



HRVATSKO ASFALTERSKO DRUŠTVO



CROATIAN ASPHALT ASSOCIATION

COLD RECYCLED LAYER EVALUATION IN PAVEMENT DESIGN

VREDNOVANJE SLOJA DOBIVENOG
TEHNOLOGIJOM RECIKLIRANJA PO
HLADNOM POSTUPKU PRI
PROJEKTIRANJU KOLNIČKE
KONSTRUKCIJE

TOMISLAV ŠAFRAN, Viatest d.o.o.

MEĐUNARODNI SEMINAR ASFALTNI KOLNICI 2021

INTERNATIONAL SEMINAR ASPHALT PAVEMENTS 2021

OPATIJA, 30.09. – 01.10. 2021.



HRVATSKO ASFALTERSKO DRUŠTVO



CROATIAN ASPHALT ASSOCIATION

COLD RECYCLED LAYER EVALUATION IN PAVEMENT DESIGN

- **Rasponi strukturnih koeficijenata su veliki, nisu jednoznačno definirani i stvaraju problem projektantima jer značajno utječu na proračun** potrebnih debljina ovisno o tome što se **odabere**
- **Tehnički uvjeti nisu usklađeni sa metodologijama dimenzioniranja kolničkih konstrukcija**
- **Pristup investitora (konkretno HC) je vrlo dobar i omogućuje kvalitativni zaokret već duže vrijeme ali se ne iskorištava u cijelosti, CBR postojećih materijala, receptura producirana na temelju istražnih radova, iskorištavanje materijala...**
- Nema dovoljno informacija o performansama izvedenih slojeva da bi se **kvalitetno unaprijedili uvjeti kvalitete te da bi se ulazilo u proračun** nosivosti sa konkretnim podacima – npr. modul krutosti
- **U ovom trenutku smo pred ugovaranje izrade novih tehničkih uvjeta od strane HC-a, vrijeme za reakciju-preporuke-promjene....**



HRVATSKO ASFALTERSKO DRUŠTVO

CROATIAN ASPHALT ASSOCIATION

COLD RECYCLED LAYER EVALUATION IN PAVEMENT DESIGN

Vrednovanje će se definirati kao odnos vrijednosti koeficijenta ekvivalencije između različitih materijala, a temeljem analize rezultata mjerenja modula, stabiliteta, tlačne čvrstoće i indirektno vlačne čvrstoće

-Iako se **BSM** ne može promatrati kao asfalt načinjen od vruće asfaltne mješavine trenutno koristimo koeficijente zamjene koji su cca 40-50% manji od asfalta pa ćemo analizirati zašto to tako može biti s obzirom na strana i domaća iskustva u promatranju ponašanja i ispitivanja svojstava recikliranih mješavina odnosno slojeva.

-**Što se pak tiče CSM**-a i kako ga promatrati, te kako smanjiti problem prevelikog raspona koeficijenata zamjene kod izračuna strukturnog broja također su analizirana neka strana iskustva ali vlastita tehnička regulativa koja omogućuje bolje procjene materijala u fazi dimenzioniranja i projektiranja ali se uopće ne koristi.

-**Na strukturni koeficijent utječu mnogi vanjski čimbenici koji definiraju okolnosti upotrebe, temperatura, vlaga, prometno opterećenje, kvaliteta slojeva u konstrukciji ispod / iznad te unutarnji čimbenici**-sastav (udio šupljina, svojstva veziva, stupanj zbijenosti a koji nisu svi respektirani u analizama – treba razvijati nove modele – ispitivati zamor i triaksialna svojstva – **poteškoće i u stabilnosti uzorka**



TEHNIČKI UVJETI U RH

TEHNIČKI UVJETI_HLADNO RECIKLIRANJE_HRVATSKE CESTE_2011

Tablica 5-3 Uvjeti kvalitete za hladno recikliranu mješavinu

Svojstva se odnose na	Standardna svojstva	Jedinice	Uvjeti za prometno opterećenje		
			Vrlo lako, lako i srednje	Teško i vrlo teško	
Sastav i fizikalna svojstva	Udio veziva	[%(m/m)]	± 0,2		
	Temperatura bitumena za pjenjenje	[°C]	160 do 195		
	Optimalna vlažnost mješavine	[%(m/m)]	Mjeri se		
	Vlažnost mješavine stabilizirane	Bitumenskim vezivom	[%(m/m)]	60 do 80 % optimalne vlažnosti	
		Hidrauličnim vezivom		± 2	
Gustoća suhog modificiranog Proctorovog uzorka	[t/m ³]	Mjeri se			
Mehanička svojstva mješavine stabilizirane bitumenom	Indirektna vlačna čvrstoća suhog Marshallovog uzorka - ITS suhi	[MPa]	≥ 0,175	≥ 0,225	
	Indirektna vlačna čvrstoća vodom zasićenog Marshallovog uzorka - ITS mokri	[MPa]	≥ 0,075	≥ 0,100	
	Krutost	[MPa]	Mjeri se		
Mehanička svojstva mješavine stabilizirane hidrauličnim vezivima	Tlačna čvrstoća nakon 7 dana	[MPa]	2,0 – 5,0		
	Tlačna čvrstoća nakon 28 dana	[MPa]	3,0 – 6,0		
	Indirektna vlačna čvrstoća nakon 7 dana	[MPa]	Mjeri se		
	Otpornost na vodu i smrzavanje nakon 28 dana	%	≥ 80		

Krutost – (NE) mjeri se
 Dinamički deformacijski modul-(NE) mjeri se
 ITS- uvjet kvalitete
 Tlačna čvrstoća-uvjet kvalitete

Tablica 6-2 Uvjeti kvalitete za ugrađeni reciklirani sloj

Svojstvo se odnosi na	Svojstvo	Jedinica	Uvjeti	
			DNS	NS
Prostor i površinu sloja	Debljina	Pojedinačna vrijednost	najviše -15 od projektirane vrijednosti	
		Srednja vrijednost	najviše -5 od projektirane vrijednosti	
	Stupanj zbijenosti	[%]	≥ 98	
	Ravnost	[m/km]	≤ 3,0*	≤ 2,5
Poprečni pad površine (geodetska mjerenja)	Pojedinačna vrijednost	[%]	Najviše ± 15 od projektirane vrijednosti	
			Srednja vrijednost	najviše ± 5 od projektirane vrijednosti
Dinamički deformacijski modul	[MN/m ²]	Ispituje se		



CNS - TEHNIČKI UVJETI U RH i SLO

OPĆI TEHNIČKI UVJETI ZA RADOVE NA CESTAMA 2001

TSC 06.320:2001, VEZANE SPODNJE NOSILNE PLASTI S HIDRAVLIČNIMI VEZIVI

Tablica 5-02.1.4-1 Zahtijevana tlačna čvrstoća stabilizacijskih mješavina

Sloj	Tlačna čvrstoća stabilizacijske mješavine [MN/m ²]	
	nakon 7 dana	nakon 28 dana
Nosivi sloj kolničke konstrukcije autocesta i cesta vrlo teškog prometnog opterećenja	od 2,0 do 5,5	od 3,0 do 6,0
Nosivi sloj kolničke konstrukcije cesta teškog i srednje teškog prometnog opterećenja	od 1,5 do 5,5	od 2,5 do 6,0

Povprečna enoosna tlačna trdnost treh preskušancev (oblike valja), pripravljenih za določitev predhodne sestave stabilizacijskih mešanic z enako količino podobnega hidravličnega veziva, mora praviloma znašati po 7. dneih 3,5 MN/m², najmanjša posamična vrednost 2,5 MN/m², priporočena največja vrednost pa ne več od 4,5 MN/m².

Tablica 5-02.1.1-3 Fizičko-mehanička svojstva zrnatog kamenog materijala za izradu nosivog sloja stabiliziranog hidrauličnim vezivom

Svojstvo	Traženi zahtjev, najviše
Oblik zrna – udio zrna nepovoljnog oblika (3:1), (HRN B.B8.048)	50
Upijanje vode, (HRN B.B8.031)	1,6
Trošna, nekvalitetna zrna, (HRN B.B8.037)	7
Otpornost prema smrzavanju natrijevim sulfatom. Gubitak mase nakon 5 ciklusa, (HRN B.B8.044)	12
Otpornost prema drobljenju i habanju po metodi Los Angeles, (HRN B.B8.045)	45



TEHNIČKI UVJETI_HLADNO RECIKLIRANJE_HRVATSKE CESTE_2011

Koeficijenti zamjene

TSC 06.541:2009, PROJEKTIRANJE DIMENZIONIRANJE OJAČITEV OBSTOJEĆIH ASFALTNIH VOZIŠNIH KONSTRUKCIJ

TSC 06.520:2009, PROJEKTIRANJE DIMENZIONIRANJE NOVIH ASFALTNIH VOZIŠNIH KONSTRUKCIJ

Strukturni broj pretpostavljene konstrukcije računa se po formuli:

$$SN = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 + a_3 \cdot D_3, \quad (3.6.)$$

gdje je:

SN - strukturni broj kolničke konstrukcije [cm],

$a_{1,2,3}$ - koeficijenti zamjene, koji ovise o vrsti materijala u pojedinim slojevima kolničke konstrukcije,

$D_{1,2,3}$ - debljine pojedinih slojeva kolničke konstrukcije [cm].

Za dimenzioniranje kolničke konstrukcije prema AASHTO metodi strukturnog broja (SN – Structural Number) u tablici 2-2 dani su strukturni brojevi za pojedine kombinacije recikliranog materijala stabiliziranog bitumenom ili cementom.

Tablica 2-2 Koeficijent ekvivalencije za izračun strukturnog broja (SN) za sloj proizveden od reciklirane mješavine drobljenog kamenog materijala ili prirodnog šljunka stabilizirane bitumenom ili cementom

Vezivo u recikliranoj sloju	Koeficijent ekvivalencije za izračun strukturnog broja (SN)	
	Drobljeni kameni materijal	Prirodni šljunak
Cement	0,15 – 0,20	0,10 – 0,15
Upjenjeni bitumen ili bitumenska emulzija	0,28 – 0,35	0,22 – 0,28

Napomena: Ako nema ispitivanja koja potvrđuju odabrani SN preporuča se korištenje niže vrijednosti.

Determination of Structural Equivalency Factors of Recycled Layers By Using Field Data

ADRIAN VAN WYK, ELDON J. YODER, AND LEONARD E. WOOD

- D_1 = asphalt surface thickness = 1.25 in (32 mm),
- a_1 = 0.44,
- D_2 = foamed-asphalt recycled-layer thickness = 5.5 in,
- a_2 = between 0.26 and 0.37,
- D_3 = remaining initial pavement-layer thickness = 1 in (25 mm),
- a_3 = 0.10 (low value assumed since the layer can be broken up and cracked),
- D_4 = granular-layer thickness = 4.5 in (115 mm), and
- a_4 = 0.11.

Razpredelnica 1: Povprečne vrednosti količnikov ekvivalentnosti osnovnih cestogradbenih materijalov

Vrsta materijala	Količnik ekvivalentnosti - a_i
- za obrabno plast: - bitumenski beton - drobir z bitumenskim mastiksom	$a_o = 0,42$ $a_o = 0,42$
- za zgornjo vezano nosilno plast: - bituminizirani drobljenec - bituminizirani prodec	$a_{zv} = 0,35$ $a_{zv} = 0,28$
- za spodnjo vezano nosilno plast: - stabilizirana zmes kamnitih zrn - z bitumnom - s cementom	$a_{sv} = 0,24$ $a_{sv} = 0,20$
- za spodnjo nevezano nosilno plast: - drobljenec - prodec	$a_{sn} = 0,14$ $a_{sn} = 0,11$ ¹⁾

Legenda:

¹⁾ omejen z debelino plasti 40 cm



DIMENZIONIRANJE KOLNIČKIH KONSTRUKCIJA

Koeficijenti zamjene

3.3. Metoda AASHO za dimenzioniranje asfaltnih kolničkih konstrukcija

Tablica 3.5. Koeficijenti zamjene

Dijelovi kolničke konstrukcije	Koeficijent zamjene		
	a ₁	a ₂	a ₃
<i>Kolnički zastor</i>			
- Asfalt koji se radi na cestama (mala stabilnost)	0,20		
- Asfalt proizveden u asfaltnoj bazi (visoka stabilnost)	0,44		
- Pješčani asfalt	0,40		
<i>Gornji nosivi sloj</i>			
- Pjeskoviti šljunak		0,07	
- Drobljeni kamen		0,14	
- Materijal stabiliziran cementom s tlačnom čvrstoćom nakon 7 dana			
> 4,5 MN/m ²		0,23	
2,8 - 4,5 MN/m ²		0,20	
< 2,8 MN/m ²		0,15	
- Stabilizacija zrnatog materijala bitumenom		0,30	
- Stabilizacija tla bitumenom		0,25	
- Stabilizacija tla vapnom		0,15-0,30	
<i>Donji nosivi sloj</i>			
- Pjeskoviti šljunak			0,11
- Pijesak ili pjeskovita glina			0,05-0,10

3.4. Metoda za dimenzioniranje asfaltnih kolničkih konstrukcija po HRN U.C4.012.

Tablica 3.6. Prosječni koeficijenti zamjene

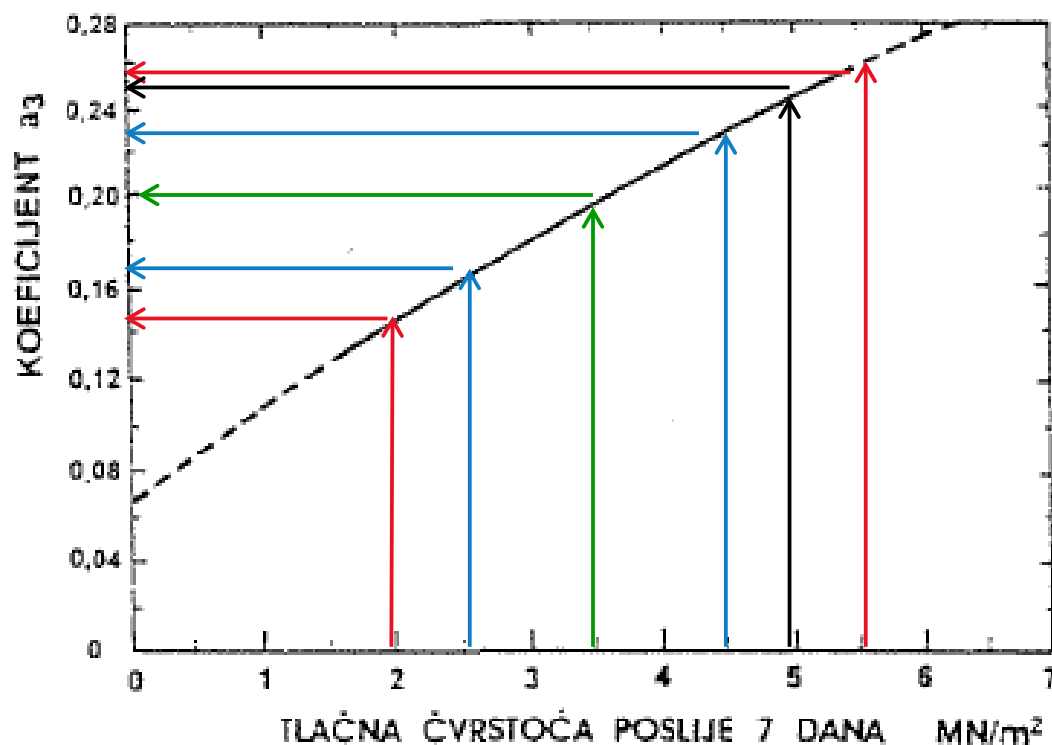
Vrsta materijala	Prosječni koeficijent zamjene materijala	Sastav i svojstva prema HRN
Asfaltbeton	0,42	U.E.4.014
Bitumenizirani drobljeni kameni materijal	0,35	U.E.9.021
Bitumenizirani šljunak s dodatkom kamene sitneži (min. 30%)	0,33	U.E.9.021
Bitumenizirani šljunak	0,28	U.E.9.021
Bitumenizirani materijal za donje nosive slojeve	0,24	U.E.9.028
Stabilizacija cementom	0,20	U.E.9.024
Stabilizacija vapnom	0,17	U.E.9.026
Tucanik	0,14	U.E.9.020
Drobljeni kameni materijal	0,12	U.E.9.020
Pjeskoviti prirodni šljunak	0,11	U.E.9.020
Drobljeni prirodni šljunak	0,11	
Prirodni šljunkoviti pijesak	0,07	



STRUKTURNI KOEFICIJENTI

— korelacije svojstava i koeficijenata zamjene – cementna stabilizacija

3.4. Metoda za dimenzioniranje asfaltnih kolničkih konstrukcija po HRN U.C4.012.



Slika 3.12. Koeficijenti zamjene za nosivi sloj od zrnatoga kamenog materijala stabiliziranog cementom u ovisnosti o tlačnoj čvrstoći

Tehnički uvjet za tlačnu čvrstoću nakon 7 dana

TSC 06.320:2001, 2,5-4,5 MPa, $a_3 = 0,17-0,23$

TU HR 2011, 2,0-5,0 MPa, $a_3 = 0,14-0,24$

TU HR 2011, $a_3 = 0,15-0,20$

OTU 2001, 2,0-5,5 MPa, $a_3 = 0,14-0,26$

Srednja vrijednost za proračun, $a_3 = 0,20$



STRUKTURNI KOEFICIJENTI

korelacije svojstava i koeficijenata zamjene – cementna stabilizacija

$$E_c = 915.48 + 1314.9 q_u \quad \text{where } E_c = \text{elastic modulus (psi)}.$$

where

E_c = chord modulus (MPa), and

q_u = unconfined compressive strength.

A multiple regression model was fit to the obtained data. The best-fit model is as follows:

$$E_c = 17759 + 579.77(C) + 9.6113(\gamma_d) \quad (22)$$

where

E_c = chord modulus (MPa),

C = cement content (% by weight), and

γ_d = dry unit weight (kg/m^3).

Layer coefficients were determined by use of the AASHTO nomograph. The equation for the relationship between a_2 and the modulus was derived from the nomograph:

$$a_2 = -2.7170 + 0.49711 \log E_c \quad (23)$$

Substitution of the elastic moduli for the previous equation resulted in the layer coefficients. The layer coefficient values ranged from 0.09 to 0.27, depending on the clay content, dry unit weight, and cement content. Increasing the cement content and dry unit weight increased the layer coefficient, whereas increasing the clay content lowered the layer coefficient.

LAYER COEFFICIENTS FOR NEW AND REPROCESSED ASPHALTIC MIXES

REPORT NUMBER: WI/SPR-04-00

H. U. Bahia, Assistant Professor; P. J. Bosscher, Professor; J. Christensen, Research Assistant; and Yu Hu, Research Assistant

University of Wisconsin - Madison Dept. of Civil and Environmental Engineering



COLD RECYCLED LAYER EVALUATION IN PAVEMENT DESIGN

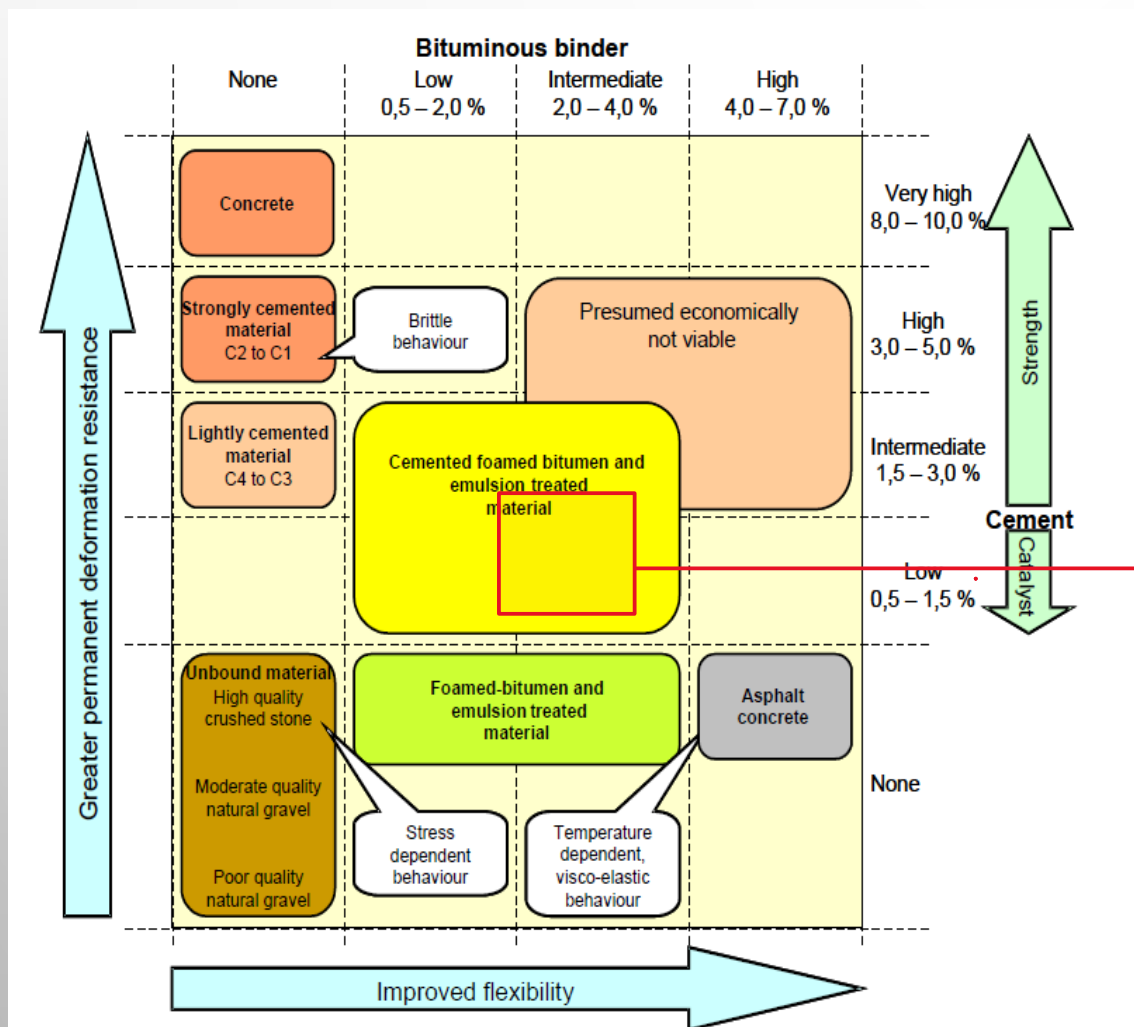


Figure 2. Matrix of the basic characteristics of road-building materials.

Tablica 2-4 Orjentacijski udio veziva u recikliranoj mješavini za procjenu troškova radova

Udio veziva u recikliranoj mješavini (% m/m)	
Hidraulična veziva	Bitumenska veziva
1,5 - 4	1,5 – 3,0



KORELACIJE SVOJSTAVA- Moduli

Suggested structural layer coefficients for bitumen stabilised material (BSM)

Structural layer coefficient (per inch)	0.18	0.23	0.28	max 0.35
Indirect tensile strength (ITS) after stabilisation				
100/150 mm Ø specimens				
ITS _{DRY} (kPa)	125	175	225	
ITS _{WET} & ITS _{SOAK} (kPa)	50	75	100	
150 mm Ø specimens				
ITS _{EQUIL} (kPa)	95	135	175	
Indicated shear properties				
Cohesion (kPa)	50	100	250	
Angle of Friction (°)	25	30	40	
Material CBR value before stabilisation (at field density)				
(Materials with CBR < 20% not recommended)	20	40	80	
Anticipated application rate of bitumen for stabilisation (% by mass)				
	2.5-4.0	2.0-3.0	1.8-2.3	

SUGGESTED STRUCTURAL LAYER COEFFICIENTS FOR FOAMED BITUMEN STABILISED MATERIAL

per cm	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14
per inch	0.13	0.16	0.21	0.26	0.30	0.35
STRUCTURAL LAYER COEFFICIENTS AFTER STABILISATION						
INDICATIVE STIFFNESS (RESILIENT MODULUS)						
Initial Stiffness Phase 1 (MPa)	500	750	1000	1500	2000	2500
Equilibrium Stiffness Phase 2 (Mpa)	100	250	400	550	700	800
Indirect Tensile Strength (kPa)	100	150	200	300	400	500
ANTICIPATED MATERIAL CHARACTERISTICS AFTER STABILISATION						
Note: For structural design traffic greater than 300 000 ESAL's the Indirect Tensile Strength (ITS) value should always be obtained from the foamed bitumen mix design.						

Layer coefficient ranges for foamed bitumen stabilised materials, Recycled Pavements Using Foamed Asphalt in Minnesota, A.Eller, R.Olson, MN/RC 2009/09 Minnesota DOT, St. Paul, Minnesota 2009

Resilient Moduli ranges for BSMs

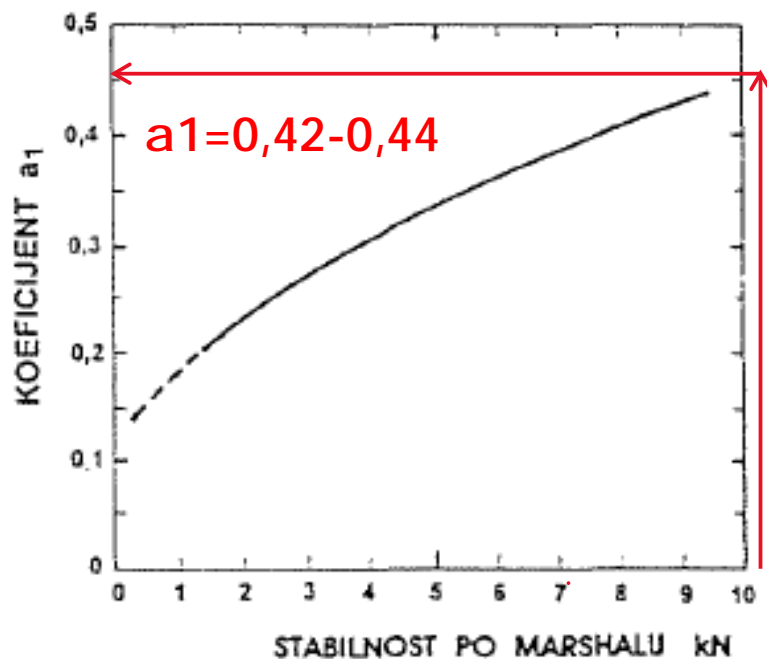
Material type	Bitumen Content of BSM (%)	Resilient Modulus MR(MPa)
100% RAP	1.6 to 2.0	1,000 to 2,000
RAP/crushed stone (50:50 blend)	1.8 to 2.5	800 to 1,500
Graded crushed stone	2.0 to 3.0	600 to 1,200
Natural gravel (PI < 10, CBR>45)	2.2 to 3.5	400 to 800
Natural gravel (PI < 10, CBR>25)	2.5 to 4.0	300 to 600



NORME ZA DIMENZIONIRANJE

– korelacije svojstava i koeficijenata zamjene

3.4. Metoda za dimenzioniranje asfaltnih kolničkih konstrukcija po HRN U.C4.012.



Slika 3.10. Koeficijenti zamjene za asfaltbeton i nosivi sloj od bitumeniziranoga drobljenog kamenog materijala u ovisnosti o Marshalllovom stabilitetu

Temperatura pri ispitivanju 60°C

Tip asfalta	Stabilitet
BBTM 11B PmB 45/80-65	9,6
SMA 11 PmB 45/80-65	9,92
AC 8 surf B 50/70	13,2
AC 11 surf PmB 45/80-65	13,2
AC 32 base B 50/70	15,8

Temperatura pri ispitivanju 15°C

Tip asfalta	Stabilitet
BBTM 11B PmB 45/80-65	18,7
SMA 11 PmB 45/80-65	23,4
AC 8 surf B 50/70	31,9
AC 11 surf PmB 45/80-65	32,3
AC 32 base B 50/70	26,7

Napomena: Stabilitet po Marshall-u se više ne ispituje iako je osnova za dimenzioniranje



KORELACIJE SVOJSTAVA- STABILITET

Table 2
Testing results of foam bitumen treated materials (gradation A).

Foam bitumen (%)	Cement (%)	Density (g/cm ³)	Optimum moisture (%)	ITS (kPa)		TSR (%)	Marshall stability (kg)	Flow (0.01 mm)	Q (kg/mm)
				Dry	Soaked				
1.0	1.3	2.00	6.4	250	155	62	1225	405	302
1.5	1.3	1.98	6.3	264	167	63	1170	360	325
2.0	1.3	1.96	6.2	279	215	77	1050	330	318
2.5	1.3	1.94	6.5	310	235	76	915	300	305
3.0	1.3	1.93	6.5	299	218	73	815	290	281
3.5	1.3	1.92	6.3	225	205	91	785	285	275
4.0	1.3	1.91	6.4	185	164	89	700	280	250
4.5	1.3	1.90	6.3	175	155	89	525	270	194

$a_3 = 0,42 * 0,6 = 0,25$

Table 3
Testing results of foam bitumen treated materials (gradation B).

Foam bitumen (%)	Cement (%)	Density (g/cm ³)	Optimum moisture (%)	ITS (kPa)		TSR (%)	Marshall stability (kg)	Flow (0.01 mm)	Q (kg/mm)
				Dry	Soaked				
1.0	1.3	2.05	6.6	225	195	87	1650	465	355
1.5	1.3	2.03	6.5	272	235	86	1590	425	374
2.0	1.3	2.02	6.7	285	243	85	1455	415	351
2.5	1.3	2.01	6.5	315	265	84	1375	385	357
3.0	1.3	1.98	6.6	325	272	84	1245	350	356
3.5	1.3	1.96	6.4	310	212	68	1095	320	342
4.0	1.3	1.94	6.7	265	207	78	965	295	327
4.5	1.3	1.93	6.8	248	190	77	795	275	289

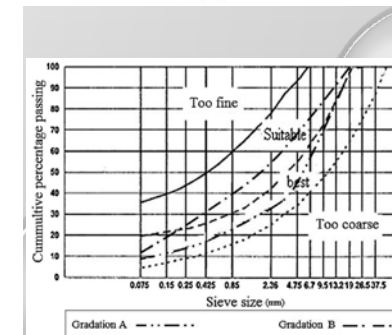
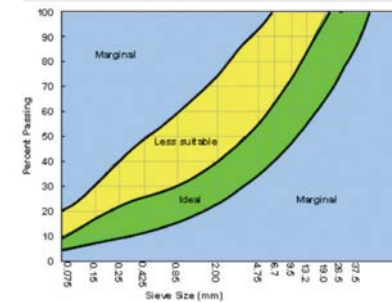


Fig. 1. Aggregate gradations of foam bitumen stabilized base layer.

Application of foam bitumen in cold recycling and hydrated, lime in airport pavement strengthening, Leila Hashemian a,^{*}, Amir Kavussi b, Homayoun H. Aboalmaali



HRVATSKO ASFALTERSKO DRUŠTVO

CROATIAN ASPHALT ASSOCIATION

KORELACIJE SVOJSTAVA-ISTRAŽIVANJA

Table 2.2. Properties of Cold Recycled Mixtures from the Literature

Reference	Stability (lb)	Hveem R	E (psi)	Remarks
66	4,200-9,000	85-95	60,000-200,000	28 day cure Emulsion added at 77°F
66	5,900-8,400	91-95	100,000-200,000	28 day cure Foamed asphalt added at 77°F
32	85-1,394	--	--	at 140°F

E = elastic modulus
 1 psi = 6.9 kPa
 °C = 5/9 (°F-32)
 1 lb. = 4.45N

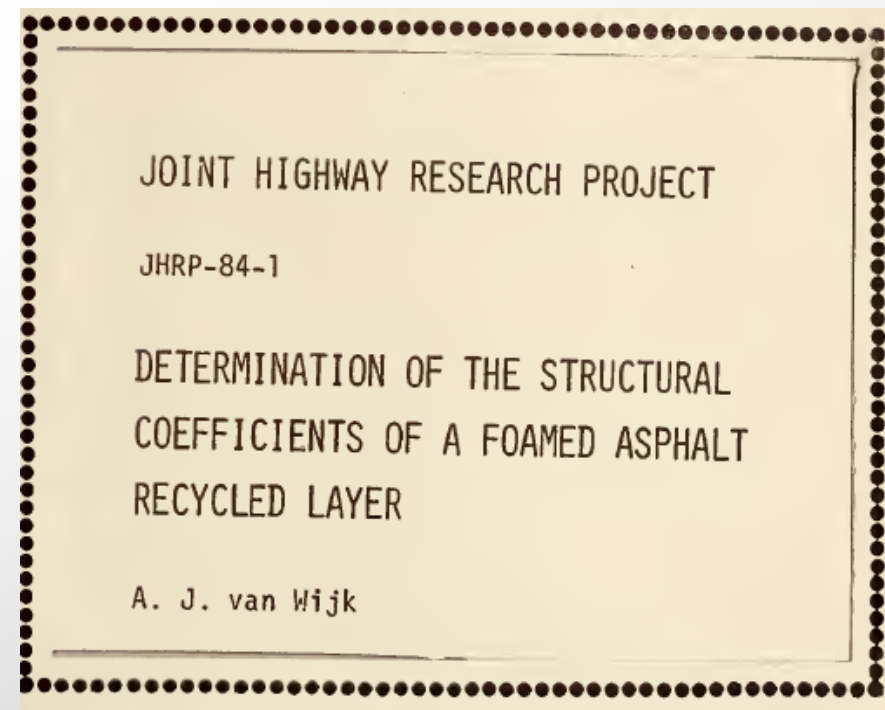


TABLE 1 Results of Laboratory Strength Tests

Specimen	Time after Construction (days)	Resilient Modulus			Marshall Stability			Hveem R-Value		
		N	Avg (psi)	SD (psi)	N	Avg (lb)	SD (lb)	N	Avg	SD
Foamed asphalt	10	43	97,400	26,100	12	1,960	1,050	25	78.3	9.2
Foamed asphalt	375	12	333,000	84,000	3	2,900	100	10	82.0	9.0
Emulsion	400	14	247,000	82,000	5	3,300	790	11	84.5	5.6

Note: SD = standard deviation; N = number of samples; 1 lb = 4.448 N; 1 psi = 6.89 kPa.



KORELACIJE SVOJSTAVA- Moduli

Uvjeti ispitivanja: $t=20^{\circ}\text{C}$, $f=8\text{ Hz}$

Naziv projekta	Oznaka uzorka	ITSR Wet (MPa)	ITSR Dry (MPa)	Resilient Modul (MPa)	Stabilitet (kN)
DC 407, prolaz kroz Zadar	Probna dionica 1, km 0+130, desno	0,366	0,507	4194	5,8 kN
DC 407, prolaz kroz Zadar	Km 0+280, desno	0,403	0,512	3983	5,4 kN
DC 407, prolaz kroz Zadar	Profil 116, desno	0,415	0,514	4793	5,3 kN
DC 9, dionica Metković - Opuzen	Probna dionica	/	/	1054	/
DC 9, dionica Metković - Opuzen	Od profila P21 do profila P27	/	/	993	/
DC 9, dionica Metković - Opuzen	Profil 75, raspon ugradnje od P72 do P81	/	/	3353	/
DC 1, Grab-Vučipolje	km 0+680	0,217	0,317	1356	3,1 kN



KORELACIJE SVOJSTAVA- Moduli

Project	Age (years)	Laboratory Resilient Modulus ¹		Backcalculated Modulus		Layer Equivalence Based on Equal Strain		Layer Coefficient ²
		MPa	ksi	MPa	ksi	BSM	ATB	
Belgrade-Rt8	>2	1243.8	180.4	999.3	144.9	1.00	0.67	0.22
Orient Cary-Rt.1	<1	2111.3	306.2	655.0	95.0	1.18	0.78	0.23
Farmington-Rt.156	<1	2453.7	355.9	1827.1	265.0	1.23	0.82	0.22
Macwahoc-Rt 2A	<1	3325.8	482.4	2505.1	363.3	1.35	0.91	0.35

1: Laboratory tests were conducted on cores taken from top part of the layer only. Intact cores could only be taken from top 100mm of the layers.

2: Determined according to procedure outlined in AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993 as done in Reference 3.

TABLE 1: Project Descriptions

Project	Location	Mix Design
Route 1A, Orient-Cary	The project is located in Aroostook County, on Route 1 between the towns of Orient and Cary Plantation.	PG 64-28 asphalt binder, 2.5 % , Water, 3.0 % , Portland Cement, 1.5 %
Route 2A, Macwahoc – T1R4 WELS	The project is located in Aroostook County, on Route 2A between the towns of Macwahoc and T1R4 WELS.	PG 64-28 asphalt binder, 3.0 % , Water, 3.0 % , Portland Cement, 1.5 %
Route 15, Bucksport	The project is located in Hancock County, on Route 15 in the town of Bucksport	PG 64-28 asphalt binder, 2.5 % , Water, 3.0 % , Portland Cement, 1.5 %

Determination of Structural Layer Coefficient for Roadway Recycling Using Foamed Asphalt, Maine Department of Transportation & Worcester Polytechnic Institute, Brian Marquis, Dale Peabody, Rajib Mallick and Tim Soucie

KORELACIJE SVOJSTAVA- Moduli

All laboratory test results on optimum mix designs of BSMS-foam are presented in Table 4.

Table 4: Foamed Bitumen Stabilised Mix Characteristics

No.	Lab. No.	Bitumen Stabilised Mix Characteristics								Road Section
		Mix	Max.	ITS	ITS	Ratio	S'm	S'm	Ratio	
		Bulk	Dry	Dry	Wet	ITS	Dry	Wet	S'm	
		Density	Density			W/D			W/D	
		kg/m ³	kg/m ³	kPa	kPa	%	MPa	MPa	%	
1	52-A-11	2191	2336	418	342	81,8	4526	4370	96,6	H3/ 0090 and 690
2	53-A-11	2150	2247	400	322	80,5	3625	1011	27,9	H3/ 0090 and 690
3	490-A-11	2198	2151	482	431	89,4	4068	3255	80,0	R3-646/1196
4	464-A-11	2267	2216	544	439	80,7	7056	6491	92,0	R1-216/1177
5	108-A-11	2175	2232	374	304	81,3	5234	3556	67,9	R3-642/1360
Average value		2196	2236	444	368	82,7	4902	3737	72,9	

Table 4: Foamed Bitumen Stabilised Mix Characteristics

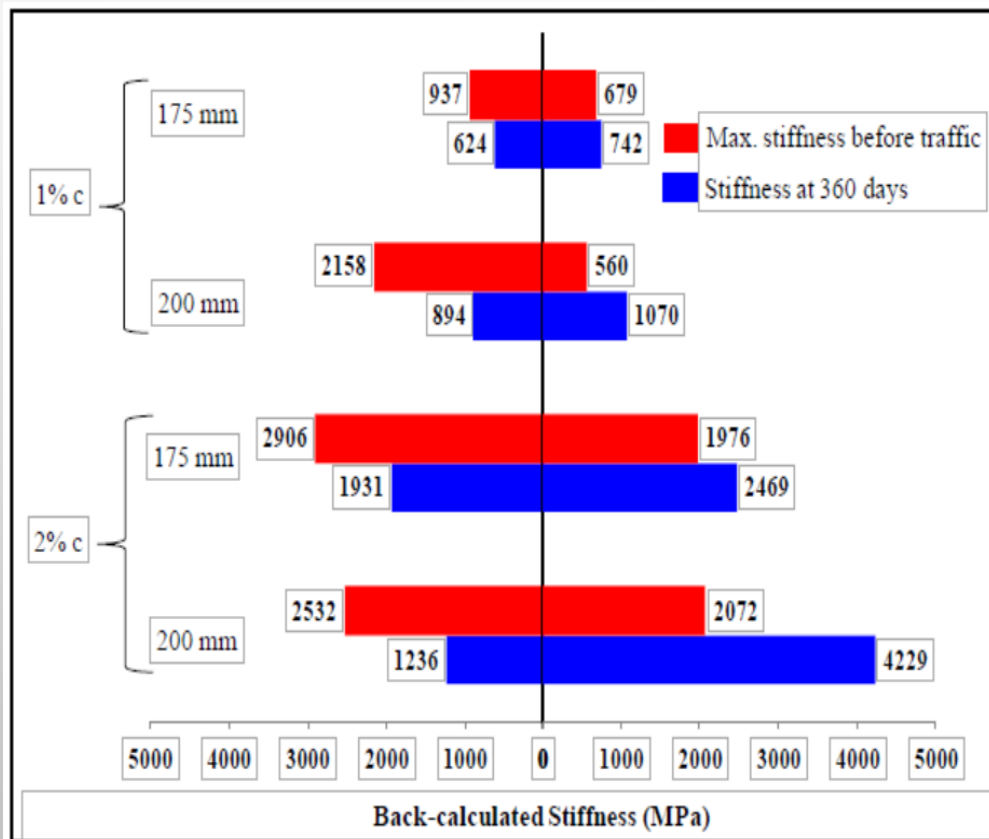
No.	Lab. No.	Bitumen Stabilised Mix Characteristics								Road Section
		Mix	Max.	ITS	ITS	Ratio	S'm	S'm	Ratio	
		Bulk	Dry	Dry	Wet	ITS	Dry	Wet	S'm	
		Density	Density			W/D			W/D	
		kg/m ³	kg/m ³	kPa	kPa	%	MPa	MPa	%	
1	52-A-11	2191	2336	418	342	81,8	4526	4370	96,6	H3/ 0090 and 690
2	53-A-11	2150	2247	400	322	80,5	3625	1011	27,9	H3/ 0090 and 690
3	490-A-11	2198	2151	482	431	89,4	4068	3255	80,0	R3-646/1196
4	464-A-11	2267	2216	544	439	80,7	7056	6491	92,0	R1-216/1177
5	108-A-11	2175	2232	374	304	81,3	5234	3556	67,9	R3-642/1360
Average value		2196	2236	444	368	82,7	4902	3737	72,9	

QUALITATIVE CHARACTERIZATION OF FOAMED BITUMEN STABILISED MIXES

Aleksander Ljubic, Roman Baselj, Natasa Zavrtanik, Mitja Kozamernik, Damijan Zore Igmat d.d. Building Materials Institute, Ljubljana, Slovenia



KORELACIJE SVOJSTAVA- Moduli



15th INTERNATIONAL FLEXIBLE PAVEMENTS CONFERENCE OF AAPA,

Alan Lynch, Kim Jenkins, Stellenbosch University

Finally, the benefits of BSM--

-foam bitumen stabilisation are notable after a year construction with M_r values between **600 and 1000 MPa (with 1% cement) and > 2000 MPa (with 2% cement)**.

The equivalent M_r values of the granular material are between 350 and 550 MPa.

Alan Lynch, Kim Jenkins, Stellenbosch University



Strukturni koeficijenti - literatura:

Structural Coefficients, AASHTO example

	Existing Road Material			
	Very Dirty	Rounded Ag High Fines	Med Quality Ag Med. Fines	High Quality Ag High RAP
Base Treatment				
<i>Untreated</i>	< 0.10	0.10 - 0.12	0.12 - 0.14	≥ 0.14
<i>Hydrated Lime</i>	0.12	0.14	N/A	N/A
<i>Cement (CTB) (soil cement)</i>	0.14 - 0.23 (depends upon % cement & material; lower for less cracking)			
<i>Emulsion*</i>	0.12	0.12 - 0.16	0.16 - 0.20	0.20 - 0.23
<i>EE Granular Base Stabilization</i>	N/A	0.18 - 0.20	0.21 - 0.22	
<i>EE Full Depth Reclamation</i>	N/A		0.22 - 0.24	0.25 - 0.28
<i>Foam*</i>				0.25
<i>CIR (EE)</i>				0.28 - 0.33+
* Values are from the literature. All values here generalized; each agency has own point of view. Values validated by FWD Coefficients depend upon: 1. Material quality 2. Passing the mix design criteria 3. Passing quality control requirements				

Table 13. Summary Table of AASHTO Structural Coefficients Determined for the Various Types of Recycled Materials Studied.

Type of Recycled Material	Layer Used As	Range of a_j Computed	Average Computed a_j	a_j for Corresponding Layer and Material at AASHTO Road Test
Central Plant Recycled Asphalt Concrete	Surface	0.37-0.59	0.48	0.44
In-Place Recycled Asphalt Concrete Stabilized with Asphalt and/or an Asphalt Modifier	Base	0.22-0.49	0.39	0.35
In-Place Recycled Asphalt Concrete and Existing Base Material Stabilized with Cement	Base	0.23-0.43	0.33	0.15-0.23
In-Place Recycled Asphalt Concrete and Existing Base Material Stabilized with Lime	Base	0.40	0.40	0.15-0.30

EVALUATION OF CERTAIN STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF RECYCLED PAVEMENT MATERIALS

Dallas N. Little
Assistant Professor of Civil Engineering
Texas A&M University

Jon A. Epps
Professor of Civil Engineering
Texas A&M University



KORELACIJE SVOJSTAVA- Moduli

Uvjeti ispitivanja: $t=20^{\circ}\text{C}$, $f=8\text{ Hz}$

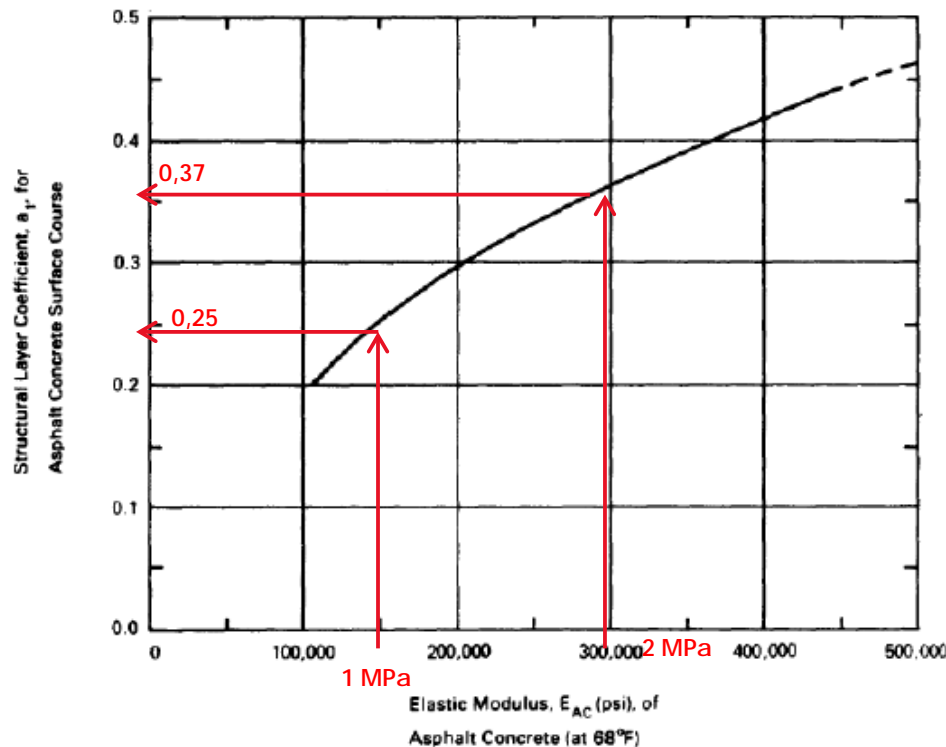


Figure 2. Chart for estimating layer coefficient for asphalt concrete based on elastic modulus (AASHTO, 1993)

1 psi = 6,9 kPa, $t = 20^{\circ}\text{C}$

The layer coefficient a_2 for nonstabilized base materials is given by:

$$a_2 = 0.249 \log E_2 - 0.977 \quad (13)$$

and the layer coefficient a_3 for nonstabilized subbase materials is given by:

$$a_3 = 0.227 \log E_3 - 0.839 \quad (14)$$

in which:

E_2 = resilient modulus of unbound base layer materials

E_3 = resilient modulus of unbound subbase layer materials

The layer coefficients in the AASHTO Road Test were assumed equal to 0.44 for asphalt concrete, which corresponds to a $M_R = 450,000$ psi; 0.14 for the granular base, corresponding to $M_R = 30,000$ psi; and 0.11 for the subbase, equivalent to $M_R = 15,000$ psi.

The subgrade is characterized solely by its resilient modulus in Eq. (7). There are also several correlations between M_R and other soil properties that can be found in the literature. Most of them relate M_R to CBR or R-Value (Heukelom and Klomp, 1962; Asphalt Institute, 1982; Van Til et al., 1972 – after Huang, 1993; NCHRP, 2004).

Implementation of the NCHRP 1-37A Design Guide

Final Report

Volume 2: Evaluation of Mechanistic-Empirical Design Procedure

MDSHA Project No. SP0077B41
UMD FRS No. 430572

Submitted to:

Mr. Peter Stephanos
Director, Office of Material Technology
Maryland State Highway Administration
Lutherville, MD 21093

Written by:

Charles W. Schwartz Associate Professor
Regis L. Carvalho Graduate Research Assistant



Department of Civil and Environmental Engineering
The University of Maryland
College Park, MD 20742

February, 2007

KORELACIJE SVOJSTAVA- Dinamički deformacijski modul

Tablica 2.14. Korelacije pokazatelja nosivosti i deformabilnosti tla i slojeva nevezanoga zrnatog kamenog materijala

CBR [%]	Modul elastičnosti (njemački propisi) [MPa]		Dinamički modul elastičnosti [MPa]	Modul stišljivosti (švicarski propisi) [MPa]	Modul reakcije podloge [MN/m ³]
	E _{v1}	E _{v2} (*)	E	Ms	k
3	9	(15)	30	12	25
4	10	(17)	40	13,5	34
5	11	(19)	50	14,5	38
6	13	(22)	60	17	43
7	16	(27)	70	21	47
8	18.5	(31)	80	24,5	50
10	21	(36)	100	28	54
15	28	(48) 75	150	37	65
20	33	(55) 85	200	44	74
30	44	110	300	58,5	94
40	58	130	400	77	115
50	68	150	500	90	136
60	78	160	600	105	160
80	93	180	800	125	187
100	105	190	1000	140	215

(*) Vrijednosti u zagradi odnose se na koherentne materijale, a bez zagrade na nekoherentne materijale.

Rezultati ispitivanja MS-a kreću se u rasponu od 110 MPa do 195 MPa (od 700 do cca 3000 MPa dinamički modul elastičnosti)



HRVATSKO ASFALTERSKO DRUŠTVO



CROATIAN ASPHALT ASSOCIATION

Istraživanje i razvoj

Stiffness Identification of Foamed Asphalt Mixtures with Cement, Evaluated in Laboratory and In Situ in, Road Pavements, ukasz Skotnicki *, Jarosław Kuźniewski and Antoni Szydło
Roads and Airports Department, Faculty of Civil Engineering, Wrocław University of Science and Technology, 50-370 Wrocław, Poland; jaroslaw.kuzniewski@pwr.edu.pl (J.K.); antoni.szydlo@pwr.edu.pl (A.S.)

When analyzing the results from Tables 6 and 7 and Figure 15 the stiffness modulus value determined in the laboratory is comparable with the modules of the material used in situ. As a result of the analyzes, a good correlation between field and laboratory tests was obtained in the analyzed range of temperatures. The conversion factor of the modules "k" determines the relationship (4), which describes the ratio of the stiffness modules defined in the laboratory to the values of the field modules, as a function of temperature.

$$k = 0.8417 \cdot e^{0.001 \cdot T}, \quad (4)$$

where:

k—module conversion factor [-],

T—FAC layer temperature [°C].

The "k" conversion factor takes values from 0.84–0.87 depending on the temperature—Table 8.

Table 8. List of conversion factor "k" values.

Temperature T [°C]	Factor k [-]
-2	0.84
10	0.85
25	0.86
32	0.87

4.3. Fatigue Durability of Pavement Layers Structure

Using the obtained module values and the model presented in Figure 14, the fatigue life of the structure was calculated for the designed thicknesses. Equation (5), developed by the authors, describes the criterion for the FAC mixture:

$$\epsilon = \epsilon_6 \cdot (k)^{0.78721} \cdot \left(\frac{N_f}{10^6} \right)^{(-0.57403 \cdot A + 0.64234 \cdot C)} \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \quad (5)$$

where:

ϵ —strain in the FAC layer,

ϵ_6 —strain at millionth load cycle, 0.000168 was adopted,

$N_{f/30}$ —number of load cycles to achieve a decrease in the complex stiffness modulus to 30% of the initial value,

A—percentage of new asphalt in the FAC layer, 4.16% was adopted,

C—percentage of cement in the FAC layer, 3.38% was adopted,

k—a conversion factor of the modules defined in the laboratory to the modules in situ, for a temperature of 10 °C,

f_1 —a shift factor dependent on stiffness of FAC mixture, range between 0.8–1.0, was adopted 0.81,

f_2 —a shift factor dependent on bearing capacity of subgrade, range between 0.8–1.0, was adopted 0.83,

f_3 —a shift factor dependent on heterogeneity of FAC mixture, range between 0.8–0.95, was adopted 0.92.

For the identified modules and model from Figure 14, strains at the bottom of the FAC layer were calculated. $\epsilon = 0.0000412$ was obtained. Using Equation (5), $N = 29,500,000$ axles of 115 kN were calculated (fatigue life). The required minimal number of load axles for the road pavement is equal 12,000,000 axles 115 kN.

5. Conclusions

The conducted analyses for FAC mixtures (foamed asphalt mixtures with cement) showed that:

Table 2. Composition of FAC mixtures.

No.	Material Name	Share in MM [%]	Share in FAC [%]			
			Recipe No.			
			C3A3	C4A3	C3A5	C2A3
1	Reclaimed asphalt pavement (RAP)	15.10	13.14	12.98	12.83	13.29
2	Stone base	28.30	24.62	24.34	24.05	24.90
3	Crushed granite stone	28.30	24.62	24.34	24.05	24.90
4	Material for improving gradation	28.30	24.62	24.34	24.05	24.90
5	CEM I 42.5	C	3.38	4.38	3.38	2.38
6	Foamed asphalt	A	3.50	3.50	5.50	3.50
7	Water	W	6.13			

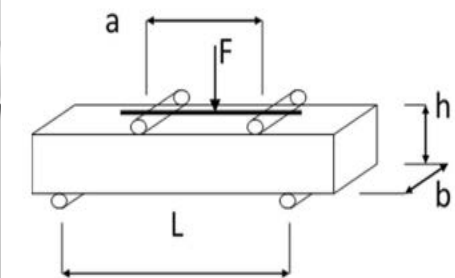
$$\epsilon = \epsilon_6 \cdot (k)^{0.78721} \cdot \left(\frac{N_f}{10^6} \right)^{(-0.57403 \cdot A + 0.64234 \cdot C)} \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3$$

Table 4. Properties of the FAC mixture (C3A3).

Analyzed Feature	Samples Compacted in the Laboratory		
	Curing Conditions		
	7 Days	14 Days	28 Days
Density [g/cm ³]	2.520	2.522	2.525
Bulk density [g/cm ³]	2.218	2.220	2.226
Air void content [%]	11.75	11.69	11.66
Marshall stability [kN]	10.06	11.33	11.84
Marshall flow [mm]	0.84	0.78	0.76
Compressive strength [MPa]	1.62	2.21	2.45



Figure 2. Beam-Flex apparatus.



ISPITIVANJA TRIAKSIJALNIH SVOJSTAVA

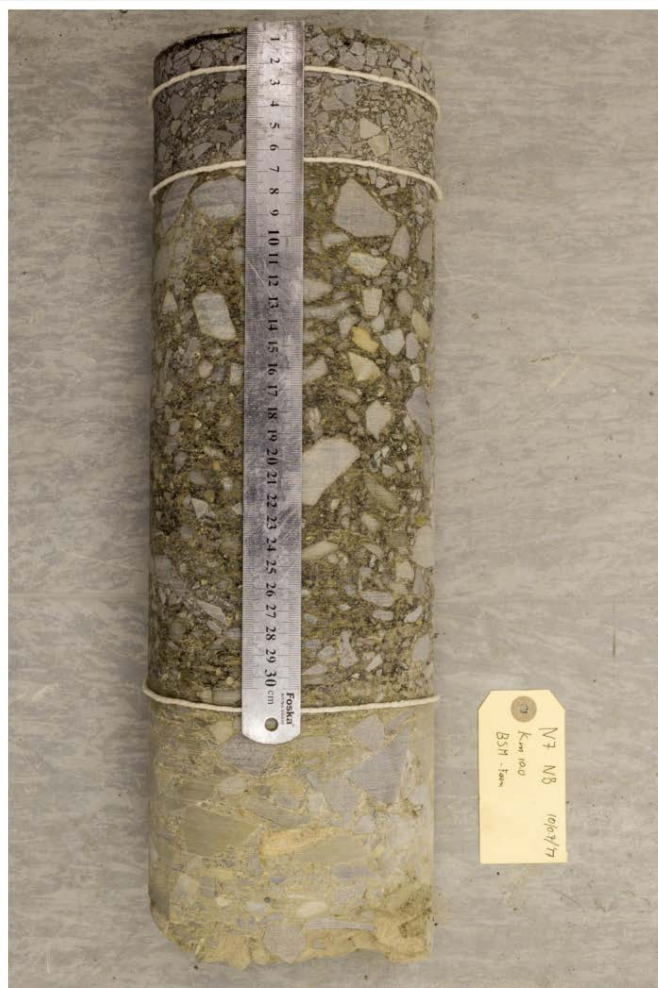


Figure 3.19: BSM foam core before preparation

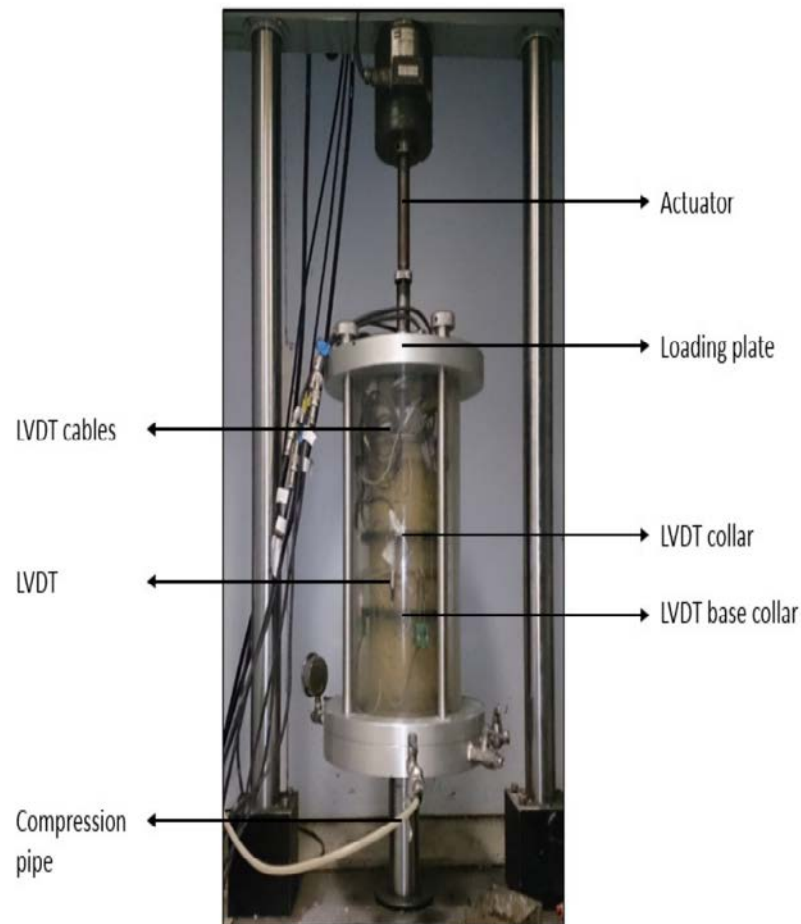


Figure 4.27: Core after triaxial testing (NB km 16 tested at 0 kPa)

Istraživanje i razvoj - Tehnički propis za asfaltne kolnike

Tablica A14: Bitumenske mješavine od asfaltbetona za habajuće slojeve asfaltnih kolnika svih prometnih površina osim operativne površine aerodroma - fundamentalni pristup

Asfaltbeton za habajuće slojeve HRN EN 13108-1 (fundamentalni pristup)		Tipovi asfaltbetona		
		F1	F2	F3
		AC 11 surf	AC 8 surf; AC 11 surf	AC 8 surf AC 11 surf
Sastavni materijali	Primjenska oznaka smjese agregata	AG1	AG2	AG3 i AG4
	Cestograđevni bitumen	-	35/50; 50/70	50/70; 70/100
	Polimerom modificirani bitumen	25/55-55; 25/55-65; 45/80-65; 45/80-55		
	Reciklažni asfalt	dopušten		
Fizikalno-mehanička svojstva bitumenske mješavine				
Točka 5.2.2 ^(a)	Udio šupljina, V, %(V/V)	V _{min3}		V _{min2,5}
		V _{max7}		V _{max6}
Točka 5.2.4 ^(b)	Najmanji omjer indirektna vlačne čvrstoće, ITSR, (%)	ITSR ₈₀		
Točka 5.2.6 ^(c) Tablica 8	Najveća brzina deformacije, WTS _{AIR} , (mm/10 ³ cikl.)	WTS _{AIR 0,07}	WTS _{AIR 0,07} ^(f)	WTS _{AIR 0,10} ^(g)
Točka 5.2.6 ^(c) Tablica 9	Najveća relativna dubina kolotruga, PRD _{AIR} , (%)	PRD _{AIR 7,0}		PRD _{AIR 9,0}
Točka 5.4.4 ^(d)	Najmanja relativna deformacija pri 10 ⁶ ciklusa, ε ₆ , (μm/m)	ε ₆₋₁₆₀	ε ₆₋₁₃₀	ε ₆₋₁₀₀
Točka 5.4.2 ^(e)	Modul krutosti, S, (MPa)	S _{min 4 500} S _{max9 000}	S _{min 3 600} S _{max9 000}	S _{min 3 600} S _{max9 000}
Otpornost na niske temperature ^(h)	Temperatura sloma, T _{failure} (°C) MRVČ ⁽ⁱ⁾ , Δβ _{t,max} , (MPa) Temperatura pri MRVČ ⁽ⁱ⁾ , T(Δβ _{t,max}), (°C)	max. -28 min. 4,0 max. -10	ne ispituje se	



HRVATSKO ASFALTERSKO DRUŠTVO

CROATIAN ASPHALT ASSOCIATION

ZAKLJUČAK:

- Dimenzioniranje bi trebalo raditi na temelju projekta sastava reciklirane mješavine u kojem su iskazana potrebna svojstva iz kojih se mogu točnije odrediti koeficijenti zamjene.
- Modul krutosti za mješavine stabilizirane bitumenskim vezivom bi trebalo obavezno iskazati a preporučiti mjerenje triaksijalnih svjstava, osobito na projektima iznimno teškog prometnog opterećenja.
- Preporuke za drobljeni kameni materijal kad ne postoje ispitivanja – projekt sastava, koeficijenti ekvivalencije na razini idejnog rješenja:

Vezivo u recikliranoj sloju	Koeficijent ekvivalencije za izračun strukturnog broja (SN)	
	Drobljeni kameni materijal	Prirodni šljunak
Cement	0,15 – 0,20	0,10 – 0,15
Upjenjeni bitumen ili bitumenska emulzija	0,28 – 0,35	0,22 – 0,28

CNS IN SITU $a=0,15$
CNS IN PLANT $a=0,18$

BSM (FB) IN SITU $a=0,28$, $S_m= 800$ MPa
BSM (FB) IN PLANT $a=0,32$, $S_m= 1000$ MPa

- Veće vrijednosti odabirati na temelju rezultata provedenih ispitivanja
- Dozvoliti upotrebu prirodnog šljunka i na cestama teškog prometnog opterećenja.
- Razmotriti da se povećaju propisane vrijednosti za ITSr
- Definirati uvjet kvalitete za modul stišljivosti sloja na kojem se izvodi reciklaža in plant, preporuka **MS min 60 MPa** za ceste srednjeg prometnog opterećenja odnosno **80 MPa** za ceste teškog prometnog opterećenja.
- Kod recikliranja In situ preporuka je da se obavezno provedu FWD mjerenja



HRVATSKO ASFALTERSKO DRUŠTVO



CROATIAN ASPHALT ASSOCIATION

Hvala na pažnji!