



PARAMETRY OVLIV UJÍCÍ FUNK NÍ ZKOUŠKU OPAKOVANÉHO ZATÍŽENÍ A ODLEH ENÍ U ASFALTOVÝCH POJJIV

Zpracovali: Ing. Lucie Benešová, Ing. Jan Valentin, Ph.D. (Fakulta stavební VUT v Praze)

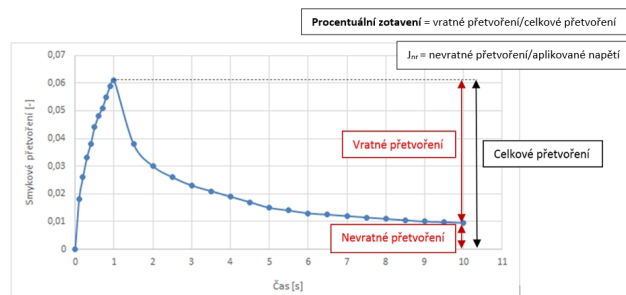
Souhrn

Jak již vyplynulo z d íve ešených a prezentovaných poznatk v rámci aktivity zam ené na nové funk ní zkoušky asfaltových pojjiv a sm sí, jednou v sou asnosti nejvíce rozvíjenou zkouškou u asfaltových pojjiv, která dokáže dob e charakterizovat deforma ní chování tohoto materiálu v oblasti vysokých teplot, je zkouška MSCR (zkouška opakovaného zat žování a odleh ování malého zkušebního vzorku asfaltového pojjiva p i teplotách nad 50 °C). Tato zkouška se provádí standardn na dynamickém smykovém reometru a vychází z amerických poznatk , které jsou v posledních 20 letech v oblasti charakterizace asfaltových pojjiv postupn rozvíjeny. Zkouška p edpokládá využití geometrie desti ka-desti ka s pr m rem 25 mm (tedy PP25). Zkoušku lze provád t na nezestárnutém i zestárnutém asfaltovém pojjivu s volbou r zných úrovní vneseného nap tí.

Uvedené okrajové podmínky pro provedení zkoušky, v etn po tu zat žovacích cykl a možného vlivu vyhodnocování bu všech cykl , nebo jen ur itého po tu p edstavují soubor zásadních vliv , jež mají dopad na opakovatelnost a v zásad vzájemnou porovnatelnost výsledk získaných zkouškou a už u jednoho konkrétního za ízení smykového reometru nebo jako sada m ení získaná od r zných laborato í. Z tohoto d vodu je velmi d ležitá v novat dané oblasti pozornost a prohloubit porozum ní vliv m, jež mohou jednotlivé podmínky i nastavené parametry na výsledky m ení mít. Znalost t chto skute ností je ostatn klí ová í z hlediska správného nastavení mezních požadavk pro ur ující charakteristiky MSCR testu, tedy nevratné smykové poddajnosti a elastické zotavení, v etn p ípadných rozdílových hodnot pro použité úrovn namáhání zkušebního vzorku. Vlastní aktivita se tak v novala vlivu zkušební teploty, použité zkušební geometrie na smykovém reometru, vlivu úrovn vneseného nap tí, jakož i vlivu simulovaného dlouhodobého nebo krátkodobého stárnutí asfaltového pojjiva.

Oblast použití

Zkouške MSCR se za íná v novat zna ná pozornost i v R. V pr b hu roku 2017 byly charakteristiky této zkoušky ukotveny mezi doporu ené sledované parametry výrobkové normy pro polymerem modifikovaná asfaltová pojjiva (PMB). Sou asn je obsažena mezi parametry národního sb ru dat pro PMB pojjiva, který od konce roku 2017 zajiš uje SD R. Stále ale existuje ada otev ených otázek p i jejím provád ní, vyhodnocování a interpretaci výsledk . N které z existujících obav souvisí s po tem cykl opakovaného zat žování, s hodnotou vneseného nap tí nebo s teplotou provád ní zkoušky. B žné nastavení zkoušky vychází z normy SN EN 16659 [1] a udává dv úrovn nap tí (0,1 kPa a 3,2 kPa), deset zat žovacích cykl p i každé úrovni nap tí a geometrii p ístroje PP25 s mezerou 1 mm. Teplota zkoušky však v norm není p edepsána a je do zna né míry odvislá od testovaného pojjiva.



Obr. 1 Typický jeden cyklus zat ížení a zotavení

Jedná se také v zásad o destruktivní zkoušku, která slouží též k ov ení použití polymer v asfaltovém pojjivu. Jedním z p edpoklad je, že nap tí 0,1 kPa se nachází v lineární visko-elastické oblasti a naopak nap tí 3,2 kPa je v nelineární oblasti. První dynamické smykové reometry p itom nebyly uzp sobeny pro aplikování vysokých nap tí, a proto byla jako nejvyšší možná hodnota nap tí zvolena úrove 3,2 kPa, a koli se dnes ov ují i úrovn další.

Jedná se o d ležitou funk ní zkoušku asfaltových pojjiv, která je v porovnání s tradi ní oscila ní zkouškou tzv. frequency sweep (FS) provád nou taktéž na dynamickém smykovém reometru výrazn rychlejší. Další výhodou MSCR testu oproti FS je

aplikování v tšho zatížení a deformace, které lépe vystihuje skute nou situaci ve vozovce.

Zp esn ní okrajových podmínek a lepší porozum ní vliv , které p i provád ní a vyhodnocování zkoušky je t eba brát v potaz proto má bezprost ední dopad na p ínos, který tato zkouška m že mít pro silní ní stavitelství z hlediska lepšího porozum ní deforma nímu chování asfaltových pojiv.

Metodika a postup ešení

Metoda MSCR zkoušky, která byla v USA p edstavena po roce 2000, se nadále v mnoha sm rech vyvíjí a up es uje se pro ní optimální konfigurace. Zkouška se provád í v nastavení pro m ení smykového dotvarování v oblasti pomalého toku (creep) p i vyšších provozních teplotách a je vhodná zejména pro modifikovaná asfaltová pojiva. Metoda je v sou asnosti popsána v norm SN EN 16659 [1], která je v eské republice platná od íjna 2016. Podstatou metody je vícenásobné zatížení a relaxace vzorku, na základ kterého se ur í procentuální hodnota elastického zotavení R a nevratná smyková poddajnost J_{nr} asfaltového pojiva.

Slouží pro m ení akumulovaného p etvo ení v asfaltovém pojivu v rámci p edepsané úrovn nap tí. Principem zkoušky je zatížení po dobu jedné sekundy p i konstantním nap tí a následné 9 sekundové odtížení (p i nulovém nap tí), tento postup se opakuje 10x pro každou úrove nap tí. Celkový as pot ebný k otestování dvoufázového dotvarovacího a zotavovacího testu je tedy 200 s. Na obrázku 12 je zobrazen typický jeden cyklus zatížení a zotavení.

Nevratná smyková poddajnost (J_{nr}) a procentuální elastické zotavení (R) jsou dva nejd ežit jší parametry asfaltového pojiva vypo ítané z nam eného p etvo ení p i jednotlivých úrovních nap tí. Charakteristika J_{nr} je mírou nevratného p etvo ení po n kolikanásobném zatížení a odtížení, vztažená k množství vneseného nap tí. Hodnota J_{nr} je v sou asné dob vnímána jako nejvhodn jší reologický parametr pro posouzení náchylnosti asfaltového pojiva odolávat trvalým deformacím v asfaltové sm sí. ím nížší je hodnota J_{nr} , tím v tší podíl nap tí je pojivo schopno absorbovat a je mén náchylné k plastické deformaci. V eské ani v evropské norm však nejsou stanoveny žádné limitní hodnoty. Krom výše zmín ných charakteristik lze vypo ítat parametry citlivosti R_{diff} a $J_{nr,diff}$. V práci [36] se uvádí, že stanovení úrovn nap tí zkoušky není jednoduché a nelze jednozna n stanovit jediné nejvhodn jší nap tí, kterému je pojivo vystaveno ve skute né sm sí. Z tohoto d vodu se jeví jako nejspolehliv jší použít parametr citlivosti $J_{nr,diff}$. Parametr $J_{nr,diff}$ je d ežitý hlavn v p ípad , kdy u

vozovek dochází k neo ekávanému dopravnímu zatížení nebo jsou vystaveny extrémn vysokým teplotám. V p ípad , že hodnota $J_{nr,diff}$ je vyšší než 75 %, asfaltové pojivo je klasifikováno jako velmi citlivý materiál na zm nu nap tí, který se nedoporu uje použít p i výstavb komunikací [37].

U všech vzork dosud posuzovaných asfaltových pojiv, kterých v uplynulých 2-3 letech bylo celkov analyzováno p es 150 nejprve z hlediska základních empirických zkoušek a následn í vybraných funk ních zkoušek. Tradi ní fyzikální vlastnosti asfaltových pojiv se získaly ze zkoušek bodu m knutí, penetrace, vratné duktility nebo skladovací stability u CRMB pojiv. Deforma ní chování se posuzovalo zde prezentovanou zkouškou, která se standardn provád í p i teplot 60 °C. Zvoleny byly i další teploty, pro posouzení vlivu tohoto parametru. Sou asn oproti normou požadovaným dv ma úrovním namáhání byla zvolena i úrove t etí (8 kPa). V neposlední ad se pozornost zam íla i na vliv zkušební geometrie, kdy vedle standardn používané geometrie PP25 byla n která m ení provedena variantn s geometrií PP8 (tedy pr m r destí ek a tedy i vzorku byl 8 mm).

Výsledky

Vliv zvolené teploty a úrovn nap tí

Nejprve byla pozornost v nována vlivu tí zvolených teplot pro provedení zkoušky a aplikaci tí úrovn nap tí. V norm SN EN 16659 není p esn ur ena teplota zkoušky. Norma udává, že by m la být zvolena vhodn v rozmezí 50-80 °C. V USA se zkouška provád í p i r zných teplotách, v závislosti na zat íd ní do výkonových PG tí d, zatímco v R se zkouška provád í nej ast ji p i teplot 60 °C. Pro porovnání byla zvolena r zná pojiva PMB, která se používají u vysoce zatížených vozovek a z tohoto d vodu u nich byla zkouška provedena i p i vyšší teplot (70 °C). Naopak u pojiva 50/70 se zvolila snížená teplota 50 °C.

Dalším parametrem, který lze stanovit p i m ení zkoušky MSCR je použití r zných úrovn nap tí. V norm SN EN 16659 jsou p edepsána nap tí 0,1 kPa a 3,2 kPa. Ale jak již bylo zmín no v kapitole 5.2.2, lepších korelací s trvalými deformacemi u asfaltových sm sí je získáno p i aplikaci vyššího nap tí. Navíc u n kterých pojiv m že docházet k výraznému nár stu J_{nr} až p i aplikaci vyššího nap tí, nebo nap tí 3,2 kPa je pro n která pojiva v lineárn viskoelastické oblasti (LVER). Pokud se tedy hodnoty J_{nr} p i obou úrovních nap tí neliší, zkoumané materiály se nacházejí v této oblasti. Problematické chování pojiv vedoucí ke vzniku plastických deformací je však spojeno s nelineární viskoelastickou oblastí. Dnešní vysoce

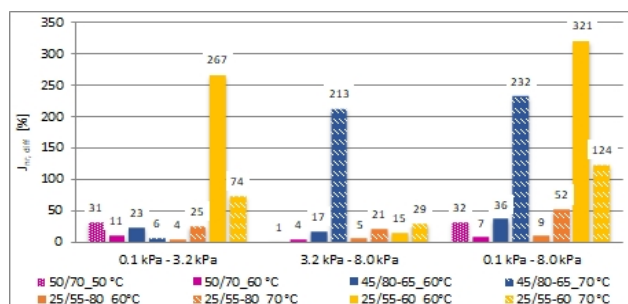
modifikované asfalty mají hranici LVER posunutou do vyšších hodnot nap t í a z tohoto d vodu byla m ení dopln na o nap t í 8,0 kPa. [6, 7]

V tabulce 2 jsou uvedeny hodnoty elastického zotavení R, nevratné smykové poddajnosti J_{nr} a parametry citlivosti na zm nu nap t í R_{diff} a $J_{nr,diff}$.

Tab. 1 Vypo ítané hodnoty R, J_{nr} a charakteristiky citlivosti n kterých asfaltových pojiv

Asfaltové pojivo	0,1 kPa		3,2 kPa		8,0 kPa		0,1-3,2 kPa		3,2-8,0 kPa		0,1-8,0 kPa	
	R [%]	J_{nr} [1/kPa]	R [%]	J_{nr} [1/kPa]	R [%]	J_{nr} [1/kPa]	R_{diff} [%]	$J_{nr,diff}$ [%]	R_{diff} [%]	$J_{nr,diff}$ [%]	R_{diff} [%]	$J_{nr,diff}$ [%]
50/70_50 °C	2,5	1,59	1,2	1,09	0,5	1,08	3,7	31,2	0,1	0,9	1,5	31,8
50/70_60 °C	0,5	4,93	0,1	4,41	0,0	4,57	87,3	-10,7	60,3	3,7	95,0	-7,4
45/80-65_60 °C	83,1	0,12	85,5	0,09	87,2	0,07	-2,9	-23,3	-2,0	-17,1	-5,0	-36,4
45/80-65_70 °C	89,8	0,19	85,6	0,20	57,4	0,64	0,1	-15,8	32,9	213,3	33,0	163,8
25/55-80_60 °C	69,4	0,15	66,6	0,16	66,4	0,17	4,1	3,8	0,3	5,1	4,3	9,1
25/55-80_70 °C	70,4	0,42	58,9	0,52	52,8	0,63	16,3	25,4	10,4	20,9	25,0	51,7
25/55-60_60 °C	76,8	0,13	38,5	0,49	29,7	0,57	49,9	267,0	22,9	14,7	61,4	320,8
25/55-60_70 °C	55,1	1,06	24,7	1,85	13,5	2,38	55,2	73,6	45,3	28,8	75,5	123,6

Z tabulky 2 je patrné, že dle o ekávání mají pojiva PMB vysokou hodnotu elastického zotavení a velmi nízkou nevratnou smykovou poddajnost. P i vyšší teplot dochází ke zvýšení smykového p etvo ení, které souvisí se zvýšením J_{nr} . Vyšší náchylnost ke vzniku trvalých deformací je logicky p i vyšších teplotách (vyšší hodnoty J_{nr}). S tím souvisí snížení elastického zotavení, ale p ekvapiv p i nap t í 0,1 kPa došlo u dvou pojiv PMB k mírnému zvýšení elastického zotavení. Toto zvýšení je pravd podobn zp sobeno díky prom nlivosti nam ených hodnot



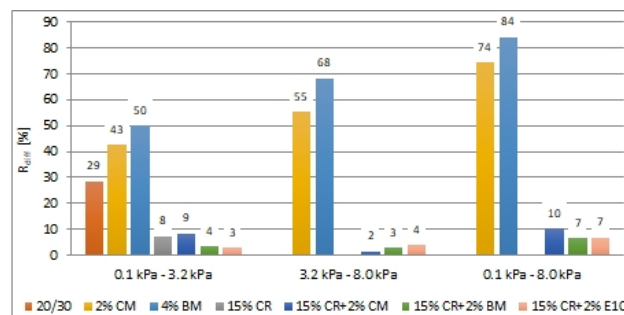
Obr. 2 Parametr citlivosti $J_{nr,diff}$ na p íkladu souboru provedených m ení

Druhou skupinou, u které se zkouška MSCR provád í p i vyšším nap t í 8,0 kPa jsou varianty se základním silni ním pojivem 20/30. K n mu se p imíchaly nízkoviskózní vosky v množství 2-4 %-hm. pojiva nebo kombinace pryžového granulátu CR (vždy 15 %-hm. pojiva) s nízkoviskózními vosky. Vyšší nap t í bylo m eno jen pro vybrané varianty.

Tab. 3 Vypo ítané hodnoty R, J_{nr} a charakteristiky citlivosti s aplikací t í úrovní namáhání

Asfaltové pojivo	0,1 kPa		3,2 kPa		8,0 kPa		0,1-3,2 kPa		3,2-8,0 kPa		0,1-8,0 kPa	
	R [%]	J_{nr} [1/kPa]	R [%]	J_{nr} [1/kPa]	R [%]	J_{nr} [1/kPa]	R_{diff} [%]	$J_{nr,diff}$ [%]	R_{diff} [%]	$J_{nr,diff}$ [%]	R_{diff} [%]	$J_{nr,diff}$ [%]
20/30	9,4	0,425	6,7	0,402	-	-	28,6	-5,3	-	-	-	-
2% CM	15,4	0,209	8,9	0,296	4,0	0,385	42,6	41,7	55,4	29,9	74,4	84,0
3% CM	18,1	0,222	14,1	0,236	-	-	22,0	6,4	-	-	-	-
3% BM	11,1	0,656	5,4	0,644	-	-	51,2	-1,7	-	-	-	-
4% BM	14,6	0,462	7,3	0,495	2,3	0,590	50,0	7,0	68,4	19,2	84,2	27,5
15% CR	73,5	0,015	67,9	0,018	-	-	7,6	20,9	-	-	-	-
15% CR+2% CM	81,7	0,006	74,6	0,008	73,3	0,009	8,7	31,8	1,8	6,3	10,3	40,2
15% CR+2% BM	78,6	0,007	75,7	0,008	73,3	0,009	3,7	12,5	3,2	11,4	6,8	25,3
15% CR+2% E10	72,7	0,011	70,6	0,012	67,6	0,013	2,9	1,8	4,2	9,1	7,0	11,1

V tabulce 3 jsou základní hodnoty vypo ítané ze zkoušky MSCR p i jednotné teplot 60 °C. Modifikace pryžovým granulátem má za následek výrazné zvýšení elastického zotavení a snížení J_{nr} v porovnání se silni ním asfaltem 20/30. Aplikací nízkoviskózních p ísad nedochází k zásadnímu ovlivn ní hodnot R ani J_{nr} . V p ípad jejich použití se základním pojivem 20/30 jsou hodnoty R velmi nízké a naopak J_{nr} pom rn vysoké, což vede logicky k vyšším hodnotám charakteristiky citlivosti R_{diff} . Naopak u pojiv s CR, která mají vysoké hodnoty elastického zotavení, se p i všech nap tích R_{diff} pohybuje do 10 %, což poukazuje na dobré elastické vlastnosti i p i nap t í 8,0 kPa. P i porovnání charakteristiky citlivosti $J_{nr,diff}$ je z ejmé, že podmínku stanovenou v USA pro nap t í 0,1 kPa a 3,2 kPa ($J_{nr,diff} < 75 \%$) by splnila všechna pojiva. Ale je z ejmé, že pojivo s 2% CM je nejvíce citlivé na zm nu nap t í a p i porovnání nejnižšího nap t í (0,1 kPa) a nejvyššího nap t í (8,0 kPa) má rozdíl J_{nr} nejvyšší. Hodnoty J_{nr} pro pojiva s CR jsou však p i všech nap tích extrémn nízké (na hran m itelnosti) a z tohoto d vodu by bylo lepší provád t zkoušku p i vyšší teplot .



Obr. 3 P íklad zobrazení výsledk parametr citlivosti R_{diff}

Vliv zvolené geometrie m ícho p ístroje

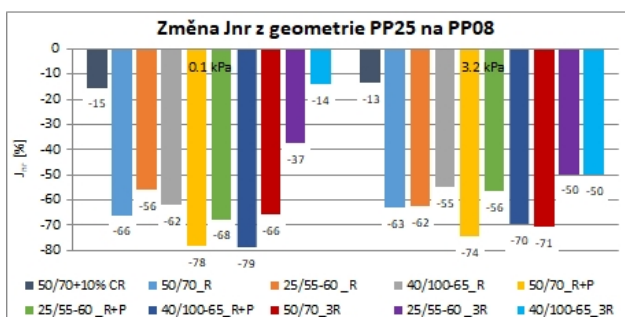
Nej ast ji se na DSR používají dv geometrie, jmenovit 8 mm pr m r desky s 2 mm mezerou mezi dolní a horní deskou (ozna eno PP08) nebo 25 mm pr m r desky s 1 mm mezerou (PP25). Volba geometrie testovacího za ízení je založena na provozních podmínkách. Geometrie PP08 se obecn používá p i nízkých a st edních teplotách (-5-30 °C) nebo pro dlouhodob zestárlá pojiva v p ípad oscila ní zkoušky Frequency sweep (FS). Geometrie PP25 se b žn volí pro m ení p i vysokých teplotách (30-90 °C) a je tedy zvolena jako základní pro provád ní zkoušky MSCR. Rozdílná geometrie se porovnávala u pojiv PMB a 50/70 po stárnutí a navíc pro pojivo s pryžovým granulátem (CR) p i teplot 60 °C.

Z dále uvedené tabulky 4 je vid t pom rn nízký rozdíl vypo ítaných hodnot elastického zotavení mezi ob ma geometriemi. Procentuáln se jedná o rozdíl do 10 % s výjimkou variant 50/70_R,

50/70_R+P a 50/70_3R, které mají velmi malé hodnoty R a z tohoto důvodu je procentuální změna výraznější. Procentuální rozdíl obou geometrií pro hodnotu J_{nr} je zobrazen na obrázku 18. Hodnota J_{nr} je v případě použití geometrie PP08 vždy nižší - u v tšiny variant dokonce více než o polovinu (s výjimkou varianty s CR). Celkově z toho vyplývá, že zvolená geometrie má výrazný vliv především na výsledky J_{nr} .

Tab. 4 Vypočítané hodnoty R, J_{nr} a charakteristiky citlivosti

Asfaltové pojivo	PP25				PP08			
	0,1 kPa		3,2 kPa		0,1 kPa		3,2 kPa	
	R [%]	J_{nr} [1/kPa]	R [%]	J_{nr} [1/kPa]	R [%]	J_{nr} [1/kPa]	R [%]	J_{nr} [1/kPa]
50/70+10% CR	35,5	0,50	7,8	0,81	33,7	0,42	7,5	0,70
50/70_R	5,6	1,59	1,1	1,57	8,1	0,54	5,1	0,58
25/55-60_R	73,9	0,16	73,2	0,15	73,9	0,07	74,8	0,06
40/100-65_R	84,8	0,09	88,9	0,04	84,8	0,03	89,2	0,02
50/70_R+P	17,0	0,28	14,0	0,23	25,2	0,06	23,9	0,06
25/55-60_R+P	64,5	0,07	64,2	0,06	69,0	0,02	65,1	0,03
40/100-65_R+P	88,6	0,02	88,2	0,02	91,7	0,01	90,1	0,01
50/70_3R	16,9	0,32	13,0	0,28	21,5	0,11	22,2	0,08
25/55-60_3R	70,0	0,07	65,6	0,09	67,0	0,05	66,9	0,04
40/100-65_3R	92,1	0,02	91,8	0,02	82,7	0,02	90,4	0,01



Obr. 4 Procentuální změna na J_{nr} z geometrie PP25 na PP08

Závěr

Výsledky zkoušky MSCR ukazují, že je nadále nutné v novat více pozornosti jak porovnávacím měřením, tak zejména upřesnění podmínek zkoušky. Předchozí podkapitoly se zabývají analýzou výsledků zkoušky MSCR pro asfaltová pojiva porovnávající vliv zvolené teploty, úroveň napětí, typ geometrie měřicího přístroje a různé početné cykly, z kterých se počítají jednotlivé hodnoty.

Dosavadní výzkum ukazuje, že by bylo vhodné především u pojiv PMB zvýšit počet cyklů, nebo 10 cyklů u v tšiny PMB pojiv není dostatečný počet k dosažení stabilního sekundárního dotvarování. Alternativní možností je zvolení vyššího napětí, které vede k rychlejšímu ustálení výsledků.

Jedním z problémů u zkoušky MSCR je nastavení úroveň napětí, za které by měla probíhat, aby všechny modifikované asfalty byly zkoušeny v nelineární viskoelastické oblasti. Vložení další úroveň napětí - 8,0 kPa nebo ještě vyšší do standardizovaného testu MSCR se zdá být přínosné, i když tím dojde k prodloužení zkoušky (o 100 s). S

tím souvisí další zjištění, kdy v případě, že je počet cyklů velmi malý (na hranici rozsahu měřicího přístroje) není možné vypočítat dostatečně přesné hodnoty. Tento problém nastává zejména při nízké teplotě provádění zkoušky nebo při nízkém napětí (0,1 kPa), kdy je rozdílnost mezi jednotlivými cykly vysoká. Navíc při napětí 0,1 kPa je korelace s asfaltovými směsmi (odolnost vůči tvorbě trvalých deformací) nižší. Z těchto poznatků tedy vyplývá, že je vhodnější použít vyšší napětí, například 8,0 kPa.

Provádění zkoušky při vyšší teplotě vede k větším měřením, čímž dochází ke snížení rizika nepřesnosti měření, která je způsobena rozsahem měřicího přístroje. Teplota 60 °C by byla vhodnou teplotou provádění zkoušky MSCR za předpokladu, že i zkouška odolnosti proti tvorbě trvalých deformací u asfaltových směsí by byla prováděna při stejné teplotě 60 °C (v souvislosti se zkouškou provádějí v tšinou při teplotě 50 °C), aby bylo možné lépe porovnávat naměřené hodnoty.

Literatura

- [1] Bahia, H. U. et al. 2001 "NCHRP Report 459, Characterization of Modified Asphalt Binders in Superpave Mix Design. Prepared for the National Cooperative Highway Research Program", Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.
- [2] SN EN 16659. Asfalty a asfaltová pojiva - Zkouška MSCR (Multiple Stress Creep and Recovery Test). Praha: Český normalizační institut, 2016.
- [3] Golalipour, A. 2011 Modification of Multiple Stress Creep and Recovery Test Procedure and Usage in Specification (University of Wisconsin - Madison).
- [4] Standard by American Association of State and Highway Transportation Officials 2014 AASHTO M 332-14 Standard Specification for Performance-Graded Asphalt Binder Using Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) Test.
- [5] D'Angelo, J. et al. 2007 Revision of the 361 Superpave High Temperature Binder Specification: The Multiple Stress Creep 362 Recovery Test. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists pp. 123-162.
- [6] Bureš, P., Fiedler, J., Komínek, Z. Reologické vlastnosti asfaltových pojiv a směsí za středních a vysokých teplot. In: Konference asfaltové vozovky 2011 [CD]. Praha: 2011.
- [7] Valentin, J. a kol. Metodická příručka funkčních zkoušek asfaltových pojiv. Praha, 2015.