

ПРИМЕНА ГЕОСИНТЕТИЧКИХ МАТЕРИЈАЛА У АРМИРАЊУ АСФАЛТНИХ СЛОЈЕВА ПОЈАЧАЊА

Љиљана Тривић

Институт за путеве А.Д., Београд, Србија

Резиме: У раду су приказани типови геосинтетичких материјала који се користе за армирање асфалтних слојева појачања приликом рехабилитације коловозних конструкција. Приказани су основни механизми њиховог деловања у сјези са асфалтним слојевима. За правилан избор и примену ових материјала потребно је установити релевантне параметре којима се дефинише улога овог слоја у ојачању асфалтног слоја, што је основни задатак пројектовања. Такође су приказани и показатељи ефеката установљених на основу иностраног искуства и сprovedених истраживања.

Кључне речи: Коловоз, асфалт, ојачање, укошине, армирање, геомреже, геокмозици.

APPLICATION OF GEOSYNTHETIC MATERIALS IN REINFORCEMENT OF ASPHALT OVERLAYS

Abstract: Types of geosynthetic materials, which are used for reinforcement of asphalt overlays during rehabilitation of pavement constructions are presented in this paper. Basic mechanisms of their interaction with asphalt layers are also presented. For the proper selection and application of these materials it is necessary to determine all relevant parameters which define the role of this layer in improvement of asphalt layer, which is the basic task of design. This paper also presents indicators of effects which were identified on the basis of foreign experiences and performed research.

Key words: Pavement, asphalt, overlay, cracks, reinforcements, geogrids, geocomposites.

1. ОПШТЕ О УПОТРЕБИ ГЕОСИНТЕТИЧКИХ МАТЕРИЈАЛА У АСФАЛТНИМ КОЛОВОЗНИМ КОНСТРУКЦИЈАМА

Улога геосинтетика у коловозним конструкцијама може бити двојака:

- филтрирање и раздвајање слојева
- армирање

Геосинтетичким материјалима могу се армирати различити слојеви коловозне конструкције:

- постелица (слабо носиво тло)
- носећи слојеви од невезаног каменог агрегата
- асфалтни слојеви

Геотекстили су први геосинтетички материјали који су употребљени у путоградњи, а са основном улогом дренарања и филтрирања, као и раздвајања невезаних слојева изведених од каменог агрегата од тла. Унапређењем карактеристика ових материјала уназад 20 година почела је све интензивнија примена ових материјала у армирању слојева коловозне конструкције. Тема овог рада је армирање асфалтних слојева приликом израде слојева појачања постојећих коловозних конструкција.

1.1 Развој употребе геосинтетичких материјала у армирању асфалтних слојева

Прва идеја о употреби ових материјала у асфалтним слојевима била је да се ови материјали искористе као мембрана-односно као непропусни материјал за продор воде дубље у конструкцију и тиме се смање негативне последица смрзавања. У ту сврху употребљавају се геотекстили. Веза се остварује лепљењем. Због великих истезања геотекстила, која су битно већа од деформација које изазивају пукотине у асфалту, овај материјал није могао да преузме и улогу армирања асфалта.

По узору на армирање бетона, за армирање асфалтних слојева приступило се изради различитих мрежа. Пробе са класичном арматурном мрежом нису биле успешне јер је челик превише крут, па осим проблема при уградњи, овај материјал није на адекватан начин пратио понашање асфалта при великим температурним разликама, а постоји и проблем немогућности рециклирања асфалта.

Од 80-тих година долази до наглог развоја полимерних мрежа одговарајућих својстава која су компатибилнија са карактеристикама асфалтних слојева. Основне карактеристике ових материјала које су омогућиле функцију армирања асфалтних слојева су: остварена је постојаност ових материјала на високим температурама уградње асфалтних слојева, велика затезна чврстоћа влакана и могућност рециклирања са асфалтом. Даљим развојем карактеристика материјала и начина уграђивања, произведени су композити мрежа и геотекстила који се данас највише користе. На тржишту је сада на располагању широк избор типова и карактеристика ових материјала.

Осим полимерних мрежа у употреби су и мреже од стаклених влакана импрегнираних битуменом или пластичним материјалом као и геотекстили армирани стакленим влакнима у два правца.

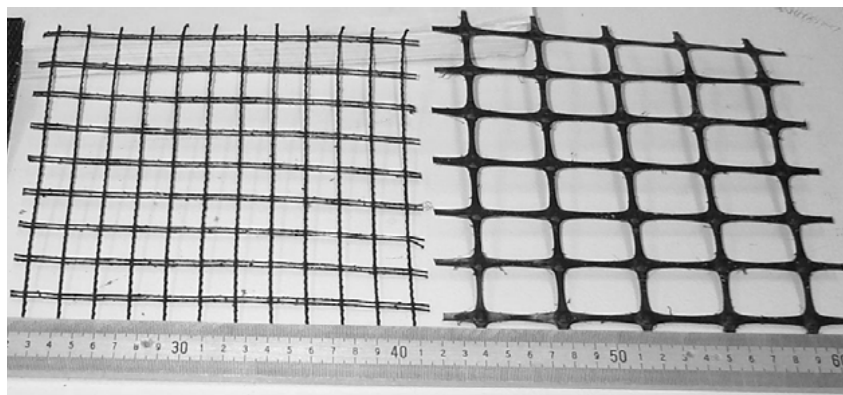
1.2 Типови геосинтетичких материјала за армирање асфалтних слојева

I. Геомреже

Геомреже се израђују од полипропилена и полиестера. По технологији израде постоје две основне групе геомрежа: ткане мреже и екструдирани мреже (слика 1).

Ткане мреже формиране у од вишеструко спојених влакана постављених у два ортогонална правца и међусобно повезаних у чворним тачкама. Екстудирани мреже добијају се из пуног комада полипропилена бушењем «окаца».

Постављане и причвршћивање ових мрежа за асфалтну подлогу мора се обезбедити клиновима.



Слика 1: Два основна типа геомреже : ткане и екстудирани

II. Геокомпозити

Композити обједињавају позитивне карактеристике оба материјала. Мрежа има функцију армирања, односно преузимања дела напрезања из асфалтног слоја. Функција геотекстила може бити или само у омогућавању боље уградње, а може бити и циљу стварања мембране за спречавање продора воде, што зависи од типа употребљеног геотекстила. Композити се лепе преко површине прскане емулзијом у потребној количини. Две основне групе геокомпозита су:

- композити састављени од нетканог геотекстила и геомреже
- композити састављени од нетканог геотекстила и мреже од стаклених влакана

2. МЕХАНИЗМИ НАСТАНКА ОСНОВНИХ ОШТЕЋЕЊА АСФАЛТНИХ СЛОЈЕВА

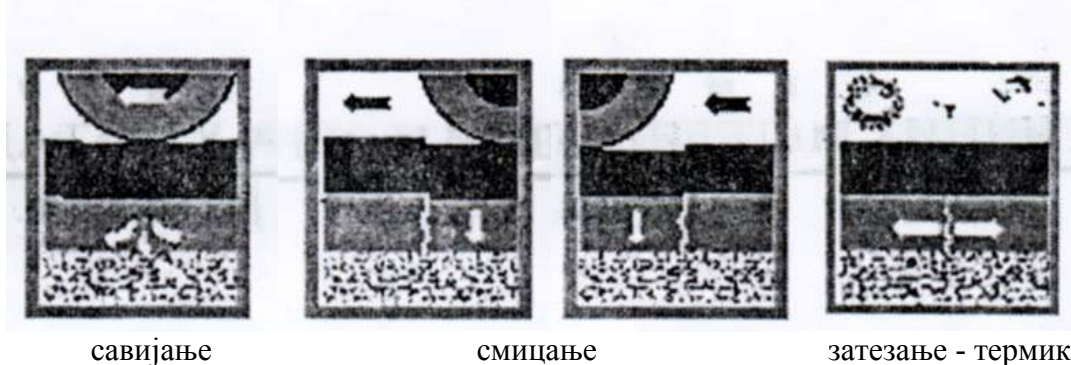
2.1 Пукотине

➤ Пукотине од замора

Ове пукотине последица су саобраћајног оптерећења и формирају се у доњем влакну асфалтног слоја у тренутку прекорачења дозвољене деформације затезања при одређеном броју понављања оптерећења. За настајање ових пукотина одговорни су напони савијања у доњем влакну асфалтног слоја. Након настанка, потребно је још неко време док пукотина не избије на површину.

➤ Рефлектоване пукотине

Ове пукотине резултат су рефлектовања постојећих пукотина у слојевима испод слоја појачања. То могу бити пукотине у старим асфалтним слојевима, или пукотине у носећим слојевима стабилизованим цементом, као и пукотине и спојнице у старом бетонском коловозу "пресвученом" асфалтним слојевима појачања. У зависности од механичких модела понашања коловозне конструкције, ове пукотине се могу појавити и развијати услед: великих напона затезања који су последица савијања под дејством оптерећења, напона затезања од термичких утицаја, или услед напона смицања од могућих вертикалних померања крутих сегмената под дејством саобраћаја (слика 2).



Слика 2: Начини рефлектовања пукотина кроз слој појачања

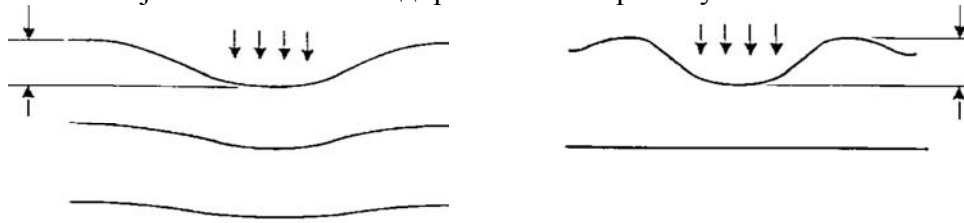
➤ Термичке пукотине у застору

Настају као последица старења или неадекватног квалитета материјала у мешавини, а под дејством климатских утицаја. За разлику од горе наведених пукотина, ове пукотине настају на површини и напредују ка дубљим слојевима.

2.2 Колотрази

За настанак колотрага два су могућа узрока (слика 3):

- слаба подлога – колотрази су последица великих вертикалних напона од оптерећења у свима слојевима конструкције;
- лоше карактеристике асфалтног слоја – колотрази се јављају само у горњим асфалтним слојевима изложеним директном оптерећењу.



а) колотраг-последица слабе подлога

б) колотраг у асфалтном слоју

Слика 3: Различити узроци појаве трајне деформације у коловозним конструкцијама

3. ПАРАМЕТРИ ЗА ИЗБОР ТИПА И ПОЗИЦИЈЕ МАТЕРИЈАЛА ЗА АРМИРАЊЕ

Палета материјала и произвођача геосинтетичких материјала намењених за армирање асфалтних слојева задњих година је у експанзији. За правилан избор и примену ових материјала неопходно је утврдити:

- очекивано оштећење и тип оптерећења које доводи до појаве оштећења
- улогу материјала за армирање
- позицију слоја за армирање
- механизам активирања и деловања слоја за армирање

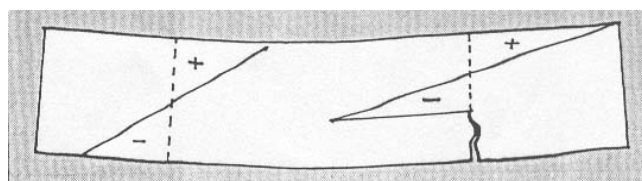
3.1 Улога материјала за армирање асфалтног слоја

Основна улога геосинтетичких материјала за армирање асфалтних слојева је у контролисању развоја насталог оштећења а не у спречавању настанка оштећења. То значи да се армирањем асфалтних слојева не врши побољшање носивости конструкције. Утицај армирања је у домену споријег развоја оштећења и одлагања појаве оштећења на површини, чиме се продужава животни век конструкције.

За различите типове оштећења (наведене у тачки 2), улога и позиција слоја за армирање је дефинисана механизмом настанка и развоја оштећења.

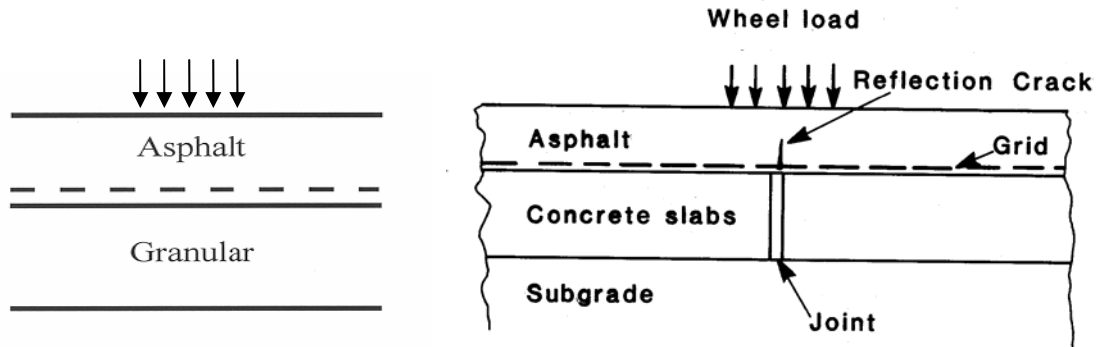
➤ Пукотине од замора и рефлектујуће пукотине

У оба горе наведена случаја критична деформација је у доњем влакну асфалтног слоја у коме настаје пукотина. Развој пукотине кроз асфалтни слој догађа се под дејством концентрисаних напона затезања на врху пукотине (слика 4).



Слика 4: Напонско стање у зони пукотине

Основна улога армирања асфалта је у преузимању ових напона, па је у том смислу битно да је чврстоћа на затезање мреже већа од чврстоће асфалтног слоја. Мрежа треба да буде постављена што ближе месту критичних напрезања, што је у оба случаја доње влакно асфалтног слоја (слика 5).



Слика 5: Позиција мреже за одлагање појаве пукотина на површини

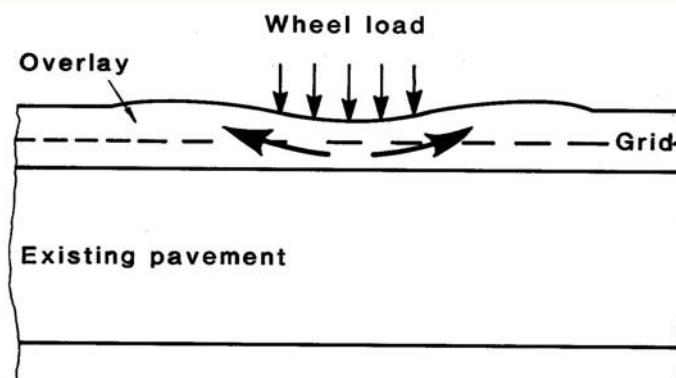
➤ Термичке пукотине настале на површини

У овом случају функција постављања геосинтетичког материјала била би у стварању мембране за спречавање продора воде у доње слојеве.

➤ Колотрази

У случају слабо носиве подлоге армирање има сврху само ако се примени на постеличном слоју или у невезаним носећим слојевима. Армирање асфалтног слоја има сврху само уколико је овај слој директно одговоран за настанак трајне деформације. Са обзиром да су критичне деформације у средини слоја, ту би било најсврхисходније поставити армирајући слој (слика 6).

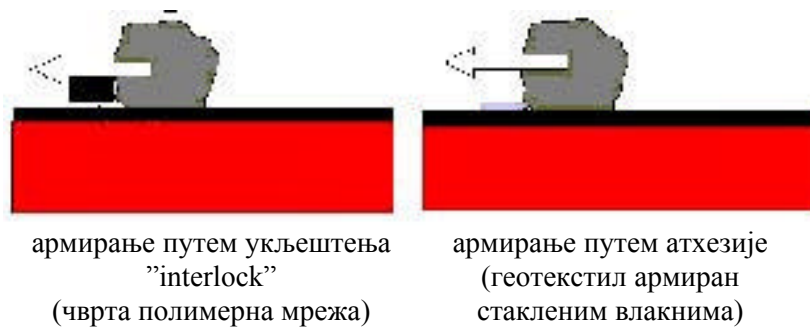
У пракси се за спречавање појаве колотрага у асфалтним слојевима много више користе могућности побољшања карактеристика саме асфалтне мешавине (примена додатака-пластомера, модификованог битумена, специјалних мешавина-СМА).



Слика 6: Позиција мреже за ублажавање трајних деформација у асфалтном слоју

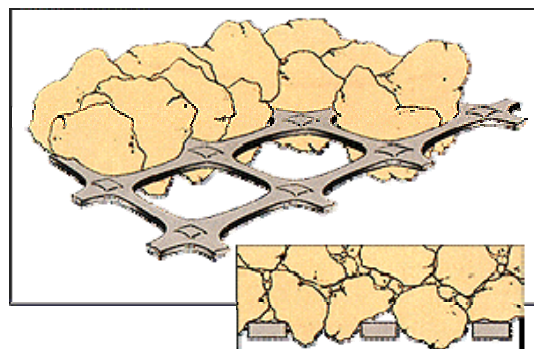
3.2 Основни механизми армирања

Два су основна механизма којима се остварује пренос напона и деформација са асфалтног слоја на геосинтетички материјал (слика 7):



Слика 7: Механизми активирања и дејства геосинтетичког материјала за армирање

I. Укљештење ("interlock") - Пренос се остварује путем директног контакта агрегата у асфалтном слоју и влакана мреже. Овај директан контакт настаје укљештењем зрна агрегата у окца мреже, чиме она преузима затежуће напоне и спречава "размицање", односно смањује хоризонталне деформације у асфалтном материјалу (слика 8). Овај механизам је могућ код полимерних мрежа веће чврстоће и израженији је код еструдираних него код тканих. Овакав механизам армирања ефикасан у случајевима ниских концентрација напона и високих концентрација деформација. Примери: развој пукотине од замора у асфалтном слоју, вертикална померања на споју две различите конструкције (нпр. проширење и постојећи коловоз), рефлектовање бетонских спојница у којима нема преноса оптерећења (без можданика), слаба подлога итд.



Слика 8: Механизам укљештења агрегата из асфалтног слоја у мрежу ("interlock")

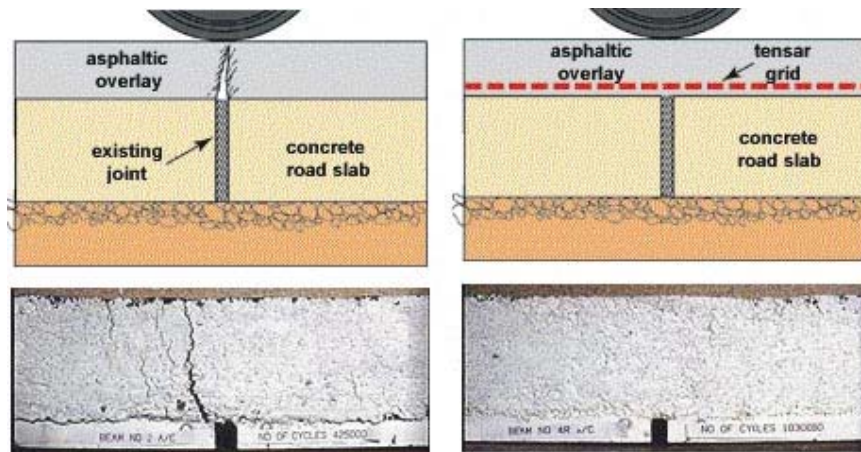
II. Атхезија - Пренос путем атхезије остварује се приликом армирања геотекстилом и композитима (геотекстил и мрежа од стаклених или пластичних влакана). Овакав механизам армирања погодан је у случају великих концентрација напона и малих концентрација деформација - нпр. рефлектовање спојница и пукотина из бетона услед термичких напона. Геотекстил у овом случају има и функцију водоотпорне мембране у тренутку када се пукотина развије до површине.

4. РЕЗУЛТАТИ ЛАБОРАТОРИЈСКИХ ИСТРАЖИВАЊА И ИСПИТИВАЊА

Лабораторијска испитивања којима је испитиван ефекат армирања асфалта геосинтетичким материјалима на појаву пукотина спроведена су у два основна правца:

- симулација механизма рефлектовања пукотина и
- испитивање замора на телима од неармираног и армираног асфалтног материјала.

Једна од првих испитивања спроведена су у Nottingham-у 1984.год.[1]. Тест је симулирао рефлектовање спојнице из бетонског коловоза кроз асфалтно појачање. Асфалтне гредице (525x150x100mm) постављене су на дрвене даске са међусобним размаком од 10mm на гуменој основи. За армирање је коришћена еструдирана геосинтетичка мрежа са "interlock" механизмом армирања. Систем је изложен цикличном оптерећењу. Пукотина је рефлектована кроз неармирану гредицу након 425000 циклуса оптерећења. У армираној гредици и након 10^6 циклуса није дошло до рефлектовања пукотине, уочене су само танке прслине у близини саме спојнице (сл. 9). Даљим унапређењем овог теста испитиван је заједнички утицај оптерећења од точкова и утицај температуре -термичка напрезања [2]. Овим испитивањима добијен је десет пута дужи век армираног асфалтног слоја од нермираног.



Слика 9: Симулација рефлектовања пукотине кроз неармиран асфалтни слој (лево) и асфалтни слој армиран геомрежом у доњем влакну (десно)

Испитивања рефлектовања пукотина на исти начин спроведена су и коришћењем различитих геосинтетичких материјала и вршено је поређење у односу на неармиран стандарни и полимер модификовани асфалт [2]. У табели 1 приказани су упоредни резултати, из којих се види већи ефекат оба геосинтетичка материјала у односу на полимер модикован асфалт.

Табела 1: Упоредни приказ ефеката материјала на рефлектовање пукотина

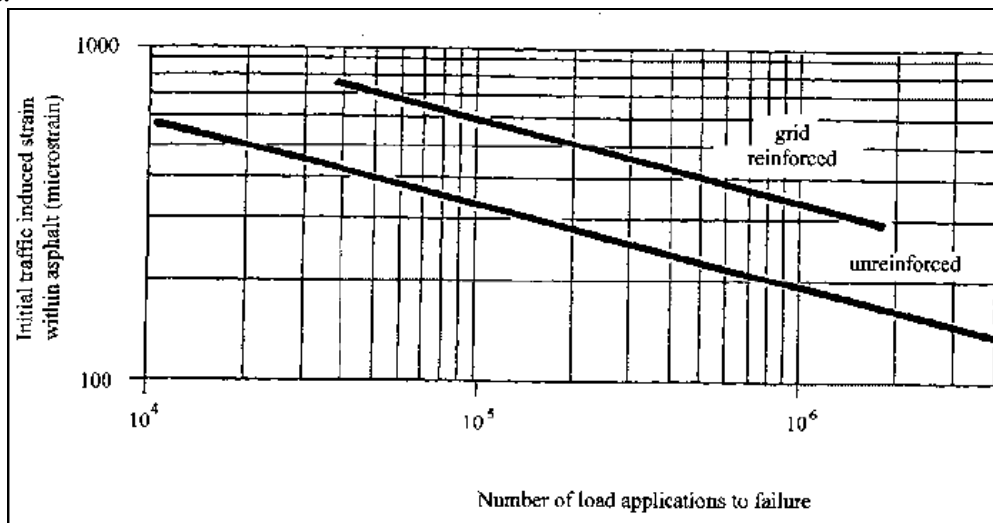
Појачање	Релативна трајност	Релативна цена
стандарни асфалт	1.0	-
полимер модификовани асфалт	2.5	2.5
геотекстил	5.0	1.0
геомрежа	10.0	4.0

Испитивања замора армираног и неармираног асфалтног слоја [3] узела су у обзир две фазе: прва фаза - појава пукотине и друга фаза - развој пукотине.

Важно је нагласити да мреже којима се врши армирање асфалтних слојева ни у једном случају не могу да спрече или одложе појаву пукотине у критичном влакну асфалтног слоја. До активирања њиховог дејства долази тек након иницирања пукотине, оне у том тренутку преузимају значајан део напона затезања на врху пукотине и тиме успоравају раст пукотине, што у крајњој последици има знатно одлагање појаве пукотине на површини и самим тим утиче на продужење животног века конструкције.

Ово значи да геосинтетичка мрежа не утиче на прву фазу, тј. нема улогу спречавања појаве пукотине, већ има улогу контролисања пукотина и њена права улога се види у другој фази.

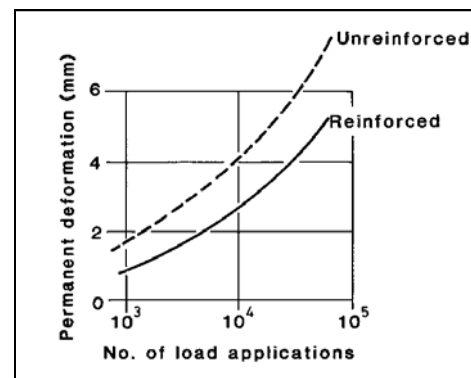
Резултати теста (слика 10) показују да се армирањем асфалта животног век увећава и до 10 пута.



Слика 10: Закон замора на основу урађених испитивања

Осим приказаних тестова, на Nottingham универзитету су 1985.год. рађени и тестови за испитивање ефеката армирања на развој колотрага у асфалтним слојевима [3].

На фотографији (слика 11) су приказане две асфалтне плоче испитиване на колотраг: лева плоча је од неармираног асфалта док је десна плоча армирана. На дијаграму је дат упоредни развој колотрага у функцији броја понављања оптерећења, добијен из овог теста.



Слика 11: Резултати спроведених испитивања на колотраге

5. РЕЗУЛТАТИ ДОБИЈЕНИ ПРИМЕНОМ ПРОГРАМСКОГ МОДЕЛА

Развој програма за пројектовање армираних асфалтних слојева појачања започео је око 1990.године, и заснован је на примени методе коначних елемената [4]. Овај модел није било лако применити у стандардној процедури пројектовања, али је у неким земљама коришћен за формирање графикона за пројектовање [5].

Истраживачки пројекат на Nottingham универзитету 2000.године [6] развио је компјутерски модел OLCRACK за предвиђање развоја пукотине који се базира на следећим поједностављеним претпоставкама:

- Присуство пукотине редукује ефективни модул асфалтног слоја. У близини пукотине се јављају "мртве" зоне које не преузимају напоне. Ово проузрокује мању ефективну дебљину асфалтног слоја у зони пукотине и самим тим мању крутост на савијање.
- Деформација у зони врха пукотине рачуна се из ефективног модула напона затезања и дистрибуира се на неиспуцалу дебљину асфалтног слоја.

Прорачун развоја пукотине базиран је на Paris-овом закону:

$$\frac{dc}{dN} = A \cdot \varepsilon_i^n$$

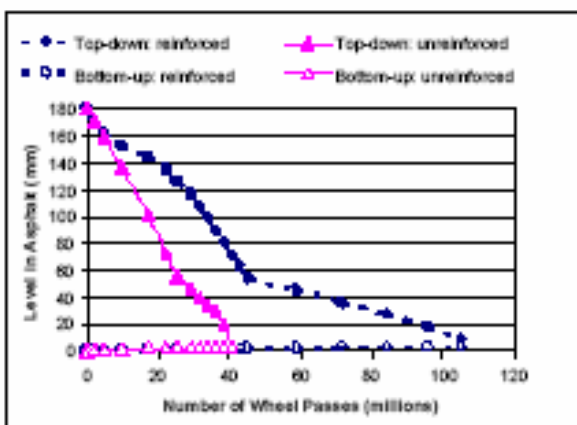
где је ε_i деформација затезања на врху пукотине, N број понављања оптерећења, а фактори A и n се добијају из ITFT теста (Indirect Tensile Fatigue Test).

Присуство мреже за армирање узима се у обзир преузимање напона затезања у асфалтном слоју са смањеном отпорношћу на савијање.

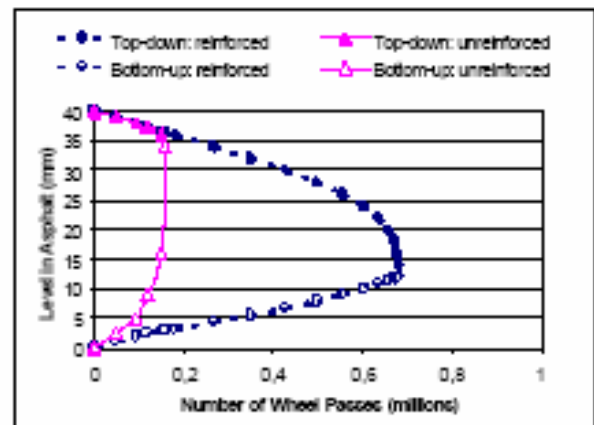
Програм захтева податке о оптерећењу, асфалтном слоју појачања, карактеристикама мреже, међуконтакту, размаку пукотина, "interlock"-у и подлози. Као резултат, програм предвиђа развој пукотине у оба смера: из доњег влакна према површини и обрнуто, са површине према доњем влакну.

Моделирана су су два типична случаја појачања коловоза асфалтним слојем и за сваки од њих анализиран развој пукотине у случају неармираног и армираног слоја појачања (слика 12) :

1. Бетонски коловоз појачаан асфалтним слојем дебљине 18cm - армирањем је повећан број прелаза оптерећења до потпуног формирања пукотине око 2.5 пута.
2. Појачање коловоза слабе носивости асфалтним слојем дебљине 4cm - фактор побољшања услед армирања је око 4 .



dov=18cm преко бетонског коловоза



dov=4cm преко коловоза слабе носивости

Слика 12: Резултатима примене програма OLCRACK

6. ЗАКЉУЧАК

Начин армирања асфалтних коловоза (врста материјала, неопходне карактеристике, позиција као и очекивани ефекат) мора бити дефинисан пројектом коловозне конструкције. Приступ "корак по корак"[7] омогућава да сви релевантни параметри буду испитани и истражени:

1. одредити примарно оптерећење коловозне конструкције
2. одредити потенцијални узрок оштећења
3. одредити локацију слоја за армирање
4. одредити услове и начин инсталације слоја
5. испитати могућност и потребу за уклањањем и рециклирањем
6. изабрати тип материјала за армирање

Осим горе наведених параметара, за резултат употребе ових материјала јако је важан начин инсталирања. Уколико се инсталирање не изведе како треба може доћи до негативних ефеката као што су губљење контакта међу слојевима, набирање и сл. Ови проблеми све су мање присутни захваљујући интензивном развоју композита којима се обезбеђује бољи контакт материјала за постојећу површину, као и једоставној механизацији којом се обезбеђује брз и квалитетан начин инсталирања геосинтетика.

На жалост, још увек није развијена једноставна процедура за пројектовање армираних асфалтних слојева појачања, што отежава вредновање ефеката армирања у стандардној процедури пројектовања. Једини начин моделирања ових конструкција за сада је модел коначних елемената. Ово ипак не треба да буде препрека за пројектовање употребе ових материјала, са обзиром на читав низ позитивних резултата испитивања узорака у лабораторијским условима, позитивних резултата добијених програмским моделирањем, као и праћењем стања изведених деоница. До развитка стандардне процедуре којом ће бити омогућено егзактно вредновање оваквог армирања, потребно је држати се процедуре којом ће материјал за армирање асфалта бити употребљен на начин који ће обезбедити најквалитетнији ефекат.

РЕФЕРЕНЦЕ

- [1] Hughes, D A B et al: *Tensar reinforcement of asphalt*. Proceedings of the Symposium on Polymer Grid Reinforcement in Civil Eng., SERC/Netlon Ltd, London, March 1984.
- [2] Caltabiano, M A et al: *Reflection cracking in asphalt overlays*, Association of Asphalt Paving Tehnologists, March 1991.
- [3] S.F.Brown, University of Nottingham: *Polimer reinforced grid to limit cracking and rutting in pavements*, 3rd IRF Middle East region Meeting, Riyadh, Saudi Arabia, 1988.
- [4] Scarpas , A. et al.: *A modern tool for the analysis and design of pavements*, RILEM conference on reflective cracking, Liege, 1993.
- [5] De Bondt, A.H.: *Anti-reflective cracking design of (reinforced) asphaltic overlays*, Delft University of Technology, Delft, 1999.
- [6] Thom, N.H.: *A simplified computer model for grid reinforced asphalt overlays*, 4th international RILEM conference, Ottawa, 2000.
- [7] B.Uijting, A.Gilchrist *Designing asphalt maintenance using asphalt reinforcement: reinforcement selection, design of overlay thickness and impact on design life*, MAIREPAV'03, 2003.