

Reologické vlastnosti za studena recyklovaných zmesí

Ján Gillinger¹

Rheological properties of cold recycled mixtures

The paper presents some of the results of research focused on cold recycled mixtures properties. Within the study, eight mixtures with a different amount of reclaimed asphalt, bitumen emulsion and cement were evaluated. The results of static creep, complex modulus and fatigue conducted on trapezoidal specimens are discussed in the paper. The static creep modulus and the complex modulus were investigated at temperatures 27 °C, 11 °C and 0 °C. These temperatures represent temperatures of asphalt layer with a thickness in the range from 20 to 25 cm for summer, spring/ autumn and winter in Slovakia. In addition fatigue was investigated at the temperature of 27 °C. It was found that the binder combination plays an important role in rheological performance of cold recycled mixtures. However, at different contents of reclaimed asphalt, the effect of bitumen emulsion was different. This can be observable particularly when analyzing the results of the fatigue test. The mixtures with a higher amount of cement were better in terms of the fatigue life. The investigated mixtures in general were little sensitive to the change of loading frequency which simulates the traffic speed.

Key words: cold recycled mixture, reclaimed asphalt, bitumen emulsion, cement, static creep, complex modulus, fatigue

Úvod

Veľké úspory prírodného kameniva, ale aj asfaltového spojiva je možné dosiahnuť pri rehabilitácii vozovky najmä opätovným využitím materiálov z vrstiev existujúcich asfaltových vozoviek. Základným kritériom je, aby sa pri nižších nákladoch dosiahla požadovaná kvalita a životnosť rehabilitovanej vozovky.

Jednou z možností opätovného použitia materiálov z asfaltových vozoviek je spracovaním za studena, na mieste alebo v miešacích zariadeniach. V zahraničí sa využíva spracovanie v mobilných miešacích zariadeniach, ktoré je podľa potreby možné operatívne premiestňovať pozdĺž úseku rehabilitovanej vozovky. Ako spojivá môžu byť použité spenený asfalt, asfaltová emulzia a cement, alebo kombinácia asfaltového a hydraulického spojiva. Rovnako je v ňom možné stabilizovať rôzne druhy recyklovaných materiálov, ktoré sú pred dávkovaním upravené triedením a popřípade drvením. Pri spracovaní sa dosahuje vysoká úroveň homogenizácie zmesi.

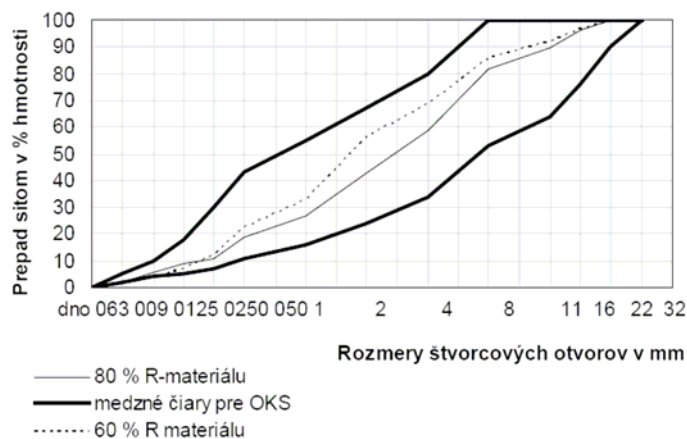
Na mieste je možné materiál z poškodených vrstiev asfaltovej vozovky spracovať jediným pojazdom recykléra s možnosťou použitia rovnakých kombinácií spojív ako v predošlom prípade. Takto recyklovaná zmes môže obsahovať v závislosti od hĺbky záberu recykléra, skladby pôvodnej vozovky a úrovne jej poškodenia:

- materiál z asfaltových vrstiev,
- kombináciu materiálov z asfaltových vrstiev a hydraulicky stmelených vrstiev,
- kombináciu materiálov z asfaltových, hydraulicky stmelených a nestmelených vrstiev vozovky, kombináciu materiálov z asfaltových a nestmelených vrstiev vozovky.

Na cestách s nižším dopravným zaťažením, kde sa predpokladá širšie uplatnenie tejto technológie, môže

recyklovaná zmes pozostávať z kombinácie asfaltových a nestmelených vrstiev vozoviek. Druh vstupných materiálov môže mať značný vplyv na vlastnosti recyklovanej zmesi.

V článku je uvedené hodnotenie za studena recyklovaných zmesí na základe skúšok reologických vlastností.



Obr. 1. Navrhnuté čiary zrnitosti zmesi kameniva a RM.

Fig. 1. Grading of mixtures containing aggregate and reclaimed asphalt.

¹ Ing. Ján Gillinger, PhD., Katedra geotechniky a dopravného staviteľstva, Stavebná fakulta TU v Košiciach, Slovenská Republika (Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 18. 4. 2007)

Experimentálny program

Pre celý výskum boli navrhnuté dve zmesi prírodného kameniva a recyklovaného materiálu (RM) v obore zrnitosti OKS (obaľovaného kameniva strednozrného) podľa STN 73 6121 s rôznym obsahom RM. Na obrázku 1 sú znázornené čiary zrnitosti navrhnutých zmesí.

Predpokladané použitie zmesi je v hornej podkladovej vrstve vozovky. Pre obidve zastúpenia RM boli navrhnuté rôzne dávkovania asfaltovej emulzie a cementu. Pri návrhu bola použitá pomaly štiepna katiónaktívna asfaltová emulzia EMULTECH P z produkcie firmy Stavby silnic a železníc, s obsahom asfaltu 60 % a troskoportlandský cement s označením II/B-S 32,5 R vyrobený v cementárni Turňa nad Bodvou.

Pre každú zmes bolo stanovené množstvo pridávanej vody v závislosti od optimálnej vlhkosti a dávkovania spojív [1].

Zloženie a označenie zmesí bolo nasledovné:

- A1 80 % RM, 14 % vápenec fr. 0-2 (V), 6 % vápencová múčka (VM), 1,5 % cementu (C), 2 % asfaltovej emulzie (AE),
- A3 80 % RM, 14 % V, 6 % VM, 1,5 % C, 3,5 % AE,
- A4 80 % RM, 14 % V, 6 % VM, 3 % C, 2 % AE,
- A6 80 % RM, 14 % V, 6 % VM, 3 % C, 3,5 % AE,
- B1 60 % RM, 40 % V, 1,5 % C, 3 % AE,
- B3 60 % RM, 40 % V, 1,5 % C, 4,5 % AE,
- B4 60 % RM, 40 % V, 2, 3 % C, 3 % AE,
- B6 60 % RM, 40 % V, 2, 3 % C, 4,5 % AE.

Pre skúšky reologických vlastností boli vyrobené vzorky tvaru dosky zhutňovaním v lise tlakom, ktorý zodpovedá sile 75 kN [2] pre zhutňovanie Marshallových teliesok (obr 2).



a)

Obr. 2. Zhutňovanie dosky lisom (a) a zhutnená vzorka vytlačená z formy (b).

Obr. 2. Compaction of a slab (a) and a compacted slab extruded from the mould (b).



b).

Po 28 dňoch dozrievania pri teplote 20 až 23 °C a vlhkosti vzduchu 40 až 50 % boli z dosák vyrezané skúšobné telesá tvaru trapezoidov.

Na trapezoidoch bol meraný statický modul dotvarovania a komplexný modul pri teplotách 27, 11 a 0 °C. Tieto teploty predstavujú výpočtovú hodnotu teploty asfaltových vrstiev hrúbky od 200 do 250 mm pre leto, jar/ jeseň a zimu na Slovensku. Okrem toho bola na telieskach vykonaná skúška únavy pri teplote + 27 °C. Merania reologických vlastností boli vykonané na ŽU v Žiline podľa metodiky uvedenej v [3].

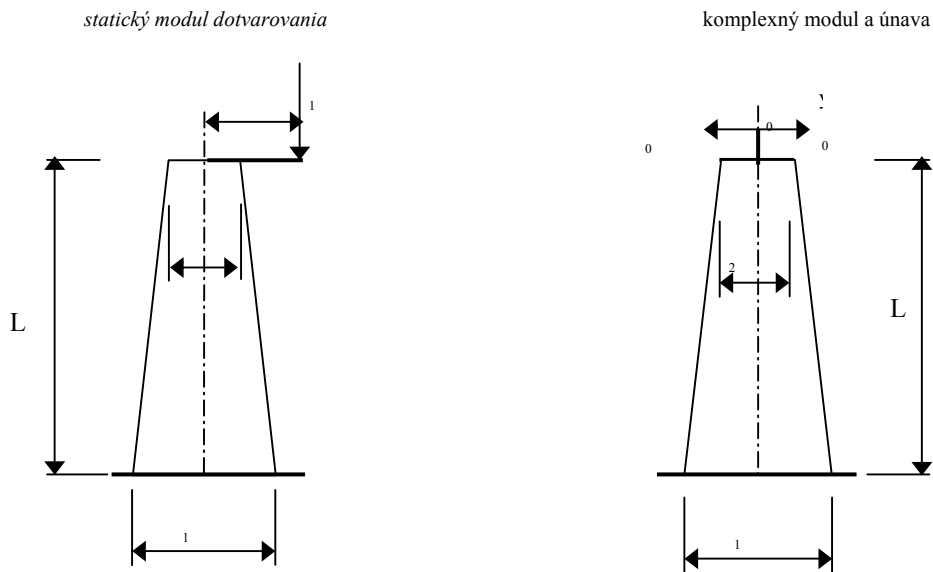


Trapezoidy boli pred skúškami reologických vlastností pevne prichytené k betónovému bloku (obr. 3).

Obr. 3. Skúšobné telesá tvaru trapezoidu pripravené pre skúšky reologických vlastností.

Obr. 3. Trapezoidal specimens prepared for tests of rheological properties.

Skúšobné telesá boli pri skúškach namáhané v ťahu pri ohybe. Princíp skúšok je znázornený na obrázku 4.



Obr. 4. Princíp skúšok reologických vlastností.
Obr. 4. Principle of tests for rheological properties.

Statický modul dotvarovania

Najprv boli vykonávané merania statického modulu. Skúšobné teliesko bolo zaťažované v spodnej časti konštantným ohybovým momentom. Priehyb voľného konca telieska sa zaznamenával v intervaloch 0, 10, 30, 60, 90, 120, 180, 300, 600 a 1000 sekúnd od začiatku zaťažovania. Po 1000 sekundách sa teliesko odľahčilo a zaznamenával sa opačný priehyb v intervaloch 1010, 1030, 1060, 1090, 1120, 1180, 1300, 1600 a 2000 sekúnd.

Hodnota deformácie po 2000 s ($y_{t(2000)}$) vyjadruje trvalú deformáciu recyklovaného materiálu. Statický modul dotvarovania bol stanovený podľa vzťahu [3]:

$$S_{i(t)} = \frac{6 \cdot P_1 \cdot a \cdot L^2}{y_t \cdot c \cdot H_1^2 \cdot H_2} \quad [MPa] \quad (1)$$

kde:

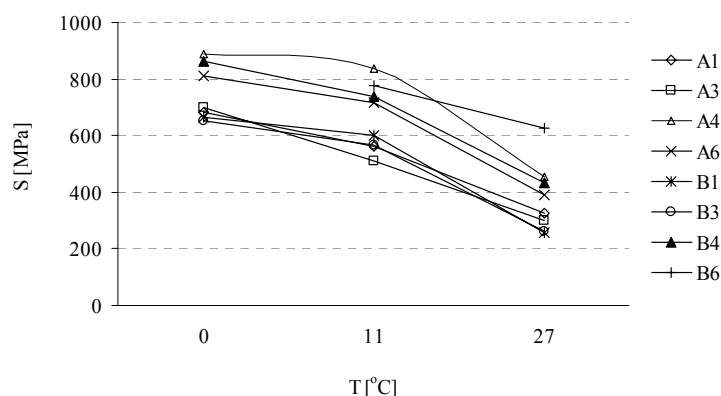
- P_1 - sila vyvolaná závažím na ramene [N],
- a - vzdialenosť sily od zvislej osi skúšobného telieska [a = 50mm],
- L - výška skúšobného telieska [L = 300mm],
- y_1 - priehyb voľného konca [mm],
- c - hrúbka skúšobného telieska [mm],
- H_1 - šírka podstavy skúšobného telieska [mm],
- H_2 - šírka hornej časti skúšobného telieska [mm].

V tabuľke 1 sú uvedené výsledky statického modulu dotvarovania dosiahnuté pri rôznych skúšobných teplotách. Na obrázku 5 je znázornený vplyv teploty na hodnoty statického modulu.

Tab. 1. Výsledky merania statického modulu dotvarovania.
Tab. 1. Results of the static creep test.

Typ skúšky		80 % R-materiálu				60 % R-materiálu			
		A1	A3	A4	A6	B1	B3	B4	B6
Statický modul dotvarovania [MPa]	0 °C	683,5	698,8	887,7	811,5	663,2	651,4	864,6	-
	11 °C	560,8	512,7	838,2	716,6	600,3	565,4	736,9	776,4
	27 °C	325,9	302,4	454,4	391,7	259,6	259,7	434,8	625,3

Sledované recyklované zmesi boli menej citlivé na zmenu teploty v porovnaní s asfaltovými zmesami. Pri zvýšenom dávkovaní cementu hodnoty modulu narastali, naopak pri zvýšenom dávkovaní asfaltovej emulzie (pri rovnakom dávkovaní cementu) hodnoty modulov mierne klesali.



Obr. 5. Priebeh statického modulu dotvarovania v závislosti od teploty.

Obr. 5. Effect of temperature on the static creep modulus.

Komplexný modul

Pri meraní komplexného modulu bol voľný koniec skúšobného telesa krátkodobu namáhaný striedavým harmonickým zaťažením v čase potrebnom na odčítanie hodnôt amplitúd sily a deformácie, fázového posunu a dĺžky periódy (obr. 1). Frekvencia zaťažovania, ktorá vystihuje účinky dopravného zaťaženia pri určitej rýchlosti prejazdu vozidla bola: 5, 10, 15, 20 až 25 Hz.

Komplexný modul vyjadruje podiel maximálnych amplitúd budiaceho napätia (σ_0) a ním vyvolanej deformácie (ε_0), a ich fázového posunu (φ). Hodnotenie komplexného modulu bolo vykonané podľa vzťahov [5]:

$$E_1 = \frac{K_1}{c} \left(\frac{P_0}{y_0} \cos \varphi + m \omega^2 \right) \quad [\text{MPa}] \quad (2)$$

$$E_2 = \frac{K_1}{c} \left(\frac{P_0}{y_0} \sin \varphi \right) \quad [\text{MPa}] \quad (3)$$

$$E_2 = \frac{K_1}{c} \left(\frac{P_0}{y_0} \sin \varphi \right) \quad [\text{MPa}] \quad (4)$$

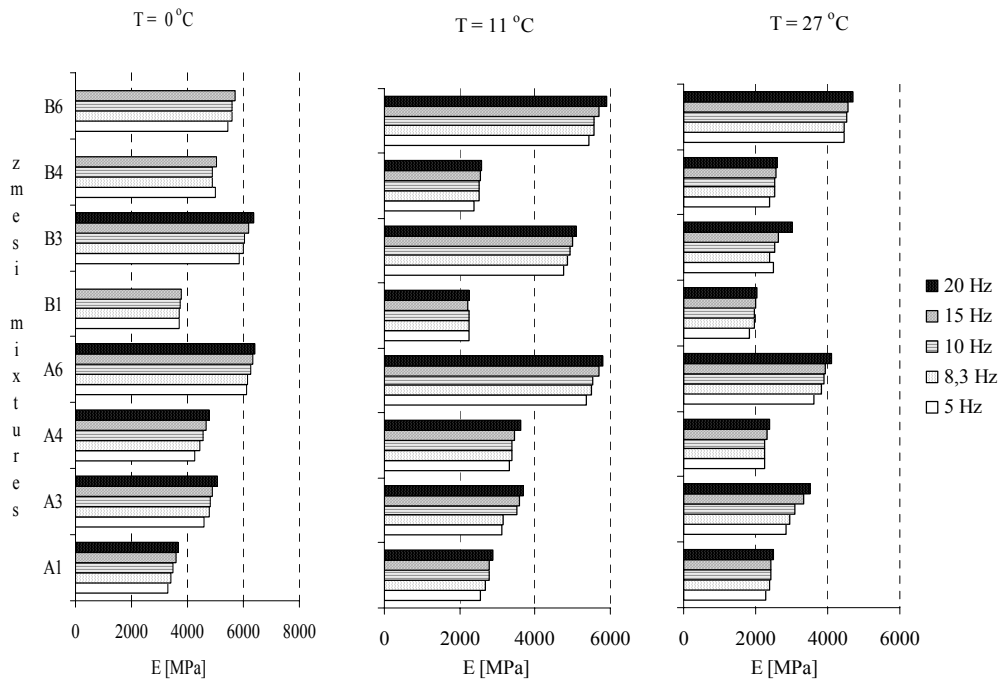
$$E^* = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} \quad [\text{MPa}] \quad (5)$$

$$\frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} = |E_{(i\omega)}^*| = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} \quad [\text{MPa}] \quad (6)$$

$$\varphi = \arctg \frac{E_2}{E_1} \quad [^\circ] \quad (7)$$

- kde
- E^* - komplexný modul,
 - E_1 - reálna zložka, ktorá charakterizuje pružné vlastnosti,
 - E_2 - imaginárna zložka, ktorá charakterizuje väzke vlastnosti,
 - y_0 - maximálna amplitúda priehybu voľného konca skúšobného telesa [m],
 - P_0 - maximálna amplitúda budiacej sily [N],
 - φ - fázový uhol posunu priehybu a sily [°],
 - ω - kruhová frekvencia vynúteného kmitania [s^{-1}],
 - m - hmotnosť kmitajúcej hmoty [kg]
 - K_1 - súčiniteľ závislý na rozmeroch a tvare skúšobného telesa,
 - c - hrúbka skúšobného telesa [mm]

Porovnanie komplexných modulov pri troch skúšobných teplotách je uvedené na obrázku 6.

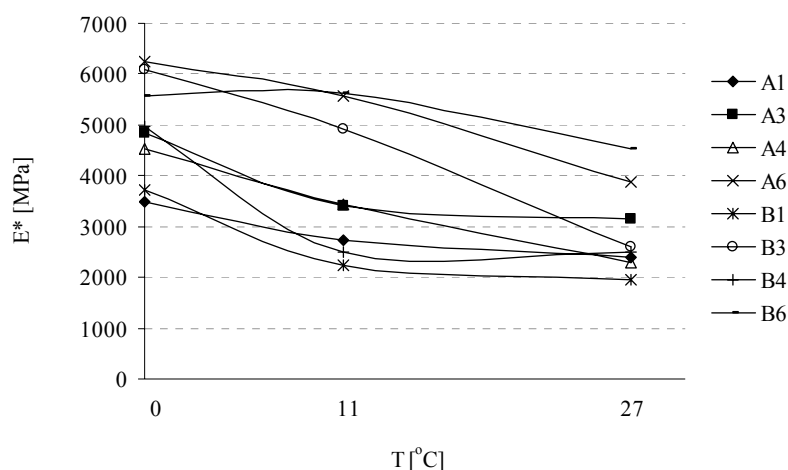


Obr. 6. Hodnoty komplexného modulu pri teplotách 0, 11 a 27 °C.
Fig. 6. Values of complex modulus at the temperature 0, 11 and 27 °C.

V tabuľke 2 sú uvedené hodnoty získané z merania komplexného modulu.

Z porovnania parametrov modulov vyplýva, že pri rozdielnych kombináciách spojív sa dosiahli v niektorých prípadoch až dvojnásobné rozdiely v hodnotách komplexného modulu. Vo všeobecnosti sa dá konštatovať, že na hodnoty komplexného modulu mal menší vplyv rôzny obsah R-materiálu ako rôzna kombinácia spojív.

Na obrázku 7 je znázornená závislosť komplexného modulu od teploty pri frekvencii 8,3 Hz.



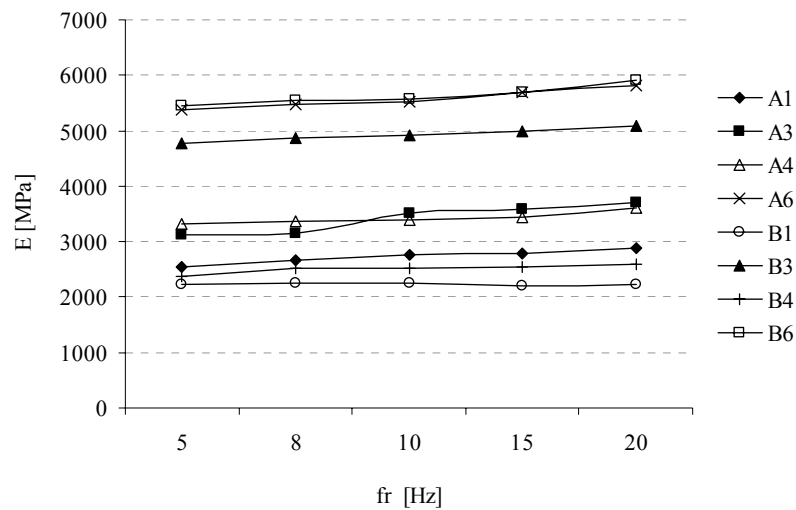
Obr. 7. Parametre komplexného modulu pri teplotách 0, 11 a 27 °C merané pri frekvencii 8,3 Hz.
Fig. 7. Parameters of complex modulus at the temperature 0, 11 a 27 °C, measured at the frequency 8,3 Hz.

Na všetkých uvedených zmesiach je možné sledovať malú závislosť (citlivosť) hodnoty komplexného modulu od teploty pri porovnaní s asfaltovými zmesami.

Tab. 2. Výsledky meraní komplexného modulu.
Tab. 2 Results of the complex modulus measurements.

z m e s e	T fr	0 °C						11 °C						27 °C						
		E ₁	E ₂	E*	φ	σ ₀	ε ₀	E ₁	E ₂	E*	φ	σ ₀	ε ₀	E ₁	E ₂	E*	φ	σ ₀	ε ₀	
		[Hz]	[MPa]			[°]	[kPa]	10 ⁻⁶	[MPa]			[°]	[kPa]	10 ⁻⁶	[MPa]			[°]	[kPa]	10 ⁻⁶
A1	5	3102	1104	3293	20	408	124	2418	769	2538	18	314	124	2240	367	2270	9	254	112	
	8	3303	894	3425	15	424	124	2591	621	2669	13	330	124	2375	359	2401	9	269	112	
	10	3446	546	3491	9	432	124	2736	399	2767	8	342	124	2392	302	2411	7	270	112	
	15	3567	319	3581	5	443	124	2778	309	2797	6	346	124	2428	217	2438	5	273	116	
	20	3667	224	3674	4	455	124	2881	218	2891	4	358	124	2488	156	2492	4	279	116	
A3	5	4428	1132	4574	15	542	119	2957	1020	3129	19	389	125	2380	1535	2832	33	364	129	
	8	4643	1079	4768	13	565	119	3061	714	3147	13	421	125	2807	906	2949	18	379	129	
	10	4789	602	4827	7	572	117	3482	437	3509	7	437	125	3049	382	3073	7	395	129	
	15	4884	441	4904	5	580	118	3562	322	3577	5	445	125	3319	303	3333	5	428	129	
	20	5082	313	5092	4	603	116	3696	228	3703	4	461	125	3487	213	3494	3	449	129	
A4	5	4132	1050	4264	14	512	120	3302	369	3325	6	398	120	2225	169	2232	4	274	121	
	8	4372	690	4427	9	531	120	3355	350	3373	6	404	120	2236	157	2242	4	276	123	
	10	4534	284	4542	4	545	120	3374	212	3381	4	405	120	2245	140	2249	4	277	121	
	15	4655	213	4660	3	559	120	3448	159	3451	3	413	120	2313	105	2316	3	285	120	
	20	4792	147	4794	2	575	120	3609	110	3610	2	433	120	2397	72	2398	2	295	121	
A6	5	6048	834	6106	8	726	120	5349	484	5371	5	611	114	3596	450	3626	7	414	112	
	8	6127	642	6160	6	732	119	5452	581	5482	6	623	114	3812	403	3833	6	438	114	
	10	6241	391	6253	4	743	120	5510	344	5521	4	628	114	3895	244	3903	4	446	114	
	15	6320	294	6327	3	752	120	5684	260	5690	3	647	114	3929	180	3933	3	449	114	
	20	6413	198	6416	2	762	120	5799	179	5802	2	660	114	4105	126	4107	2	469	114	
B1	5	3666	419	3692	7	480	127	2115	727	2237	19	300	137	1804	291	1827	9	233	128	
	8	3675	454	3704	7	482	130	2168	589	2248	15	305	135	1933	303	1957	9	250	128	
	10	3729	406	3752	6	488	127	2210	457	2256	12	303	138	1950	245	1965	7	251	128	
	15	3766	344	3782	5	492	130	2173	341	2206	5	304	138	1989	184	1998	5	255	128	
	20	-	-	-	-	-	-	2201	323	2230	5	303	135	2038	122	2042	3	260	128	
B3	5	5797	739	5844	7	660	113	4727	562	4761	7	521	110	2442	386	2474	9	280	114	
	8	5959	624	5992	6	677	113	4826	583	4863	7	532	110	2356	417	2400	10	273	114	
	10	6024	377	6036	4	682	113	4875	620	4915	7	537	110	2505	312	2529	7	288	110	
	15	6166	287	6173	3	697	113	4968	455	4989	5	546	110	2625	177	2632	4	300	110	
	20	6358	196	6361	2	719	113	5076	319	5086	4	556	110	3026	133	3029	3	343	110	
B4	5	4979	454	5000	6	585	120	3369	696	3440	12	438	132	2200	894	2375	22	301	131	
	8	4859	509	4885	5	599	120	3471	478	3507	8	447	128	2422	655	2509	15	318	127	
	10	4884	297	4893	4	586	124	3519	422	3545	7	452	129	2496	325	2517	7	319	127	
	15	5048	232	5053	3	606	124	3505	320	3519	5	448	132	2527	349	2551	8	323	131	
	20	-	-	-	-	-	-	3556	295	3569	5	455	131	2564	282	2580	6	327	131	
B6	5	5374	869	5443	9	620	116	5383	786	5442	7	596	110	4413	505	4442	7	493	111	
	8	5482	1048	5583	11	636	114	5494	797	5553	8	608	110	4411	592	4453	8	494	111	
	10	5562	547	5591	6	637	114	5504	778	5561	8	609	110	4498	565	4534	7	503	111	
	15	5670	406	5686	4	647	114	5667	518	5691	5	623	110	4544	413	4563	5	506	111	
	20	-	-	-	-	-	-	5898	368	5909	4	647	110	4691	289	4700	4	496	101	

Vplyv frekvencie na zmenu hodnoty komplexného modulu nebol v porovnaní s asfaltovými zmesami výrazný. Zmesi recyklované za studena sú málo citlivé aj na zmenu frekvencie. Namerané hodnoty fázového posunu boli oproti asfaltovým zmesiam takisto nízke (obr. 8). To je možné prisúdiť obsahu cementu v zmesi, ktorý spôsobuje, že zmesi sú tuhšie.



Obr. 8. Zmena hodnôt komplexného modulu v závislosti od frekvencie pri teplote 11 °C.
Fig.8. Complex modulus vs. loading frequency at the temperature 11 °C.

Únava

Meranie únavy bolo vykonávané na telieskach, na ktorých sa predtým určovali hodnoty statického modulu (dotvarovania) $S_i(t)$ a komplexného modulu E^* . Princíp skúšky je rovnaký ako pre stanovenie komplexného modulu (obr. 5) s rozdielom doby zaťažovania. Meranie únavy bolo vykonávané pri frekvencii 15 Hz. Dlhodobé zaťaženie harmonickou silou bolo aplikované na teliesko až do doby porušenia skúšobného telieska (lom - trhlina), alebo poklesu amplitúdy sily na polovicu oproti počiatkovej hodnote. Vyhodnotenie únavy bolo vykonané pomocou výpočtového programu KATEMS [3], ktorým boli stanovené únavové súčinitele „a“ a „b“, a počet cyklov z rovnice závislosti:

$$\log \sigma_0 = a - b \cdot \log N_i \quad (7)$$

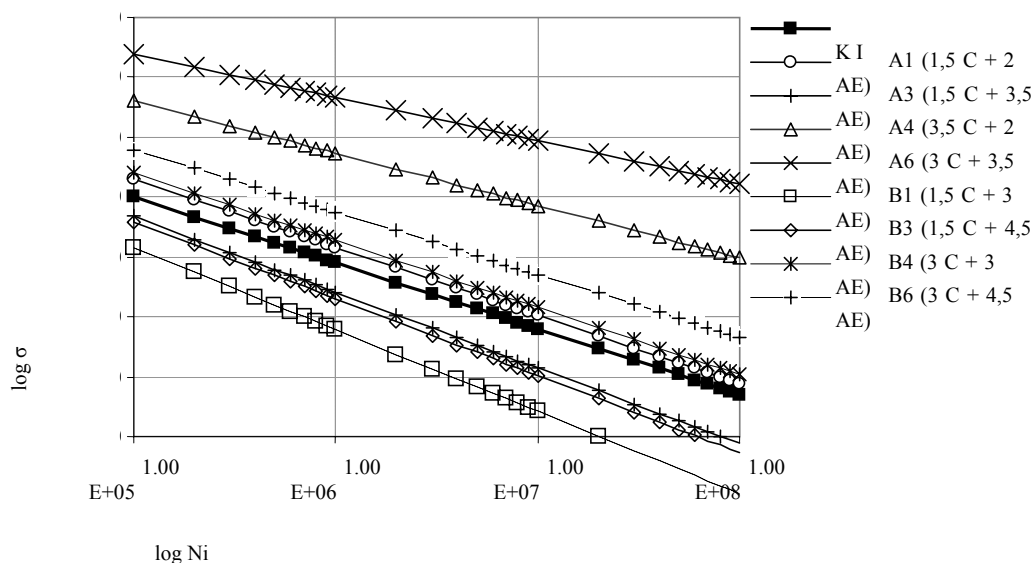
kde σ_0 - napätie [Mpa],
a, b - únavové koeficienty,
 N_i - počet zaťažovacích cyklov.

Tab. 3. Únavové koeficienty recyklovaných zmesí stanovené pri teplote.

Tab. 3. Fatigue coefficients determined at the testing temperature + 27 °C and the loading frequency of 15 Hz.

Zmes	Únavové koeficienty				Životnosť	
	A	B	a	b	$\log N_i$	N_i
A1	513,86	-58,24	1	0,113	4,41	$2,57 \cdot 10^4$
A3	1371,2	-176,35	1	0,129	3,89	$7,78 \cdot 10^3$
A4	560,4	-52,03	1	0,093	5,38	$2,42 \cdot 10^5$
A6	624,6	-45,12	1	0,072	5,22	$1,66 \cdot 10^5$
B1	737,4	-100,96	1	0,137	3,65	$4,48 \cdot 10^3$
B3	938,9	-120,49	1	0,128	3,90	$7,87 \cdot 10^3$
B4	642,76	-72,04	1	0,112	4,46	$2,89 \cdot 10^4$
B6	869,46	-90,6	1	0,104	4,80	$6,28 \cdot 10^4$

Na obrázku 9 sú znázornené sklony únavových kriviek recyklovaných zmesí.



Obr. 9. Sklony únavových kriviek recyklovaných zmesí, únavový koeficient „b“ pri $T = 27\text{ }^{\circ}\text{C}$ a frekvencii 15 Hz.
 Fig. 9. Slopes of fatigue curves determined by the fatigue coefficient „b“ at the temperature $T = 27\text{ }^{\circ}\text{C}$ and the loading frequency 15 Hz.

V závislosti od počiatočného napätia a sklonu krivky „b“ je možné porovnať jednotlivé zmesi. Hodnota únavového súčiniteľa „b“ sa pohybovala v rozsahu od 0,072 po 0,137.

Ako porovnávací hodnotu (pre únavové koeficienty zmesí recyklovaných za studena) bola použitá hodnota únavového koeficienta zmesi obaľovaného kameniva OK-I. Z obrázku 5 vyplýva, že zmesi nad OK-I, by vyhovovali z hľadiska únavy (A6, B6, A4, B4, A1). Zmesi, ktoré sa nachádzajú pod úrovňou OK-I majú nižšiu únavovú odolnosť (A3, B3 a B1). Pri zmesiach s 80 %-ným obsahom RM platí, že s nárastom obsahu asfaltovej emulzie z 2 na 3,5 % dochádzalo ku znižovaniu životnosti (počtu cyklov). Pri zmesiach s 60 %-ným obsahom RM pri náraste množstva asfaltovej emulzie z 3 na 4,5 % sa zvyšovala celková životnosť zmesi. Na základe tohto sa nedá presne určiť vplyv asfaltovej emulzie na únavu. Na zmesiach s obsahom 60 aj 80 % R-materiálu dochádzalo pri zvyšovaní obsahu cementového spojiva iba ku zvyšovaniu životnosti zmesi. Z toho by sa dalo usúdiť, že cementové spojivo bude vo všeobecnosti kladne ovplyvňovať celkovú životnosť konštrukčnej vrstvy. Vplyv asfaltovej emulzie by bolo vhodné ešte overiť na zmesiach s väčším a menším obsahom R-materiálu. Všeobecne by sa dalo konštatovať, že zmesi s väčším obsahom RM (80 %) citlivejšie reagujú z hľadiska únavy na zmenu obsahu a typu spojiva ako zmesi s menším obsahom R-materiálu (60 %).

Záver

V článku je uvedené hodnotenie zmesí recyklovaných za studena na základe výsledkov reologických vlastností zistených skúškami na trapezoidoch. Zmesi s rôznym obsahom RM, asfaltovej emulzie a cementu, boli navrhnuté v medzných čiarach obaľovaného kameniva strednozrného. Pri meraní statického modulu dotvarovania, komplexného modulu ako aj únavy bol zreteľný najviac vplyv cementu v zmesi. Pri vyšších dávkovaniach cementu boli dosiahnuté vyššie hodnoty statického modulu dotvarovania. Pri meraní komplexného modulu sa recyklované zmesi vyznačovali nízkou citlivosťou zmesí na zmenu frekvencie. Pri vyššom dávkovaní cementu dochádzalo pri meraní únavy k zvyšovaniu životnosti zmesí. Vplyv RM a asfaltovej emulzie na sledované vlastnosti nebol jednoznačný. Pre širšie uplatnenie cestných zmesí tohto typu bude potrebné sledovať reologické vlastnosti pri vysokých, stredných a nízkych teplotách, a to aj pri viacerých obsahoch RM.

Príspevok bol spracovaný v rámci riešenia vedeckovo-výskumného projektu 1/3344/06 „Vplyv asfaltu v Recyklovanom materiáli na vlastnosti zmesí recyklovaných za studena“

Použitá literatúra

- [1] Krličková, E., Gillinger, J.: Optimalizácia množstva spojív zmesí recyklovaných za studena. In: *Silniční obzor. roč. 64, č. 4/2003, s. 86-90. ISSN 0322-7154.*
- [2] Krličková, E., Gillinger, J.: Vplyv zhuťovacej práce na fyzikálno-mechanické vlastnosti za studena recyklovaných zmesí. In: *Silniční obzor. roč. 64, č. 1/2003, s. 9-13. ISSN 0322-7154.*
- [3] Schlosser, F.: Deformačné charakteristiky a únava klasických a recyklovaných asfaltových zmesí. In: *Asfaltové vozovky na cestách pre malé dopravné zaťaženie : 16.-17. februára 2006, Hotel Panoráma, Štrbské Pleso. SAV, Košice, 2006, s. 71-76.*
- [4] Luxemburk, F. a kol.: Aplikace teorie lineárně viskoelastické hmoty v silničním stavitelství. In: *Zborník, ČSVTS Praha, 1977.*
- [5] Híreš V.: Deformačné a reologické vlastnosti recyklovaných asfaltových zmesí, *DDP, Žilina, 2006.*
- [6] Híreš, V.: Vplyv obsahu spojiva na deformačné charakteristiky recyklovaných zmesí. In: *Q-2006 Cestná konferencia: 8. medzinárodná konferencia, 2006, zborník prednášok, Žilina, MASM, 2006, s. 155-158., ISBN 80-85348-71-3.*
- [7] Mondschein, P., Valentin, J.: Problematika recyklace v předpisech technických podmínek MD ČR. In: *Pozemné komunikácie a dráhy. roč. 1, č. 1-2 (2005), s. 19-26. ISSN 1336-7501.*
- [8] Bačová K., Gábor, P., Gschwendt I.: Technická úprava odpadov a materiálov v cestnom stavitelstve. In: *TOP 2006. Technika ochrany prostredia: Zborník/nadát. Medzinárodná konferencia. 12. ročník. Časť Papiernička, 28.-30. 6. 2006. - Bratislava: STU v Bratislave, 2006. ISBN 80-227-2436-X. 13-18.*
- [9] Grochal, Milan: Vplyv klimatických účinkov na vlastnosti zmesí recyklovaných za studena. In: *Juniorstav 2007., VUT Brno, str 139 - 140. ISBN 978-80-214-3337-3.*
- [10] Nemeč, B.: Meranie a hodnotenie deformačných charakteristík recyklovaných väzkopružných materiálov. In: *Juniorstav 2007, VUT Brno, str. 172 -173, ISBN 978-80-214-3337-3.*
- [11] Komačka, J.: Podmienky použitia R-materiálu do asfaltových zmesí v zmysle európskych noriem. In: *Zborník zo seminára s medzinárodnou účasťou Znovupoužitie materiálov na stavebné účely, Štrbské Pleso, marec 2006, ISBN 80-232-0260-X, s. 21-24.*
- [12] Schlosser F.: Vplyv recyklovaných materiálov na únavu asfaltových zmesí. In: *Znovu použitie materiálov na stavebné účely: zborník zo seminára s medzinárodnou účasťou, 2006, Dom techniky ZSVTS, ISBN 80-232-0260-X., s. 55-61.*
- [13] Schlosser, F.: Overovanie vlastností asfaltových konštrukčných vrstiev, *habilitačná práca, Žilina, 1988.*
- [14] STN 73 61 60 Skúšanie bitúmenových zmesí.
- [15] STN 73 61 21 Hutnené asfaltové vrstvy.