpisy, Část: Dynamická zkouška čísla tvrdosti se širokým trnem na litém asfaltu, Kolín, 2003)
- [5] FGSV: Technische Prüfvorschriften für Asphalt im Straßenbau (TP A-StB), Teil: Einaxialer Druckschwellversuch – Bestimmung des Verformungsverhaltens von Asphalten bei Wärme, Köln 1999
(Výzkumná společnost pro silniční stavitelství a dopravu (FGSV): Technické zkušební předpisy, Část: Zkouška v tlaku v jednoosém přístroji – Stanovení vlastností deformace asfaltových směsí za tepla, Kolín, 1999)
- [6] DIN EN 12697-26: Asphalt – Prüfverfahren für Heißasphalt – Teil 26: Steifigkeit (Deutsche Fassung 2004)
(Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 26: Tuhost (německé vydání 2004))
- [7] DIN EN 12697-24: Asphalt – Prüfverfahren für Heißasphalt – Teil 24: Beständigkeit gegen Ermüdung (Deutsche Fassung 2004)
(Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 24: Odolnost proti únavě (německé vydání 2004))
- [8] FGSV: Technische Prüfvorschrift – Verhalten von Asphalten bei tiefen Temperaturen, Köln 1994
(Výzkumná společnost pro silniční stavitelství a dopravu (FGSV): Technický zkušební předpis – Chování asfaltových směsí za nízkých teplot, Kolín, 1994)
- [9] FGSV: Arbeitsanleitungen zur Prüfung von Asphalt (ALP A-StB), Teil: Beurteilung des Ermüdungsverhaltens von Asphalt mit dem dynamischen Spaltzugversuch (Entwurf 2004)
(Výzkumná společnost pro silniční stavitelství a dopravu (FGSV): Pracovní návod na zkoušení asfaltových směsí, Část: Posouzení vlastností únavy asfaltových směsí dynamickou zkouškou příčným tahem (návrh 2004))
- [10] FGSV: Technische Prüfvorschriften für Asphalt im Straßenbau (TP A-StB), Teil: Beständigkeit von Asphalt gegen Ermüdung bei mittleren und tiefen Temperaturen mittels Zugschwellversuch (Entwurf 2003)
(Výzkumná společnost pro silniční stavitelství a dopravu (FGSV): Technické zkušební předpisy, Část: Odolnost asfaltových směsí proti únavě za středních a nízkých teplot pomocí zkoušky míjivým tahovým napětím (návrh 2003))