

ОДРЕЂИВАЊЕ ОТПОРНОСТИ НА ЗАМОР АСФАЛТНИХ УЗОРАКА ОЈАЧАНИХ ГЕОМРЕЖОМ ПРИМЕНОМ МЕТОДЕ САВИЈАЊА ГРЕДИЦА У ЧЕТИРИ ТАЧКЕ

Марко Орешковић, магистар инжењеринга грађевинарства,
Универзитет у Београду, Грађевински факултет,
moreskovic@grf.bg.ac.rs

Стефан Трифуновић, магистар инжењеринга грађевинарства,
Универзитет у Београду, Грађевински факултет,
trifunovic94@outlook.com

проф. др Горан Младеновић, дипломирани инжењер грађевинарства,
Универзитет у Београду, Грађевински факултет,
emladen@imk.grf.bg.ac.rs

dr Štepan Bohuš, дипломирани инжењер грађевинарства,
Saint-Gobain ADFORS CZ s.r.o., Litomyšl, The Czech Republic,
bohus.s@fce.vutbr.cz

DOI: 10.31075/PIS.64.04.03

Стручни рад

Резиме: Флексибилне коловозне конструкције су подложне појави пукотина услед замора и термичких утицаја, а значајан проблем представља и појава рефлектованих пукотина код полукрутих коловозних конструкција или код крутих које су пресвучене слојевима асфалта. Армирањем асфалтних слојева применом геомрежа, могуће је значајно успорити, ако не и спречити појаву пукотина. У оквиру овог рада приказани су резултати експерименталног истраживања чији је циљ био да се утврди утицај примене геомреже на отпорност асфалт бетона на замор. Испитана су два двослојна сета узорака, са и без геомреже (ојачани и неојачани). Испитне гредице су исечене из плоча које су припремљене нестандартном методом, употребом ваљка од једне тоне. Дебљина доњег слоја асфалта у гредицама је била 20 мм, дебљина горњег слоја 30 мм, ширина 60 мм и дужина 400 мм. Ојачани узорци садржали су самолепљиву геосинтетичку мрежу велике чврстоће између слојева. Испитивање отпорности асфалтних мешавина на замор спроведено је опитом савијања гредица у четири тачке, док су за анализу резултата испитивања коришћена два критеријума за дефинисање замора. Истраживање је помогло да се процени продужетак века на замор применом геомрежа у зависности од примењеног критеријума за дефинисање замора.

Кључне речи: геомрежа, асфалт, замор, савијање гредица у четири тачке.

DETERMINING OF THE FATIGUE RESISTANCE OF A GRID-REINFORCED ASPHALT CONCRETE BY USING FOUR POINT BENDING BEAM TEST

Marko Orešković, M. Sc. CE,
University of Belgrade, Faculty of Civil Engineering,
moreskovic@grf.bg.ac.rs

Stefan Trifunović, M. Sc. CE,
University of Belgrade, Faculty of Civil Engineering,
trifunovic94@outlook.com

Goran Mladenović, Ph. D. CE
University of Belgrade, Faculty of Civil Engineering,
emladen@imk.grf.bg.ac.rs

Štepan Bohuš, Ph. D. CE
Saint-Gobain ADFORS CZ s.r.o., Litomyšl, The Czech Republic,
bohus.s@fce.vutbr.cz

Professional paper

Abstract: Flexible pavement structures are prone to cracking due to the fatigue and thermal influence, while a significant problem presents the appearance of reflective cracking in semi-rigid pavement structures or in rigid pavements overlaid with asphalt concrete. Reinforcement of asphalt concrete by using geogrids substantially slow down, if not stop crack propagation. The paper presents the results of an experimental study aimed at determining the influence of geogrid application on the fatigue resistance of asphalt concrete. Two double layered sets of specimens, with and without a grid, were tested (reinforced and unreinforced). Testing beams were cut from the slabs prepared by a non-standard method, using a one-ton roller. The thickness of the bottom layer of asphalt beams was 20 mm, the thickness of the upper layer was 30 mm, the width was 60 mm and the length 400 mm. Reinforced samples contained a high-strength adhesive geosynthetic grid between layers. The testing of fatigue resistance of asphalt mixtures was carried out by application of the four-point bending beam test, while two failure criteria were used to analyze the testing results. Presented research helped to quantify the extension of fatigue life that can be obtained by reinforcement, depending on the fatigue criteria.

Key words: geogrid, asphalt, fatigue life, four-point bending beam (4PBB).

1. УВОД

Коловозне конструкције се димензионишу тако да током свог животног века издрже пројектно саобраћајно оптерећење без значајнијих оштећења. Међутим, временом може доћи до појаве пукотина и других оштећења, чак и код добро димензионисаних коловозних конструкција, доприносећи њиховом убрзаном пропадању.

Појава оваквих оштећења има негативан утицај на квалитет возње корисника пута, па је неопходно поправити настала оштећења или превентивно спречити њихову појаву.

Нека од најраспрострањенијих оштећења коловозних конструкцијама су колотрази, пукотине услед замора, термичке и рефлектоване пукотине. Пукотине услед замора су најчешћи тип оштећења код флексибилних коловозних конструкција, док су рефлектоване пукотине типичне за полукруте коловозне конструкције или за круте које су пресвучене асфалтом. Мреже од стаклених влакана (геомреже) могу се употребити као ојачање различитих типова коловозних конструкција како би се смањила или успорила појава пукотина [1]. Примена поменутих мрежа приликом рехабилитације постојећих или изградње нових путева доприноси одлагању појаве пукотина и успоравању њихове пропагације [2].

Приликом рехабилитације флексибилних коловозних конструкција, геомреже се могу поставити директно на површину носећег слоја, након уклањања хабајућег слоја и након израде изравнавајућег слоја. У случају изградње нових полукрутих коловозних конструкција, геомреже треба поставити на глатку површину слоја цемента стабилизације. Ако је потребно извршити пресвлачење бетонских плоча асфалтним слојевима, препоручује се постављање геомрежа испод асфалтних слојева. Овакве позиције геомрежа одлажу и превентивно спречавају ширење пукотина код старих и/или крутих коловозних конструкција тако што прихватају хоризонталне напоне изазване појавом пукотина. На овај начин, побољшава се њихова отпорност на замор [1, 3].

Nguyen и ост. [3], као и Pasquini и ост. [4], утврдили су да геомреже одлажу пропагацију пукотина услед замора спровођењем опита на терену, у реалним условима. Такви резултати потврђени су и у лабораторијским истраживањима, при различитим условима испитивања, употребом методе савијања гредица у три тачке (3PBB – Three Point Bending Beam) [5, 6], као и опитом замора савијањем у четири тачке (4PB – Four Point Bending) [1, 2, 4, 7].

Циљ истраживања приказаних у оквиру овог рада био је утврђивање утицаја геомрежа на отпорност на замор двослојних асфалтних узорака и у ту сврху испитана су два сета узорака облика гредица (ојачани сет - ОС и неојачани сет - НС) у погледу отпорности на замор применом опита савијања гредица у четири тачке. Добијени резултати анализирани су коришћењем два критеријума замора: конвенционалног (50% почетне крутости) и критеријума заснованог на односу дисипованих енергија.

2. МАТЕРИЈАЛИ И МЕТОДОЛОГИЈА

2.1 Асфалтна мешавина

За потребе овог истраживања припремљено је шест плоча од асфалт бетона са максималном величином зрна агрегата од 11.2 mm (АБ 11с). Као везиво коришћен је полимер-модификовани битумен РmВ 45/80-65 из Рафинерије нафте Панчево. Све фракције дробљеног каменог агрегата биле су еруптивног порекла, изузев песка који је био кречњачког порекла. Састав асфалтне мешавине са процентуалним учешћем компоненталних материјала приказан је у таб. 1.

Табела 1. Састав асфалтне мешавине

Тип материјала	Процентуално учешће у асфалтној мешавини
Филер	5.2
Кречњачки песак 0/2 mm	29.1
Дробљени агрегат 2/4 mm	16.6
Дробљени агрегат 4/8 mm	24.7
Дробљени агрегат 8/11 mm	19.4
Битумен РmВ 45/80-65	5.0

Асфалтна мешавина за производњу плоча и испитивање њихових физичко-механичких карактеристика (табела 2) узоркована је директно у току производње на асфалтној бази.

Табела 2. Физичко-механичке карактеристике асфалтне мешавине

	Вредност	Јединица	Стандард
Стабилност – S	14.6	kN	
Течење – F	4.4	mm	SRPS EN 12697-34
Стабилност по Marshall-у – S/F	3.3	kN/mm	
Зампреминска маса – Zm	2.419	Mg/m ³	SRPS EN 12697-6
Максимална запреминска маса – Zmax	2.553	Mg/m ³	SRPS EN 12697-5
Шупљине - V _š	5.3	% [v/v]	
Шупљине у минералној мешавини - IV _š mm	69.3	% [v/v]	SRPS EN 12697-8
Шупљине у минералној мешавини испуњене битуменом – IV _š mm	17.1	% [v/v]	

2.2 Геомрежа

Геомреже коришћене у овом истраживању су направљене од импрегнираних стаклених влакана велике чврстоће, са величином окца мреже 25x25 mm. Предиво, од којег је сачињен овај тип геомреже, направљено је од непрекидног стакленог влакна (са Јанговим модулом (E) од 73.000 МПа) и пресвучено еластомерним полимером (са тачком топљења вишом од 230 °C) ради заштите и побољшања адхезије са асфалтним слојевима. Затезна чврстоћа геомреже је 115 x 115 +/- 15 kN/m у оба правца.

2.3 Припрема узорака

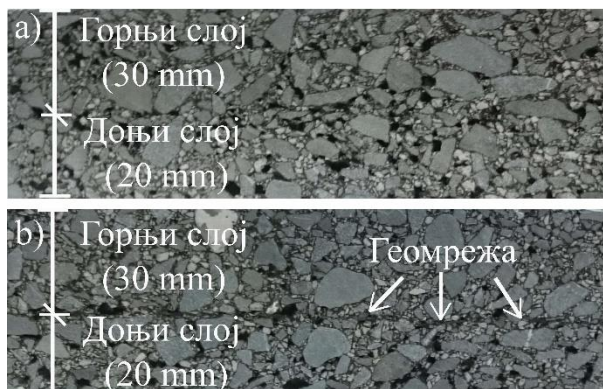
Шест плоча, три без геомреже (НС) и три са мрежом (ОС), димензија 500x500x70 mm, припремљене су уграђивањем асфалтне мешавине у металне калупе применом глатког ваљка од једне тоне (слика 1а).



Слика 1. (а) уградња плоча глатким ваљком од једне тоне, (б, ц) уграђени доњи слојеви плоча без и са геомрежом

Најпре је уграђен доњи слој у дебљини од 30 mm, а након хлађења асфалтне мешавине до температуре ваздуха, геомрежа је постављена на сваку другу плочу и притиснута са неколико прелаза ваљком како би се остварила добра веза између геомреже и површине асфалтног слоја (слике 1б – 1ц). Затим је, на идентичан начин, уграђен горњи слој у дебљини од 40 mm. Између слојева плоча није примењена емулзија.

Два дана након уградње, плоче су извађене из металног калупа и исечене на такав начин да се из сваке плоче добије по шест гредица. Гредице су биле ширине 60 mm и дужине 400 mm. Укупна висина сваке гредице била је 50 mm, од тога 20 mm доњег и 30 mm горњег слоја (слика 2). На тај начин добијена су два сета узорака (НС и ОС) са по 18 гредица.



Слика 2. Попречни пресек (а) НС и (б) ОС гредица

По 9 гредица из сваког сета узорака са насличнијим запреминским особинама одабрано је за испитивање отпорности на замор, док су остали узорци коришћени за припремна испитивања.

2.4 Опит замора

Утицај геомреже на отпорност на замор испитан је помоћу стандардног 4РВ опита замора у складу са стандардом EN 12697-24:2018, у условима контролисаног напона. Током опита у условима контролисаног напона, вредност напона остаје иста током целог опита, док се вредност дилатације мења. Почетни ниво напона, биран је тако да век трајања узорка на замор буде приближно 10^4 , 10^5 и 10^6 циклуса понављања оптерећења. Опит је вршен на три нивоа напона: 0.850 МПа, 0.650 МПа и 0.550–0.590 МПа. Гредице су изложене синусоидалном континуалном сигналу фреквенције 10 Hz. Испитивање је извршено на температури од 20 °C.

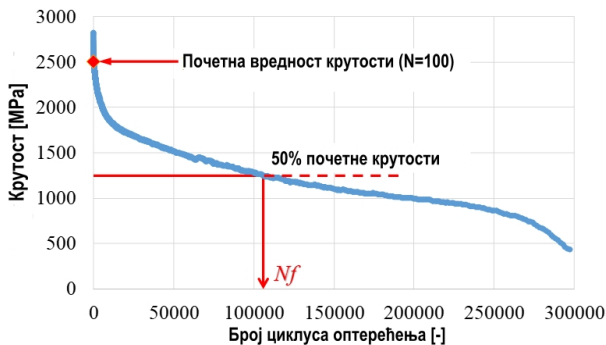
3. КАРАКТЕРИЗАЦИЈА ЗАМОРА

Постоји неколико критеријума за дефинисање замора битуменских мешавина: традиционални критеријум који се заснива на редукцији 50% почетне крутости (конвенционални приступ), критеријум заснован на односу дисипованих енергија (*Energy Ratio* - ER), феноменолошки критеријум и др.

Конвенционални критеријум је један од најчешће примењиваних критеријума за дефинисање замора због своје једноставности. ER критеријум је такође често примењиван из разлога што није осетљив на почетну вредност крутости или дилатације [8] и зато што показује дужи век трајања узорака у односу на конвенционални критеријум [9]. Обзиром да је улога геомрежа преношење хоризонталних напона услед појава пукотина, одлучено је да се поређење трајања животног века оба сета узорака изврши применом ова два критеријума.

3.1 Конвенционални критеријум: 50% почетне крутости

Овај критеријум, који су развили Van Dijk и Visser [11], дефинише замор као број циклуса (N_f) након кога долази до пада крутости за 50% у односу на почетну вредност (уобичајно је да се почетна крутост дефинише као крутост при 100. циклусу оптерећења (слика 3). Иако је овај критеријум релативно једноставан, ипак има одређене недостатке. Број циклуса при којем се дефинише почетна крутост може бити под утицајем нелинеарности [12]. Такође, до стварног замора узорка може доћи пре [13] или после [10] достизања 50% почетне крутости. Упркос наведеним недостацима, овај критеријум је примењен у многим истраживањима [14, 15, 16, 17].



Слика 3. Век трајања у погледу отпорности на замор према конвенционалном критеријуму

3.2 Критеријум односа дисипованих енергија (ER)

Норман и ост. [18] су увели ER критеријум, код којег се замор у условима контролисаних дилатација дефинише као број циклуса (N1) при којем долази до појаве првих пукотина. Критеријум је дефинисан као:

$$R_E = \frac{nW_0}{W_n} = \frac{n[\pi\sigma_0\epsilon_0\sin\varphi_0]}{\pi\sigma_n\epsilon_n\sin\varphi_n} \quad (1)$$

где је n број циклуса, W_0 и W_n су дисиповане енергије при првом и n -том циклусу, σ_0 и σ_n су вредности напона на почетку испитивања и n -том циклусу, ϵ_0 и ϵ_n су вредности дилатација при првом и n -том циклусу, док су φ_0 и φ_n вредности фазног угла при првом и n -том циклусу.

Rowe [19] је сматрао дилатацију константном током спровођења опита у условима контролисаних дилатација и напон из једначине 1 заменио производом дилатације и модула кретости добијајући поједностављену једначину:

$$R_\epsilon \cong \frac{n}{E_n^*} \quad (2)$$

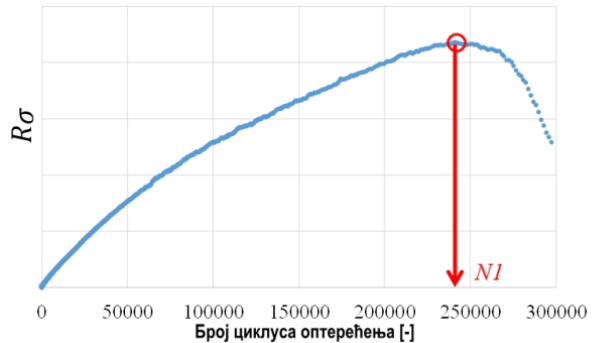
где је n број циклуса, а E_n^* кретост при n -том циклусу [MPa].

Применом исте методологије развијен је и поједностављени облик једначине (1) у условима контролисаних напона:

$$R_\sigma \cong n \cdot E_n^* \quad (3)$$

где је n број циклуса, а E_n^* кретост при n -том циклусу [MPa].

У условима контролисаних напона, ниво напона који се наноси на узорак је константан током целог трајања опита, па тако након појаве првих пукотина долази до њиховог убрзаног ширења [19]. Број циклуса при којем долази до замора узорака (N1), тј. до иницирања пукотина, може се одредити са слике 4, као максимална вредност криве R_σ .



Слика 4. Век трајања у погледу отпорности на замор по ER критеријуму

4. АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА ИСПИТИВАЊА

Испитивање отпорности на замор спроведено је на по девет ојачаних и неојачаних узорака. Тачније, по три узорка из обе групе су испитана на сваком нивоу напона, како би се одредио век трајања на замор. Обзиром да битуменска емулзија није наносена између доњег и горњег слоја, посебно је важно напоменути да током опита није долазило до њиховог раслојавања, посебно код узорака са мрежом.

Резултати испитивања отпорности на замор ојачаних и неојачаних узорака анализирани су коришћењем конвенционалног и ER критеријума (табеле 3 и 4). На основу резултата се може закључити да ојачани узорци имају ниже вредности почетне кретости и веће вредности дилатација, што може бити последица нешто слабије адезије између слојева услед присуства геомреже. Насупрот томе, они су имали дужи век трајања без обзира на примењени критеријум за одређивање замора, са изузетком узорака који су испитани на средњем нивоу напона. Овакви резултати доводе до закључка да геомрежа успешно прихвата хоризонталне напоне из доњег слоја, побољшавајући отпорност на замор целокупног система. Међутим, битно је нагласити да век на замор асфалтних узорака у великој мери зависи од примењеног критеријума за дефинисање замора.

Табела 3. Резултати опита замора неојачаних (НС) узорака

ID	vš	Почетна кретост (N=100) [MPa]	Почетна дилатација (N=100) [μm/m]	Просечан број циклуса оптерећења до замора	
				Nf (50%)	N1 (ER)
4-2 ¹	6.1	2259	392		
6-2 ¹	6.2	2245	395	14 252	24 433
2-1 ¹	5.4	2401	369		
2-6 ²	6.1	2503	262		
2-2 ²	5.5	2418	261	118 013	286 962
6-3 ²	5.6	2513	272		
2-4 ³	5.8	2558	214		
2-5 ³	6.0	2726	216	1 142 494	1 689 479
2-3 ⁴	5.5	2756	203		

Аплицирани нивои напона: ¹0.850 MPa, ²0.650 MPa, ³0.550 MPa, ⁴0.590 MPa

Табела 4. Резултати опита замора ојачаних (ОС) узорка

ID	Vš	Почетна крутост (N=100) [MPa]	Почетна дилатација (N=100) [µm/m]	Просечан број циклуса оптерећења до замора	
				Nf (50%)	N1 (ER)
[-]	[%]	[MPa]	[µm/m]	[-]	[-]
5-6 ¹	5.8	2154	410		
3-6 ¹	6.1	2168	410	14 653	28 170
1-3 ¹	5.7	2034	436		
1-6 ²	5.8	2307	283		
3-5 ²	6.3	2316	282	135 043	266 416
5-4 ²	5.8	2271	289		
5-3 ³	5.8	2760	219		
1-2 ⁴	5.8	2469	228	1 281 530	2 428 297
5-2 ⁴	6.3	2427	233		

Аплицирани нивои напона: ¹0.850 MPa, ²0.650 MPa, ³0.590 MPa, ⁴0.550 MPa

Закони замора су добијени применом линеарне регресије између природног логаритма почетне дилатације након сто циклуса оптерећења, као независне променљиве, и броја циклуса оптерећења који доводе до замора (N1 и Nf), као зависне променљиве [20]. Резултати испитивања анализирани су помоћу следећег модела:

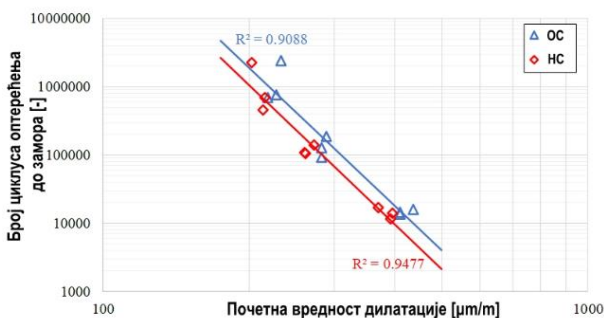
$$\ln(N) = q + p \times \ln(\varepsilon_i) \quad (4)$$

где је N број циклуса оптерећења до настанка замора, q коефицијент (одсечак на оси), p нагиб криве и ε_i почетна вредност дилатације мерена након сто циклуса оптерећења [µm/m].

Користећи податке из табела 3 и 4, дефинисани су закони замора за ојачани и неојачани сет узорка применом конвенционалног критеријума. Закони замора за оба сета узорка су дати једначинама 5 и 6 и приказани на слици 5.

$$\ln(N_{HC,50\%}) = 49.94 - 6.80 \times \ln(\varepsilon_i) \quad (5)$$

$$\ln(N_{OC,50\%}) = 50.11 - 6.73 \times \ln(\varepsilon_i) \quad (6)$$



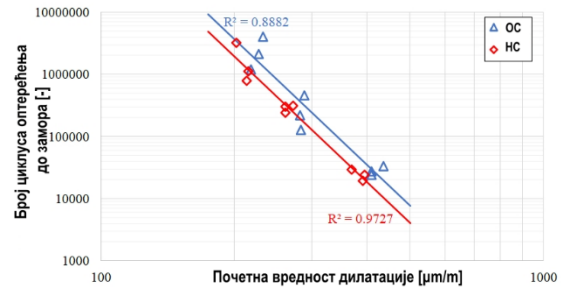
Слика 5. Закони замора за ојачане (ОС) и неојачане (НС) узорке (конвенционални критеријум)

Дилатација затезања која доводи до века трајања од 10^6 циклуса оптерећења, израчуната помоћу једначина 5 и 6, износи $\varepsilon = 202.1 \mu\text{m/m}$ за неојачане узорке и $\varepsilon = 220.7 \mu\text{m/m}$ за ојачане узорке. Геомрежа, дакле, повећава дилатацију затезања за 9.2%, повећавајући животни век ојачаних узорка за 71.9% у односу на неојачане, уколико се $\varepsilon = 202.1 \mu\text{m/m}$ усвоји као критична дилатација затезања.

Закони замора ојачаних и неојачаних узорка према ER критеријуму за дефинисање замора, дати су једначинама 7 и 8 и приказани на слици 6.

$$\ln(N_{HC,ER}) = 50.35 - 6.77 \times \ln(\varepsilon_i) \quad (7)$$

$$\ln(N_{OC,ER}) = 50.93 - 6.76 \times \ln(\varepsilon_i) \quad (8)$$



Слика 6. Закони замора за ојачане (ОС) и неојачане (НС) узорке (ER критеријум)

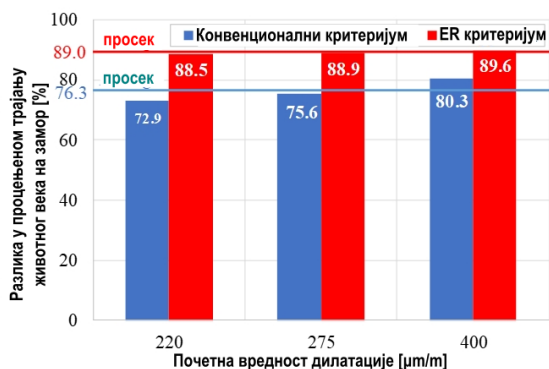
Применом ER критеријума, дилатација затезања која доводи до века трајања од 10^6 циклуса оптерећења, израчуната помоћу једначина 7 и 8, износи $\varepsilon = 221.3 \mu\text{m/m}$ за неојачане узорке и $\varepsilon = 243.1 \mu\text{m/m}$ за ојачане узорке. Може се закључити да геомрежа повећава вредност критичне дилатације ојачаних узорка за 9.8% у односу на неојачане узорке, док се век трајања ојачаних узорка повећава за 88.5% у односу на неојачане узорке, за усвојену критичну дилатацију $\varepsilon = 221.3 \mu\text{m/m}$.

Нагиби који дефинишу законе замора су слични за оба сета узорка, без обзира на примењени критеријум.

Применом једначина 5-8 за три различита нивоа дилатација процењен је утицај геомреже на животних век асфалтних узорка. У табели 5 приказан је број понављања оптерећења ојачаних и неојачаних узорка који доводи до замора у зависности од почетне вредности дилатације и примењеног критеријума за дефинисање замора. На слици 7 приказан је процентуални продужетак века трајања асфалтних узорка са мрежом у односу на узорке без мреже.

Табела 5. Процењено трајање животног века на замор

Почетна дилатација [µm/m]	Процењен животни век-НС		Процењен животни век – ОС	
	Nf (50%)	N1 (ER)	Nf (50%)	N1 (ER)
220	$5.76 \cdot 10^5$	$9.95 \cdot 10^5$	$1.02 \cdot 10^6$	$1.92 \cdot 10^6$
275	$1.26 \cdot 10^5$	$2.22 \cdot 10^5$	$2.25 \cdot 10^5$	$4.25 \cdot 10^5$
400	$9.88 \cdot 10^3$	$1.78 \cdot 10^4$	$1.78 \cdot 10^4$	$3.38 \cdot 10^4$



Слика 7. Процентуални пораст века трајања узорака са геомрежом у зависности од почетне вредности дилатације и примењеног критеријума за дефинисање замора

Процењен век трајања асфалтних узорака је приближно дупло дужи када се користи ER критеријум уместо конвенционалног, без обзира да ли је коришћена геомрежа као ојачање. Геомрежа, међутим, повећава животни век двослојних гредица за 76.3% и 89% према конвенционалном и ER критеријуму, при чему су резултати ER критеријума доста уједначенији и мање зависе од почетне вредности дилатације. Свеобухватни резултати испитивања показују да коришћење геомреже успорава пропагацију пукотина услед замора и представља структурно ојачање коловозне конструкције.

5. ЗАКЉУЧЦИ

У овом истраживању коришћен је опит савијања гредица у четири тачке за одређивање отпорности на замор неојачаних гредица и гредица ојачаних геомрежом, сачињених од два слоја асфалта (20 mm доњег слоја и 30 mm горњег слоја). Геомрежа је била постављена између два слоја асфалта, без наношења емулзије између слојева. Отпорност на замор ојачаних гредица упоређена је са отпорношћу на замор двослојних неојачаних гредица истих димензија (400x60x50 mm) које такође нису имале емулзију између слојева. Добијени резултати испитивања анализирани су применом два критеријума за дефинисање замора: конвенционалног критеријума у којем је животни век изражен као број циклуса оптерећења (Nf) при коме се почетна крутост редукује за 50% и критеријума заснованог на односу дисипованих енергија (ER) у којем се животни век дефинише као број циклуса оптерећења (N1) при коме долази до појаве првих пукотина.

Утицај геомреже на отпорност на замор асфалтних гредица одређен је поређењем анализираних резултата испитивања. Поређење показује следеће:

- коришћењем геомреже трајање животног века ојачаних узорака се повећава за 76.3% када се примењује конвенционални критеријум и за 89% када се примењује ER критеријум за дефинисање замора;
- дилатација затезања која доводи до замора узорака након милион циклуса оптерећења повећава се употребом геомрежа и то за 9.2% уколико се примени конвенционални критеријум и за 9.8% уколико се примети ER критеријум;
- нагиби кривих замора су слични за оба сета узорака, без обзира на примењени критеријум;
- животни век асфалтних узорака значајно зависи од примењеног критеријума за дефинисање замора: ER критеријум предвиђа скоро двоструко дужи животни век у односу на конвенционални.

Анализирани резултати су показали да геомрежа успешно прихвата и преноси хоризонталне напоне изазване настанком пукотине и одлаже њихово даље ширење, побољшавајући тако отпорност на замор асфалтних узорака. Међутим, неопходно је напоменути да између горњег и доњег слоја асфалта није примењена емулзија што чини то место потенцијално слабим у конструкцији гредица. Примена емулзије између асфалтних слојева неојачаних гредица би продужила њихов век трајања, али одговарајући тип и доза емулзије би допринели и продужењу животног века ојачаних гредица.

Досадашња искуства са применом мрежа су показала да оне долазе до изражаја управо у фази када значајно падне крутост асфалтних мешавина и када оне преузимају напрезања. Због тога ће будућа истраживања бити усмерена ка дефинисању предности примене геомрежа након смањења крутости асфалтних мешавина за 50% у односу на почетну вредност крутости.

ЗАХВАЛНОСТ

Аутори се захваљују компанији Saint-Gobain Adfors CZ која је подржала испитивање приказано у овом раду и компанији АД Војводинапут-Панчево - ШТРАБАГ која је омогућила припрему узорака на асфалтној бази.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Arsenie, I.M., Chazallon, C., Duchez, J. L. & Hornych, P. 2016. Laboratory characterisation of the fatigue behaviour of a glass fibre grid-reinforced asphalt concrete using 4PB tests. *Road Materials and Pavement Design* 18(1): 168-180
- [2] Arsenie, I.M., Chazallon, C., Duchez, J. L. & Doligez, D. 2004. Fatigue behaviour of an asphalt concrete reinforced with glass fiber grid with 4PB test. In Kim, Y. (ED). *Asphalt pavements; North Carolina, US, 1-5 June 2014*: 1301-1309. London: CRC Press
- [3] Nguyen, M.L., Blanc, J., Kerzrého, J.P. & Hornych, P. 2013. Review of glass fibre grid use for pavement reinforcement and APT experiments at IFSTTAR. *Road Materials and Pavement Design*, 14(sup1): 287-308
- [4] Pasquini, E., Bocci, M., Ferroti, G. & Canestrari, F. 2013. Laboratory characterisation and field validation of geogrid-reinforced asphalt pavements. *Road Materials and Pavement Design*, 14(1): 17-35
- [5] Graziani, A., Sangiorgi, C. & Canestrari, F. 2016. Fracture Characterization of Grid-Reinforced Asphalt Pavements. In Chabot A., Buttlar, W., Dave, E., Petit, C. and Tebaldi, G (eds.), *8th RILEM International Conference on Mechanisms of Cracking and Debonding in Pavements*, RILEM Bookseries, vol 13. Springer, Dordrecht
- [6] Romeo, E. & Montepara, A. 2012. Characterization of reinforced asphalt pavement cracking behavior using flexural analysis. *Procedia – Social and Behavioral Sciences* 53: 356-365
- [7] Virgili, A., Canestrari, F., Grilli, A. & Santagata, F.A. 2009. Repeated load test on bituminous systems reinforced by geosynthetics. *Geotextiles and Geomembranes* 27: 187-195
- [8] Rowe, G.M., Blankenship, P., Sharrock, M. & Bennert, T. 2012. The fatigue performance of asphalt mixtures in the four point bending beam fatigue test in accordance with AASHTO and ASTM analysis method. In *Proceeding of the 5th Eurasphalt & Eurobitume Congress, Istanbul, Turkey, 13-15 June 2012*
- [9] Abojaradeh M. 2013. Development of Fatigue Failure Criterion for Hot-Mix Asphalt Based on Dissipated Energy and Stiffness Ratio. *Jordan Journal of Civil Engineering*, 7(1): 54-69
- [10] Rowe G. M. 1993. Performance of Asphalt Mixtures in the Trapezoidal Fatigue Test. In *Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologist, Volume 62, Austin, Texas*: 344-384
- [11] Van Dijk, W. & Visser, W. 1977. The Energy Approach to Fatigue for Pavement Design. In *Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologist, 21-23 February; San Antonio, Texas*: 1-40
- [12] Di Benedetto, H., Nguyen, Q.T. & Sauzeat, C. 2011. Nonlinearity, Heating, Fatigue and Thixotropy during Cycling Loading of Asphalt Mixtures. *Road Materials and Pavement Design* 12(1): 129-158
- [13] Lundstrom, R., Di Benedetto, H. & Isacsson U. 2004. Influence of asphalt mixture stiffness on fatigue failure. *Journal of materials in civil engineering* 16(6): 516-525
- [14] Shen S. & Lu X. 2011. Energy-Based Laboratory Fatigue Failure Criteria for Asphalt Materials. *ASTM Journal of Testing and Evaluation* 39: 1-8
- [15] Abojaradeh, M., Witczak, M., Mamlouk, M. & Kaloush, K. 2007. Validation of Initial and Failure Stiffness Definitions in Flexure Fatigue Test for Hot-Mix Asphalt. *ASTM Journal of Testing and Evaluation* 35: 95-102
- [16] Tayebali, A. A., Deacon, J. A., Coplantz, J. S. & Monismith C. L. 1993. Modelling Fatigue Response of Asphalt-Aggregate Mixes. *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists* 62: 385-421
- [17] Pronk, A.C. & Hopman, P.C. 1990. Energy dissipation: the leading factor of fatigue. In *proceedings of Highway Research: Sharing the Benefits. The United States Strategic Highway Research Program, 29-31 October; London, England*: 255-267
- [18] Hopman, P.C., Kunst, P.A.J.C. & Pronk, A.C. 1989. A Renewed Interpretation Method for Fatigue Measurement, Verification of Miner's Rule. In *proceeding of 4th Eurobitumen Symposium, Volume 1, 4-6 October; Madrid, Spain*: 557-561
- [19] Rowe G. M. 1993. Performance of Asphalt Mixtures in the Trapezoidal Fatigue Test. In *Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologist, Volume 62, Austin, Texas*: 344-384
- [20] EN 12697-24: 2018 - Bituminous mixtures - Test methods - Part 24: Resistance to fatigue