

Primljen / Received: 27.8.2012.

Ispravljen / Corrected: 5.11.2012.

Prihvaćen / Accepted: 29.11.2012.

Dostupno online / Available online: 15.12.2012.

Istraživanje veziva asfaltnih slojeva kolničkih konstrukcija u Litvi

Autori:



¹Prof. dr. sc. **Audrius Vaitkus**
audrius.vaitkus@vgtu.lt



²Prof. dr. sc. **Donatas Čygas**
donatas.cygas@vgtu.lt



²Prof. dr. sc. **Alfredas Laurinavičius**
alfredas.laurinavicius@vgtuu.lt



¹Dr. sc. **Viktoras Vorobjovas**
viktoras.vorobjovas@vgtu.lt



¹**Rita Kleizienė**, PhD student
rita.kleiziene@vgtu.lt

¹ Roads Research Institute
Vilnius Gediminas Technical University,
Lithuania

² Department of Road
Vilnius Gediminas Technical University,
Lithuania

Prethodno priopćenje

Audrius Vaitkus, Donatas Čygas, Alfredas Laurinavičius, Viktoras Vorobjovas, Rita Kleizienė

Istraživanje veziva asfaltnih slojeva kolničkih konstrukcija u Litvi

Način povezivanja slojeva asfaltne kolničke konstrukcije izravno utječe na čvrstoću i trajnost kolnika. Ako veza nije pravilno izvedena, kolnik postaje sklizak, dolazi do habanja, pucanja, propadanja kolnika i pojave pukotina te smanjenja vijeka trajanja. Kvaliteta veze između slojeva kolnika određena je direktnim ispitivanjem na smicanje, takozvanom Leutnerovom metodom bez pojave normalnog naprezanja u uzorku. Uzorci za ispitivanja uzeti su na različitim lokacijama cestovne mreže u Litvi, i to iz kolnika s klasičnom asfaltnom konstrukcijom te s pojačanom asfaltnom konstrukcijom primjenom geosintetika u međuslojevima.

Ključne riječi:

asfaltni kolnik, veza slojeva kolničke konstrukcije, Leutnerova metoda

Preliminary note

Audrius Vaitkus, Donatas Čygas, Alfredas Laurinavičius, Viktoras Vorobjovas, Rita Kleizienė

Research of asphalt layer bonding in Lithuanian pavement structures

The strength and durability of road pavement structures are directly influenced by the way in which asphalt layers are bonded. An insufficient bond between pavement layers leads to wearing, tearing, pavement deterioration, and cracking, and the pavement life span is reduced. The quality of bond between pavement layers was determined by direct shear test, using the so called Leutner method, without normal stress in specimen. Test samples were taken at various locations along the Lithuanian road network, from pavements characterized by standard asphalt structure, and reinforced asphalt structure in which geosynthetic materials are used in interlayers

Key words:

asphalt pavement, bond between pavement layers, Leutner method

Vorherige Mitteilung

Audrius Vaitkus, Donatas Čygas, Alfredas Laurinavičius, Viktoras Vorobjovas, Rita Kleizienė

Untersuchung des Verbunds von Asphaltschichten in litauischen Fahrbahnstrukturen

Der Verbund von Asphaltschichten der Fahrbahnstruktur hat einen direkten Einfluss auf die Festigkeit und die Haltbarkeit der Fahrbahn. Unsachgemäß ausgeführte Schichtenverbunde können eine rutschige Oberfläche der Fahrbahn verursachen, während möglicherweise auftretende Verschleißung, Rissbildung und andere Beschädigungen zu einer Verringerung der erwarteten Lebensdauer führen können. Die Qualität der Schichtenverbunde des Straßenbelags ist durch Abscheversuche ermittelt, mit Hilfe der sogenannten Leutner-Methode, die ohne das Auftreten von Normalspannungen ausgeführt wird. Versuchsproben sind an verschiedenen Standorten des Straßennetzes in Litauen entnommen worden, und zwar sowohl für Fahrbahnen mit klassischen Fahrbahnstrukturen, als auch für Asphaltbeläge, die durch die Anwendung von geosynthetischen Materialien in den Zwischenschichten verstärkt wurden.

Schlüsselwörter:

Asphaltfahrbahn, Schichtenverbunde der Fahrbahnstruktur, Leutner-Methode

1. Uvod

Čvrstoća veze između slojeva asfaltne kolničke konstrukcije bitan je čimbenik koji neposredno utječe na čvrstoću i trajnost kolnika. Veličina zrna agregata asfaltne mješavine, tip asfaltne mješavine i veziva unutar slojeva, tip i količina bitumenske emulzije kao i način izvedbe konstrukcije utječu na čvrstoću veze između slojeva [1, 2]. Zbog smanjene veze između asfaltnih slojeva, a pod utjecajem posmične sile, može doći do smicanja između habajućeg i veznog asfaltnog sloja te između veznog i nosivog asfaltnog sloja.

U tom slučaju nastaju kolotrazi, klizne i poprečne pukotine u kolničkoj konstrukciji. Deformacije kolnika obično nastaju na mjestima ubrzavanja / usporavanja i skretanja vozila. Nedostatan povezivanje slojeva skraćuje životni ciklus asfaltnog kolnika. Potpuno vezani slojevi osiguravaju dostatnu nosivost, čvrstoću i trajnost kolničke konstrukcije [1, 2]. Pravilno povezani slojevi kolnika osiguravaju da se kolnik ponaša kao monolitna konstrukcija i da se najveće opterećenje od djelovanja kotača nalazi na dnu nosivog sloja. U tom slučaju dolazi do pojave pukotina u nosivim slojevima. Kod loše povezanosti slojeva kolnika, svaki sloj djeluje zasebno i maksimalno opterećenje koncentrira se na dnu svakog sloja. Vezivanje među slojevima asfaltnog kolnika uvjetovano je trenjem i slijepljenošću slojeva. Trenje je smanjeno povećanjem količine veziva među slojevima kada se stvara vezni premaz koji onemogućava kontakt među nosivim slojevima. Vezivo među slojevima ovisi o trenju, vezivanju i slijepljenosti slojeva. Asfaltni slojevi mogu biti [3]:

- potpuno vezani - ponašaju se kao monolitna struktura. U ravni povezivanja slojeva nastaju velika posmična naprezanja, a deformacije (pomaci) se ne razvijaju. Međutim, to vrijedi samo u teoriji jer se u praksi uvijek pojavljuju veće ili manje deformacije u ravni povezivanja slojeva.
- djelomično vezani – ovisno o čvrstoći slijepljenosti slojeva, među slojevima se pojavljuju posmična naprezanja i deformacije (pomaci) različitih veličina. U slučaju jače slijepljenosti slojeva, pojavljuje se veće posmično naprezanje i manja deformacija. Kod slabije slijepljenosti slojeva, javlja se malo posmično naprezanje i velika deformacija.
- nedovoljno vezani – zbog opterećenja i težine samih slojeva događa se jedino trenje i vezivanje. Među slojevima se javljaju mala posmična naprezanja i velike deformacije.

K. Schulze [4] zaključio je da se u slučaju slabe povezanosti slojeva kolničke konstrukcije stvaraju kolotrazi te dolazi do degradacije kolnika. R. Weber [5] utvrdio je da se uslijed nedovoljnog vezivanja slojeva pojavljuju pukotine u asfaltu. Prema J. Eisenmannu i U. Neumannu [6], optimalno vezivanje je nužno da bi se osigurala čvrstoća kolnika i spriječilo propadanje. G. King i R. May [7] utvrdili su da se deformacija asfaltnih slojeva znatno povećava smanjenjem povezanosti

slojeva sa 100% na 90% i rezultira ranim propadanjem kolnika. C. J. Roffe i F. Chaignon [8] zaključili su da se vijek trajanja asfaltnih kolnika može skratiti sedam do osam godina ako nema dovoljne povezanosti slojeva.

Prema R. Dübneru i W. Gletu [8], slabo povezani slojevi mogu utjecati na deformaciju i pucanje kolnika. L. Tashman i ostali [10] zaključili su da čvrstoća veze između slojeva ovisi o pripremi površine, količini prskane emulzije za vezivanje, vremenskom intervalu između prskanja vezivne emulzije i izvedbe asfaltnih slojeva koji se emulzijom povezuju. A. Vaitkus i ostali [11] ustanovili su prema uzorcima uzetim s pojedinih dionica cesta u Litvi da nema razlike u čvrstoći vezivanja slojeva na mjestima po kojima se kreću kotači vozila i mjestima između kotača. Ovisnost distribucije naprezanja i deformacija u kolničkoj konstrukciji od prometnog opterećenja i vremenskih utjecaja ispitana je na posebno izvedenoj dionici ceste [12, 13].

2. Utvrđivanje čvrstoće veze između asfaltnih slojeva

Čvrstoća veze (prionljivost) među slojevima može biti utvrđena različitim metodama. Obično se provodi ispitivanje na smicanje, a rjeđe Pull-off test (ispitivanje čvrstoće prionljivosti) i ispitivanje bez normalnih naprezanja (ispitivanje momentom zakretanja), slika 1. Ispitivanje na smicanje najčešće se primjenjuje kako bi se utvrdila čvrstoća veze među asfaltnim slojevima. Ovo se ispitivanje može izvoditi bez poprečne sile (direktno ispitivanje na smicanje) i s poprečnom silom (jednostavno ispitivanje na smicanje).

1. Direktno ispitivanje na smicanje: Leutnerova metoda, Parallel-Layer direktni test na smicanje, LBC test, De Bondt test, U.S. National Asphalt Technology Center Shearing test (NCAT), FDOT test, Iowa test, Rommanoshi test, Al-Qadi test, Asher test, i SST- Superpave Shear Tester.
2. Jednostavni test smicanja: MCS trial, ASTRA trial i SST trial.



Slika 1. Utvrđivanje čvrstoće veze (prionljivosti) među slojevima [3]

Metodu direktnog ispitivanja na smicanje za određivanje čvrstoće veze između slojeva R. Leutner je predstavio 1979. godine [14]. Leutnerova metoda je jedna od najčešće

korištenih metoda za ispitivanje i primjenjuje se u mnogim državama. U Švicarskoj, Austriji i Njemačkoj je prihvaćena kao nacionalni standard za procjenu čvrstoće veze između slojeva. Čvrstoća povezanosti slojeva povezanosti slojeva određuje se na osnovi izmjerene maksimalne poprečne sili (kN) i veličine posmične deformacije (mm).

U Njemačkoj se čvrstoća veze asfaltnih slojeva utvrđuje izvedbom Leutnerovog testa prema dokumentu TP asphalt-StB Teil 80 (direktni test na smicanje). Minimalna vrijednost čvrstoće veze u Njemačkoj regulirana je dokumentom ZTV Asphalt-StB 07 [15]: između habajućih i veznih slojeva ne smije biti manja od 15 kN; između ostalih asfaltnih slojeva ne smije biti manja od 12 kN. Preporučene granične vrijednosti bočnog pomicanja između habajućih asfaltnih i veznih slojeva su 2,0–4,0 mm, a vrijednosti posmične deformacije između veznih i nosivih slojeva dane su u ZTV M–V and Arbit Nr. 60.

3. Eksperimentalno istraživanje

Eksperimentalno istraživanje provedeno je na Institutu za istraživanje cesta Tehničkog sveučilišta Gediminas u Vilniusu 2010. i 2011. godine. Direktni test na smicanje proveden je na uzorcima pripremljenim u laboratoriju i na uzorcima uzetim iz kolnika s cestovne mreže i gradskih ulica u Litvi.

3.1. Ispitivanje uzoraka pripremljenih u laboratoriju

U laboratoriju su uzorci habajućih i veznih slojeva pripremljeni od različitih tipova i omjera bitumenske emulzije između

slojeva i s različitim stupnjem zbijenosti habajućih asfaltnih slojeva. Za zbijanje slojeva upotrijebljen je valjkasti zbijač.

Habajući sloj izveden je od asfaltnog betona sa zrnima agregata maksimalne veličine 11 mm predviđenim za normalno prometno opterećenje (AC 11 VN) ili asfaltni beton za habajući sloj s maksimalnim zrnima agregata 11 mm predviđenim za teško prometno opterećenje (AC 11 VS). Vezni sloj izveden je od asfaltnog betona s maksimalnim zrnima agregata 16 mm predviđenim za normalno opterećenje (AC 16 AN).

Najprije je izveden asfaltni vezni sloj debljine 7 cm, a sljedeći dan je izveden habajući asfaltni sloj debljine 4 cm. Na taj je način pripremljen uzorak dužine 410 mm, širine 210 mm i debljine 11 cm.

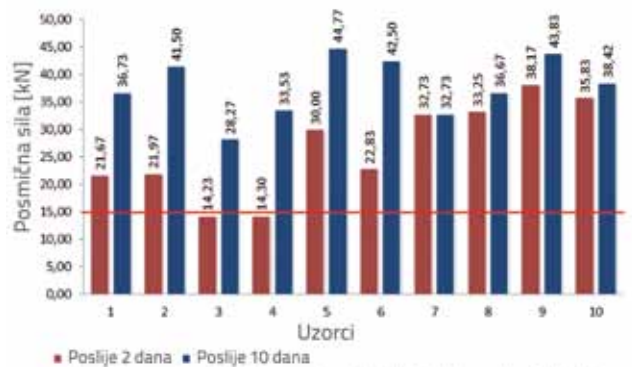
Različiti tipovi i količine bitumenske emulzije prskane su između asfaltnih slojeva. Radna temperatura emulzije iznosila je 40 °C. Usporedbe radi, pripremljeni su i uzorci s asfaltnim slojevima bez bitumenske emulzije između samih slojeva. Stupanj zbijenosti habajućih asfaltnih slojeva bio je između 97% i 100%, a veznog sloja 97% u svim uzorcima. Iz svakog uzorka izvađeni su valjci promjera 150 mm. Veza među slojevima mjerena je prema Tehničkim smjernicama za provjeru asfalta, Dio 80 (*German-Technische Prüfvorschriften für asphalt, TP Asphalt-StB Teil 80*). Ispitivanja na smicanje su provedena na standardnoj Marshallovoj preši. Konstantna brzina deformacije iznosila je 50 mm/min. Prije ispitivanja, asfaltna jezgre bile su kondicionirane 24 sata na temperaturi od 20 °C. Kombinacije uzoraka pripremljenih u laboratoriju prikazane su u tablici 1.

Tablica 1. Prikaz pripremljenih uzoraka u laboratoriju s rezultatima ispitivanja

Uzorak (ispitna kombinacija)	Materijal za vezivanje slojeva (tip emulzije)	Količina vezivnog materijala [g/m ²]	Mješavina habajućeg asfaltnog sloja (stupanj zbijenosti) [%]	Mješavina veznog asfaltnog sloja (stupanj zbijenosti) [%]	Posmična sila [kN]		Posmična deformacija [mm]	
					Nakon 2 dana	Nakon 10 dana	Nakon 2 dana	Nakon 10 dana
1	–	–	AC 11 VN (97 %)	AC 16 AN (97 %)	21,67	36,73	1,93	2,80
2	–	–	AC 11 VN (100 %)		21,97	41,50	2,93	1,73
3	–	–	AC 11 VS (97 %)		14,23	28,27	2,33	1,70
4	–	–	AC 11 VS (100 %)		14,30	33,53	1,90	1,87
5	C 60 BF 1–S	90	AC 11 VN (97 %)		30,00	44,77	3,10	3,47
6	C 60 BF 1–S	135	AC 11 VN (97 %)		22,83	42,50	2,10	2,57
7	C 60 BF 1–S	200	AC 11 VN (97 %)		32,73	32,73	2,27	2,27
8	C 60 BP 1–S	100	AC 11 VN (97 %)		33,25	36,67	2,81	3,46
9	C 60 BP 1–S	150	AC 11 VN (97 %)		38,17	43,83	3,16	3,00
10	C 60 BP 1–S	250	AC 11 VN (97 %)		35,83	38,42	3,33	4,44

Rezultati ispitivanja (slika 2.) pokazuju da posmična sila varira u širokom intervalu od 14,2 kN do 44,8 kN. Minimalna posmična sila bila je kod uzoraka 3 i 4, kod kojih je asfaltni habajući sloj bio AC 11 VS 97-postotnog i 100-postotnog stupnja zbijenosti i nisu upotrijebljeni vezivni materijali među slojevima. Maksimalna posmična sila bila je kod uzorka 9 (38,17 kN nakon dva dana i 43,83 kN nakon deset dana), uzorci u kojima je habajući asfaltni sloj bio AC 11 VN sa 97-postotnim stupnjem zbijenosti i 150 g/m² bitumenske emulzije među slojevima. Ovisno o trajanju izvođenja testa, 13 % veća posmična sila dobivena je nakon deset dana.

Rezultati dobivenih posmičnih sila na uzorcima habajućeg sloja sa 100-postotnim stupnjem zbijenosti bili su 13% veći kod tipa mješavine AC 11 VN te 18% veći kod tipa mješavine AC 11 VS u usporedbi s uzorcima 97-postotnim stupnjem zbijenosti. Svi ispitani uzorci kod kojih je habajući sloj izveden s tipom mješavine AC 11 VN, pokazali su 26% veću prosječnu vrijednost (ispitivanje nakon dva dana) i 54% (ispitivanje nakon deset dana) u usporedbi s vrijednostima asfaltnih habajućih slojeva izvedenih s tipom mješavine AC 11 VS. U ovom slučaju bitumenska emulzija nije upotrijebljena u među slojevima.



Slika 2. Posmična sila između habajućih i veznih asfaltnih slojeva (uzorci pripremljeni u laboratoriju)

Čvrstoća veze između slojeva približno je 30% veća s bitumenskom emulzijom C 60 BF 1–S nego bez nje (rezultati nakon dva dana) i nema značajne razlike pri ispitivanju nakon deset dana. Značajna razlika primijećena je usporedbom uzoraka testiranih nakon dva i deset dana u kojima nije upotrijebljena bitumenska emulzija među slojevima. U tom slučaju, razlika u čvrstoći veze varirala je od 69% do 134% ovisno o tipu asfaltne mješavine korištene u habajućem sloju i stupnju zbijenosti. Dobiveno je da je posmična sila znatno veća u uzorcima s bitumenskom emulzijom C 60 BP 1–S nego u uzorcima s bitumenskom emulzijom C 60 BF 1–S. Razlika u rezultatima dobivenih ispitivanjem uzoraka nakon dva dana varirala je 10 do 60%, i nije primijećena značajna razlika u uzorcima ispitivanih nakon deset dana.

Utvrđeno je da se vrijednost posmične deformacije asfaltnih slojeva promijenila s 1,7 mm na 4,5 mm. Vrijednost posmične

deformacije slojeva uzoraka s bitumenskom emulzijom C 60 BF 1–S varirala je od 2,1 mm do 3,5 mm. Najveće vrijednosti utvrđene su u uzorcima s 90 g/m² emulzije, ispitivanim nakon deset dana. Vrijednost posmične deformacije slojeva uzoraka s bitumenskom emulzijom C 60 BP 1–S varirala je od 2,8 do 4,5 mm. Najveća vrijednost utvrđena je na uzorcima sa 250 g/m² emulzije ispitivanim nakon deset dana.

Analiza čvrstoće veze među asfaltnim slojevima pokazuje da je nakon deset dana od zbijanja asfalta posmična sila u svim slučajevima veća od 25 kN i da je posmična deformacija slojeva veća od 1,5 mm. Bitno je istaknuti da upotreba bitumenske emulzije poboljšava povezivanje asfaltnih slojeva, ali samo optimalne količina bitumenske emulzije osigurava dobru povezanost slojeva pri čemu su posmične deformacije u dopuštenim granicama. Polimerima modificirane emulzije C 60 BP 1–S pokazuju puno bolje rezultate od klasičnih bitumenskih emulzija C 60 BF 1–S.

3.2. Ispitivanje uzoraka izvedenih iz izvedenih kolnika

Istraživanje se sastojalo od uzimanja uzoraka s unaprijed odabranih cesta te ispitivanje čvrstoće veze asfaltnih slojeva. Uzorci su uzeti s mjesta na kolničkoj konstrukciji koja su u kontaktu s kotačima (na mjestima kolotruga) i na mjestima između kontakta (između kolotruga). Izvađeni uzorci razlikovali su se po izvedenom međusloju: s geosinteticima u međuslojevima, s membranama za apsorpiranje naprezanja (SAMI – stress absorbing membrane interlayer) te s međuslojem od bitumenskih emulzija. Rezultati laboratorijskih ispitivanja prikazani su u tablici 2.

Uzorci valjaka uzimani su iz kolnika prema normi LST EN 12697–27:2002, a čvrstoća veze određena je prema Tehničkim smjernicama za provjeru asfalta, dio 80 (German–Technische Prüfvorschriften für asphalt, TP Asphalt–StB Teil 80). Kao što je vidljivo sa slike 3, distribucija čvrstoće veze asfaltnih slojeva ovisila je o ispitnim kombinacijama. Debljina asfaltnih habajućih slojeva u ispitnim uzorcima varirala je od 3,6 do 6,2 cm. Debljina veznog asfaltnog sloja u uzorcima bila je veća od 8 cm. Iz tog je razloga skraćen uzorak na način da maksimalna debljina iznosi 11,0 cm.

Analizom distribucije posmične sile između asfaltnih slojeva utvrđeno je da 88% ispitnih uzoraka (22 od 25 uzoraka) imaju silu veću od 15 kN. Kod ostala tri ispitna uzorka dobiveno je: posmična sila kod uzoraka 6.1 i 8.1 bila je 21% manja od potrebne / propisane (15 kN), a kod uzorka 5.2, 20% manja od potrebne / propisane (12 kN). Maksimalna posmična sila utvrđena je u uzorcima 10.1 i 10.2 izvađenim iz kolnika na mjestu kolotruga (kontakt kotača i kolnika) gdje je nosivi asfaltni sloj od SMA 11 S. Minimalna posmična sila utvrđena je u uzorku 5.2 izvađenim iz kolnika na mjestu kolotruga u

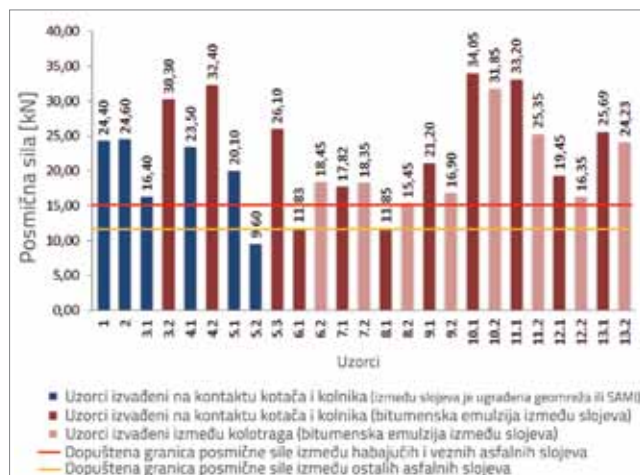
Tablica 2. Prikaz uzoraka izvađenih na državnim i gradskim cestama u Litvi s rezultatima istraživanja

Uzorak	Godina izvođenja	Lokacija vađenja uzorka		Mješavina habajućeg asfaltnog sloja	Vrsta materijala u međusloju	Posmična sila [kN]	Bočno pomicanje [mm]
1	2010	Ulica Oslo, Vilnius	Pozicija A	AC 16 AS	SAMI (ispod veznog sloja)	24,40	5,90
2	2005	Ulica Savanoriu, Vilnius	Pozicija A	SMA 11 S	SAMI (ispod habajućeg sloja)	24,60	6,10
3.1	2006	Ulica Plytines, Vilnius	Pozicija A	AC 11 VS	Pavegrid G100/100 (ispod veznog sloja)	16,40	2,20
3.2					Bez geomreže	30,30	3,40
4.1	2007	Ulica Kalvariju, Vilnius	Pozicija A	SMA 11 S	Pavegrid G100/100 (ispod habajućeg sloja)	23,50	2,80
4.2					Bez geomreže	32,40	3,50
5.1	2007	Ulica Eisiskiu, Vilnius	Pozicija A	SMA 11 S	Hatelit C 40/17 (ispod veznog sloja)	20,10	1,80
5.2					Armatex RSM 50/50 (ispod veznog sloja)	9,60	1,70
5.3					Bez geomreže	26,10	1,00
6.1	2008	Cesta br. 153	Pozicija A	AC 11 VS	Bez geomreže	11,83	1,78
6.2			Pozicija B			18,45	2,00
7.1	2010	Cesta br. 143	Pozicija A	AC 11 VN	Bez geomreže	17,82	2,55
7.2			Pozicija B			18,35	2,70
8.1	2010	Cesta br. 130	Pozicija A	AC 11 VS	Bez geomreže	11,85	2,05
8.2			Pozicija B			15,45	2,78
9.1	2010	Cesta br. 128	Pozicija A	AC 11 VS	Bez geomreže	21,20	2,08
9.2			Pozicija B			16,90	2,25
10.1	2010	Cesta br. 102	Pozicija A	SMA 11 S	Bez geomreže	34,05	4,03
10.2			Pozicija B			31,85	3,95
11.1	2010	Cesta br. 2828	Pozicija A	AC 11 VN	Bez geomreže	33,20	3,35
11.2			Pozicija B			25,35	4,05
12.1	2010	Cesta br. A4	Pozicija A	AC 11 VS	Bez geomreže	19,45	3,95
12.2			Pozicija B			16,35	2,70
13.1	2009	Cesta br. A14	Pozicija A	SMA 11 S	Bez geomreže	25,69	5,53
13.2			Pozicija B			24,23	3,43

Pozicija vađenja uzorka iz kolničke konstrukcije
Pozicija A: Na kontaktu kotača i kolnika (na mjestu kolotraga)
Pozicija B: Između kontakta kotača i kolnika (između kolotraga)

Ulici Eisiskiu. Na uzorcima izvađenim u Plytines ulici utvrđena je posmična sila 85 % veća u uzorku bez geosintetika u međuslojevima (uzorak 3.2) nego u uzorcima s geosinteticima (uzorak 3.1). Izvađeni uzorci u Ulici Eisiskiu pokazali su 30 % veće posmične sile bez geosintetika (uzorak 5.1) nego s armaturnim mrežama Hatelit C 40/17 (uzorak 5.3) i čak 2,7 puta veću posmičnu silu (uzorak 5.2) nego s armaturnim mrežama Armatex RSM 50/70. Nedovoljna čvrstoća veze između asfaltnih slojeva identificirana je i na uzorcima izvađenih na cestama broj 153, 130 i 143. Utvrđeno je da se posmična deformacija slojeva mijenja ovisno o kombinaciji

slojeva i vrsti međusloja, a na vrijednosti deformacije utječe materijal koji je upotrijebljen u međuslojevima. Posmična deformacija u 72 % ispitnih kombinacija (18 od 25 uzoraka) bila između 2,0 i 4,0 mm. Iz uzoraka izvađenih u Plytines ulici utvrđeno je 35 % manja posmična deformacija slojeva kolnika s geosinteticima u međusloju nego bez geosintetika (armaturnih mreža). Međutim, ispitivanje uzoraka izvađenih u Ulici Eisiskiu pokazalo je 40 % veću posmičnu silu bez geosintetika nego s Hatelit armaturnim mrežama C 40/17 (uzorak 5.1) i armaturnim mrežama Armatex RSM 50/70 (uzorak 5.2).



Slika 3. Distribucija posmične sile između habajućih i veznih asfaltnih slojeva (uzorci izvađeni iz državnih i gradskih cesta u Litvi)

Relativno visoke vrijednosti posmične deformacije koje premašuju dopuštene, prema ZMT M-V identificirane su u uzorcima 1, 2 i 13.1. U uzorcima 1 i 2 korištena je posebna asfaltna konstrukcija s polimernom membranom SAMI O/5 u međusloju dok je kod uzorka 13.1 primijenjena asfaltna konstrukcija bez membrane ili geomreže u međusloju. Može se primijetiti da kod određenih uzoraka s habajućim asfaltnim slojevima SMA 11 S (uzorci 10.1 i 10.2 i uzorci 13.1 i 13.2) posmična deformacija nije bila mnogo veća od vrijednosti kod ostalih uzoraka habajućih slojeva. Utvrđeno je da se vrijednost posmične deformacije mijenja ovisno o mjestu uzimanja uzorka, tj. o tome je li uzorak izvađen na mjestu kontakta kotača i kolnika ili nije.

4. Zaključak

Analizom rezultata ispitivanja čvrstoće veze između asfaltnih slojeva na uzorcima starost deset dana dobiveno je da je posmična sila veća od 25 kN te da je posmična deformacija slojeva veća od 1,5 mm.

Posmična sila je kod uzoraka sa 100-postotnim stupnjem zbijenosti asfaltnog habajućeg sloja veća 13% kod asfalta tipa AC 11 VN te 18% kod asfalta tipa AC 11 VS nego kod uzoraka s 97-postotnim stupnjem zbijenosti. Svi ispitani uzorci čiji su asfaltni habajući slojevi izrađeni od AC 11 VN pokazali su prosječno 26% veću vrijednost pri ispitivanju nakon dva dana te prosječno 54% veću vrijednost pri ispitivanju nakon deset dana u usporedbi s vrijednostima asfaltnih habajućih slojeva izrađenim od AC 11 VS. U ovom slučaju bitumenska emulzija nije upotrijebljena kao vezivo između slojeva,

Eksperimentalna istraživanja pokazala su da se čvrstoća veze među asfaltnim slojevima smanjuje 20% do 50% kada se između slojeva nalazi geomreža. Upotrebom geosintetika dolazi do smanjenja posmične sile između slojeva te do povećanja posmičnih deformacija.

Ispitivanjima je utvrđeno da količina vezivne emulzije C 60 BF 1-S utječe na posmičnu silu između slojeva asfalta. Njezina je vrijednost u rasponu između 22,8 kN do 32,7 kN pri ispitivanju nakon dva dana te od 32,7 kN do 44,8 kN pri ispitivanju nakon deset dana. Također je uočena 30% veća čvrstoća veze s bitumenskom emulzijom između asfaltnih slojeva nego bez nje pri ispitivanju nakon dva dana, ali i bez velikih razlika pri ispitivanju nakon deset dana.

LITERATURA

- [1] Raab, C., Partl, M. N., Halim, A. E.: Evaluation of interlayer shear bond devices for asphalt pavements, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 4(4), p.p. 186-195, 2009.
- [2] Raab, C., Partl, M. N.: Interlayer Bonding of Binder, Base and Subbase Layers of Asphalt Pavements: Long-term Performance, *Journal Construction and Building Materials*, 23, p.p. 2926-2931, 2009.
- [3] Frohmut, W., Ascher, D.: Untersuchungen zur Wirksamkeit des Haftverbundes und dessen Auswirkungen auf die Lebensdauer von Asphaltbefestigungen, Schlussbericht zum AiF-Projekt Nr. 13589 BR/1, Technische Universität Dresden, 2007. Schulze, K.: Asphaltbeton mit erhöhtem Füller-Bitumen-Verhältnis und dichter Belagsstruktur, Straßen- und Tiefbau Heft 11, 1979.
- [4] Weber, R.: Rißbildungen in Asphaltstraßen als Folge mangelhaften Schichtverbundes, Dissertation TU München, 1991.
- [5] Eisenmann, J., Neumann, U.: Auswirkungen von Verbundstörungen auf die Spurrinnenbildung, Forschungsbericht Nr. 1444 (FE 07.151 G 91 K), Prüfam für Bau von Landverkehrsflächen der TU München, 1993.
- [6] King, G., May, R.: New Approaches to Tack Application, presentation made to the 83rd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D. C., 2003.
- [7] Roffe, J. C., and Chaignon, F.: Characterisation Tests on Bond Coats: Worldwide Study, Impact, Tests, and Recommendations, *3rd International Conference Bituminous Mixtures and Pavements*, Thessaloniki, 2002.
- [8] Dübner, R., Glet, W.: Unterhaltung von Asphaltstraßen Arbeitsgemeinschaft der Bitumen-Industrie, e.V., Hamburg, 1993.
- [9] Tashman, L., Nam, K., Papagiannakis, T.: Evaluation of the Influence of Tack Coat Construction Factors on the Bond Strength Between Pavement Layers, Report# WCAT 06-002, Washington Center for Asphalt Technology, 2006.
- [10] Vaitkus, A., Žilionienė, D., Paulauskaitė, S., Tuminiene, F., Žiliūtė, L.: Research and Assessment of Asphalt Layers Bonding, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 6(3), p.p. 210-218, 2011. ISSN 1822-427X (print), ISSN 1822-4288 (online). (Thomson ISI Web of Science).

- [11] Vaitkus, A., Puodžiukas, V., Motiejūnas, A., Vitkienė, J., Vorobjovas, V., Paliukaitė, M.: Long Term Research of Experimental Asphalt Pavement Structures, in Transport Research Arena Europe 2010, Brussels: Selected papers (2010, Brussels, Belgium).
- [12] Čygas, D., Laurinavičius, A., Vaitkus, A., Perveneckas, Z., Motiejūnas, A.: Research of asphalt pavement structures on Lithuanian roads (I), *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 3(2), p.p. 77-83, 2008. ISSN 1822-427X (print), ISSN 1822-4288 (online). (Thomson ISI Web of Science).
- [13] Leutner, R.: Untersuchungen des Schichtenverbunds beim bituminösen Oberbau [Investigation of the Adhesion of Bituminous Pavements], *Bitumen* 3, p.p. 84-91, 1979.
- [14] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt ZTV Asphalt-StB 07. 2007.