

CHANGE OF MECHANICAL PROPERTIES OF ASPHALT CONCRETE SAMPLES DEPENDING ON THE LOADING RATE AND TEMPERATURE**ASFALTBETONA PARAUGU MEHĀNISKO ĪPAŠĪBU IZMAIŅA ATKARĪBĀ NO SLOGOŠANAS ĀTRUMA UN TEMPERATŪRAS****Viktors Haritonovs**, *M.sc.ing**Riga Technical University, Institute of Transportation**Riga, Azenes st. 16/20-230**Ph.d student, lecturer**Phone: +3717089283**E-mail: vh@e-apollo.lv***Eduards Skukis**, *M.sc.ing**Riga Technical University, Institute of Materials and Structures**Riga, Azenes st. 16/20**Ph.d student**Phone: +3717089124**E-mail: edskukis@bf.rtu.lv***Juris Naudžuns**, *Prof., dr.sc.ing**Riga Technical University, The Institute of Transportation**Riga, Azenes st. 16/20**Phone: +3717089287**E-mail: naudzuns4@bf.rtu.lv***Juris Smirnovs**, *Prof., dr.sc.ing**Riga Technical University, The Institute of Transportation**Riga, Azenes st. 16/20**Phone: +3717089278**E-mail: smirnovs@bf.rtu.lv***Atslēgas vārdi:** *Asfaltbetona paraugs, slogošanas ātrums, deformatīvās īpašības***Ievads**

Ceļa segums šodien ir pakļauts ļoti lielai transporta slodzei un satiksmes intensitāte ar katru gadu tikai palielinās. Līdz ar to kļūst aktuāls jautājums kā izvairīties vai samazināt ceļa seguma bojājumus. Zināms, ka temperatūras un

slogošanas ātruma maiņa krasi ietekmē asfaltbetona deformatīvās īpašības, kuras pamatā nosaka to darbspēju ceļa segumā. Tas norāda uz to, ka piemērotas metodikas izstrāde, kas novērtētu gan temperatūras, gan slogošanas ātruma ietekmi uz asfaltbetona deformatīvajām īpašībām ir aktuāls jautājums. Deformatīvo stabilitāti Latvijā šodien novērtē ar Maršala testu [1], nosakot mehānisko bīdes stiprību ar konstantu saspiešanas ātrumu (50mm/min) pie 60°C temperatūras. Tomēr testa rezultāti tieši neļauj prognozēt vai paliekošā deformācija jeb risu veidošanās notiks[2]. Tāpēc nepieciešama padziļināta asfaltbetona mehānisko īpašību izpēte un esošo metožu pilnveidošana.

Pētījuma mērķis un uzdevumi

Pētījuma mērķis – izanalizēt slogošanas ātruma un temperatūras ietekmi uz šķembu mastikas asfaltbetona SMA 11 un blīvā asfaltbetona AC 11 Maršala paraugu mehāniskajām īpašībām.

Lai sasniegtu šo mērķi, jāatrisina sekojoši uzdevumi:

1. AC 11 un SMA 11 Maršala paraugu izgatavošana ar Maršala metodi [3], izmantojot Rīgas ielu un ceļu būvniecībai plaši pielietotos asfaltbetona maisījuma sastāvus. (sk. 1.,2. un 3. tabulu).
2. Asfaltbetona paraugu fizikāli-mehāniskā testēšana saskaņā ar EN standartu prasībām;
3. Paraugu spiedes stiprības noteikšana uz statistiskās slogošanas iekārtas Zwick Z-100:
 - a) pie slogošanas ātrumiem 50mm/min un 3 mm/min;
 - b) paraugu temperatūra 20°C un 60°C (paraugi 60min izturēti termostatā);

Tabula 1. AC-11/A asfaltbetona maisījuma sastāvs

Izejmateriāla nosaukums, tips, ražotājs	Frakcija, mm	Daudzums (masas %)	
Diabaza šķembas	(Zviedrija)	8-11	23,85
Diabaza šķembas	(Zviedrija)	5-8	7,63
Diabaza drupinātas atsijas	(Zviedrija)	2-5	1,91
Diabaza drupinātas atsijas	(Zviedrija)	0-5	58,21
Mīnerālais pulveris	(Saulkalne)	.....	3,82
Bitumens 70/100	B70/100	.....	4,58

Tabula 2. AC-11/B asfaltbetona maisījuma sastāvs

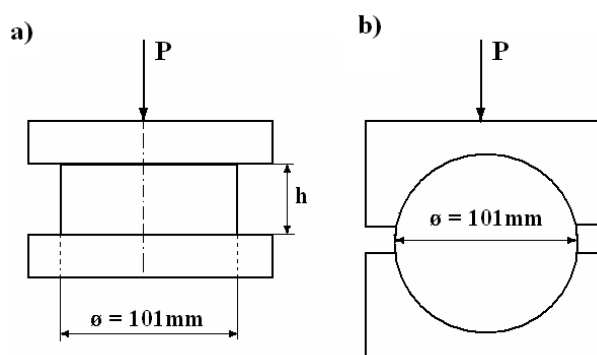
Izejmateriāla nosaukums, tips, ražotājs	Frakcija, mm	Daudzums (masas %)	
Dolomīta šķembas	(Lietuva)	5-11	43,2
Dolomīta drupinātas atsijas	(Pļaviņas)	2-5	10,3
Dabīgā smiltis	(SIA Vējažakusala un Ko)	0-5	32,8
Mīnerālais pulveris	(Saulkalne)	.....	7,5
Bitumens 70/100	B70/100	.....	6,2

Tabula 3. SMA-11 asfaltbetona maisījuma sastāvs

Izejmateriāla nosaukums, tips, ražotājs	Frakcija, mm	Daudzums (masas %)	
Diabaza šķembas	(Zviedrija)	8-11.2	51,7
Diabaza šķembas	(Zviedrija)	5.6-8	17,9
Diabaza drupinātas atsijas	(Zviedrija)	2-5	0,9
Diabaza drupinātas atsijas	(Zviedrija)	0-5	15,1
Minerālais pulveris	(Saulkalne)	.....	8,5
Celulozes granulas	(Vācija)	.....	0,4
Bitumens 70/100	B70/100	.....	5,5

Metodika

Eksperimenta veikšanai izgatavota Maršala paraugu sērija. Paraugi izgatavoti ar triecienu blīvētāju saskaņā ar EN 12697-30 standarta [4] prasībām. Triecienu skaits izvēlēts saskaņā ar Autoceļu specifikācijas 2005 [5] prasībām pie satiksmes intensitātes AADT_j > 3500 (gada vidējā diennakts satiksmes intensitāte). Tā kā Maršala prese nebija maināms slogošanas ātrums, maksimālā deformācijas pretestība bīdē noteikta pie konstanta saspiešanas ātruma 50mm/min. Tomēr deformatīvo īpašību izpētei pie mainīgiem slogošanas ātrumiem un temperatūrām tika izmantota statiskā slogošanas iekārta Zwik Z-100. 1. attēlā ir parādītas slogošanas shēmas nosakot paraugu bīdes (sk.1b att.) un spiedes (sk. 1a att.) stiprību. Tā kā asfaltbetona Maršala paraugu spiedes stiprības noteikšanas metode nav reglamentētā nevienā EN standartā, tad testēšanas veikšanai izmantoti Maršala testa standarta metodes nosacījumi, kas attiecas uz paraugu sagatavošanu testēšanai - termostatēšanas laiks, testēšanas formas sagatavošana un starppārbažu laiks.



1. att. Maršala paraugu slogošanas veids. a) spiedes stiprība uz statiskās slogošanas iekārtas Zwik; b) bīdes stiprība uz Maršala preses.

Slogošanas ātruma izvēle balstās uz profesora Kirjukina un Bartneva pētījumu [6], kur tika izmantota enerģētiskā metode paliekošu deformāciju izpētei pie slogošanas ātrumiem 3mm/min un 50mm/min. Bīdes un spiedes stiprības radītāji ļauj veikt minerālā materiāla karkasa iekšējās berzes leņķa izpēti saskaņā ar Mora – Kulona sabrukuma teoriju.

Pārbaudes temperatūra izvēlēta pamatojoties uz asfaltbetona seguma darba temperatūru karstā vasaras periodā, kad seguma virsma sasilst līdz pat 60°C [7].

Teorētiskais pārskats par slogošanas ātruma ietekmi uz asfaltbetona deformatīvajām īpašībām

Asfaltbetons ir izteikts viskozi-elastīgi-plastisks materiāls. Asfaltbetonam piemīt gan sprieguma relaksācija (Maksvela modelis), gan kavējuma elastīgums (Kelvina modelis). Viskozi-elastīgā ķermeņa deformatīvās īpašības var aprakstīt ar vienādojumu:

$$\sigma + n\dot{\sigma} = E\dot{\epsilon} + Bn\dot{\epsilon} \quad (1)$$

Vienādojums (1) ir spēkā gadījumos, ja ķermenim piemīt, gan spriegumu relaksācija, gan kavējuma elastīgums. Pie pastāvīgas slodzes kad:

$$\epsilon = \dot{\epsilon}_0 t$$

iegūst:

$$\sigma = Ce^{-t/n} + E \dot{\epsilon}_0 t + (B-E)n\dot{\epsilon}_0 \quad (2)$$

kur:

E – ilgstošais elastības modulis MPa; B – momentālais elastības modulis MPa;

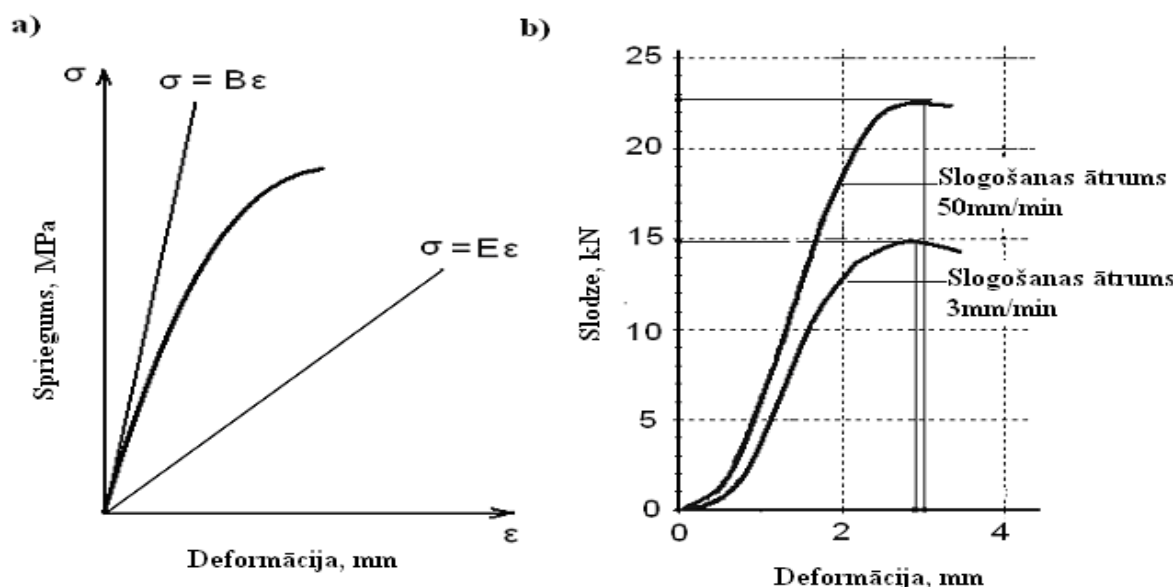
ϵ – deformācija, ϵ_0 – momentānā deformācija ($t = 0$), mm;

$\dot{\epsilon} = d\epsilon/dt$ – deformācijas ātrums, mm/s;

$n = \lambda/E$ – spriegumu relaksācijas laiks, s;

λ – lineārā viskozitāte Pa·s;

t – laiks, s.



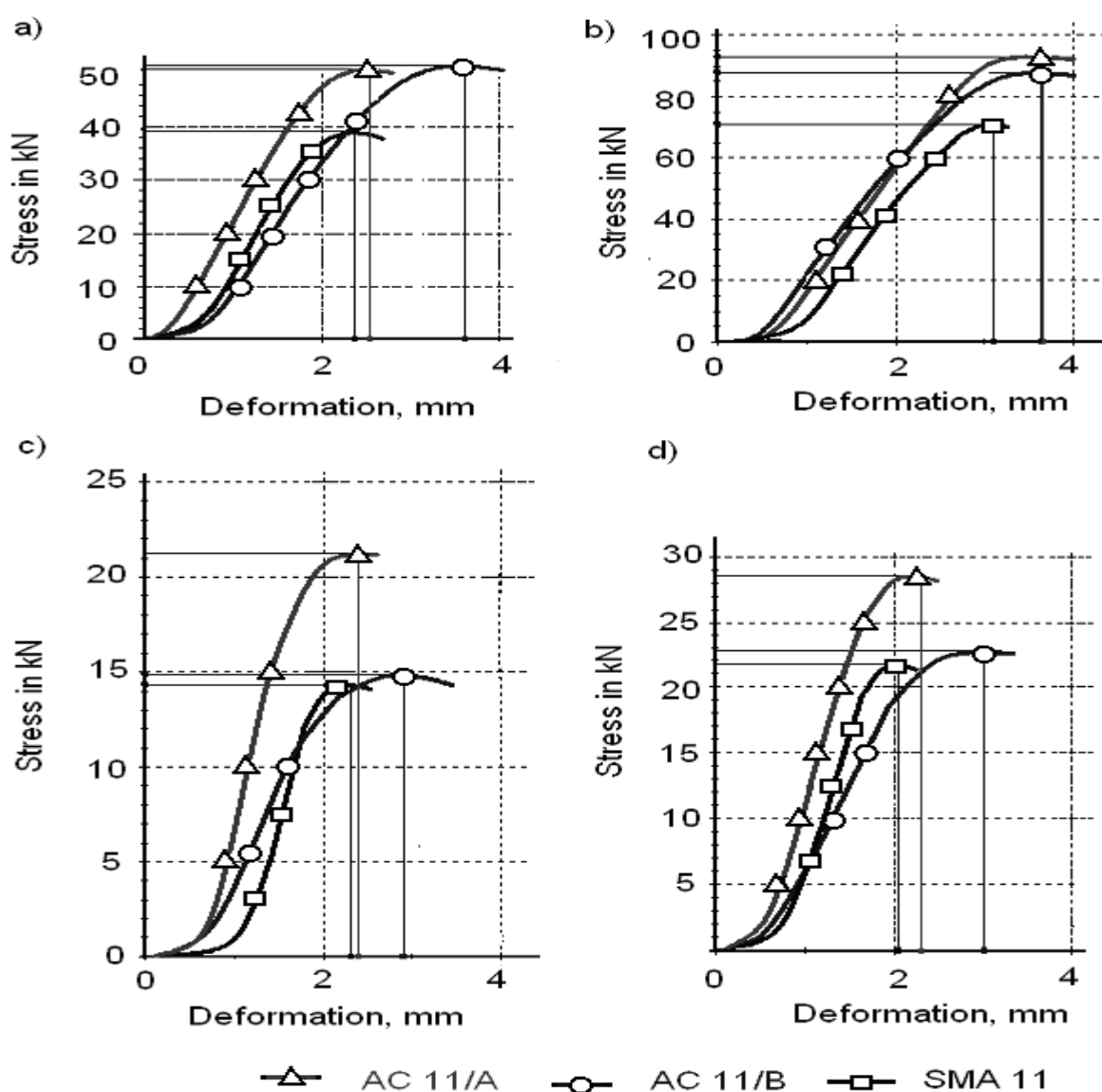
2. att. Sakarība starp deformācijas ātrumu un stiprību. a) teorētiskā sakarība lineāri deformējama elastīgi – viskozā ķermenī [8]; b) eksperimentālā sakarība asfaltbetona Maršala paraugam AC-11/B pie 60°C

Vienādojumu (2) var izmantot aptuvenai sprieguma deformācijas stāvokļa novērtēšanai, it īpaši pie zemām temperatūrām, kad asfaltbetonam piemīt trausla

ķermeņa īpašības. Tas ļauj teorētiski nevērtēt sprieguma-deformācija likumsakarību mainīgas slodzes gadījumā. Deformācijas ātruma samazināšanas gadījumā pie $\epsilon_0 \rightarrow 0$ līkne spriegums - deformācija tuvosies taisnei $\sigma = E\epsilon$, bet pie $\epsilon_0 \rightarrow \infty$ taisnei $\sigma = B\epsilon$ [8](sk. 2a att.).

Rezultātu analīze

3. attēlā grafiski parādītas eksperimentāli iegūtās sprieguma - deformācijas līknes. Asfaltbetona Maršala paraugu elastības moduļa rezultāti ir apkopoti 4. tabulā. Elastības moduļa skaitliskās vērtības atkarībā no asfaltbetona tipa, temperatūras un sloģošanas ātruma ir robežās no 79MPa līdz 348MPa.



3. att. Asfaltbetona Maršala paraugu stiprība spiedē
a) pie 20°C sloģošanas ātrums 3mm/min; b) pie 20°C sloģošanas ātrums 50mm/min;
c) pie 60°C sloģošanas ātrums 3mm/min; d) pie 60°C sloģošanas ātrums 50mm/min.

Analizējot temperatūras ietekmi uz paraugu spiedes stiprības īpašībām ir vērojams straujš stiprības kritums pie 60°C salīdzinājumā ar paraugu stiprību pie 20°C (sk. 5.tabula). Stiprības izmaiņa ir izskaidrojama ar asfaltbetona saistvielas –

bitumena viskozitātes samazinājumu. Lielāka stiprības izmaiņa atkarībā no slogošanas ātruma vērojama pie 20°C, kad stiprība visiem paraugiem samazinās gandrīz divas reizes salīdzinot ar 60°C.

Tabula 4. Elastības modulis dažādiem asfaltbetona tiem, pie atšķirīgiem slogošanas ātrumiem un temperatūrām

Asfaltbetona tips	Slogošanas ātrums, mm/min	Parauga temperatūra, °C	E, MPa	Asfaltbetona tips	Slogošanas ātrums, mm/min	Parauga temperatūra, °C	E, MPa
AC 11/A	3	20	249	AC 11/A	50	20	348
AC 11/A	3	60	174	AC 11/A	50	60	204
AC 11/B	3	20	200	AC 11/B	50	20	318
AC 11/B	3	60	79	AC 11/B	50	60	102
SMA 11	3	20	224	SMA 11	50	20	376
SMA 11	3	60	114	SMA 11	50	60	182

Tabula 5. Maršala paraugu stiprības izmaiņa atkarībā no temperatūras un slogošanas ātruma

Asfaltbetona tips	Asfaltbetona paraugu bīdes stiprība, kN	Spēks uz spiedes asfaltbetona paraugu, kN			
	Slogošanas ātruma 50mm/min	Slogošanas ātruma 50mm/min		Slogošanas ātruma 3mm/min	
		20°C	60°C	20°C	60°C
AC 11/A	11,0	92,1	28,4	50,5	21,2
AC11/B	9,1	89,2	22,9	50,0	15,0
SMA 11	8,6	72,2	21,8	39,8	14,2

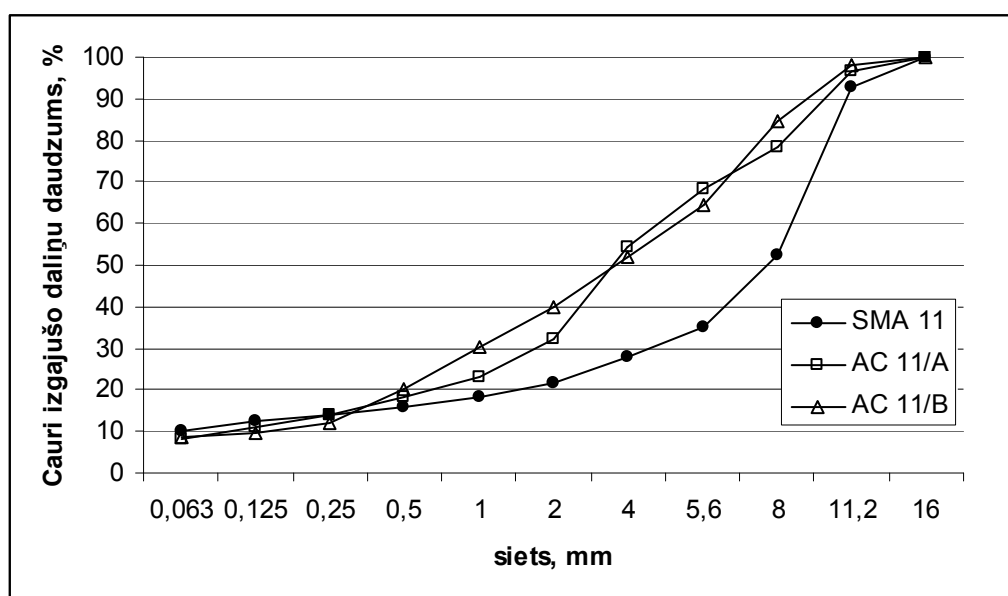
6. tabulā ir apkopotas asfaltbetona Maršala paraugu fizikāli – mehāniskās īpašības. Tās atbilst Autoceļu 2005 specifikāciju prasībām. Asfaltbetona tipam AC-11/B par pildvielu ir izmantotas dažādu frakciju dolomīta šķembas. Neskatoties uz dolomīta viduvēju stiprību un cietību, tām piemīt ļoti labas adhēzijas īpašības ar bitumena saistvielu. Tomēr rezultāti parāda, ka šim materiālam pie līdzīgiem stiprības rādītājiem ir zemāks elastības modulis un lielākais stiprības kritums mainot asfaltbetona paraugu temperatūru no 20°C uz 60°C. Šiem paraugiem, salīdzinājumā ar paraugiem AC-11/A un SMA -11, ir lielāks bitumena saturs (sk. 2. tabulu). Tas izskaidrojams, ar to, ka dolomīta pildvielai ir lielāka virsma nekā, piemēram, granītam un diabazam, līdz ar to ir nepieciešams lielāks saistvielas daudzums lai pārklātu dolomīta šķembas daļiņas.

Tabula 6. Asfaltbetona Maršala paraugu un to izejvielu īpašības

Īpašības un parametri	Mērvienība	Rezultāts		
		AC-11/A	AC-11/B	SMA-11
- minerālā materiāla daļiņu blīvums	g/cm ³	2,959	2,755	2,985
- minerālā karkasa porainība	tilpuma %	15,0	18,1	17,3
- a/b tilpuma blīvums	g/cm ³	2,689	2,399	2,607
- a/b maksimālais blīvums	g/cm ³	2,745	2,490	2,700
- a/b paliekošā porainība	tipuma%	2,04	3,65	3,44
- a/b ar bitumenu aizpildīto poru saturs	%	85,5	80,0	80,3
- a/b Maršala stabilitāte	kN	11,0	9,1	8,6
- a/b Maršala plūstamība	mm	2,1	2,2	2,2

Paraugiem AC-11/A un SMA-11 ir izmantotas diabaza šķembas un bitumena saistviela B70/100 (sk. 1. un 3. tabula), bet atšķirīgi granulometriskie sastāvi (sk. 4.

att.), līdz ar to atšķirīgi minerālo karkasu pakojumi. Minerālā karkasa stiprība ir noteicošais faktors, kas ietekmē asfaltbetona seguma stiprību. SMA-11 asfaltbetona minerālo karkasu raksturo lauza granulometriskā līkne ar lielu rupjo pildvielu saturu. Šī materiāla izmantošanas praktiskā pieredze rāda labu deformatīvo noturību pie lielām transporta slodzēm. Arī eksperimenta rezultāti uzrāda, ka asfaltbetona paraugam SMA-11 pie zemākas stiprības ir lielākais elastības modulis salīdzinājumā ar asfaltbetona paraugu AC-11/B. Paraugiem AC-11/A un SMA 11 ir līdzīgi elastības moduļi, bet atšķirīgi stiprības rādītāji.



Siets, mm	0,063	0,125	0,25	0,5	1,0	2,0	4,0	5,6	8,0	11,2	16,0
AC-11/A	8,0	10,9	14,1	18,1	23,2	32,2	54,2	68,5	78,5	96,8	100
AC-11/B	8,5	9,8	12,2	20,4	30,4	40,0	51,8	64,4	84,6	97,9	100
SMA-11	10,3	12,3	14,1	15,9	18,1	21,7	27,7	35,0	52,3	92,8	100

4.att. Asfaltbetona Maršala paraugu granulometriskais sastāvs

Secinājumi

1. Eksperimenta rezultāti apstiprina asfaltbetona deformatīvo īpašību atkarību no slogošanas ātruma un temperatūras. Tomēr, lai reālos apstākļos prognozētu paraugu deformatīvo noturību zem smagas transporta slodzes, jāveic papildus mehānisko īpašību testēšana, kā, piemēram, dinamiskā slogojuma ietekmes novērtējums un spriegumu relaksācijas izpēte zem pastāvīgas slodzes.
2. Noskaidrots, ka risu veidošanās dinamikas pētījumos ir svarīgi novērtēt minerālā materiāla izcelsmi, jo vienāda tipa asfaltbetona maisījumi AC 11, kurā izmantoti vienāda tipa bitumēni, bet atšķirīgas izcelsmes minerālmateriāli (AC11/A – diabāza šķembas, AC11/B – dolomīta šķembas) uzrāda atšķirīgas deformatīvās īpašības.
3. SMA-11 un AC-11/A asfaltbetona paraugiem ar vienādas izcelsmes minerālmateriālu un bitumēnu, bet atšķirīgiem granulometriskiem sastāviem ir atšķirīgi stiprības un deformācijas rādītāji.
4. Pētījumam izvēlēta metodika ļauj novērtēt asfaltbetona mehāniskās īpašības plašā temperatūras un slogošanas ātruma diapazonā, un salīdzinājumā ar

Maršala metodi, tā uzskatāma par piemērotāku metodi risu veidošanās dinamikas izpētei.

Literatūras saraksts

1. [LVS EN 12697-34:2004](#) Bituminētie maisījumi - Karstā asfalta maisījuma testēšanas metodes - 34.daļa: Maršala tests.
2. V. Haritonovs, J. Naudžuns, J. Smirnovs. Maršala testa piemērotība risu veidošanās prognozēšanas izpētei asfaltbetona segās // RTU Zinātniskie raksti. Arhitektūra un būvzinātne. Sērija 2. Sējums 7. Rīga 2006. lpp 143-149.
3. Hugh A. Wallace, J. Rogers Martin. Asphalt pavement engineering. McGRAW – HILL Book Company 1967, p. 253 – 265.
4. EN 12697-30: 2004 Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part 30: Specimen preparation by impact compactor.
5. "Road Specification 2005" approved by Order No 13.1-10/1 of the Road Traffic Department of the Ministry of Traffic on July 2005 p.47-83.
6. G.N. Kiryukhin. Designing of asphalt pavement on the ultimately permissible irreversible deformation. Soyuzdornii, Moscow 2004.
7. V. Haritonovs, J. Naudžuns, J. Smirnovs. Ceļa segu risu veidošanās cēloņu noteikšana // Starptautiskās konferences „Būvniecība 2005” Zinātniskie raksti. LLU Jelgava 2005- lpp. 52-58.
8. В.А.Гастев „Краткий курс сопротивления материалов”. Издательство „НАУКА”. Главная редакция физико – математической литературы. Москва 1977, стр. 398-418.

Haritonovs V., Skuķis E., Naudžuns J., Smirnovs J. Asfaltbetona paraugu mehānisko īpašību izmaiņa atkarībā no slogošanas ātruma un temperatūras.

Šodien asfaltbetona sastāva projektēšanas procedūra ietver sevī Maršala testu. Tas paredzēts nosacītu deformācijas radītāju – deformatīvās stabilitātes un plūstamības ar konstantu saspiešanas ātrumu 50mm/min pie 60°C temperatūras noteikšanai. Tomēr lai izstrādātu pret transporta slodzi noturīgu asfaltbetona segumu, ir jānovērtē asfaltbetona deformatīvās īpašībās pie mainīgas temperatūras un slogošanas ātruma. Eksperimentam ir izmantoti trīs asfaltbetona maisījuma sastāvi – AC11/A (blīvais asfaltbetons ar diabāza pildvielu), AC11/B (blīvais asfaltbetons ar dolomīta pildvielu) un SMA 11 (šķembu mastikas asfaltbetons ar diabāza pildvielu), no kuriem izgatavoti Maršala paraugi. Tā kā Maršala preseī ir konstants saspiešanas ātrums, eksperiments ir veikts uz statiskās slogošanas iekārtas Zwick Z-100. Paraugiem noteikta spiedes stiprība pie dažādiem slogošanas ātrumiem un temperatūrām, kā arī bīdes stiprība pie normētiem EN 12597-34 testēšanas apstākļiem. Eksperimenta dati ļāvuši iegūt sprieguma-deformācijas līknes, izanalizēt tās, un noteikt asfaltbetona paraugu elastības modulūsus. Konstatēts, ka paraugiem ar diabāza pildvielu - SMA-11 un AC-11/A ir labākā deformatīvā noturība nekā paraugiem AC11/B. Tomēr risu veidošanās dinamikas pētījumos ir nepieciešams turpināt padziļinātu asfaltbetona mehānisko īpašību izpēti, nosakot tādas svarīgas deformatīvās īpašības, kā spriegumu relaksācija un deformatāciju uzkrāšanās dinamiskās slodzes ietekmē.

Haritonovs V., Skuķis E., Naudžuns J., Smirnovs J. Change of mechanical properties of asphalt concrete samples depending on the loading rate and temperature

At present, the asphalt concrete designing procedure includes the Marshall test. It is anticipated for determining the conditional deformation indices – deformational stability and flow with the constant pressing rate of 50mm/min at the temperature of 60°C. However, to develop the stable asphalt concrete surfacing to the transport load, the asphalt concrete deformational properties at the changing temperature and loading rate are to be evaluated. Three compositions of asphalt concrete mixtures have been used for the experiment – AC11/A (Dense Asphalt with the diabase aggregate), AC11/B (Dense Asphalt with the dolomite aggregate) and SMA 11 (Stone Mastic Asphalt with the diabase

aggregate), of which the Marshall samples were produced. As the Marshall press has the constant pressing rate, the experiment was performed on the static loading equipment Zwick Z-100. Press strength at different loading rates and temperatures was determined for the samples, as well as shear strength at the reference testing circumstances in accordance with EN 12597-34. Data of the experiment allowed obtaining the stress-deformation curves, analyzing those and determining the resilient modulus. It has been established that the samples with the diabase aggregate - SMA-11 and AC-11/A have better deformational stability than the samples AC11/B. However, for the rutting formation dynamics in the research, it is required to continue profound research of the asphalt concrete mechanical properties, determining such important deformational properties, as stress relaxation and accumulation of deformations at the dynamic load

Харитонов В., Скукис Э., Науджунс Ю., Смирнов Ю. Изменение механических свойств асфальтобетона в зависимости от температуры и скорости нагрузки

Сегодня в процедуру проектирования асфальтобетона включен тест Маршала. Тест предназначен для определения условных деформационных показателей – стабильности и текучести по Маршалу, определённых с постоянной скоростью сжатия 50мм/мин при температуре 60°C. Для разработки выносливого к транспортной нагрузке асфальтобетонного покрытия необходимо оценить деформационные свойства асфальтобетона в широком интервале температур и при разных скоростях нагрузок. Для испытания составов была изготовлена серия образцов Маршала. В эксперименте использованы три состава асфальтобетона - плотные AC 11/A (заполнитель диабаз) и AC 11/B (заполнитель доломит), и щебнемастичный SMA 11 (заполнитель диабаз). На прессе статического сжатия ZWIK – 100, были проведены испытания образцов при разных скоростях нагрузок и температур. В результате эксперимента полученные диаграммы деформации – напряжения, были проанализированы и определены модули эластичности. Констатируется, что у образцов с диабазным наполнителем AC11/A и SMA 11 деформационные показатели лучше, чем показатели образцов AC 11/B на доломитном наполнителе. Для исследования образования колеи на дороге необходимо продолжить исследования механических свойств асфальтобетона. Определить такие важные свойства асфальтобетона, как релаксация напряжений и накопление деформаций при динамической нагрузке.