

Primjena armaturnih mreža u asfaltnim slojevima kolnika

Mihalinac, Sandra; Rukavina, Tatjana; Šimun, Miroslav

Source / Izvornik: **5. simpozij doktorskog studija građevinarstva, 2019, 197 - 205**

Conference paper / Rad u zborniku

Publication status / Verzija rada: **Published version / Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)**

<https://doi.org/10.5592/CO/PhDSym.2019>

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:508519>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-08**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,
University of Zagreb](#)



Primjena armaturnih mreža u asfaltnim slojevima kolnika

Sandra Mihalina¹, prof.dr.sc. Tatjana Rukavina², doc.dr.sc. Miroslav Šimun³

¹Tehničko veleučilište u Zagrebu, Graditeljski odjel, sandra.mihalina@tvz.hr

²Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, rukavina@grad.hr

³Tehničko veleučilište u Zagrebu, Graditeljski odjel, msimun@tvz.hr

Sažetak

Asfaltni kolnici izloženi su dinamičkim opterećenjima prometa, velikim temperaturnim oscilacijama koje utječu na ponašanje materijala i pri različitim eksploatacijskim uvjetima uzrokuju pojavu trajnih deformacija u obliku pukotina i kolotraga. Upotrebom odgovarajućih mreža za armiranje produljuje se vijek trajanja slojeva kolničke konstrukcije i smanjuju troškovi održavanja asfaltnih kolnika. Upotrebom armaturnih mreža prilikom sanacija sprječava se rizik od reflektiranja strukturnih pukotina iz donjih slojeva u gornje slojeve kolničke konstrukcije, a sve to zahtijeva pouzdanije zahvate na kolniku i troškovno isplativije načine održavanja cesta.

Ključne riječi: asfaltni kolnik, deformacije, strukturne pukotine, kolotraženje, armaturna mreža

Grids application in asphalt pavement layers

Abstract

Asphalt pavements are exposed to dynamic loads of traffic, high fluctuations in temperature affecting the behaviour of the material and at various exploitation conditions cause permanent deformations in the form of cracks and ruts. Using adequate grids increases the lifetime of the pavement layers and thus reduces maintenance costs. Using grids by rehabilitation, it avoids the risk of reflecting structural cracks from the lower layers into the upper layers of the pavement, requiring more reliable pavement operations and cost-effective road maintenance.

Key words: asphalt pavement, deformations, structural cracks, rutting, grid

1 Uvod

Prometna infrastruktura ključna je za ekonomske i društvene pokazatelje nekoga geografskog područja. Kvaliteta asfaltnih kolnika ima izravan utjecaj na mobilnost stanovništva i prijevoz robe. Zbog kontinuiranoga rasta broja vozila i povećanja osovinskoga opterećenja dolazi do toga da pojedini slojevi kolničkih konstrukcija brže propadaju. Prema Statističkom godišnjaku Cestovne federacije Europske unije (ERF) iz 2017., u Europskoj uniji postoji više od 4,8 milijuna kilometara cesta s asfaltnim zastorom [1] koje je potrebno održavati na odgovarajući način.

Asfaltni slojevi kolnika moraju biti stabilni i postojani, otporni na deformacije, posebno onih plastičnih pri višim temperaturama, otporni na niske temperature, na djelovanje prometa, hrapavi i hvatljivi te ekonomični s gledišta mogućnosti nabave i kvalitete upotrijebljenih materijala.

Tijekom eksploatacije zbog sve većega porasta opsega cestovnog prometa dolazi do postupne degradacije kolničke konstrukcije, ponajprije do oštećenja asfaltnih slojeva u obliku pukotina, kolotraga, ulegnuća i sličnog. Te se pojave pripisuju ponajprije djelovanju prometnoga opterećenja kao i temperaturnim naprezanjima koja su posljedica širenja i skupljanja.

Pukotine smanjuju strukturnu stabilnost kolnika i omogućuju prodiranje vode u slojeve kolničke konstrukcije, što rezultira bržim propadanjem kolnika.

Upravo su mreže za armiranje asfalta jedno od rješenja prilikom izgradnje novih kolničkih konstrukcija, ali i prilikom sanacije već postojećih kolničkih konstrukcija koje ispunjavaju navedene zahtjeve [2-16]. Upotrebom mreža za armiranje asfalta poboljšava se ponašanje asfaltnih slojeva, ali i kolničke konstrukcije u cjelini.

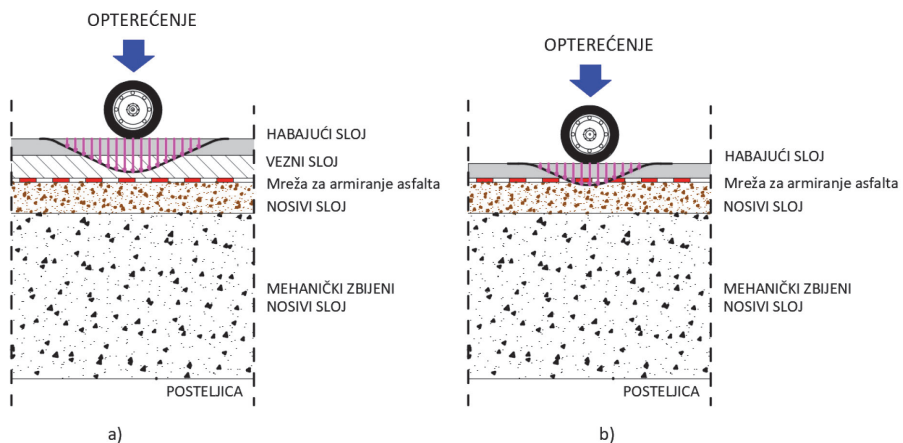
2 Mreže za armiranje asfalta

Pojačanje kolnika armaturnim mrežama započelo je 60-ih godina prošloga stoljeća u Sjedinjenim Američkim Državama. Prve proizvedene mreže sastojale su se od čeličnih zavara, zbog kojih njihova primjena nije naišla na veći odaziv. Nakon toga proizvedene su sintetičke mreže koje zbog nedovoljno istraženoga načina ugradnje nisu pokazale dobra svojstva u povezivanju s asfaltom. Godine 1985. u Nizozemskoj pokrenuta je proizvodnja mreža od novih materijala kao što su poliester, polipropilen, staklo i čelik [2] koji se koriste i danas.

Mreže od polipropilena i poliesteru mogu biti obložene polimerom radi otpornosti na UV stabilnost, netkanim materijalom radi zadržavanja bitumena ili patentnim polimernim premazom koji se ugrađuje između dva spojena poliesterska tekstila (najčešće kod mreža izrađenih od staklenih vlakana). Najmanja veličina otvora mreže za armiranje je 12,5 x 12,5 mm, najčešće se proizvode s otvorima veličine 25 x 25 mm, a mogu biti i s otvorima veličine 35 x 35 mm. Standardne vlačne čvrstoće iznose

50 kN/m, 100 kN/m i 200 kN/m. Mreže za armiranje asfalta postavljaju se na suhu i čistu podlogu, čija temperatura treba biti u granicama od 5°C do 60°C [17]. Površina mreže mora biti valjana gumenim ili pneumatskim valjkom. Radi učinkovitoga povezivanja mreže s podlogom potrebno je nanijeti emulziju, čija količina varira od 0,5 do 1,1 kg/m², ovisno o prethodno tretiranoj podlozi, a određuje se na probnoj dionici. Optimalna količina emulzije određuje se kod maksimalne prionjivosti armaturne mreže i asfaltnoga sloja. Mreža mora biti napeta podjednako s obje strane postavljanja kako bi se spriječilo nastajanje preklopa i nabora. Minimalna debljina asfalta iznad postavljene mreže za armiranje iznosi 4 cm kako ne bi došlo do klizanja između asfaltnih slojeva.

Na slici 1. prikazana su mjesta (pozicije) ugradnje mreža između različitih slojeva kolničke konstrukcije i prijenos naprezanja ispod kotača vozila. Općenito je zaključeno to da se mreža za armiranje asfalta kod troslojnih kolnika postavlja između nosivoga i veznoga sloja (slika 1.a), dok se kod dvoslojnih kolnika postavlja neposredno ispod habajućega sloja (slika 1.b) [3].



Slika 1. Raspodjela naprezanja u kolniku i mjesta postavljanja mreža za armiranje asfalta: a) kod troslojnih kolnika; b) kod dvoslojnih kolnika

3 Pregled dosadašnjih istraživanja

U cilju optimizacije troškova održavanja i poboljšanja fizikalno-mehaničkih svojstava u cilju produljenja vijeka trajanja asfaltnih kolnika danas se koriste mreže za armiranje asfalta koje se postavljaju između slojeva kolničke konstrukcije. Na slici 2. prikazana je izražajna strukturna pukotina, a na slici 3. poprečna i uzdužna pukotina. Upotrebom mreža za armiranje asfalta takvi tipovi pukotina mogu se spriječiti ili se može smanjiti njihovo pojavljivanje.



Slika 2. Izražajna strukturna pukotina [4]



Slika 3. Poprečna i uzdužna pukotina [4]

Provedena istraživanja armaturnih mreža bila su usmjerena na utjecaj veličine otvora, materijala od kojeg je mreža proizvedena, ugradnje mreže na povezivanje slojeva u kolničkoj konstrukciji i slično.

3.1 Utjecaj veličine otvora i baznoga materijala armaturnih mreža

Učinkovitost armaturnih mreža ovisi o veličini i obliku otvora, veličini čestica agregata i krutosti rebara mreže. Otvori mogu biti pravokutnoga ili kvadratnoga oblika dimenzija od 6 mm do 50 mm. Pojedinačna rebara mogu biti širine od 4 mm do 8 mm [5]. Veličina otvora mora biti dovoljno velika kako bi se omogućili prodiranje agregata kroz mrežu i dobra povezanost s asfaltom.

Jaecklin i Scherer [6] proveli su dinamičko ispitivanje, *pull out* test i cikličko testiranje temperature u laboratoriju sa staklenim mrežama, poliesterskim mrežama i polipropilenskim mrežama tkanima geotekstilom. Dinamičko testiranje provedeno je na ispitnim uzorcima veličine 600 x 18 x 90 mm, primjenjujući silu od 4,5 kN pri frekvenciji od 29,3 Hz i temperaturi od 5 °C. Rezultati dinamičkoga ispitivanja pokazali su to da mreža od staklenih vlakana s vlačnom čvrstoćom od 60 kN/m ima dva puta dulji vijek trajanja od polipropilenskih i poliesterskih mreža. *Pull out* testom ispitivane su mreže od staklenih vlakana s otvorima veličine 10 mm i 30 mm te je pokazano da mreže s malim otvorima nisu pogodne za povezivanje asfalta i agregata, dok mreže s otvorima veličine 30 mm omogućuju bolju povezanost i sprečavaju stvaranje pukotina. Cikličko testiranje temperature provedeno je na ispitnim uzorcima veličine 600 x 150 x 150 mm u trajanju jednoga ciklusa od tri sata. Nakon 20 ciklusa na ispitnome uzorku formirala se pukotina duljine od 30 mm do 40 mm, koja se tijekom daljnega ispitivanja nije povećavala. Na temelju svega navedenoga može se zaključiti to da ispitni uzorci koji su u sebi imali ugrađenu armaturnu mrežu sa staklenim vlaknima pokazuju veću izdržljivost na ispitivanja od uzoraka s ugrađenim mrežama od poliestera i polipropilena.

Siriwardane i dr. [7] u laboratoriju su ispitivali 20 asfaltnih uzoraka s armaturnom mrežom i bez nje. Među njima je 13 uzoraka imalo ugrađeno tri vrste staklenih mreža različitih masa. Autori u radu ne navode proizvođače mreža te ne specificiraju njihova svojstva (vlačnu čvrstoću). Ispitivana mreža označena kao A (najmanja vlačna čvrstoća) te mreža označena kao C (najveća vlačna čvrstoća) pokazale su da je vertikalno naprezanje manje s mrežom jače vlačne čvrstoće od staklenih vlakana, što je utjecalo na kvalitetu kolnika i sprječavanje širenja pukotina. Može se zaključiti to da mreža od staklenih vlakana ugrađena između habajućega i nosivoga sloja sprječava širenje pukotina u asfaltnim slojevima.

3.2 Povezivanje armaturne mreže s asfaltnom podlogom

Razina prionjivosti armaturne mreže ovisi i o vrsti premaza odnosno bitumenske emulzije za povezivanje s asfaltnim slojem. Nguyen i dr. [8] ispitivanjem su pokazali to da vrsta bitumenske emulzije utječe na funkcionalnost mreže, ali i na sam postupak ugradnje u eksploataciji.

Hakimzadeh i dr. [9] upotrijebili su *Interface Bond Test (IBT)* pri prijanjanja armaturne mreže, u sklopu kojega su primijenili različite postupke nanošenja (špricanja) bitumenske emulzije. Povećanjem količine premaza do $0,9 \text{ kg/m}^2$ postupno je postignuta bolja povezanost između armaturne mreže i asfaltnih slojeva.

Najčešće primjenjivano ispitivanje za procjenu prionjivosti mreža jest Leutnerov test [18] razvijen u Njemačkoj. Primjenjujući modificirani Leutnerov test, Plug i de Bondt [10] utvrdili su to da se posmična čvrstoća između slojeva asfalta i armaturne mreže povećava s vremenom nakon izgradnje.

U novije vrijeme proizvode se staklene mreže s višeslojnom termoplastičnom ljepljivom tkaninom [17] koja se prilikom ugradnje topi zajedno s asfaltom. Takav način pojednostavljuje ugradnju armaturne mreže jer nije potreban emulzijski sloj, nema potrebe za sušenjem, nije potrebno brzo nanošenje premaza i ne postoji opasnost od lijepljenja kotača građevinskih vozila.

3.3 Pozicija armaturne mreže u asfaltnome kolniku

Upotrebom osobnih računala razvijaju se razni programi koji mogu pomoći u istraživanju svojstava armaturnih mreža. Programom Plaxis, koji je zasnovan na metodi konačnih elemenata, proučavani su položaj armaturne mreže i njezin utjecaj na asfaltnu kolničku konstrukciju [11, 12] kao što je to prikazano na slici 1. Analiza je provedena uz pravilnu raspodjelu napona i elastičnih deformacija, dok dinamičke analize nisu provedene jer u programu Plaxis nije moguće zadati model prometnoga opterećenja. Dobiveni rezultati pokazali su to da mreža postavljena na dno sloja asfalta i betona pokazuje najveće smanjenje vertikalnih deformacija u kolniku.

Calvarano i dr. [3] u svojem radu istražuju mogućnost primjene numeričkih simu-

lacija uz pomoć programa ABAQUS, koji se zasniva na metodi konačnih elemenata, kako bi dokazali pozitivan učinak ugradnje armaturne mreže za armiranje asfalta na asfaltni kolnik prilikom ponovljenoga prometnog opterećenja. Pod istim brojem ponavljanja prometnoga opterećenja ($N = 2000$), pri frekvenciji od 10 Hz i impulsnome opterećenju u trajanju od 0,1 sekunde, što odgovara prosječnoj brzini od 70 km/h, ispitane su tri cestovne dionice, od kojih su dvije bile nearmirane. Cestovna dionica armirana mrežom od staklenih vlakana pokazala je to da povećanje vlačne čvrstoće u asfaltnome sloju dovodi do smanjenja vertikalnih naprezanja, čime se smanjuju pojave kolotruga prilikom ponovljenoga prometnog opterećenja.

De Bondt [13] ističe da prometno opterećenje aktivira mrežu tijekom širenja pukotine prilikom savijanja i smicanja. U slučaju pojave temperaturnoga opterećenja mreža se aktivira ranije, odnosno prilikom početka nastajanja pukotine.

3.4 Ispitivanja učinkovitosti mreža u kolniku

U Francuskoj su na ispitnome postrojenju IFSTTAR (*Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux*) [8] provedena brojna istraživanja upotrebe različitih armiranih međuslojnih sustava u kolniku. Postrojenje radi na principu vrtuljka i sastoji se od tornja koji je povezan s četiri kraka, od kojih je svaki dug 20 m. Na kraju svakoga kraka nalazi se kotač uz čiju se pomoć na kružnoj ispitnoj stazi radijusa 17,5 m i širine 6 m provode ispitivanja simulirajući razna prometna opterećenja.

SoldUGri [14] je prvi francuski nacionalni projekt koji se bavi ispitivanjima asfaltnih kolnika ojačanih armaturnim mrežama. Ispitivanja su se sastojala od izgradnje ispitnih sekcija s četiri različite vrste mreža i dva različita sloja kolnika. Dvije armaturne mreže imale su vlačnu čvrstoću od 20 kN/m, a dvije čvrstoću od 40 kN/m. Od ukupno pet ispitnih dionica, na jednoj dionici duljine 15 m proučavalo se oštećenje mreže nakon ugradnje. Rezultati pokazuju to da se tijekom ugradnje mreža mogu pojaviti znatna oštećenja koja dovode do ograničenoga gubitka modula elastičnosti (od 20 % do 25 %), ali i do gubitka vlačne čvrstoće (od 60 % do 80 %).

Istraživanja provedena na sveučilištima u Teksasu, Delftu i Nottinghamu [15] pokazala su to da je pojačanje asfaltnih kolnika armaturnim mrežama od staklenih vlakana puno bolje od bilo koje druge vrste geosintetičkih sustava zbog visoke krutosti staklenih vlakana.

U Hrvatskoj je 2005. armaturnim mrežama obnovljen asfaltni kolnik na trima dionicama autoceste A3 Bregana – Lipovac i na Zagrebačkoj aveniji. U cilju utvrđivanja učinka smanjenja reflektiranja strukturnih pukotina na prvoj dionici autoceste Ivanja Reka – Ivanić-Grad na pretjecajnome traku desnoga kolnika ugrađena je mreža od poliesterskih vlakana. Na drugoj dionici desnoga kolnika voznog traka autoceste Ivanja Reka – Ivanić-Grad (prva poddionica) i autoceste Dragalić – Brodski Stupnik (druga poddionica) ugrađena je mreža za armiranje asfalta od polipropilenskih vla-

kana. Na trećoj dionici autoceste Ivanja Reka – Ivanić-Grad na voznome i pretjecajnome traku lijevoga kolnika ugrađena je mreža od staklenih vlakana [4]. Nakon ugradnje na tim se dionicama nisu nastavila pratiti ponašanja armaturnih mreža u kolniku te bi trebalo provesti ispitivanja mreža i njihove učinkovitosti u eksploataciji. Ispitivanjem konstrukcijskih karakteristika mreža potrebno je utvrditi čimbenike koji utječu na njezinu učinkovitost. Čimbenici se utvrđuju mjerenjima i ispitivanjima učinkovitosti armaturnih mreža na temelju nosivosti ispitane uređajem s padajućim teretom (*Falling Weight Deflectometer* – FWD), karakteristikama vozne površine (uzdužna i poprečna ravnost) te infraspaktralnim ili laserskim kamerama za snimanje pukotina kako bi se utvrdilo je li došlo do ponovnog reflektiranja pukotina.

4 Zaključak

Armaturna mreža u asfaltnim kolnicima koristi se u cilju smanjenja reflektiranja strukturnih pukotina i dubina kolotruga, na što ukazuju brojna istraživanja. Armiranje kolnika ima i druge pozitivne učinke: produljenje vijeka trajanja kolnika, čime se smanjuju troškovi održavanja kolnika, te rjeđu rekonstrukciju kolnika, čime se smanjuje onečišćenje okoliša (manja emisija ugljikova dioksida u atmosferu). Negativni učinci armiranja kolnika jesu produljenje vremena ugradnje asfaltnih slojeva jer se špricani bitumenski vezni sloj mora u cijelosti osušiti prije nego se nastavi s postupkom.

Dosadašnja istraživanja u području primjene mreža ukazuju na pozitivna i negativna iskustva u laboratoriju i na terenu, što je povezano s činjenicom da svaki proizvod zahtijeva svoje sustavno sagledavanje u definiranju optimalnoga rješenja. Da bi mogli valorizirati ugrađivanje mreža, sudionici u gradnji trebaju koristiti rezultate praćenja ugrađenih mreža i njihova ponašanja u eksploataciji.

Pregled dosadašnjih istraživanja područja vezanog uz primjenu armaturnih mreža u asfaltnim kolnicima ukazao je na to da istraživanja trebaju odrediti odnos debljina slojeva između kojih bi se ugrađivala armaturna mreža, usporediti pojedine vrste mreža ovisno o baznome materijalu (staklo, polipropilen, polietilen i polivinilamid) i istražiti postupke ugradnje armaturne mreže kako bi se postiglo dobro povezivanje s asfaltom i izbjegle nepoželjne pojave pomicanja (naguravanja) mreže prilikom asfaltiranja odnosno tijekom eksploatacije.

Za daljnja istraživanja potrebno je provesti ispitivanja i mjerenja u laboratoriju i na ispitnim dionicama na temelju kojih bi se moglo odlučiti o primjeni odgovarajućega rješenja za ugradnju mreže u kolničku konstrukciju, provjeriti primjenjivost računalnih programa za dimenzioniranje kolničkih konstrukcija koje posjeduju brojni proizvođači armaturnih mreža te razraditi sustavni program praćenja ponašanja mreža nakon ugradnje u kolničku konstrukciju u svrhu suvremenoga gospodarenja kolnicima.

Izvedene probne dionice u Hrvatskoj nisu praćene na odgovarajući način te bi daljnja istraživanja mogla biti usmjerena na utvrđivanje tih dionica, što bi moglo dati nova saznanja o mrežama i njihovu ponašanju u različitim klimatskim okolnostima (ljet/zima) i o kolničkim konstrukcijama.

Glavni razlog šire upotrebe armaturnih mreža treba biti mogućnost točnoga predviđanja toga koliko će one imati pozitivnih utjecaja na kolnik. Podatak o omjeru troškova i koristi armaturnih mreža pokazao bi isplativost njihove primjene u kolnicima.

Literatura

- [1] ERF (European Union Road Federation), Road Network 2017, <http://erf.be/statistics/road-network-2017/>
- [2] De Bondt, A.H.: Research on geogrids in asphalt pavements, Jubilee Symposium on Polymer Geogrid Reinforcement, London, United Kingdom, 2009.
- [3] Calvarano, L.S., Palamara, R., Leonardi, G., Moraci, N.: 3D-FEM Analysis on Geogrid Reinforced Flexible Pavement Roads, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 95 (2017) 2, pp. 1-10.
- [4] Šimun, M.: Obnova asfaltnih kolnika-primjeri iz prakse, Gospodarenje prometnom infrastrukturom, Dani prometnica 2009, Zagreb, pp. 241-285.
- [5] Zofka, A., Maliszewski, M., Maliszewska, D.: Glass and carbon geogrid reinforcement of asphalt mixtures, Road Materials and Pavement Design, 18 (2017) 1, pp. 471-490.
- [6] Jaecklin F.P., Scherer, J.: Asphalt reinforcing using glass fibre grid „Glasphalt“, Proceedings of the 3rd International RILEM Conference on Reflective Cracking in Pavements: Design and Performance of Overlay Systems, Maastricht, 1996.
- [7] Siriwardane, H., Gondle, R., Kutuk, B.: Analysis of Flexible Pavements Reinforced with Geogrids, Geotechnical and Geological Engineering, 28 (2010) 3, pp. 287-297.
- [8] Nguyen, M.L., Blanc, J., Kerzrého, J., Hornych, P.: Review of glass fibre grid use for pavement reinforcement and APT experiments at IFSTTAR, Road Materials and Pavement Design, 14 (2013) 1, pp. 287-308.
- [9] Hakimzadeh S., Kebede N.A., Buttlar W.G., Ahmed S., Exline M.: Development of fracture-energy based interface bond test for asphalt concrete, Road Materials and Pavement Design, 13 (2012) 1, pp. 76-87.
- [10] Plug C.P., de Bondt A.H.: Adhesion of reinforcement grids in asphalt overlays, 5th World congress on emulsion, Lyon, 2010.
- [11] Moayedi, H., Kazemian, S., Prasad, A., Huat, B.: Effect of Geogrid Reinforcement Location in Paved Road Improvement, Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 14 (2009), pp. 3313-3329.

- [12] Pandey, S., Rao, K. R., Tiwari, D.: Effect of Geogrid Reinforcement on Critical Responses of Bituminous Pavements, 25th ARRB Conference – Shaping the future: Linking policy, research and outcomes, Perth, Australia, pp. 1-17, 2012.
- [13] De Bondt, A.H.: 20 years of research on asphalt reinforcement – Achievements and future needs, 7th international RILEM conference on cracking in pavements, Delft, pp. 327-335, 2012.
- [14] Chazallon, C, Nguyen, T. C., Nguyen, M.L., Hornych, P., Doligez, D., Brissaud, L., Godard, E.: In situ damage evaluation of geogrid udes in asphalt concrete pavement, The 10th International Conference on the Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields, Greece, 2017.
- [15] Ahmed, M., Abdelhamid, Mennatallah, Hussain, S., Khedr, S. A., Breakah, T., Saady, M., Elkadi, O., Abou-Zeid, M.N.: Geogrid reinforcement in flexible paved roads, Building Tomorrow's Society, Canada, pp. 1-11, 2018.
- [16] Zornberg, J.G., Gupta, R.: Geosynthetics in Pavements: North American Contributions, 9th International Conference on Geosynthetics, Brazil, pp. 379-400, 2010.
- [17] ADFORS, Brošura GlassGrid PG, https://eu.adfors.com/sites/eu.adfors.com/files/Road%20Reinforcement/GlasGrid%20PG_TDS_2019.01.pdf
- [18] Leutner, R.: Untersuchung des Schichtenverbundes beim bituminösen Oberbau, Bitumen, 41 (1979) 3, pp. 84-91.