



VYUŽITÍ ZKOUŠKY ODOLNOSTI ASFALTOVÉ SM SI PROTI VZNIKU A ŠÍ ENÍ MRAZOVÉ A ÚNAVOVÉ TRHLINY

Zpracovali: Ing. Jan Valentin, Ph.D., Ing. Adriana Kotoušová, Ing. Pavla Vacková (Fakulta stavební VUT v Praze)

Souhrn

Pro chování asfaltových sm sí v oboru nízkých teplot nebo naopak pro rychlou indikaci únavového chování existuje jen velmi omezený rozsah zkoušek nebo dosud nejsou zavedeny zkušební postupy žádné. V rámci ešené aktivity roku 2017 byla pozornost ve zvýšené mí e v nována problematice využití destruktivní zkoušky odolnosti asfaltové sm si proti ší ení trhliny. P i této zkoušce je zkušební t les o v nelineární viskoelastické oblasti zat žováno konstantní rychlostí zat ížení a to bu do stavu iniciace trhliny, nebo do úplného kolapsu zkušebního t lesa. Postup takové zkoušky lze využít jak v oboru nízkých teplot, tak i v oblasti st edních teplot pro rychlé posouzení únavového chování. V obou p ípadech sehrává d ležitou roli i vlastní rychlost zat ížení. Vedle kritické hodnoty lomové houževnatosti lze stanovit též lomovou energii, a to jak pro stav iniciace trhliny, tak i pro celkový kolaps zkušebního t lesa. Z uvedených t í charakteristik lze následn velmi dob e provád t porovnání kvality r zných variant asfaltových sm sí a usuzovat na míru jejich odolnosti proti ší ení té které trhliny.

Varianta zkoušky ší ení trhliny byla v roce 2017 provád na na více než 30 r zných typech asfaltových sm sí s r znými asfaltovými pojivy, jakož i r znými arami zrnitosti. Cílem bylo identifikovat potenciál obou variant zkoušky, a to v etn posouzení vlivu teploty nebo vlivu simulovaného stárnutí zkušebního t les. Technický list dále ve výsledcích prezentuje jen jeden z ucelených soubor posuzovaných sm sí.

Oblast použití

V oblasti mírného klimatického pásu je pro vozovky pozemních komunikací vedle odolnosti proti trvalým deformacím (tzv. vyjetým kolejm) d ležitým hlediskem též chování asfaltové vrstvy v oboru nízkých teplot s identifikací náchylnosti ke vzniku mrazových trhlin. Obdobn je s ohledem ke st ídání teplot a opakujícímu se ú ink u dopravy u vikoelastických materiál d ležitě též hledisko únavy. Bohužel v eské republice dlouhodob je

z hlediska požadavk na asfaltové sm si uplat ován pouze technický limit pro odolnost proti trvalým deformacím, která se uplatní u vysokých letních teplot, nem že však nikterak podchytit chování vozovky z hlediska náchylnosti ke vzniku r zných typ trhlin. D sledkem toho je pak stav, kdy se vyskytuje celá ada vozovek, kde problém trvalých deformací skute n vymizí, nicmén za ne se daleko p ed koncem životnosti konstruk ní vrstvy objevovat problematika mrazových i únavových trhlin. Ov ení tohoto typu chování lze provád t náro nými zkušebními postupy, které mohou zvládat pouze omezená odborná pracovišt , nebo se p istoupí k použití rychlých kvalitativních metod, které umí ur it náchylnost, nikoli p esné hodnoty únavového i mrazového chování. Tuto oblast práv eší zkouška odolnosti asfaltové sm si proti ší ení trhliny s využitím relativn jednoduché metody na p lválcových zkušebních t lesech.

Metodika a postup ešení

Jednou z nových metod, které byly v posledních letech zahrnuty do evropských harmonizovaných zkušebních norem je stanovení odolnosti asfaltové sm si proti ší ení trhliny na p lválcových zkušebních t lesech s uplatn ním t íbodového ohybu. Tato zkouška se provádí podle SN EN 12697-44. Principem zkoušky je rovnom rné zat žování zkušebního t lesa stálou rychlostí (5 mm/min) a to až do okamžiku, kdy se ve zkušebním t lese v míst zeslabení za ne tvo it trhlinka. Využívá se p itom poznatk a teorie lomové mechaniky. Aby se ur ilo zeslabené místo, je uprost ed spodní podstavy zkušebního t lesa (v jeho ose) vytvo ena tenká drážka o hloubce 10 mm. Proti této drážce p sobí zat ížení, a to až do úplné destrukce zkušebního t lesa, resp. dle p edpoklad evropské normy se sleduje jen okamžik dosažení maximální síly, kdy se v t lese vytvo í trhlinka. Na základ zaznamenání maximální síly a p etvo ení do porušení zkušebního t lesa se vypo ítá maximální nap tí a lomová houževnatost (kritická hodnota vzniku trhliny).

Zkouška byla prováděna na minimálním počtu 6 p lvalcových zkušebních těles, u kterých byl nejprve stanoven vždy modul tuhosti. Oproti evropské normě se použila zkušební tělesa s průměrem 100 mm, nikoli s průměrem 150 mm. Zkušební tělesa se rozřízla na dvě p lvalcová zkušební tělesa a upravila tak, aby jejich tloušťka byla 50 mm. Následně se do zkušebního tělesa vyřízla drážka hloubky 10 mm a šířky 0,9 mm (rozdíl oproti běžně zavedené praxi především v USA, a to z důvodu problematické dostupnosti velmi tenkých rezných kotoučů tloušťky <0,4 mm v ČR). Připravená zkušební tělesa byla vždy nejméně po dobu 8 hodin temperována na zkušební teplotu 0 °C (nebo -10 °C) v případě mrazové trhliny a 15 °C v případě únavové trhliny. Vlastní zkouška mrazové trhliny se v každém případě zejména v první fázi testování prováděla zatříváním rychlostí 5 mm/min. Ta byla později snížena na rychlost 2,5 mm/min. U zkoušky odolnosti proti šíření mrazové trhliny byla nejprve zvolena rychlost 1 mm/min, jak vyplývá z některých studií zpracovaných v USA. Později se provedla porovnávací měření při rychlosti 5 mm/min, která se potvrdila jako příliš vysoká rychlost. Nakonec došlo ke volbě rychlosti 2,5 mm/min.



Obr. 1 Zkouška šíření trhliny tělesem ohybem

Důvodem pro volbu teploty zkoušky u únavové trhliny je přiblížení zkušebních podmínek vstupním parametrem, které se nejčastěji uvažují pro stanovení tuhosti a pro stanovení únavových charakteristik (interval teplot 10-20 °C). V případě nižší zatřívací rychlosti lze vysvětlení hledat v potěbě, alespoň nepatrně se přiblížit podmínkám, kdy opakovaným zatříváním tělesa vždy má časový interval pro relaxaci. Jelikož tato zkouška neprobíhá v cyklickém režimu a měření nejsou v lineární viskoelastické oblasti, je snahou se těmito podmínkám alespoň částečně přiblížit a zkušebnímu tělesu umožnit postupně kumulovat vnesené napětí a odolávat konečnému nevratnému porušení (vzniku

trhliny). Zkouška je v tomto směru z hlediska skutečných příčin vzniku únavových trhlin nedokonalá, je však rychlá a jako základní indikace a kvalitativní porovnání různých variant může posloužit svému účelu. Podstatné navíc je, že zkouška by se měla provádět na zkušebních tělesech, která jsou vystavena simulovanému laboratornímu stárnutí, jelikož únava není fenoménem erstvě nezestárnuté asfaltové vozovky, ale vozovky, která byla vystavena klimatickým podmínkám a opakujícímu se zatřívání, která vede k postupné degradaci materiálu.

Zkouška se v případě mrazové trhliny prováděla jak na nezestárnutých zkušebních tělesech, tak i na zkušebních tělesech podrobených simulovanému laboratornímu stárnutí pro dobu 5 a 10 dní s teplotou temperování v sušárně s nucenou cirkulací vzduchu 85 °C. V případě únavové trhliny se zkouška vždy prováděla po simulovaném laboratorním stárnutí po dobu 5 dní při teplotě 85 °C.

Výsledky

Vybraný soubor posuzovaných variant asfaltové směsi se lišil v množství přidávaného R-materiálu frakce 0/11 (0 %, 30 % a 50 %), v gradaci použitého asfaltového pojiva (50/70, 70/100) a v aplikaci různých přidávaných nízkoteplotních přísad. Obecně se jednalo o směs ACO 11+ dle SN EN 13108-1. Do jednotlivých asfaltových směsí se uplatnila asfaltová pojiva se zvolenými nízkoteplotními přísadami, které mají primární funkci snižování výrobní teploty, případně přínos z hlediska zlepšení funkčních vlastností vyrobené asfaltové směsi, a vylepšení přilnavosti (v některých případech). Aplikovány byly přísady na bázi silanů a různé typy syntetických vosků (Sasobit REDUX, Deurex E11B, Inodur, Zycotherm, PrePhalt SK).

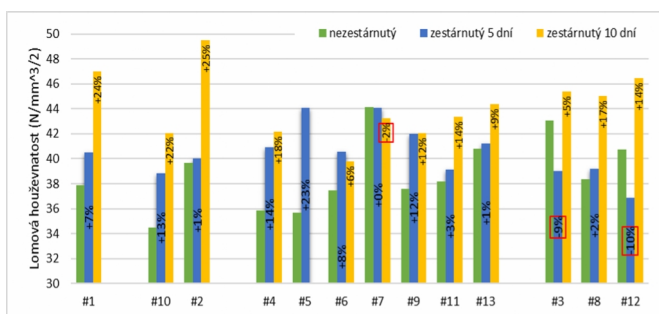
Tab. 2 Vlastnosti asfaltových směsí podle podobnosti použitého pojiva a technologie

Asfaltová směs	Asfaltové pojivo	Množství RA	Přísada
#1	70/100	0%	Způsobilý asfalt
#10	50/70	30%	Způsobilý asfalt
#2	70/100	30%	Způsobilý asfalt
#4	50/70	50%	Sasobit Redux
#5	50/70	50%	Sasobit (v pojivu)
#6	50/70	50%	Storbit
#7	50/70	50%	Storelastic
#9	50/70	50%	Prephalt SK
#11	50/70	50%	Způsobilý asfalt
#13	50/70	50%	Zycotherm
#3	70/100	50%	Způsobilý asfalt
#8	70/100	50%	Inodur - CIUR
#12	70/100	50%	Deurex E11B

U vybraných variant asfaltové směsi byla místo běžného silničního pojiva a některé z uvedených přísad využita technologie způsobilého asfaltu, která představuje další alternativu výroby nízkoteplotní

asfaltové směsi a umožní snižovat pracovní teploty v důsledku vytvoření pny, která má mnohem větší volný povrch a díky svému charakteru i nižší viskozitu při zvolené teplotě výroby i zpracování asfaltové směsi.

Z dále uvedeného obrázku 2 je patrné rozdílné chování mezi posuzovanými asfaltovými směsmi z hlediska odolnosti proti šíření mrazové trhliny. S výjimkou variant #3 a #12 všechna zkušební tělesa v důsledku simulovaného stárnutí po dobu 5 dní vykazují zvýšení lomové houževnatosti. Směsi se v tomto ohledu jeví, že stárnutím vykazují zlepšení, což je do jisté míry zdánlivé zlepšení způsobené mírným zvýšením maximální síly při vzniku trhliny. Ukazuje to také úskalí charakteristiky lomové houževnatosti a mnohem vhodnější zaměření se na charakteristiku lomové energie jako plochy pod pracovním diagramem závislosti síly a prodloužení.



Obr. 2 Odolnost variant asfaltové směsi ACO 11+ proti šíření trhliny při $T = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$

Pečlivěji je v porovnání s výsledky pevnosti v tahu za ohybu výsledek získaný pro některé varianty FT vosk (varianta #4 a #5). Nejnižší lomovou houževnatost přitom vykazovala varianta se zprůměrovaným asfaltem 50/70 a s 30 % R-materiálu, která vykazovala slabší výsledky i u dalších zkoušek. Naopak s odstupem nejlepšího výsledku dosahuje z hlediska lomové houževnatosti varianta #7 obsahující drcenou pryž. Tento výsledek bylo možné do jisté míry očekávat.

Vliv stárnutí je do jisté míry rozkolísaný a pouze u variant #3 a #12, kdy došlo k poklesu lomové houževnatosti, což by byl do jisté míry obecně očekávaný trend. Vyšší dopad stárnutí byl přitom pozorován u obou variant se Sasobit REDUX (výrazně vyšší hodnota lomové houževnatosti). Zaměřme-li se na výsledky lomové houževnatosti po 10 dnech laboratorního stárnutí, jsou dosažené rozdíly mezi nezestárnutými a zestárnutými zkušebními směsmi ještě výraznější. Navíc zde s výjimkou dvou variant dochází k velkým nárůstům hodnot lomové houževnatosti, což je vyjádřeno dále i hodnotami indexu stárnutí. Zajímavý zůstává vývoj u varianty #7, která pro všechny tři sledované úrovně zaznamenala minimální změnu a pro variantu #9, kde další prodloužení doby stárnutí

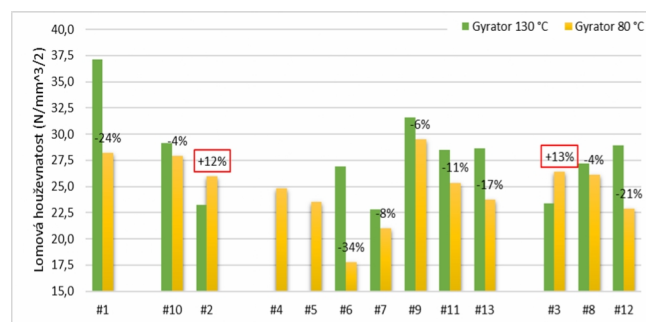
nevedlo ke změně hodnoty lomové houževnatosti. Uvedeným hodnotám celkem logicky odpovídají i dosažené hodnoty maximálního napětí, nebo ob tyto charakteristiky jsou odvozené od maximální síly při vzniku trhliny.

Pokud bychom použili poměrový ukazatel indexu stárnutí a to jak pro úroveň stárnutí 5 dní @ $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ (AI1), tak i pro úroveň stárnutí 10 dní @ $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ (AI2), potom se v prvním případě pohybují dosažené hodnoty v intervalu 0,90 až 1,24 a v druhém případě v intervalu 0,98 až 1,25. Směs má tím menší sklon ke stárnutí čím více se blíží hodnotě 1,0.

Pro účel provedení zkoušky stanovení odolnosti proti únavové trhlince byla využita zkušební tělesa hutněná gyrátorem (pro dvě úrovně teploty hutnění) a to ze stejného souboru asfaltových směsí. Opět byl nejprve stanoven modul tuhosti při $15\text{ }^{\circ}\text{C}$, a následně bylo provedeno laboratorní stárnutí. Poté byla tělesa připravena pro zkoušku odolnosti proti šíření únavové trhliny. U zkoušky byla vedle lomové houževnatosti stanovena též hodnota lomové energie odpovídající okamžiku dosažení maximální síly (dosažení kritické hodnoty lomové houževnatosti). Výsledky shrnuje tabulka 2 a pro hodnoty lomové houževnatosti obrázek 3. Dále je jako příklad uveden i obrázek 4, který znázorňuje pracovní diagramy pro vlastní zkoušky (postupného zatížení zkušebního tělesa do vzniku trhliny). U variant #4 a #5 nebylo možné provést měření únavové trhliny pro tělesa GYR-130 $^{\circ}\text{C}$ s ohledem na nedostatek získané asfaltové směsi.

Tab. 2 Odolnost proti šíření únavové trhliny variant směsi ACO 11+, $T = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$

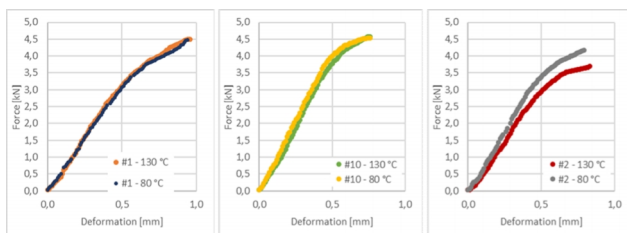
	GYR - 130 $^{\circ}\text{C}$			GYR - 80 $^{\circ}\text{C}$		
	Lomová energie (J)	Max. napětí (MPa)	Lomová houževnatost (N/mm $^{3/2}$)	Lomová energie (J)	Max. napětí (MPa)	Lomová houževnatost (N/mm $^{3/2}$)
#1	2961	8,24	37,1	2355	3,76	28,2
#10	1927	3,88	29,2	1772	3,72	27,9
#2	1811	3,09	23,2	1984	3,46	26,0
#4	-	-	-	1637	3,32	24,8
#5	-	-	-	1675	3,14	23,5
#6	1996	5,99	26,9	1539	2,37	17,8
#7	1324	3,04	22,8	1339	2,68	21,0
#9	1908	4,21	31,5	2033	3,94	29,5
#11	2877	3,79	28,5	1944	3,38	25,4
#13	1846	3,81	28,6	1957	3,16	23,8
#3	1414	3,11	23,4	2239	3,53	26,4
#8	1375	3,62	27,2	1654	3,48	26,1
#12	2172	3,86	29,0	1783	3,05	22,9



Obr. 3 Odolnost proti šíření únavové trhliny variant směsi ACO 11+, $T = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$

Posoudíme-li nejprve hodnoty lomové houževnatosti, lze konstatovat, že z pohledu této charakteristiky pro základní teplotu hutnění (130 °C) nejvyšší hodnoty a tedy nejlepší odolnosti proti vzniku a šíření trhliny vykazuje varianta #1 (zprávně asphalt 70/100 bez R-materiálu). Tato skutečnost již neplatí zcela pro druhou teplotu hutnění, kde nepatrně lepší hodnotu zaznamenala varianta #9 (PrePhalt SK). Naopak nejnižší odolnost vyjádřenou kritickou hodnotou lomové houževnatosti má v případě první teploty varianta #7 (Storelastic), což je paradoxní, porovnáme-li tento výsledek s odolností proti šíření mrazové trhliny. Horší výsledek má i varianta #3, kde se uplatnil zprávně asphalt 70/100 s 50 % R-materiálu, což v porovnání k variantě #11 není vysvětlitelné. V případě hutnění teploty 80 °C potom nejhorší dopadla varianta #6 (Storbit). V obou případech je otázkou. Jakou roli mohou hrát kombinace s použitým rejuvenátorem, by na jeho příčný vliv nelze z výsledků zcela usuzovat.

Dále je třeba si všimnout, že vyjma variant #2 a #3 ve všech zbývajících případech je hodnota lomové houževnatosti pro nižší teplotu hutnění nižší, a to navzdory skutečnosti, že mezerovitosti obou sad zkušebních těles byly pro danou variantu vždy podobné (tedy podobný jev jako v případě modul tuhosti).



Obr. 4 Pracovní diagram závislosti síly na přetvoření pro varianty ACO 11+ #1, #10 a #2

Závěr

Zkouška odolnosti proti šíření trhliny prováděná metodou tříbodového ohybu na p lvalcových zkušebních tělesech se jeví jako slibná alternativa pro rychlé posouzení kvality asfaltové směsi v oboru nízkých teplot nebo při snaze posoudit náchylnost k vzniku únavové trhliny. Jako důležitý aspekt se bezesporu jeví především provádění laboratorního simulování stárnutí asfaltové směsi, kterým se lépe přiblíží stav zkoušeného zkušebního tělesa stavu ve vozovce. Druhou skutečností je vhodnost upřednostnění charakteristik lomové energie namísto charakteristiky lomové houževnatosti, jak je dosud preferováno v evropské zkušební normě SN EN 12697-44. Pro předepsání co nejnižších hodnot pro jednotlivé typy asfaltových směsí je nezbytné i v dalším období provádět dostatečný rozsah měření a směru naměřených hodnot pro široké spektrum standardně používaných asfaltových směsí.

Literatura

- [1] SN EN 12697-44: Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – část 44: Šíření trhliny zkouškou ohybem na p lvalcovém zkušebním tělese.