



Прорачун смањења еквивалентног угљен-диоксида (CO_2e) применом термостабилне геомреже на примеру главног пројекта ДП IV реда бр.12 деоница Жабал - Зрењанин

Драган Стојнић^а, Марија Бакрач^{б*}

^а Институт за путеве а.д. Београд - Одсек за коловозне конструкције

^б Геоестетика д.о.о. Београд

ПОДАЦИ О РАДУ

DOI: 10.31075/PIS.69.02.05

Стручни рад

Примљен: 02.05.2023.

Прихваћен: 27.05.2023.

Кореспонденција аутор:

d.stojnic@highway.rs

Кључне речи:

Еквивалентни угљен-диоксид

Асфалтни коловоз

Рехабилитација

Животни век

Термостабилна мрежа

РЕЗИМЕ

Свака рехабилитација асфалтног коловоза осим бенефита у смислу сигурности, комфора и брзине за кориснике има и своју негативну страну тј. неповољне утицаје на животну средину. Неки од ових утицаја као што су емисије еквивалентног угљен-диоксида се не могу ограничити само на непосредно окружење на ком се радови изводе већ су глобални. Како би се пораст средње температуре на Земљи изазван управо повећаним емисијама CO_2e ограничио на испод 2°C , а у складу са међународно преузетим обавезама Србије, неопходно је да све индустрије укључујући и грађевинарство дају свој максимални допринос. Када говоримо о рехабилитацији асфалтних застора један од могућих начина да се у великој мери смањи емисија CO_2e је примена термостабилних геомрежа за армирање асфалта. Основни ефекат који се применом геомрежа за армирање асфалта постиже је продужење трајности новог асфалтног застора уз смањење трошкова одржавања. Према подацима произвођача мрежа за армирање асфалта и одлагање појаве рефлектованих пукотина трајност новог асфалтног слоја повећава се 3 - 4 пута. У раду је дата детаљна анализа постигнутих уштеда еквивалентног угљен-диоксида као и финансијски бенефити примене геомреже HaTelit C 40/17 приликом рехабилитације коловоза на пројекту: Појачано одржавање државног пута IV реда бр.12 Жабал-Зрењанин

1. Увод

IPCC - International Panel on Climate Change је радно тело UN за анализу климатских промена базирану на расположивим научним достигнућима. IPCC је дефинисао кумулативну резерву (буџет) количине CO_2e коју имамо на располагању до прекорачења границе загревања од 1.5°C , и овај буџет је 1.01.2018. износио 570Gt. Иако је од 2010. приметан пад стопе раста годишњих емисија гасова стаклене баште (са 2.1% на 1.3% годишње) он је 2019. износио 59Gt [1]. Лако је видети да ће преостали буџет из 2018. бити исцрпљен пре 2030. године. Намера аутора је, да на примеру једног конкретног пројекта - Појачано одржавање државног пута IV реда бр.12 деоница Жабал-Зрењанин, изврше процену постигнутог нивоа смањења емисија еквивалентног угљен диоксида, као и постигнутог нивоа смањења трошкова.

Обзиром да се ради о значајним вредностима уштеда, аутори се надају да ће представљена анализа послужити као путоказ како пројектантима приликом избора пројектних решења тако и инвеститорима приликом дефинисања пројектних задатака или услова на тендерима.

Еквивалентни угљен-диоксид представља збирни утицај угљен-диоксида, метана, азот субоксида и других гасова који успоравају излаз сунчеве топлоте кроз атмосферски омотач. Отуд назив гасови стаклене баште. Емисија CO_2e рачуна се по принципу комплетног животног века производа (cradle to grave), почев од добијања сировине па до одлагања производа на депонију или његовог уништења, односно до момента када емисија CO_2e везана за тај производ или делатност не престане.

1.5°C је повећање средње глобалне температуре ваздуха изнад копна и мора у односу на преиндустријски ниво (1850 -1900) изазвано само дејством човека.

2. Армирање асфалта - механизам деловања и очекивани ефекти

Повећање трајности нових асфалтних слојева уградњом геомрежа помоћу којих се успорава напредовање пукотина из постојећих асфалтних слојева у нове примењује се већ више деценија у свету, а већ две деценије и код нас. Прва тест деоница у организацији Института за путеве из Београда, била је у Булевару Мира у Београду, 2003. године.

Приликом одржавања путне мреже, стандардни начин подразумева стругање оштећеног асфалта у дебљини 4 - 5 cm, прскање битуменском емулзијом и наношење новог слоја асфалта исте дебљине. Овај процес потребно је понављати, у просеку на 3 до 5 година, обзиром да је очекивана брзина напредовања пукотина из доњег у горњи слој ~1-1.5 cm годишње. Уколико се на контакту старог и новог слоја асфалта угради слој геомреже она ће прихватити део напона затезања, дистрибуирати их на већу површину и тиме смањити брзину напредовања пукотина у нови слој асфалта. Уколико посматрамо геомреже од полиестера PET, њихова примена дала је одличне резултате из више разлога. PET има сличан коефицијент термичког ширења као битумен тако да слој геомреже уграђен између два асфалтна слоја не изазива додатне напоне на контакту са њима. Однос термичких коефицијената бетона и арматуре је 1, асфалта и PET геомреже је 4, док овај однос у случају асфалта и стаклене мреже износи 130, што под дејством дневних и сезонских промена температуре неминовно доводи до одвајања стаклене мреже од асфалтних слојева. Како би прионљивост свих слојева у "сендвичу" била што боља, а тиме њихово садејство хомогеније, идеално је да PET геомрежа има на себи премаз са високим процентом битумена.

Сасвим је разумљиво да се за битумен ништа не лепи боље од битумена. De Bondt [2] је у својим истраживањима увео појам "крутости споја" или "bond stiffness" коју је одређивао тестовима чупања геомреже из кернова и за коју је доказао да има одлучујући утицај на резултате који се уградњом геомреже постижу. Највећу вредност "крутости везе" у његовим истраживањима имала је PET геомрежа са танким нетканим геотекстилом и премазом са > 65% битумена. Иако не постоји опште признат, а још мање стандардизован начин димензионисања слојева коловозне конструкције уз примену геомрежа, јасно је да је њена чврстоћа на затезање

од великог значаја. Током уградње геомреже неминовно долази до оштећења која узрокују пад иницијалне чврстоће на затезање. Губитак чврстоће на затезање при уградњи значајно је мањи код полиестерских геомрежа првенствено због њихове флексибилности, која посебно долази до изражаја при уградњи на струганој подлози. Издужење при кидању PET геомрежа износи ~12%.

Губитак почетне чврстоће на затезање, тј. оштећење при уградњи одређује се према стандарду SRPS EN ISO 10722:2020 године. Приликом коришћења резултата испитивања по овом стандарду потребно је повести рачуна о години усвајања стандарда јер је до значајне промене интерпретације резултата дошло 2019. године. Почетна чврстоћа на затезање је чврстоћа на затезање одређена према SRPS EN ISO 10319:2016 на неоштећеном узорку геомреже.

На пројекту појачаног одржавања државног пута IV реда бр.12, на деоници Жабаљ-Зрењанин, коришћена је полиестерска геомрежа са врло танким нетканим полипропиленским геотекстилом и битуменским премазом са мин. 65% битумена. Преостала чврстоћа на затезање ове мреже након испитивања према SRPS EN ISO 10722:2020 износи min. 80% почетне.

Искуства са уградњом ове геомреже за армирање асфалта, као и лабораторијска испитивања на њом армираним узорцима, доказала су да је очекивано продужење трајања новог асфалтног слоја 3-4 пута веће у односу на исти слој без мреже (Montestruque et al. 2004) [3]. За потребе ове анализе и поређење емисије CO_{2e} код класичног начина рехабилитације асфалтних застора и рехабилитације уз примену NaTelit C 40/17 геомреже усвајамо 3 као нижу вредност фактора продужења века трајања.

3. Стање деонице и пројектно решење

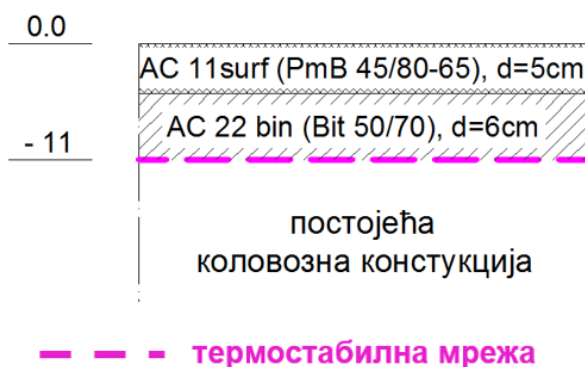
Пројектно решење побољшања на државном путу IV реда, број пута 12 (раније М-7), деоница Каћ-Зрењанин засновано је на утврђеном стању коловоза, периоду даље експлоатације (10 година) за који се коловоз желео оспособити, односно на резултатима анализа и прорачуна. Саобраћајно оптерећење од 7.1x10⁶ стандардних осовина од 80kN је меродавно оптерећење и представља основу за даљу анализу. Приликом разраде пројектног решења побољшања постојећег коловоза анализирана су решења са/без примене антипукотинског слоја, који штити (успорава) појаву будућих оштећења (рефлектованих пукотина из цементом стабилизованог слоја) у нове асфалтне слојеве. Уважавајући захтеве за оптималним и најекономичнијим условима грађења, примена антипукотинског слоја (термостабилна арматурна мрежа), се показало као рационалније решење

(замена 11 cm постојећих асфалтних слојева), имајући у виду да решење без примене арматурне мреже захтева замену min 15 cm постојећих асфалтних слојева. Основни критеријум за прорачун трајности коловозне конструкције је хоризонтална дилатација затезања у доњем влакну битуменом везаних слојева ($\epsilon_{\text{бнс}}$). Провера трајности врши се поређењем стварне дилатације ($\epsilon_{\text{бнс}}$) од оптерећења које се понавља са допуштеном дилатацијом ($\epsilon_{\text{допуштено}}$). Примена арматурне мреже доводи до увећања допуштене хоризонталне дилатације затезања (ϵ_6) асфалтног узорка након 10⁶ циклуса понављања оптерећења за 15-30%, што резултује већом трајношћу асфалтног слоја (2-3 пута). Прорачун допуштене дилатације затезања базиран је на концепту LCPC-SETRA лабораторије. На основу урађених анализа дефинисани су радови на поправци постојећег коловоза на бази следећих потреба и захтева:

- да се уради поправка система за одводњавање јер њихова функционалност битно утиче на трајност коловозне конструкције
- да се изврши корекција попречне и подужне равности коловозне површине
- да се обезбеди израда антипукотинског слоја раду спречавања рефлектовања пукотина из цементом стабилизованог слоја у нови асфалтни слој
- да се обезбеди израда хабајућег слоја одговарајуће макротекстуре и отпорности на појаву колотрага

Пројектом предвиђени радови на постојећој коловозној конструкцији састојали су се од њеног уклањања стругањем у дебљини од 11cm, припреме подлоге тј. санирања пукотина и постављања термостабилне PET геомреже у циљу одлагања рефлектовања пукотина. Израда нових слојева коловозне конструкције подразумевала је израду:

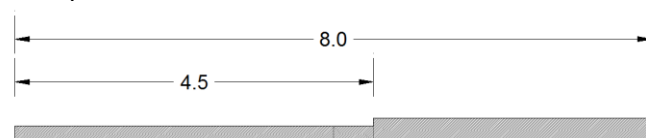
- битуменизираног носећег слоја AC 22 bin
- хабајућег слоја од асфалт бетона AC 11 surf



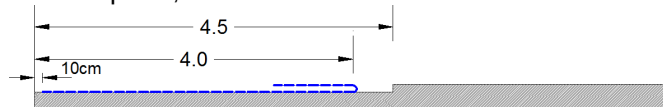
Слика 1. Попречни профил пројектног решења

Термостабилна PET геомрежа постављана је на струганој подлози на коју је претходно нанесена битуменска емулзија KN 60 у количини од 900 g/m². До потребне количине емулзије дошло се пробама на лицу места, и прилагођавањем условима подлоге и временским условима током уградње. Термостабилна геомрежа уграђивана је одмах преко свеже битуменске емулзије, док је битуменизирани носећи слој полагао на отпарену подлогу, технолошки у свему на уобичајени начин. Геомрежа је полагао у ширини од 7.8m док је по 10cm до будуће ивице коловоза остављено непокривено мрежом. Поступак извођења радова подразумевао је:

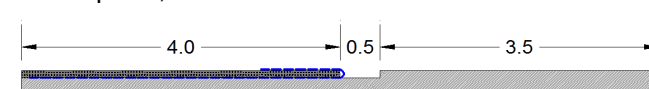
- стругање постојећих асфалтних слојева у ширини ~4m,



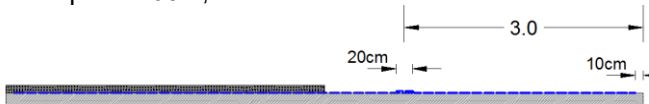
- постављање термостабилне мреже ширине 5m на подлози ширине 4m, уз осигурање слободних 1m мреже,



- израду битуменизираног носећег слоја према пројекту на ширини ~4m, уз осигурање слободних 1m мреже,



- стругање постојећих асфалтних слојева у ширини 3.5m. Постављање термостабилне мреже ширине 3m уз израду подужног преклопа ширине 20cm,



- израда битуменизираног носећег слоја на преосталој ширини коловоза слоја према пројекту,
- израда хабајућег слоја према пројекту.

4. Функционално стање коловозне конструкције

4.1 Визуелни преглед деонице - Март 2023. година

Ради увида у стање површине асфалтног застора са аспекта оштећености извршен је визуелни преглед предметне деонице током марта месеца 2023. године (6 година након уградње). На наредним сликама приказано је стање површине асфалтног застора.



Слика 2. Стање површине асфалтног застора - 2023. год



Слика 3. Стање површине асфалтног застора - 2023. год



Слика 4. Стање површине асфалтног застора - 2023. год



Слика 5. Стање површине асфалтног застора - 2023. год



Слика 6. Стање површине асфалтног застора - 2023. год



Слика 7. Стање површине асфалтног застора - 2023. год

5. Упоредни трошкови изградње

Упоредни трошкови побољшања дати су у табели на слици. Цене материјала и уградње преузете су из Ценовника радова на одржавању путева града Панчева из 2014. године [5] док је цена геомреже дата на основу ценовника произвођача из периода извођења радова 2017. године.

Упоредни трошкови нису обухватили цене додатних пројектних решења, тендерских поступака, избора извођача и формирања градилишта као ни застоје у саобраћају и са тим везане директне и индиректне трошкове. Ови трошкови увећали би укупну цену рехабилитације без употребе геомреже. Трошкови побољшања из 2017. године према пројектованој и изведеној варијанти побољшања (извршена анализа је само за потребе рада за укупну површину асфалтног застора од 194.000 m²) су:

- трошкови везани за варијанту са геомрежом тј. 5cm АБ 11 + 6cm БНС 22 + PET геомрежа износили су 3.797.564 EUR
- док су трошкови везани за варијанту без геомреже тј. 5cm АБ 11 + 10cm БНС 22 процењени на 4.539.600 EUR

Евидентно је да се већ у старту применом геомреже обезбеђује финансијска уштеда од min. 16%. Када се узму у обзир и уштеде током одржавања за период од 20 година, варијанта са применом геомреже повољнија је за 27%.

Табела 1. Трошкови побољшања - са/без мреже

Позиција радова	Цена	са мрежом (eura)	без мреже (eura)
Стругање 11cm	1.43 eura/m ²	277.420	
Стругање 15cm	1.95 eura/m ²		378.300
БНС 22, 6cm	49.10 eura/t	1.428.810	
БНС 22, 10cm	49.10 eura/t		2.381.350
АБ 11, 5cm	54.20 eura/t	1.314.350	1.314.350
Уградња асфалта	6.40 eura/t	341.440	
HaTelit C 40/17	1.63 eura/m ²	361.048	
Бит.еमुлзија	0.64 eura/kg	74.496	
	УКУПНО	3.797.564	4.539.600
	Уштеда	16 %	

6. Економско вредновање варијантних решења коловоза

6.1 Превентивно одржавање

За потребе рада а како би се лакше могла сагледати економичност анализираних пројектних решења (са/без примене арматурне мреже), спроведено је економско вредновање варијантних решења за ниво инвестиционих трошкова (трошкови изградње) и трошкова одржавања према датом сценарију, познатије као Life Cycle Cost Analysis (LCCA), односно економска анализа инвестиционих трошкова у току одабраног циклуса експлоатације коловозне конструкције. У економској анализи варијантних решења укључени су израчунати трошкови изградње и трошкови одржавања према датом сценарију. Економска анализа инвестиционих

трошкова заснива се на - Life Cycle Cost Analysis (LCCA). За потребе овог пројекта срачунат је еквивалентни униформни годишњи трошак EUAC коришћењем једначине:

$$NPV = IC + \sum_{k=1}^N RC_k \left[\frac{1}{(1+i)^{n_k}} \right]$$

$$EUAC = NPV \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right]$$

Где је:

i - реална каматна стопа (дисконтна стопа = 5%, инфлација = 0%)

n - период експлоатације (20 година)

IC - трошкови у почетној фази (изградња) (eur/m²)

RC - трошкови рехабилитације (eur/m²)

NPV - нето садашња вредност (eur/m²)

EUAC - економски униформни годишњи трошак (eur/m²)

Поређење укупних трошкова које генеришу варијанта решења, посматране су у дужем периоду експлоатације него што је њихов животни век утврђен пројектом. Тај референтни период експлоатације, који би указао на оптимум и разлике у укупним трошковима (грађење+одржавање), процењен је на 20 година. Примењени поступци превентивног одржавања приликом анализе су:

- обрада (заливање) пукотина
- пресвлачење/замена коловозног застора

6.2 Сценарио одржавања

Сценарио одржавања истраживан је кроз стратегије одржавања сваког варијантног решења, под претпоставком да свако од њих испуни постављене захтеве и услове. У анализи трошкова одржавања варијантних решења коловозне конструкције (са/без арматурне мреже) коришћена је претпоставка да ће током периода експлоатације (20 година) бити делимично нарушена структурна носивост коловоза, па је неопходно извршити замену хабајућег слоја и појачање коловозне конструкције у дефинисаном временском интервалу. Примена привремених мера за спречавање појаве оштећења или њиховог прираста (заливање пукотина и локалне поправке), у међуинтервалима могу продужити животни век коловозног застора од 5 до 6 година. Разрада сценарија превентивног одржавања извршена је у складу са концептом развијеним у европским земљама [9,10]. Треба напоменути да предметни сценарио превентивног одржавања није верификован на конкретним условима у региону, имајући у виду да ти подаци нису доступни. С тим у вези, усвојен је критеријум који у случају употребе мреже успорава пропагацију пукотина кроз асфалтне слојеве за 50-60%.

Сценарио одржавања варијантних решења коловозне конструкције возне траке са приказом нивоа ефикасности побољшања комфора вожње (низак-жуто, осредњи-наранџасто и висок-зелено) приказан је у наредној табели.

Табела 2. Сценарио одржавања - са мрежом

Година	Позиција	Дебљина (cm)	Површина (%)	RC (eur/m ²)
4	заливање пукотина		5	0.02
8			10	0.03
12			20	0.04
12	стругање	5	30	0.11
12	АБ 11	5	30	1.09
16	заливање пукотина		20	0.04
20	стругање	8	50	0.2
20	БНС 22	6	50	1.33
20	АБ 11	5	50	1.23
RC (€/m ²)				4.07
IC (€/m ²)				19.58
NPV (€/m ²)				23.65
EUAC (€/m ²)				1.90

Табела 3. Сценарио одржавања - без мреже

Година	Позиција	Дебљина (cm)	Површина (%)	RC (eur/m ²)
4	заливање пукотина		10	0.03
8			30	0.08
12			20	0.04
12	стругање	5	80	0.29
12	АБ 11	5	80	2.90
16	заливање пукотина		40	0.07
20	стругање	8	100	0.39
20	БНС 22	6	100	2.66
20	АБ 11	5	100	2.45
RC (€/m ²)				8.93
IC (€/m ²)				23.40
NPV (€/m ²)				32.33
EUAC (€/m ²)				2.59

На основу економске анализе (трошкови изградње + сценарио одржавања у периоду од 20 година), за случај дисконтне (каматне) стопе од 5%, исплативије решење са употребом арматурне мреже (остварена је уштеда од 27%).

7. Обрачун емисија CO_{2e} и постигнуте уштеде

7.1 Упоредна решења и улазне вредности емисија

Пројектом је, у циљу постизања траженог употребног века нових асфалтних слојева, предвиђена уградња термостабилне мреже за одлагање појаве рефлектовања пукотина из старих у нове слојеве асфалта. Дебљине нових асфалтних слојева износиле су 6 cm за битуменизирани носећи слој и 5 cm за хабајући слој од асфалт бетона.

Процена емисија рађена је за сам поступак побољшања као и за одржавање деонице током 20 година, планирано у складу са описаним сценаријима одржавања. Вредности угљеничних отисака асфалта и битуменске емулзије преузете су из ICE базе података верзија 3.0 [4] из 2019. године која је јавно расположива, бесплатна и таква би требало и да остане. Ово је унапређена и допуњена верзија библиотеке “ A BSRIA GUIDE, The Inventory of Carbon and Energy” објављене од стране Univerziteta Bath. Унапређење библиотеке података из 2011. рађено је углавном на основу EPD (Environmental Product Declaration) документације тј. на основу Декларација о утицају на животну средину за различите материјале обзиром да је све више произвођача који поседују EPD за своје производе. Ради се о документу треће стране који садржи не само податке о емисијама CO_{2e} већ и бројне друге информације везане за утицај производа на животну средину.

Док ICE DB V 3.0 даје вредности емисија еквивалентног угљендиоксида за материјале за тзв. период од “колевке до капије” тј. обухвата емисије везане за екстракцију и производњу сировина, њихов транспорт, производњу самог материјала и његово складиштење до момента отпреме из фабрике, новије EPD декларације дају податке о емисијама CO_{2e} за тзв. период “од колевке до гроба” тј. вредности емисија до момента рециклаже или одлагања на депонију отпада. Вредност угљеничног отиска за PET геомрежу добијена је од произвођача на основу расположивог EPD документа [6]. Осим стандардне PET геомреже која је употребљена на пројекту, постоји и верзија термостабилне PET геомреже у потпуности произведене од рециклираних PET флаша.

Овако произведена PET влакна имају за 4.3 kg ниже емисије CO_{2e} од стандардних нерестицираних влакана па су и утицаји такве геомреже на околину мањи. Производња материјала од рециклиране сировине уклапа се у тежње за што већим обухватом циркуларне економије. Обрачуни емисија еквивалентног угљендиоксида услед транспорта геомреже, као и транспорта асфалтне мешавине дати су на основу препорука из Guidelines for Measuring and Managing CO₂ Emission from Freight Transport Operations [11]. Удаљеност фабрике за производњу геомреже је 1600 km, док се асфалтна база извођача ВОЈПУТ из Суботице налазила у Србобрану чија је просечна удаљеност до места уградње 50 km. Емисије генерисане радом финишера и ваљака дате су на основу информација о учинку и потрошњи горива добијених од извођача. Тако је као просечан учинак финишера узета вредност од 180 t/h док је просечна потрошња горива за финишер ~20 l/h, а за ваљак 7 l/h. Подаци о емисијама приликом сагоревања дизел горива дати су на основу публикације DEFRA Подаци о емисијама CO_{2e} за дизел које даје влада Велике Британије за 2021 [12].

7.2 Биланси CO_{2e} за упоредна решења

У табели 4 дат је обрачун емисија еквивалентног угљендиоксида за пројектом разматрано решење без термостабилне геомреже као и за примењено решење са геомрежом уграђеном на стругануј подлози уз смањење дебљине БНС-а. У табели се могу наћи вредности емисија по m² коловоза које важе за пројектовану дебљину нових асфалтних слојева од 11 тј. од 15 см. Вредности емисија дате су и за комплетну деоницу дужине нешто више од 24km и ширину коловоза од 8.0m.

Примењена варијанта побољшања која је обухватала и уградњу РЕТ геомреже чврстоће на затезање од 50 kN/m у оба правца, са врло танким ПП геотекстилом и премазом са min. 65% битумена значила је и смањење емисија CO_{2e} од min. 20%.

Табела 4. Биланси CO_{2e} током рехабилитације - са/без мреже

Позиција радова	Утрошак материјала	CO _{2e} /kg материјала	са мрежом (kg/m ²)	без мреже (kg/m ²)
Асфалт	275 kg/m ² 375 kg/m ²	0.056	15.4	21.0
Бит. емулзија	0.18 kg/m ² 0.54 kg/m ²	0.222	0.12	0.04
HaTelit C 40/17	0.27 kg/m ²	4.85		
Површина		194.000 m ²		
Биланс CO _{2e}		4082 t	3265 t	
Превоз мреже	16.5 t	62 g/t/km	1.64 t	
Превоз асфалта	53.350 t 72.750 t	62 g/t/km	165.4 t	225.5 t
Финишер	296 h 404 h	54.12 kg/h	16.0 t 5.6 t	21.86 t
Ваљак		18.94 kg/h	5.60 t	7.65 t
Биланс CO _{2e}		255 t	189 t	
УКУПНО CO _{2e}		3454 t	4337 t	
Уштеда CO _{2e}		20 %		

Аутори су такође извршили процену емисија гасова стаклене баште током одржавања деонице у периоду од 20 година за обе варијанте побољшања разматране пројектом. Процењени биланси емисија за период одржавања дати су у табели 5. Током периода одржавања примењено решење обезбеђује смањење емисија CO_{2e} min. 53%.

Табела 5. Биланси CO_{2e} током одржавања - са/без мреже

Позиција радова	Утрошак материјала	CO _{2e} /kg материјала	са мрежом (t)	без мреже (t)
Асфалт + мрежа	33950 t	0.056	1901	
Превоз асфалта	33950 t	62 g/t/km	105.25	
Финишер	188.6 h	54.12 kg/h	10.21	
Ваљак	188.6 h	18.94 kg/h	3.57	
Асфалт	72750 t	0.056		4074
Превоз асфалта	72750 t	62 g/t/km		225.50
Финишер		54.12 kg/h		21.86
Ваљак		18.94 kg/h		7.65
Бит. емулзија	27.94 t 62.86 t	0.222	6.2	13.95
УКУПНО CO _{2e}			2026 t	4343 t
Уштеда CO _{2e}			53 %	

Аутори напомињу да се вредности смањења емисија од ~ 60% могу наћи у литератури. Овако високе вредности смањења емисија CO_{2e} добијају се приликом поређења емисија по години трајности за варијанту са геомрежом + слој асфалта одређене дебљине и варијанту са истом дебљином асфалтних слојева без геомреже. Сматра се да примена РЕТ геомреже повећава трајност асфалтних слојева за мин 3 пута, што је потврђено обимним лабораторијским испитивањима као и бројним искуствима из праксе. Обрачун уштеде CO_{2e} за решење примењено на пројекту Жабаљ - Зрењанин би по овој методологији дао смањење емисија за 63%, што би било у потпуности у складу са литературом. Овакав обрачун за деоницу Жабаљ - Зрењанин дат је у табели 6.

Табела 6. Биланси CO_{2e} са продужењем трајности од 3 пута

Позиција радова	Утрошак материјала	CO _{2e} /kg материјала	са мрежом (kg/m ²)	без мреже (kg/m ²)
Асфалт	275 kg/m ²	0.056	15.4	15.4
Бит. емулзија	0.18 kg/m ² 0.54 kg/m ²	0.222	0.12	0.04
HaTelit C 40/17	0.27 kg/m ²	4.85	1.31	
Превоз мреже			0.03	
Површина		194.000 m ²		
Биланс CO _{2e}		3271 t	2995 t	
Очекивана трајност коловоза		21 година	7 година	
Емисије по години трајности (фактор побољшања 3)		156 t	428 t	
Уштеда CO _{2e}		63%		

8. Закључак

На конкретном пројекту рехабилитације коловоза, у оквиру појачаног одржавања деонице од Жабља до Зрењанина, јасно се могу видети еколошке и економске предности употребе термостабилне геомреже од полиестера (PET) са танким нетканим геотекстилом и премазом са високим садржајем битумена намењене за армирање асфалта и одлагање појаве рефлектовања пукотина. Примењена технологија извођења радова није ни посебно захтевна ни нова, а предметна деоница била је, пре рехабилитације, у стању које је карактеристично за многе саобраћајнице у земљи. Уколико имамо на уму да термостабилне PET геомреже пре свега имају утицаја на продужење употребног века нових асфалтних слојева код пресвлачења коловоза, могућност њихове употребе требало би размотрити у свим случајевима када пукотине у асфалту нису резултат недовољне носивости невезаних слојева коловозне конструкције.

Свеобухватнија примена технологије армирања асфалта донела би у финансијском смислу бенефите који би се врло брзо могли осетити кроз повећање површине саобраћајница обновљених са истим издвојеним средствима. Уместо сваких 100km нових застора без мреже имали бисмо више од 120km нових асфалтних застора армираних PET мрежом, и то 120 km на којим у наредних 20 година не би било застоја у саобраћају узрокованих асфалтирањем или би их било у знатно мањој мери. Финансијски бенефити у комбинацији са значајно смањеним неповољним утицајима на животну средину су довољно добар разлог да избор ове технологије не буде искључиво у рукама боље обавештених пројектаната. Највећи интерес за њену примену требало би да покажу инвеститори као и министарства за грађевинарство и за екологију, као и да предузму кораке из њихове надлежности како би се бенефити постигнути на пројекту који је предмет овог рада пресликали на што више сличних путних деоница.

Приказано поређење варијантних решења и постигнутих финансијских и еколошких уштеда изражених у % дато је за путни правац у Србији, па и добијени резултати одражавају у највећој мери утицај локалних услова. Аутори се надају да ће у неким будућим пројектима рехабилитације, након анализе релевантних показатеља стања пута и уколико се покаже да је потребно побољшање коловоза, резултати приказани у раду бити коришћени као равноправни утицајни фактор, на темељу којих ће се дефинисати оптимално пројектно решење рехабилитације.

Calculation of the reduction of equivalent carbon dioxide (CO₂e) by applying a thermostable geogrid on the example of the main project of DP IB no. section 12, Žabalj - Zrenjanin

Dragan Stojanić^a, Marija Bakrač^b

^a Institute for Roads a.d. Belgrade - Section for Pavement Structures

^b Geoestetica, Belgrade

Abstract: Every asphalt pavement rehabilitation, apart from benefits in terms of safety, comfort and speed for users, also has its negative side, i.e., adverse effects on the environment. Some of these impacts, such as carbon dioxide equivalent emissions, cannot be limited to the immediate environment where the works are carried out, but are global. In order to limit the increase in the average temperature on Earth caused by increased CO₂e emissions to below 2°C, and in accordance with Serbia's internationally accepted obligations, it is necessary that all industries, including construction, make their maximum contribution. When we talk about the rehabilitation of asphalt curtains, one of the possible ways to greatly reduce CO₂e emissions is the application of thermostable geogrids for asphalt reinforcement. The main effect achieved by the application of geogrids for asphalt reinforcement is the extension of the durability of the new asphalt layer while reducing maintenance costs. According to the manufacturer of asphalt reinforcement nets and delaying the appearance of reflected cracks, the durability of the new asphalt layer increases 3-4 times. The paper provides a detailed analysis of the achieved carbon dioxide equivalent savings as well as the financial benefits of applying the HaTelit C 40/17 geogrid during the rehabilitation of the pavement on the project: Enhanced maintenance of state road IB no. 12, Žabalj-Zrenjanin.

Keywords: Equivalent carbon dioxide, Asphalt road, Rehabilitation, Lifespan, Thermostable mesh

Литература

- [1] M. Pathak, R. Slade, P.R. Shukla, J. Skea, R. Pichs-Madruga, D. Urge-Vorsatz, 2022: Technical Summary. In: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.002.
- [2] Anti-Reflective Cracking Design of (Reinforced) Asphaltic Overlays, Ph.D.-thesis, Delft, Netherlands; De Bondt, A.H., (1999)
- [3] Montestruque G.E., Rodrigues R.M., Nods M., Elsing A., (2004), Stop of reflective crack propagation with the use of PET geogrid as asphalt overlay reinforcement, Proceedings of the Fifth International, RILEM Conference, Limoges, France.
- [4] ICE DB V 3.0, <https://circularecology.com/embodied-carbon-footprint-database.html>
- [5] http://demo.paragraf.rs/demo/combined/Old/t/t2014_08/t08_0043.htm
- [6] EPD-HUESKER-134-EN
- [7] Maintenance methods and strategies, Technical Committee D.2 – Road Pavement, PIARC 2013R08EN
- [8] 1 Economic Evaluation of Long-Life Pavements - Phase 1, OECD 2005
- [9] French design manual for pavement structures-Guide technique, May 1997, LCPC and SETRA
- [10] Maintenance methods and strategies, Technical Committee D.2 - Road Pavement
- [11] Guidelines for Measuring and Managing CO₂ Emission from Freight Transport Operations - Issue 1 / March 2011 – ECTA
- [12] <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2021>