

ARMIRANJE ASFALTA I EFEKTI NAKON 16 GODINA OD UGRADNJE U BEOGRADU

Marija Bakrac¹

¹ GEOESTETIKA D.O.O., mbakrac@geoestetika.rs

Ivan Andrić²

² PZP Valjevo A.D., andric2i@yahoo.com

Lidija Zec³

³lidija.zec@gmail.com,

Rezime: *Primena poliesterskih geomreža prilikom rehabilitacije kolovoza predstavlja poznato rešenje dokazano kroz višedecenijsku praksu širom sveta. Kod ovakvih projektnih rešenja geomreža služi za armiranje asfalta i odlaganje reflektovanja pukotina iz starih fleksibilnih, polukrutih ili krutih slojeva kolovozne konstrukcije u nove asfaltne slojeve. Na ovaj način trajnost novih slojeva asfalta produžava se do 3 puta, što donosi značajne direktne i indirektne ekonomske i ekološke benefite.*

Izuzetan uticaj PET geomreže, čvrstoće na zatezanje od 50kN/m, sa vrlo tankim netkanim PP geotekstilom i premazom sa visokim sadržajem bitumena biće analiziran kroz primer njene primene na delu bivšeg autoputa kroz Beograd, deonica ispred Beogradske arene. Rehabilitacija kolovoza na ovoj deonici radjena je u leto 2010. godine, a njeno stanje nakon skoro 16 godina upotrebe pod teškim saobraćajnim opterećenjem je i dalje jako dobro. Tokom 13 godina upotrebe ova deonica je, sve do oktobra 2023. godine, funkcionisala kao deo autoputa E 75, dok sada predstavlja gradsku saobraćajnicu. Uspeh primene PET geomreže na ovoj deonici iskazan kroz dugotrajnost rehabilitacije izvedene pre 16 godina još je značajniji kada se ima u vidu stanje deonice u to vreme, izazvano pukotinama nastalim u sloju cementne stabilizacije.

Ključne reči: kolovoz, armiranje asfalta, održavanje puteva, bitumenski premaz, HaTelit

ASPHALT REINFORCEMENT AND EFFECTS AFTER 16 YEARS SINCE INSTALLATION IN BELGRADE

Marija Bakrac¹

¹ GEOESTETIKA D.O.O., mbakrac@geoestetika.rs

Ivan Andrić²

² PZP Valjevo A.D., andric2i@yahoo.com

Lidija Zec³

³lidija.zec@gmail.com

Abstract: *The application of polyester geogrids during pavement rehabilitation represents a well-known solution proven through decades of practice worldwide. In such design solutions, the geogrid is used as asphalt reinforcement to delay the reflection of cracks from old flexible, semi-rigid or rigid layers of pavement structure into new asphalt layers. In this way, the durability of new asphalt layers is extended by up to 3 times, which brings significant direct and indirect economic and ecological benefits.*

The exceptional impact of PET geogrid, with tensile strength of 50kN/m, very thin non-woven PP geotextile and coating with high bitumen content, will be presented through an example of its application on a part of the former highway

¹ Marija Bakrač: mbakrac@geoestetika.rs

through Belgrade, the section in front of Belgrade Arena. The pavement rehabilitation on this section was carried out in the summer of 2010, and its condition after almost 16 years of use under heavy traffic load is still very good. For 13 years of use, this section functioned, until October 2023, as part of the E 75 highway, while it now represents a city thoroughfare. The success of PET geogrid application on this section, expressed through the longevity of the rehabilitation carried out 16 years ago, is even more significant when considering the condition of the section at that time, caused by cracks that occurred in the cement stabilization layer.

Keywords: pavement, asphalt reinforcement, road maintenance, bitumen coating, HaTelit

1. STANJE SAOBRAĆAJNICE I NJEN ZNAČAJ

Deonica autoputa E75 kroz Beograd u dužini od 29km, bila je predmet rekonstrukcije započete u leto 2010. godine.

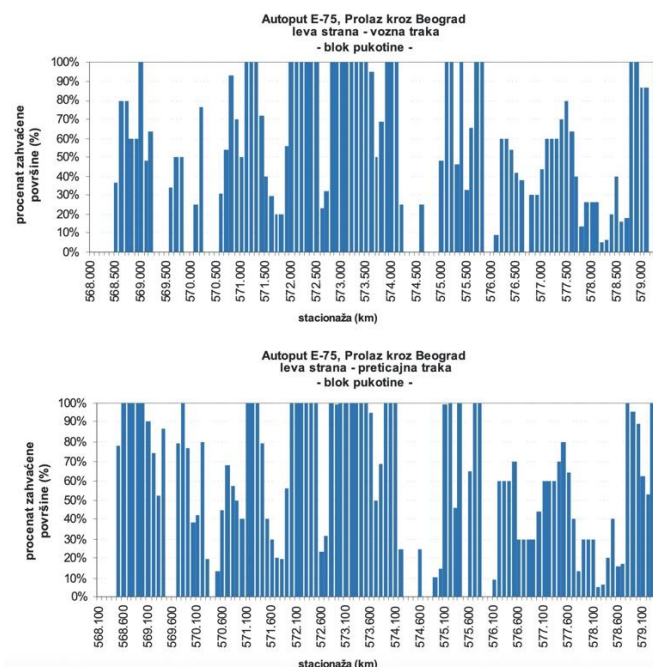
Stanje kolovoza na kom nije bilo intervencija prethodnih dvadesetak godina bilo je izuzetno loše, sa izraženim pukotinama u velikoj meri reflektovanim iz sloja cementne stabilizacije.

U cilju pojednostavljenja posmatrana je deonica Petlja Aerodrom – početak mosta Gazela, za koju je projektant izvršio analizu stanja u januaru 2010. godine, uz akcenat na deo ispred Beogradske arene na kom su oštećenja bila najveća. Obzirom da je, u kontekstu primene geomreže, od posebne važnosti postojanje putkotina ovde navodimo samo stanje oštećenja iz projekta u tom smislu.

Oštećenost kolovoza prikupljena je vizuenim osmatranjem prema PAVER metodologiji. U projektu je data odvojena analiza prisustva reflektovanih poprečnih pukotina i mrežastih blok pukotina.

Reflektovane poprečne pukotine nadjene su na pravilnim razmacima od 20-25m duž cele deonice, što jasno govori o postojanju sloja cementne stabilizacije.

Mrežaste pukotine bile su takodje prisutne duž cele deonice. Na slici 1 dat je šematski prikaz površine pod mrežastim blok pukotinama za voznu i preticajnu traku leve strane kolovoza.



Slika 1. Mrežaste blok pukotine, leva strana, vozna i preticajna traka

Kernovanjem su utvrdjene debljine postojećih asfaltnih slojeva koje su se kretale u rasponu od 20-27cm.

Vizuelnim pregledom i uzimanjem 3 kerna iz sloja cementne stabilizacije kao i laboratorijskim ispitivanjima došlo se do zaključka da ovaj sloj ima više nego dovoljnu krutost i predstavlja noseći sloj kolovozne konstrukcije u smislu sposobnosti prihvatanja napona zatezanja od uticaja saobraćaja. Obzirom da je na najoštećenijim deonicama čija je rehabilitacija razmatrana projektom iz 2010. godine predviđena upotreba geomreža za armiranje asfalta i odlaganje pojave reflektovanih pukotina, najvažnije informacije o tim materijalima date su u sledećem poglavlju.

2. ARMIRANJE ASFALTA – MEHANIZAM DELOVANJA I OČEKIVANI EFEKTI

Povećanje trajnosti novih asfaltnih slojeva ugradnjom geomreža pomoću kojih se usporava napredovanje pukotina iz postojećih asfaltnih slojeva u nove primenjuje se već više decenija u svetu, a više od dve decenije kod nas. Prva test deonica u organizaciji Instituta za puteve iz Beograda, bila je u Bulevaru Mira u Beogradu, 2003. godine.

Prilikom održavanja putne mreže, standardni način podrazumeva struganje oštećenog asfalta u debljini 4-5cm, prskanje bitumenskom emulzijom i nanošenje novog sloja asfalta iste debljine. Ovaj proces potrebno je ponavljati, u proseku na 3 do 5 godina, obzirom da je očekivana brzina napredovanja pukotina iz donjeg u gornji sloj ~1-1.5 cm godišnje.

Ukoliko se na kontaktu starog i novog sloja asfalta ugradi sloj geomreže ona će prihvatiti deo napona zatezanja, distribuirati ih na veću površinu i time smanjiti brzinu napredovanja pukotina u novi sloj asfalta. Ukoliko posmatramo geomreže od poliestera PET, njihova primena dala je odlične rezultate iz više razloga. PET ima sličan koeficijent termičkog širenja kao bitumen tako da sloj geomreže ugrađen između dva asfaltna sloja ne izaziva dodatne napone na kontaktu sa njima. Odnos termičkih koeficijenata betona i armature je 1, asfalta i PET geomreže je 4, dok ovaj odnos u slučaju asfalta i staklene mreže iznosi 130, što pod dejstvom dnevnih i sezonskih promena temperature neminovno dovodi do odvajanja staklene mreže od asfaltnih slojeva. Kako bi prionljivost svih slojeva u "sendviču" bila što bolja, a time njihovo sadejstvo homogenije, idealno je da PET geomreža ima na sebi premaz sa visokim procentom bitumena.

Sasvim je razumljivo da se za bitumen ništa ne lepi bolje od bitumena. De Bondt je u svojim istraživanjima uveo pojam "krutosti spoja" ili "bond stiffnes" koju je odredjivao testovima čupanja geomreže iz kernova i za koju je dokazao da ima odlučujući uticaj na rezultate koji se ugradnjom geomreže postižu. Najveću vrednost "krutosti veze" u njegovim istraživanjima imala je PET geomreža sa tankim netkanim geotekstilom i premazom sa > 65% bitumena.

Iako ne postoji opšte priznat, a još manje standardizovan način dimenzionisanja slojeva kolovozne konstrukcije uz primenu geomreža, jasno je da je i čvrstoća na zatezanje od velikog značaja. Tokom ugradnje geomreže neminovno dolazi do oštećenja koja uzrokuju pad inicijalne čvrstoće na zatezanje. Gubitak čvrstoće na zatezanje pri ugradnji značajno je manji kod poliesterskih geomreža prvenstveno zbog njihove fleksibilnosti, koja posebno dolazi do izražaja pri ugradnji na struganoj podlozi. Izduženje pri kidanju PET geomreža iznosi ~12%.

Gubitak početne čvrstoće na zatezanje, tj. oštećenje pri ugradnji odredjuje se prema standardu SRPS EN ISO 10722:2020. godine. Prilikom korišćenja rezultata ispitivanja po ovom standardu potrebno je povesti računa o godini usvajanja standarda jer je do značajne promene interpretacije rezultata došlo 2019. godine. Početna čvrstoća na zatezanje je čvrstoća na zatezanje odredjena prema SRPS EN ISO 10319:2016 na neoštećenom uzorku geomreže.

Pozitivni finansijski i ekološki efekti primene ovakve tehnologije dobro su dokumentovani kroz stručne radove i laboratorijska istraživanja. Tako se npr. u master radu Floriana Paschke-a sa Univerziteta Primenjenih nauka u Lajpcigu može naći zaključak da primena ove tehnologije donosi smanjenje troškova za 33-40% u periodu od 12 godina. Sličan finansijski efekat, tj smanjenje troškova rehabilitacije za 27% u period od 20 godina

prikazan je u radu koji se odnosio na Rehabilitaciju kolovoza na deonici Žabalj – Zrenjanin, dok je prikazano smanjenje emisija ekvivalentnog ugljendioksida bilo 20%.

3. PROJEKTNO REŠENJE I REALIZACIJA NA TERENU

Projektant je zaključio da nije potrebno pojačanje kolovozne konstrukcije sa aspekta nosivosti.

Zavisno od stanja pojedinih deonica predloženo je nekoliko tipova rešenja. Rešenje Tip 3 koje je obuhvatalo i primenu geomreže za armiranje asfalta i odlaganje pojave reflektovanih pukotina, predviđeno je za primenu na određenim stacionažama preticajne i vozne trake i leve i desne strane kolovoza, na prolazu kroz Beograd.

Tako je npr. na levoj strani kolovoza u preticajnoj traci na deonici: km 575+800 – km 579+400 primenjeno ovo rešenje.

REŠENJE TIP 3

Pripremni radovi:

- struganje postojećih asfaltnih slojeva.....d=18 cm1)
- popravka reflektovanih pukotina iz sloja sementom stabilizovanog agregata
- zalivanje podužnih, poprečnih i ostalih pukotina otvora širine > 5 mm
- prskanje sloja bitumenskom emulzijom

Novi asfaltni slojevi:

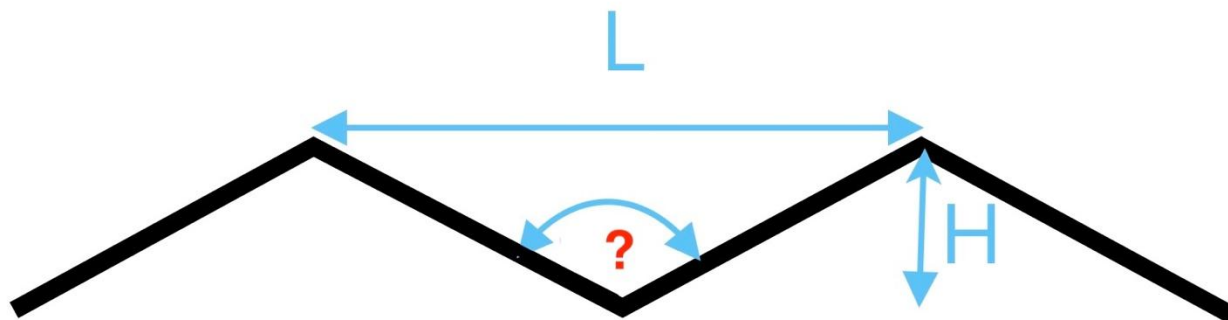
- izrada izravnavajućeg sloja od bitumeniziranog materijala BNS 22sA (PmB).... d=5 cm2)
- postavljanje termostabilne mreže za armiranje asfaltnih slojeva
- izrada nosećeg sloja od bitumeniziranog materijala BNS 22sA (PmB)..... d=9 cm
- izrada habajućeg sloja od skeletnog mastiks asfalta SMA 0/11(PmB).....d=4 cm

Projektant je rešenje sa primenom geomreže preko BNS-a dao za period eksploatacije od 10 godina i merodavno saobraćajno opterećenje od $ESO = 42.1 \times 10^6$ standardnih osovina.

3.1. Modifikacija projektnog rešenja pre izvodjenja

Projektant je predvideo primenu geomreže od poliestera sa bitumenskim premazom i vrlo tankim netkanim geotekstilom koji olakšava ugradnju, ali ne zahteva velike količine bitumenske emulzije. Ovakav izbor geomreže omogućio je izmenu rešenja neposredno pre početka izvodjenja radova. Umesto ugradnje geomreže preko BNSa ona je ugradjivana preko strugane podloge.

Kada se preko strugane podloge ugradjuju krute geomreže, odnosno geomreže čije je izduženje pri kidanju malo kao npr. kod stakla gde ne prelazi 3%, rizik od prekoračenja izduženja pri kidanju je vrlo realan. Do prekoračenja izduženja pri kidanju staklenih geomreža dolazi kada tupi ugao između rebara freze prelazi 152° (slika 2).



Slika 2. Izduženje geomreže na struganoj podlozi

Ugradnjom geomreže preko strugane podloge projektant je postigao da geomreža preuzme napone zatezanja na vrhu postojeće pukotine umesto na vrhu pukotine formirane u sloju novog BNSa. Na ovaj način dodatno je usporeno napredovanje pukotina kroz novougrađene slojeve.

4. UGRADNJA GEOMREŽE

Nakon struganja i čišćenja kolovoza u širini vozne i preticajne trake, kao i nakon zapunjavanja pukotina koje je radjeno na više načina, izvršeno je prskanje podloge 60% katjonskom polimer modifikovanom bitumenskom emulzijom u količini od ~900g/m² emulzije. Minimalno potrebnu količinu emulzije u velikoj meri određuje debljina netkanog geotekstila namenjenog olakšavanju ugradnje, premaz na materijalu koji se ugrađuje kao i udeo bitumena u emulziji. Količina emulzije se podešava i prema dubini tragova freze, strukturi podloge i vremenskim uslovima.

Minimalno potrebna količina 70% bitumenske emulzije za ugrađenu PET geomrežu sa vrlo tankim netkanim geotekstilom i premazom sa više od 60% bitumena, po preporuci proizvođača iznosi 600g/m². Predstavnik proizvođača geomreže koji je bio prisutan prilikom ugradnje geomreže u desnoj voznoj i preticajnoj traci je ovu minimanu količinu uvećao na 900g/m² pre svega zbog manje koncentracije bitumena u emulziji ali i zbog dubine tragova freze. Ova količina emulzije bila je dovoljna da obezbedi odličnu adheziju geomreže sa podlogom, a da se ne pojave problemi izazvani prevelikom količinom bitumena koja zna da predje 1.5kg/m² pri ugradnji materijala sa debljim netkanim geotekstilom, bez premaza, sa premazom koji ne sadrži bitumen ili ga ne sadrži u dovoljno visokom procentu. Na slici 3 vidi se podloga pre nanošenja emulzije, dok se na slici 4 vidi sam proces nanošenja emulzije.



Slika 3. Podloga



Slika 4. Nanošenje emulzije

Polaganje geomreže, ugradnja i zbijanje bitumenskih slojeva išla je u svemu po projektu i bez poteškoća izazvanih kretanjem mehanizacije poput kamiona koji snabdevaju finiše ili samog finišera preko ugradjene geomreže.



Slike 5 i 6. Kretanje mehanizacije po ugradjenoj geomreži

Ovo svakako ne znači da su uslovi ugradnje, pre svega u smislu čistoće i ravnosti podloge ali i u smislu obrade pukotina bili idealni. Probana su, po prvi put na predlog odgovornog izvođača radova i neka neuobičajena rešenja, za tretman pukotina. Iako to nije bilo moguće znati u vreme ugradnje, efekti rehabilitacije i primene ovog tipa PET geomreže su do današnjeg dana, nakon 16 godina od ugradnje znatno bolji od očekivanih.

5. STANJE KOLOVOZA I POSTIGNUTI REZULTATI

Prilikom obilaska kolovoza 2020. u vreme epidemije Covid-a kao i u martu ove godine, moguće je bez preterivanja reći da je kolovoz i nakon 16 godina od rehabilitacije u odličnom stanju iako je rehabilitacija radjena za eksploatacioni period od 10 godina.

Prilikom analize postignutih rezultata važno je uzeti u obzir činjenicu da 24.06.2015. došlo do izmene režima saobraćaja na deonici Tošin bunar – Petlja Mostar, pa se od tog datuma deo teretnog saobraćaja težine preko 3.5 tone odvijao obilaznicom.

Proračun saobraćajnog opterećenja prikazan u Tabeli 1 za period 1991-2003 dobijen je na bazi prognoze saobraćajnih tokova iz projekta po kom su radovi i izvodjeni 2010. godine. Kao početna vrednost uzeta je 2010. godina, a onda je broj vozila umanjivan za 3% godišnje. U tako dobijenoj tabeli autori su izdvojili baš period od prvih 13 godina kao relevantan za poredjenje jer je postignuta vrednost ekvivalentnog saobraćajnog opterećenja u tom period, jednaka vrednosti ESO za period 2010-2025. godine.

Tabela 1. ESO za period 1994 – 2003

BGD (Tošin Bunar) – BGD (petlja Mostar)					
god	BUS	LT	ST	TT	AV3
2010	1,500	1,965	3,147	3,697	4,163
2009					
2008					
2007					
2006					
2005					
2004					
2003	1,211	1,588	2,466	2,987	3,364
2002	1,175	1,540	2,392	2,598	3,263
2001	1,140	1,494	2,321	2,520	3,165
2000	1,106	1,449	2,251	2,445	3,070
1999	1,072	1,406	2,184	2,372	2,978
1998	1,041	1,363	2,118	2,300	2,888
1997	1,099	1,323	2,054	2,231	2,802
1996	979	1,283	1,993	2,165	2,718
1995	950	1,244	1,875	2,100	2,636
1994	922	1,207	1,819	2,037	2,557
1993	894	1,171	1,764	1,976	2,480
1992	867	1,136	1,711	1,917	2,406
1991	841	1,102	1,660	1,859	2,334
	13,297	17,306	26,608	29,507	36,661
Br. Vozila	2,426,703	3,158,345	4,855,960	5,385,028	6,690,633
Fe (75%)	1.454	0.012	0.238	1.1	2.742
TU	3,528,425	37,900	1,155,718	5,923,530	18,345,714
ESO 13 god.					28,991,289

Za određivanje saobraćajnog opterećenja u godinama nakon rehabilitacije (Tabela 2.) autori su za period 2010–2015 koristili vrednosti iz projektne dokumentacije, dok su za period nakon 2015. godine izostavili teško saobraćajno opterećenje u potpunosti.

Tabela 2. ESO za period 2010 – 2025

BGD (Tošin Bunar) – BGD (petlja Mostar)					
god	BUS	LT	ST	TT	AV3
2010	1,500	2,026	3,147	3,811	4,163
2011	1,552	2,087	3,273	3,983	4,392
2012	1,607	2,150	3,404	4,162	4,633
2013	1,663	2,214	3,540	4,349	4,888
2014	1,721	2,281	3,682	4,545	5,157
2015	1,778	2,349	3,811	4,740	5,398
2016	1,836	2,420			
2017	1,897	2,492			
2018	1,960	2,567			
2019	2,024	2,644			
2020	2,085	2,723			
2021	2,147	2,805			
2022	2,211	2,889			
2023	2,277	2,976			
2024	2,345	3,065			
2025	2,415	3,157			
	31,018	40,845	20,857	25,590	28,631
Br. Vozila	5,660,785	7,454,213	3,806,403	4,670,175	5,225,158
Fe (75%)	1.454	0.012	0.238	1.1	2.742
TU_16 god	8,230,781	89,451	905,924	5,137,193	14,327,382
					ESO_16 god
					28,690,730

Obzirom da se analiziranom deonicom i dalje kreće manji deo teškog saobraćaja poput komunalnih vozila, mešalica sa betonom ili cisterni sa gorivom čija je dnevna potrošnja u Beogradu 1.4-1.7 miliona litara, vrednost ESO iz Tabele 2 je niža od stvarne vrednosti ekvivalentnog saobraćajnog opterećenja kojem je predmetna deonica bila izložena u prethodnih 16 godina.

Ovako konzervativno odredjena vrednost ESO kojem je predmetna deonica bila izložena tokom 16 godina nakon rehabilitacije jednaka je vrednosti ESO dostignutoj 2003. godine. Obzirom da je u projektu stanje kolovoza pre rehabilitacije bilo ocenjeno kao "izuzetno loše" kao i da je projekat rehabilitacije urađen već 2007. godine, autori zaključuju da je vrlo verovatno da su na predmetnoj deonici 2003. godine bila prisutna značajna oštećenja kolovoza koja pak pri istom opterećenju danas nisu vidljiva, te smatraju da su efekti primenjenog načina rehabilitacije kolovoza bolji od očekivanih.

Osim doprinosa postignutog ugradnjom savremenijih polimer modifikovanih asfaltnih mešavina, autori smatraju da je značajnu ulogu na ovako neočekivano dobro stanje kolovoza 6 godina nakon projektovanog eksploatacionog veka, tj. 16 godina od rehabilitacije, dala ugradnja PET geomreže čvrstoće na zatezanje od 50kN/m u oba pravca, sa vrlo tankim netkanim geotekstilom i premazom sa preko 60% bitumena. Osim same ugradnje ovakvog tipa geomreže autori smatraju da je produženju eksploatacionog veka u velikoj meri pogodovala pozicija na kojoj je geomreža ugrađena, tj. mogućnost da se ona, obzirom da je proizvedena od poliestera i da ima izduženje pri kidanju od 12%, ugradi preko grubo strugane podloge bez oštećenja uzrokovanih prekoračenjem maksimalnog izduženja.

6. ZAKLJUČAK

Primena geomreža u cilju odlaganja pojave reflektovanih pukotina je, iako poznata i dokazana tehnologija koja se i u Srbiji primenjuje od 2003. godine nedovoljno prihvaćena bez obzira na rezultate koji se njenom pravilnom upotrebom postižu. Obzirom da ne postoji standardizovani način proračuna, predlog autora je pažljivo praćenje i analiza efekata postignutih na projektima izvedenim u prethodne dve decenije kako bi se mogle izvući preporuke u pogledu načina na koji se mreže za armiranje asfalta primenjuju, kao i u pogledu njihovih tehničkih karakteristika u zavisnosti od stanja podloge i planiranih efekata primene.

Na projektu rehabilitacije kolovoza na nekadašnjoj deonici autoputa E75 kroz Beograd rezultati primene PET geomreže čvrstoće na zatezanje od 50 kN/m u oba pravca, sa vrlo tankim netkanim geotekstilom i bitumenskim premazom dokazali su njen povoljan uticaj na produženje eksploatacionog veka kolovoza.

Razlozi za ovako dobar efekat odlaganja pojave reflektovanih pukotina su višestruki, a neki od najvažnijih su:

- ugradnja geomreže ispod BNS-a umesto preko njega kako bi se prevencija pukotina izvršila na mestu njihovog nastanka,
- maksimalno izduženje geomreže od 12% koje minimalizuje eventualna oštećenja geomreže pri njenoj ugradnji kao i pri ugradnji asfaltnih slojeva,
- idealno sadejstvo geomreže sa bitumenskim slojevima poboljšano premazom koji sadrži više od 60% bitumena,
- netkani PP geotekstil čija masa je svega 20g/m² i koji značajno pojednostavljuje ugradnju a ne zahteva veliku količinu bitumenske emulzije,
- jednostavna ugradnja bez potrebe za dodatnim fiksiranjem materijala bilo kakvim nebitumenskim sredstvima od lepka do zakivaka,
- uskladenost koeficijenata termičke dilatacije bitumenskih slojeva i geomreže koja obezbeđuje njihov simultani rad pri temperaturnim promenama. Ukoliko se koeficijenti termičke dilatacije materijala znatno razlikuju, kao što je slučaj kod stakla i asfalta gde je ova razlika ~130 puta dolazi do razdvajanja slojeva mreže i asfaltnih slojeva jer se staklena mreža u njima ponaša kao "strano telo".

Autori smatraju da bi bilo korisno u narednom periodu napraviti detaljnu bazu podataka o projektima izvedenim kod nas, prethodnom i trenutnom stanju deonice, detaljnim osobinama primenjenog tipa geomreže, kao i o uslovima i tehnologiji izvodjenja. Kada govorimo o analizi trenutnog stanja deonice ono bi se u smislu učinka geomreža pre svega baziralo na učestalosti, rasporedu i tipu pukotina, a za ocenu bi se mogla koristiti neka dogovorena metodologija ili vrednost poput npr. Indeksa pukotina CI. Ovako detaljna baza podataka mogla bi ukazati na tehnologiju ili neke osobine koje se u našim uslovima izdvajaju svojim pozitivnim ili negativnim efektima, njihove prednosti i mane i ukazati na šta bi na narednim projektima, kako u fazi projektovanja tako i u fazama izvodjenja i eksploatacije trebalo obratiti pažnju.

Literatura

- [1] Marc, K., Maldenović, G. (2011). Rehabilitation works on motorway E70/E75 through Belgrade, 13th Colloquium on asphalt and bitumen, Bled, Slovenia, 24-25. November 2011, pp.20-29.
- [2] Leite-Gembus, F., Hilpert, D., (2016). Theory and Practical Experiences in Pavement Rehabilitation Using Asphalt Reinforcement Grids
- [3] De Bondt, A.H., (1999.) Anti-Reflective Cracking Design of (Reinforced) Asphaltic Overlays, Ph.D.-thesis, Delft, Netherlands.
- [4] Monser, C. A., Montestruque, G. E., Silva, A. E. F., (2010.) Evaluation of an airport pavement after almost 8 years of overlay rehabilitation with a polyester geogrid asphalt reinforcement. Proceedings of the 9th International Conference on Geosynthetics, Brazil.
- [5] Montestruque Vilchez, G., Rodrigues, R.M., Nods, Ir. M. (2004), Stop of Reflective Crack Propagation with the Use of PET Geogrid as Asphalt Overlay reinforcement, Fifth International RILEM Conference

- [6] Jokanović, I., Zeljić, D., Mihajlović, D., (2012) Ocena stanja kolovoza sa tehničkog i korisničkog aspekta, Zbornik radova 21
- [7] Stojnić, D., Bakrač, M., (2023.) Proračun smanjenja ekvivalentnog ugljendioksida (CO_{2e}) primenom termostabilne geomreže na primeru glavnog projekta DP IB reda br.12 deonica Žabalj – Zrenjanin, Put i saobraćaj LXIX, 2/2023, 31-40