

Ocena ključnih indikatora uticaja na životnu sredinu i njihova primena u sistemima za upravljanje održavanjem kolovoznih konstrukcija

GORAN MLADENović
NEVENA VAJDIĆ

Originalni naučni rad
UDC:504.75.055:625.089.2/.4

UVOD

Sistemi za upravljanje održavanjem kolovoznih konstrukcija imaju široku primenu u optimizaciji održavanja puteva. Osnovni kriterijum za vrednovanje različitih strategija održavanja je bio ekonomski, izražen bilo kroz Neto sadašnju vrednost razlika između koristi i troškova ili kroz internu stopu rentabilnosti. Koristi se najčešće računaju kao razlika u troškovima korisnika za analizirane strategije održavanja.

Strategije održavanja kolovoznih konstrukcija se zasnivaju na oceni postojećih funkcionalnih karakteristika kolovozne konstrukcije, nosivosti ili površine kolovoza, i optimalnog izbora adekvatnog tretmana koji bi ove karakteristike popravio, tj. povratio na zadovoljavajući nivo. Osim monetarnih troškova upotrebe materijala, mehanizacije i ljudskih resursa neophodnih za izvođenje izabranog tretmana, pri optimizaciji strategija uzimaju se u obzir i troškovi korisnika. Ovi troškovi se odnose na direktne troškove putovanja, tj. vremena provedenog u saobraćaju predstavljenom kroz monetarnu vrednost, procenjene operativne i troškove amortizacije vozila, kao i dodatne troškove nastale usled izvođenja izabranog tretmana koji se ogledaju u dužem vremenu provedenom u putovanju usled prouzrokovanih zagušenja u saobraćaju.

Međutim, poslednjih godina potrebe i očekivanja zainteresovanih strana u oblasti putne infrastrukture i saobraćaja idu mnogo dalje od obezbeđivanja nosivosti ili funkcionalnih karakteristika površine kolovoza. Ove potrebe i očekivanja se odnose i na potrebu očuvanja vrednosti infrastrukture, bezbednost (kako za korisnike puteva, tako i za ljude koji žive u njihovoj okolini), buku, kvalitet vazduha, društveno-ekonomske i druge uticaje na okolinu, kao i troškove upravljanja i održavanja. Stoga postoji potreba da se svi ovi aspekti uključe u sistem upravljanja održavanjem kroz tzv. indirektno troškove, koji podrazumevaju ključne inidkatore uticaja na okolinu i njihove monetarne vrednosti, kojii mogu obezbediti osnovu za donošenje racionalnih odluka u skladu sa strategijom održivog razvoja.

Adresa autora: Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bul. Kralja Aleksandra 73

Cilj ovog rada je da predstavi predlog metodologije za klasifikaciju i evaluaciju indikatora uticaja na okolinu kao pomoćnog alata u procesu odlučivanja o optimalnoj strategiji održavanja kolovoznih konstrukcija. U prvom delu rada je prikazan pregled literature na osnovu kog su identifikovani indikatori uticaja na okolinu. U drugom delu rada je predstavljena metodologija za izbor indikatora koji se mogu uzeti u obzir u analizi strategija održavanja kolovoznih konstrukcija na osnovu definisanih kriterijuma. U sledećem delu rada predstavljeni su primeri moguće primene ključnih indikatora uticaja na okolinu. Rad se završava zaključcima i preporukama za dalje istraživanje.

INDIKATORI UTICAJA NA ŽIVOTNU SREDINU

Postojeći indikatori uticaja na okolinu prouzrokovanog drumskim saobraćajem se generalno mogu podeliti u dve kategorije. Prvu čine indikatori od strateškog značaja koji se mogu koristiti u globalnim analizama na nivou putne mreže. Ovi indikatori se najčešće dobijaju na osnovu statističke analize određenih uticaja na životnu sredinu na nivou regiona ili države. Drugu grupu čine tzv. Tehnički indikatori, tj. indikatori koji se mogu meriti i koji se takođe mogu koristiti na nivou putne mreže, ali se mnogo više primenjuju pri analizi optimalnih strategija održavanja konkretnih deonica, odnosno na nivou projekta.

Analizirajući indikatore uticaja na životnu sredinu prouzrokovane saobraćajem, u okviru projekta pod nazivom COST 356 predstavljena je obimna lista indikatora koji se odnose na razne aspekte uticaja na životnu sredinu [1]. Ovi aspekti se odnose na zagađenje vazduha (nivo PM₁₀ čestica), upotrebu neobnovljivih resursa (npr. indikatori bazirani na vezi između upotrebe i raspoloživosti resursa), buke (npr. maksimalni ili minimalni nivo buke za vreme merenja), efekta staklene bašte (npr. Indikator uticaja na ljudsko zdravlje usled efekta staklene bašte) i proizvodnje otpada (npr. broj vozila povučениh iz upotrebe). Neki od ovih indikatora se upotrebljavaju na strateškom nivou i imaju karakter procene uticaja na osnovu statističkih podataka, dok se neki odnose na nivo projekta i moguće ih je direktno izmeriti.

Projekat pod nazivom SILVIA je za glavni cilj imao razvoj alata za nivo strateškog odlučivanja koji bi obezbedio racionalno planiranje mera za kontrolu saobraćajne buke sa fokusom na primenu tih kolovoznih zastora [2]. Kao indikator uticaja saobraćajne buke korišćen je „ekvivalentni kontinuirani nivo buke“ ili merodavni nivo buke koji predstavlja energetska baziranu meru predstavljenu konstantnim nivoom zvuka za prethodno definisani period vremena koji ima istu akustičnu energiju kao i vremenski promenljivi nivo buke koji se obično vezuje za saobraćajnu buku. Na osnovu ovog indikatora moguće je izračunati i druge indikatore buke kao što su indikator „dan-veče-noć“ (ili ukupni indikator buke) i indikator „noćne buke“. U okviru Direktive 2002/49/EC, oba ova indikatora su preporučena od strane Evropske Unije kao mere za utvrđivanje uticaja buke na stanovništvo, uključujući i buku prouzrokovanu saobraćajem [3]. Takođe se preporučuje i izrada mapa sa prikazanim nivoima buke za različite izvore, posebno za naseljene oblasti kako bi se utvrdila izloženost stanovništva sumarnim uticajima i pružila informacija o potrebnim strategijama za umanjenje štetnog uticaja izloženosti stanovništva buci.

U okviru analize tih kolovoznih zastora, u projektu SILVIA obuhvaćena je i analiza efekta zagađenja vode [4]. Glavni zagađivači prouzrokovani drumskim saobraćajem vode su čestice, teški metali, sodijum i kalcijum hlorid, sulfati i gorivo. Procenjujući emisiju zagađivača vode kao indikatora potencijalnog zagađenja podzemnih voda i zemljišta u putnom pojasu izraženog u jedinici mase po kilometru puta u toku jedne godine, u projektu POLMIT se uzimaju u obzir teški metali (bakar, olovo, hrom, kadmijum i cink), hlorid i ukupna policiklična organska jedinjenja (PAH) [5]. Emisija teških metala u najvećoj meri zavisi od obima saobraćaja, emisija ukupnih PAH zavisi od obima saobraćaja i tipa puta, dok emisija hlorida zavisi od temperatura u zimskom periodu i količine upotrebljenih soli za sprečavanje stvaranja leda na kolovozu.

U okviru razvoja harmonizovane metodologije za ocenjivanje trans-nacionalnih projekata u Evropi, uticaj na životnu sredinu je uzet u obzir kao jedan od osnovnih elemenata neophodnih za konsistentnu monetarnu evaluaciju projekata [6]. Preporučena je pristup određivanja cene uticaja koji određeni aspekti zagađenja imaju na životnu sredinu, tj. ljudske živote, umesto dodeljivanja monetarne vrednosti samom uticaju, npr. emisija suspendovanih čestica. Za zagađenje vazduha uzeti su u obzir sledeći zagađivači: suspendivane česti-

ce PM_{2.5}, azot oksid NO_x, sumpor dioksid SO₂ i volatilni ugljovodonik VOC. Buka je analizirana kroz broj osoba izloženih određenom nivou buke, dok je aspekt globalnog zagrevanja izražen kao ekvivalent emisije ugljen dioksida. Za sve ove aspekte uticaja na životnu sredinu postoje procene monetarne vrednosti u smislu uticaja na ljudske živote, dok je za druge aspekte, npr. zagađenje vode, monetarna vrednost još uvek neutvrđena.

COST 350 je kao cilj imao razvoj integrisane ocene uticaja na životnu sredinu saobraćaja i saobraćajne infrastrukture na nivou strateškog odlučivanja [7]. U okviru analize potencijalnih uticaja, definisano je devet kriterijuma za izbor indikatora na osnovu kojih je selektovano ukupno 17 indikatora kao što su npr. upotreba novih neobnovljivih materijala i reciklaža otpada u izgradnji, koncentracija zagađivača u zemljištu i površinskoj vodi, potrošnja energije, izloženost buci, klimatske promene itd. Upotreba energije i emisija gasova staklene bašte su dva indikatora korišćena u poređenju različitih metodologija i tehnika izgradnje putne infrastrukture [8]. Pri poređenju ovih metodologija i tehnika, uzeti su u obzir svi pripadajući procesi počevši od ekstrakcije novih materijala, proizvodnje, izgradnje kolovozne konstrukcije i održavanje.

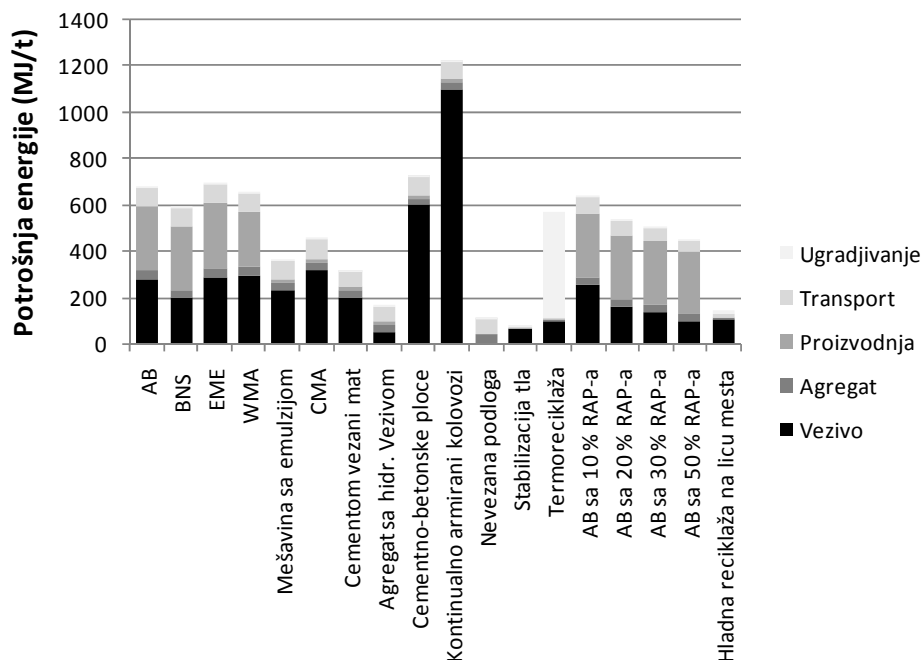
U tabeli 1 dat je pregled izabranih indikatora uticaja na okolinu po ključnim kriterijumima:

- Strateški ili tehnički indikator, zavisno od tipa indikatora i da li se oni mogu primeniti za strateški nivo upravljanja na nivou putne mreže, ili za donošenje odluka na nivou projekta
- Postojeći, ili u upotrebi, gde se specificira i moguća upotreba indikatora u sistemima za upravljanje održavanjem kolovoznih konstrukcija
- Da li su podaci za određene indikatore dostupni
- Da li se promene indikatora mogu izraziti kroz novčanu protivvrednost, što bi olakšalo njihovu promenu u sistemima za upravljanje održavanjem kolovoznih konstrukcija.

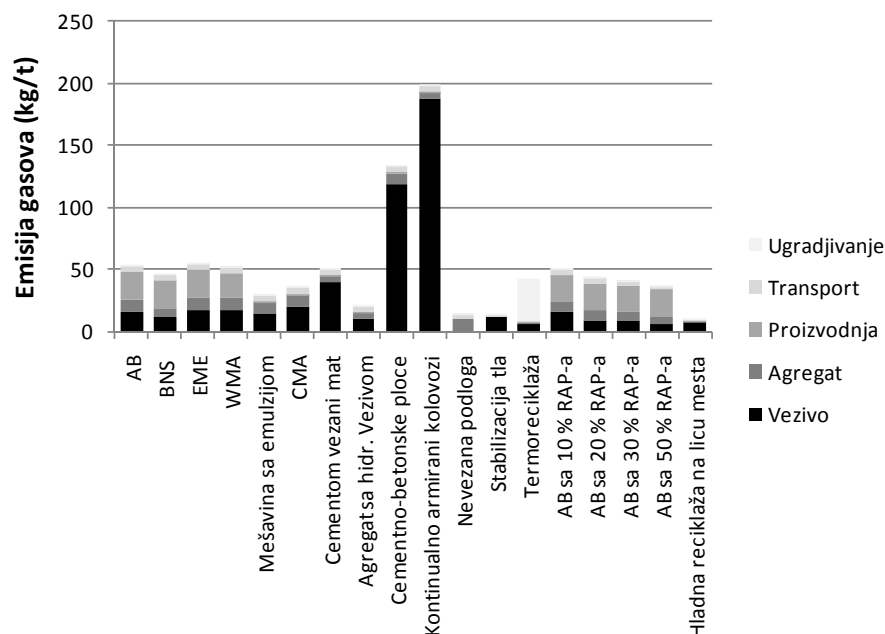
Na slikama 1 i 2 su prikazani primeri primene nekih od indikatora prikazanih u tabeli 1 (potrošnja energija i emisija gasova) u funkciji materijala koji se primenjuju za izgradnju/održavanje kolovoznih konstrukcija. Pri tome su ove vrednosti razložene na sledeće kategorije: proizvodnja veziva, proizvodnja agregata, proizvodnja mešavina, transport i ugrađivanje.

Tabela 1 – Izabrani indikatori uticaja na okolinu za sisteme upravljanja održavanjem kolovoznih konstrukcija

Kategorija uticaja na okolinu	Naziv indikatora	Nivo primene		Upotreba	Dostupnost podataka	Postoji metodologija za izražavanje monetarne vrednosti	Literatura
		Strateški	Tehnički				
Buka	Merodavni nivo buke $L_{Aeq,T}$	X	X	Sistemi za upravljanje održavanjem	Da	Da	[1], [2], [3], [6], [7], [9]
	Ukupni indikator buke L_{den}	X	X	-	Da	-	[1], [2], [3], [6], [7]
	Indikator noćne buke L_{night}	X	X	-	Da	-	[1], [2], [3], [6], [7]
	Broj stanovnika izloženog nivou buke većem od dozvoljenog	X		Analiza troškova i dobiti	Da	Da	[3], [6]
Zagađenje vazduha	Nivo suspendovanih PM ₁₀ čestica	X	X	Analiza troškova i dobiti	Da	Da	[1]
	Nivo PM _{2.5} , NO _x , SO ₂ i NMVOC	X	X	Analiza troškova i dobiti	Da	Da	[6]
Zagađenje vode	Emisija PAH, teških metala (Cd, Cr, Cu, Pb i Zn) i hlorida	X	X	-	Da	-	[4], [5]
Efekat gasova staklene bašte	Ekvivalent CO ₂	X	X	LCA	Da	Da	[6], [7], [8]
Potrošnja energije	Ekvivalent energije	X	X	LCA	Da	Da	[8]
	Planirani nivo usluge	X	X	-	Da	Da	[7]
Potrošnja novih ili recikliranih materijala	Potrošnja novih materijala i % recikliranog otpada korišćenih u izgradnji		X	-	Da	Da	[7]



Slika 1 - Pregled potrošnje energije za različite vrste materijala u kolovoznim konstrukcijama [8]



Slika 2 - Pregled emisije gasova koji izazivaju efekat staklene bašte za različite vrste materijala u kolovoznim konstrukcijama [8]

PRIMENA INDIKATORA U SISTEMIMA ZA UPRAVLJANJE ODRŽAVANJEM KOLOVOZNIH KONSTRUKCIJA

Na slikama 1 i 2 se jasno može uočiti prednost primene asfaltnih mešavina sa recikliranim materijalom, kod kojih se potrošnja energije i emisija gasova značajno smanjuje sa povećanjem učešća struganog asfaltnog materijala (RAP-a). Takođe se može zaključiti da su asfaltna mešavina proizvedene po hladnom postupku izrazito energetski efikasnije od mešavina po vrućem postupku. Za mešavine po toplom postupku ne može se doneti nikakav definitivni zaključak.

Takođe se uočava vrlo značajna razlika između betonskih i asfaltnih kolovoza i u potrošnji energije i emisiji gasova. Međutim, treba takođe imati u vidu da svetla boja betonskih kolovoza u odnosu na tamnu boju asfaltnih zastora ima prednosti u pogledu uticaja na okolinu.

Analiza uticaja na životnu sredinu prouzrokovano različitim strategijama održavanja puteva se sprovodi na dva nivoa. Postoji sve veći broj alata koji koriste Life Cycle Assessment (LCA) metodologiju za proračun efekata primene različitih tretmana održavanja.

Drugi nivo predstavlja konkretna primena u sistemima za upravljanje održavanjem kolovoznih konstrukcija, kao što je npr. HDM-4 (Highway Development and Management Model) [9]. Uticaj na okolinu se u ovom modelu analizira na osnovu 3 parametra:

- Zagađenje vazduha (emisije) prouzrokovano drumskim saobraćajem
- Buka prouzrokovana drumskim saobraćajem, i
- Potrošnja energija tokom građevinskih radova na izgradnji i održavanju puteva, kao i tokom životnog veka puta usled kretanja vozila.

Modeli primenjeni u HDM-4 imaju cilj da utvrde razliku u uticaju na okolinu između više tretmana/strategija održavanja puteva.

Za modeliranje zagađenja vazduha su usvojeni modeli koji daju prosečne količine emisija za karakteristične tipove vozila zastupljene u voznom parku. Stoga je bilo neophodno usvojiti modele koji će definisati emisije bilo u funkciji operativnih karakteristika puta, vozila i saobraćaja (geometrijski elementi puta, neravnost površine kolovoza, brzina kretanja ili snaga motora vozila) ili u funkciji nekog drugog parametra poput potrošnje goriva koja se već modelira u HDM-u u okviru modela troškova korisnika. Za modeliranje emisije većine uticaja (ugljičnog dioksida, ugljen-monoksida, oksidi azota, sumpor dioksida, olovo i čvrste čestice) primenjena je zavisnost od potrošnje goriva, izuzev za emisiju ugljen dioksida koja se modelira kroz balansnu jednačinu emisija ugljenika.

U okviru HDM-a modelira se samo „eksterna“ buka, odnosno buka nastala na kontaktu između pneumatika i kolovoza koja dobrim delom zavisi od vrste materijala i karakteristika zastora kolovozne konstrukcije. Nivo buke koji je prevaziđen u 10 % merenja L₁₀ se definiše u funkciji od obima saobra-

ćaja, odnosno broja vozila u toku jednog časa. Očekivani nivo buke se koriguje imajući u vidu deonice sa malim broj vozila (< 200 vozila na sat), prosečnu brzinu i procenat teških teretnih vozila u saobraćajnom toku, podužni nagib puta, tip kolovoznog zastora (beton ili asfalt) i karakteristike deonice u pogledu mogućnosti propagacije buke. Uticaj buke se na kraju pretvara u monetarnu vrednost kroz model koji definiše pad/rast vrednosti nekretnina usled povećane/smanjene buke.

Analiza potrošnje energije, s obzirom da uključuje potrošnju motorizovanih i nemotorizovanih vozila, kao i potrošnju usled građevinskih radova, a da bi bila u skladu sa metodologijom upravljanja primenjenom u HDM-4, sprovodi se na dva nivoa:

- nivo projekta, gde je cilj da se uporede alternative održavanja na nivou jedne ili nekoliko putnih deonica, i
- nivo mreže, ili strateški nivo na kome se sagledavaju uticaji na okolinu kao efekat različitih strategija održavanja na celoj putnoj mreži.

Model potrošnje energije za motorizovana vozila uzima u obzir energetske potrebe za proizvodnju i korišćenje vozila, uključujući proizvodnju osnovnih materijala, potrošnju goriva, ulja i pneumatika i potrošnju pri održavanju vozila.

Nemotorizovani saobraćaj, uključujući zaprege, bicikliste i pešake predstavlja značajan deo saobraćaja u zemljama u razvoju i stoga je u fokusu Svetske banke kod primene ovakvih modela. Potrošnja energije je definisana za zavisnosti od mase (zaprega) ili brzine kretanja.

Potrošnja energije usled radova izgradnje i održavanja puteva predstavlja značajan element u ukupnom bilansu potrošnje energije u drumskom saobraćaju. Pri tome je posebno značajan odnos energije dobijene iz obnovljivih i neobnovljivih izvora, što se takođe može obuhvatiti analizom modelom HDM.

Kao rezultat analize dobija se razlika u ukupnoj potrošnji energije za različite alternative/strategije održavanja puteva, koja se koristi kao jedan od kriterijuma prilikom izbora optimalne alternative/strategije.

ZAKLJUČCI I SUGESTIJE ZA DALJE ISTRAŽIVANJE

Cilj ovog rada je predstavljanje predloga za klasifikaciju i evaluaciju indikatora uticaja na okolinu kao pomoćnog alata u procesu odlučivanja o optimalnoj strategiji održavanja kolovoznih konstrukcija. Indikatori korišćeni u ovom radu su selektovani iz analizirane literature, a u skladu sa procenom o njihovoj mogućoj primeni u sistemima za upravljanje održavanjem kolovoznih konstrukcija. Indikatori su razvrstani u šest kategorija uticaja na

životnu sredinu i klasifikovani i ocenjeni na osnovu četiri kriterijuma. Iako se ocena indikatora može generalno zasnivati na daleko većem broju kriterijuma, predstavljena četiri kriterijuma su izabrani kao relevantni za aspekt upravljanja održavanjem kolovoznih konstrukcija poštujući kvalitet potrebnih informacija i zadržavajući relevantni nivo razumljivosti i dostupnosti informacija širokom auditorijumu.

U radu je takođe prikazana jedna od pionirskih metodologija za primenu uticaja na okolinu koja je uključena u program HDM-4 za optimizaciju održavanja kolovoznih konstrukcija.

Dok je broj indikatora uticaja na okolinu koje je moguće izraziti u monetarnim jedinicama ograničen, javlja se potreba za uključivanjem i drugih indikatora u procesu odlučivanja o optimalnoj strategiji održavanja kolovoznih konstrukcija kako bi se uzeli u obzir svi aspekti uticaja na okolinu. U ovom smislu, dalja istraživanja su neophodna u cilju reprezentativnog objedinjenja svih relevantnih uticaja i usvajanja sumarnih indikatora koji će omogućiti adekvatnu analizu mogućih strategija kako na nivou putne mreže, tako i na nivou projekta.

ZAHVALNOST

U radu je prikazan deo istraživanja koje je pomoglo Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije u okviru tehnološkog projekta TR 36017 pod nazivom: "Istraživanje mogućnosti primene otpadnih i recikliranih materijala u betonskim kompozitima, sa ocenom uticaja na životnu sredinu, u cilju promocije održivog građevinarstva u Srbiji".

LITERATURA

- [1] Indicators of environmental sustainability in transport: an interdisciplinary approach to methods, ed. Joumard, R., and Gudmundsson, H., COST 356 Final Report, 2010.
- [2] Sustainable road surfaces for traffic noise control (SILVIA) Guidance Manual for the Implementation of Low-Noise Road Surfaces, FEHRL Report 2006/02, ed. Morgan, P., Brussels, Belgium, 2006.
- [3] Commission of the European Communities Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council relating to the assessment and management of environmental noise, Official Journal of the European Commission, L189/12, 2002.
- [4] James, E. Literature review on the effect of porous asphalt roads on water pollution, Project report, SILVIA-TRL-008-01-WP3-240703, 2003.
- [5] Pollution of Groundwater and Soil by Road and Traffic Sources: dispersal mechanisms, pathways and mitigation measures (POLMIT) Pollution from Roads and Vehicles and Dispersal to the Local Environment: Final Report and Handbook, Deliverable D5, 2002.

- [6] Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment (HEATCO) Proposal for Harmonised Guidelines, HEATCO Deliverable 5, 2006.
- [7] Integrated assessment of environmental impact of traffic and transport infrastructure, ed. Calderon, E. J., Pronello, C., and Goger, T., COST 350 Final Report, Universidad Politecnica de Madrid, Spain, 2009.
- [8] Chappat, M., and Bilal, J. The environmental road of the future: Life cycle analysis, COLAS Group, 2003.
- [9] Bennett, C.R, Greenwood, I.D. Modeling Road User and Environmental Effects in HDM-4, The World Road Association, Paris and The World Bank, Washington, D.C. 2004.

IZVOD

OCENA KLJUČNIH INDIKATORA UTICAJA NA ŽIVOTNU SREDINU I NJIHOVA PRIMENA U SISTEMIMA ZA UPRAVLJANJE ODRŽAVANJEM KOLOVOZNIH KONSTRUKCIJA

Sistemi za upravljanje održavanjem kolovoznih konstrukcija imaju široku primenu u optimizaciji održavanja puteva. Osnovni kriterijum za vrednovanje različitih strategija održavanja je bio ekonomski, izražen bilo kroz Neto sadašnju vrednost razlika između koristi i troškova ili kroz internu stopu rentabiliteta. Koristi se najčešće računaju kao razlika u troškovima korisnika za analizirane strategije održavanja. Međutim, poslednjih godina potrebe i očekivanja zainteresovanih strana u oblasti putne infrastrukture i saobraćaja idu mnogo dalje od obezbeđivanja nosivosti ili funkcionalnih karakteristika površine kolovoza. Ove potrebe i očekivanja se odnose i na potrebu očuvanja vrednosti infrastrukture, bezbednost (kako za korisnike puteva, tako i za ljude koji žive u njihovoj okolini), buku, kvalitet vazduha, društveno-ekonomske i druge uticaje na okolinu, kao i troškove upravljanja i održavanja. Stoga postoji potreba da se svi ovi aspekti uključe u sistem upravljanja održavanjem gde su ključni inidikator uticaja na okolinu neophodni i mogu obezbediti osnovu za donošenje odluka u budućnosti. U radu je dat pregled i izvršeno vrednovanje više indikatora uticaja na okolinu i prikazan primer njihove primene u modelu HDM-4 za utvrđivanje optimalne strategije održavanja puteva.

Ključne reči: buka, zagađenje vazduha, zagađenje vode, efekat gasova staklene bašte, potrošnja energije, potrošnja novih ili recikliranih materijala, sistemi za upravljanje održavanjem kolovoznih konstrukcija

ABSTRACT

ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL KEY PERFORMANCE INDICATORS FOR USE IN PAVEMENT MANAGEMENT SYSTEMS

Pavement management systems have wide use in the optimization of road maintenance management. The primary criteria for evaluation of different maintenance strategic were mainly economic criteria expressed through either Net Present Value of differences between benefits and costs or Internal Rate of Return. The benefits were typically calculated as differences in users' costs for analyzed maintenance strategies. However, in recent years needs and expectations of road infrastructure and transport stakeholders go far beyond the provision of satisfying pavement structural and surface conditions. These needs and expectations also relate to asset (investment) preservation, safety (for all road users as well as road neighbours), noise, air quality, security, socio-economic and other environmental impacts as well as operation and maintenance costs. Therefore, there is a need to include all these aspects in the maintenance management systems where Key Performance Indicators (KPIs) are necessary and would provide a basis for future oriented decisions. The paper provides inventory and evaluation of several performance indicators and presents an example of their use in model HDM-4 for selection of optimal pavement maintenance strategy.

Key words: noise, air pollution, water pollution, green house gas emissions, energy consumption, use of raw or recycled materials, pavement management systems