

EKONOMSKA ANALIZA POJAČANOG ODRŽAVANJA DRŽAVNOG PUTA IB21, DEONICA IRIG - RUMA

ECONOMIC ANALYSES OF HEAVY MAINTENANCE (UPGRADING) OF STATE ROAD IB21, SECTION IRIG-RUMA

Miloš ŠEŠLIJA
Igor VUKOBRATOVIĆ
Miodrag POČUČ
Igor PEŠKO

STRUČNI RAD
PROFESSIONAL PAPER
UDK: 625.765
doi: 10.5937/GRMK1803037S

1 UVOD

Putna infrastruktura je među najvrednijim dobrima jednog društva i indikator je razvoja nacionalne ekonomije. Ulaganja u održavanje, rekonstrukciju i modernizaciju puteva u svetu, u poslednjih dvadesetak godina, veća su nego u izgradnju novih puteva. Upravljanje održavanjem putne mreže predstavlja proces donošenja odluka o investicijama, u kojem je veoma značajno razrešiti brojna tehnička i ekonomska pitanja i obezbediti što više objektivnih tehničkih i ekonomskih informacija za konačno donošenje odluke. Planiranje održavanja putne mreže jedan je od osnovnih zadataka za svakog upravljača putnom mrežom [1].

Za potrebe efikasnog planiranja i upravljanja održavanjem putne mreže neophodno je raspolagati ažurnom informacionom osnovom i odgovarajućim modelom za donošenje odluka [2]. Model za analizu investicija u razvoj i upravljanje putevima HDM-4 (*The Highway Development and Management Model*) predstavlja kompleksan softverski alat za tehničko-ekonomsku ocenu

1 INTRODUCTION

Road infrastructure is one of the most valuable assets of a society and a good indicator of development of national economy. Over the past two decades, worldwide investments in the maintenance, reconstruction and modernization of roads have been significantly higher than the investments made in the construction of new roads. The management of the road network presents the process of decision making in investments, where it is very important to solve numerous technical and economic problems and provide as much objective technical and economic information as possible for final decision making. Planning the maintenance of the road network is one of the basic tasks for each road network manager [1].

A properly updated road information system, as well as an adequate decision model, should be established and put in operation so as to enable an effective management of road maintenance activities [2]. The HDM-4 model (Highway Development and Management

M.Sc. Miloš Šešlija, dipl.inž.grač. asistent, doktorant
Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka
Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, R.Srbija
i-mejl: sele@uns.ac.rs
M.Sc. Igor Vukobratovic, dipl.inž.saob.
Adomne d.o.o., Šumadijska 1, 21000 Novi Sad, R.Srbija
i-mejl: igor.vukobratovic@adomne.rs
M.Sc. Miodrag Počuč, dipl.inž.saob.
Adomne d.o.o., Šumadijska 1, 21000 Novi Sad, R.Srbija
i-mejl: miodrag.pocuc@adomne.rs
Doc. dr Igor Peško, dipl.inž.grač.
Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka
Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, R.Srbija
i-mejl: igorbp@uns.ac.rs

M.Sc. Milos Seslija, PhD student, University in Novi Sad,
Faculty of Technical Sciences, Trg Dositeja Obradovica 6,
21000 Novi Sad, R.Srbija
i-mejl: sele@uns.ac.rs
M.Sc. Igor Vukobratovic, BTE, Adomne d.o.o., Šumadijska
1, 21000 Novi Sad, R.Srbija,
i-mejl: igor.vukobratovic@adomne.rs
M.Sc. Miodrag Pocuc, BTE, Adomne d.o.o., Šumadijska 1,
21000 Novi Sad, R.Srbija
i-mejl: miodrag.pocuc@adomne.rs
Ass. prof. Igor Pesko, BCE, University in Novi Sad, Faculty
of Technical Sciences, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000
Novi Sad, R.Srbija, i-mejl: igorbp@uns.ac.rs

projekata i analizu investicija u radove na putnoj mreži, opšteprihvaćen od strane međunarodnih finansijskih institucija. Pomoću HDM-4 modela moguće je sprovesti: strateške analize na nivou putne mreže (ili dela putne mreže), programiranje radova na održavanju/poboljšanju putne mreže i analize na nivou projekta. Strateške i programske analize putne mreže sprovode se na osnovu adekvatne i ažurne informacione osnove o putnoj mreži (baza podataka o putevima), dok je za analize na nivou projekta potrebno postojanje odgovarajuće projektno-tehničke dokumentacije (glavni projekat). Nakon sprovedene strateške i/ili programske analize putne mreže (ili dela putne mreže) potrebno je izraditi odgovarajuću projektno-tehničku dokumentaciju za selektirane prioritetne deonice u skladu sa zakonskom procedurom [3].

Projekat rehabilitacije puteva i unapređivanja bezbednosti saobraćaja (*Road Rehabilitation and Safety Project – RRSP*) jeste projekat podrške međunarodnih finansijskih institucija (Svetske banke, Evropske investicione banke i Evropske banke za obnovu i razvoj) Vladi Republike Srbije u implementaciji Nacionalnog programa rehabilitacije državne putne mreže. Deonica državnog puta IB21, Irig–Ruma, u ukupnoj dužini od 15.580 km deo je RRSP projekta i predviđena je za realizaciju u 2017. godini.

U radu se daje prikaz metodološkog postupka za izradu ekonomske analize i ocene investicije za radove na periodičnom održavanju puta s primerom predmetne deonice puta.

2 PRIMENJENA METODOLOGIJA

2.1 Tehničko-ekonomska analiza projekta

Tehničko-ekonomska analiza opravdanosti pojačanog održavanja državnog puta IB-21 na deonici: Irig 2 - Ruma 1 u ukupnoj dužini od 15.580 km sprovedena je pomoću HDM-4 modela (*Highway Development Management Model, v2.08*). Korišćen je postupak projektne analize na nivou projekta (*project analyses by project*).

Nakon opšte analize cele razmatrane deonice izvršena je podela na homogene poteze. Svaki izabrani homogeni potez posebno je obrađen i analiziran na nivou projekta.

Cela analizirana deonica podeljena je na homogene poteze prema [4,5]:

- saobraćajnom opterećenju;
- dominantnoj geometriji puta;
- utvrđenoj strukturi kolovozne konstrukcije;
- utvrđenom stanju kolovozne konstrukcije;
- predviđenim radovima na pojačanom održavanju.

Razlika u troškovima i koristima između varijante „projektno rešenje radova na pojačanom održavanju” u skladu sa Glavnim projektom pojačanog održavanja i varijante „minimum radova na održavanju” izračunata je za svaku godinu posebno za period eksploatacije puta od deset godina. Neto sadašnja vrednost (NSV) i interna stopa rentabiliteta (ISR) za projekat izračunate su, kao i odnos neto sadašnje vrednosti prema investicionim

Model) for the analysis of investments in the development and management of roads is a complex software tool for the technical and economic evaluation of road projects, and for analyzing investments in the existing road network. The model is widely accepted by the International Financial Institutions (IFIs). The HDM-4 model can be used to: conduct strategic analyses at the level of the road network (or part of the road network), program road maintenance and improvement activities on the road network, and make analyses at the project level. The strategic and programme analyses of the road network are carried out on the basis of adequate and updated road network information base (RDB - Road Data Base), while the project-level analysis requires preparation of appropriate design and technical documentation (Final/Detailed Design). After the conduct of strategic and/or programme analyses of the road network, appropriate design and technical documentation should be prepared for selected priority sections, in accordance with the legal procedure [3].

Road Rehabilitation and Safety Project (RRSP) is a project of support of international financing institutions (World Bank, European Investment Bank and European Bank for Reconstruction and Development) to the Government of the Republic of Serbia in implementation of the National State Road Network Rehabilitation Program. The section of the state road IB21, Irig–Ruma, in the total length of 15,580 km is part of the RRSP project and is planned for realization in 2018.

This paper presents a methodological procedure for the preparation of economic analysis and assessment of investments for the periodic maintenance of roads with example of the state road IB 21, section Irig–Ruma.

2 APPLIED METHODOLOGY

2.1 Technical – economic analysis of the design

Technical - economic analysis of the justification for heavy maintenance of the state road of the road IB-21 on the section: Irig 2 – Ruma 1 in the total length of 15,580 km was carried out using the HDM-4 model (*Highway Development Management Model, v2.08*) in the project analysis.

Upon the general analysis of the entire considered section, it was divided into homogeneous subsections. Each selected homogeneous subsection is specifically processed and analyzed at the project level. The whole analyzed section is divided into homogeneous moves according to [4,5]:

- traffic load,
 - dominant road geometry,
 - determined structure of the pavement structure,
 - determined condition of the pavement structure,
- and
- planned works on heavy maintenance

The difference in costs and benefits between the variant "design solution for heavy maintenance" in accordance with the Main design for heavy maintenance and the "minimum works on maintenance" variant is calculated for each year, in particular for the 10-year period of exploitation. Net present value (NPV) and the internal rate of return (IRR) for the design are calculated, as well as the ratio of net present value and investment

(kapitalnim) troškovima radova (NSV/CAP).

Analiza osetljivosti rezultata urađena je da bi ilustrovala važnost promena u troškovima izvođenja radova na pojačanom održavanju puta kao i u promenama prognoziranih saobraćajnih tokova. Ekonomska analiza bazirana je na sledećim postavkama:

- početna godina analize je 2017. godina;
- period analize (eksploatacije) jeste 1+10=11 godina;
- inicijalni period radova na pojačanom održavanju deonice puta traju od 2017. godine (100%);
- početna godina eksploatacije puta je 2018. godina;
- troškovi radova na pojačanom održavanju državnog puta IB21 na deonici: Irig 2 - Ruma 1 (Autoput) preuzeti su iz Glavnog projekta pojačanog održavanja državnog puta IB-21 na deonici: Irig 2 - Ruma 1 (Autoput), mart/jul 2017 [6];
- diskontna stopa iznosi 8%;
- odnos ekonomske prema finansijskoj vrednosti troškova iznosi 0.80;
- egzogeni troškovi i koristi od socijalnih aspekata nisu uključeni u ekonomsku analizu projekta usled nedostatka podataka i detaljnijih studija;
- egzogeni troškovi i koristi od zaštite od uticaja puta na životnu sredinu nisu uključeni u ekonomsku analizu projekta usled nedostatka podataka i detaljnijih studija;
- preostala vrednost koristi (*salvage value*) prilikom poboljšanja puta iznosi 10%.

Period od 1+10 godina podrazumeva jednu godinu za izvođenje radova (odnosno, to je period u kojem se izvode radovi na pojačanom održavanju na predmetnoj deonici) dok je period od deset godina period eksploatacije puta nakon završetka radova, u kojem se ostvaruju potpune koristi u vidu smanjenih operativnih troškova vozila i smanjenog vremena putovanja.

2.2 Kalibracija modela HDM-4 za primenu u lokalnim uslovima

Za potrebe adekvatne primene HDM-4 modela, izvršeno je prilagođavanje HDM-4 modela za primenu u lokalnim uslovima koji su karakteristični za Republiku Srbiju.

U izradi ekonomske analize i kalibracije HDM-4 modela za primenu u lokalnim uslovima korišćene su preporuke i rezultati istraživanja na putnoj mreži Republike Srbije, koja su sprovedena za potrebe realizacije projekta baze podataka o putevima [7-9].

3 OPIS PROJEKTA – KARAKTERISTIKE DEONICE

3.1 Lokacija

Predmetna deonica nalazi se na putnom pravcu Novi Sad – Irig – Ruma – Šabac – Koceljeva – Valjevo – Kosjerić – Požega – Arilje – Ivanjica – Sjenica, koji je prema uredbi o klasifikaciji državnih puteva („Sl. glasnik RS” br. 105/2013 i br. 119/2013) svrstan u državni put IB reda i nosi oznaku IB-21. U funkcionalnom smislu, prema „Pravilniku o uslovima koje sa aspekta

(capital) costs of works (NPV/CAP).

The sensitivity analysis of the results was made to illustrate the importance of changes in the cost of carrying out works on heavy road maintenance as well as changes in forecasted traffic flows. The economic analysis is based on the following assumptions:

- the starting year of the analysis is 2017.
- analysis (exploitation) period is 1+10=11,
- the initial period of works on heavy maintenance of the road section is during 2017. (100%),
- the starting year for road exploitation is 2018.
- the costs of works on heavy maintenance of the state road IB-21 on the section: Irig 2 –Ruma 1 (Motorway) are taken from the Main design of heavy maintenance of the state road of the road IB-21 on the section: Irig 2 –Ruma 1 (Motorway), March/July 2017 [6],
- discount rate is 8%,
- the ratio of the economic towards the financial value of costs is 0.80,
- exogenous costs and benefits from social aspects are excluded from the economic analysis of the design due to the lack of data and detailed studies,
- exogenous costs and benefits of the impact of the road on the environment are excluded from the economic analysis of the design due to the lack of data and detailed studies,
- salvage value for road improvement is 10%.

The period of 1+10 years implies one year for the execution of works (period in which the enhanced maintenance works are carried out), while the period of 10 years is the period of exploitation of the road after the completion of the works and in which full benefits are achieved in the form of reduced operating costs of vehicles and reduced travel time.

2.2 Calibration model HDM-4 for application in the local conditions

For the needs of adequate application of the HDM-4 model, the HDM-4 model was adapted for use in local conditions that are characteristic for the Republic of Serbia.

In the elaboration of the economic analysis and calibration of the HDM-4 model for application in the local conditions, recommendations and results of the research on the road network of the Republic of Serbia, implemented for the needs of the realization of the project of the database of roads, were used[7-9].

3 DESIGN DESCRIPTION – SECTION CHARACTERISTICS

3.1 Location

The subject section is located on the road Novi Sad – Irig – Ruma – Sabac – Koceljeva – Valjevo – Kosjerić – Požega – Arilje – Ivanjica – Sjenica which was classified according to the regulation on state road classification (Official Gazette of the Republic of Serbia no. 105/2013, 119/2013 and 93/2015), as a state road IB class. More precisely, it is named IB-21. Functionally speaking, this section can be classified as the long distance interregional road, according to the “Regula-

bezbednosti saobraćaja moraju da ispunjavaju putni objekti i drugi elementi javnog puta" [10], deonica se može svrstati u vezni međuregionalni put.

Deonica pripada regionu Vojvodine i nalazi se u Sremskom upravnom okrugu. Opštine na kojim se deonica pruža jesu Ruma i Irig. Putna deonica vodi se po ravničarskom i brežuljkastom terenu s nadmorskim visinama u proseku oko ~ 150 mm. Osnovna trasa je duga 15.580 km i ide od km 26+280 do km 42+260.

Prema referentnom sistemu mreže državnih puteva Republike Srbije [11], razmatrana deonica za pojačano održavanje obuhvata sledeće primarne saobraćajne deonice referentnog sistema koje su prikazane u tabeli 1.

tions on the conditions that must be met by road structures and other elements of public roads from safety aspects" [10] which is in the further text called Regulations on road design. The section belongs to Vojvodina region and is situated in Srem administrative district, and stretches in Ruma and Irig municipalities. The road section runs along a plain and hilly terrain with an altitude of about ~150 m a.s.l. on average. Main roadway is 15.580 km long and it stretches from km 26+280 to km 42+260.

According to the new reference system of the national road network of the Republic of Serbia [11], the considered section for heavy maintenance includes the following primary traffic sections of the reference system shown in Table 1.

Tabela 1. Primarne saobraćajne deonice predviđene za pojačano održavanje [11]
Table 1. Primary traffic sections for heavy maintenance [11]

Redni broj Order	Oznaka deonice Mark of Section	Naziv početnog čvora Mark of start node	Naziv završnog čvora Mark of end node	Početna stacionaža Start chainage	Završna stacionaža End chainage	Dužina deonice Section Length (km)
1	02105	Irig (Vrdnik)	Ruma (Putnici)	26.680	35.890	9.210
2	02106	Ruma (Putnici)	Ruma (Pećinci)	35.890	36.638	0.748
3	02107	Ruma (Pećinci)	Ruma (Vogani)	36.638	37.915	1.277
4	02108	Ruma (Vogani)	Ruma (veza sa A3)	37.915	41.975	4.060
5	02109	Ruma (veza sa A3)	Jarak	41.975	42.260	0.285
Ukupno / Total (km):						15.580

3.2 Geometrijski elementi plana i profila

Računska brzina deonice je 80 km/h. U sledećoj tabeli prikazani su granični elementi plana i profila za predmetnu deonicu, dati u tabeli 2.

3.2 Geometrical elements of horizontal and vertical alignment

The overall design speed of the section is 80 km/h. The following table shows the boundary elements of the plan and profile for the given section which are show in Table 2.

Tabela 2. Granični elementi plana i profila [9]
Table 2. Boundary elements of the plan and profile [9]

Granični elementi plana i profila deonice / Boundary elements of the plan and profile of the section		Računska brzina deonice Overall design speed of the section Vri (km/h)	
		60*	80
Situacioni plan/ Site plan	Najveća dužina pravca (m) The longest straight section (m)	1200	1600
	Najmanja dužina pravca (m) The shortest straight section (m)	120 (240)	160 (320)
	Minimalni poluprečnik (m) The minimum radius minR (m)	120	250
	Minimalni poluprečnik za ipk=-2.5% (m) The minimum radius for ipk=-2.5% (m)	-	2500
	Minimalni parametar klotoide A (m) The minimum clothoide parameter A (m)	75	125 (80)
	Minimalna dužina kružne krivine (m) The minimum length of the circular curve (m)	33	44
Podužni profil/ Longitudinal profile	Maksimalni podužni nagib (%) The maximum longitudinal grade (%)	8	6
	Minimalni podužni nagib (%) The minimum longitudinal grade (%)	0	0
	Minimalni radijus konkavnog zaobljenja minRv konk.(m) The minimum radius of sag vertical curve minRv sag.(m)	900	2500

Granični elementi plana i profila deonice / Boundary elements of the plan and profile of the section		Računska brzina deonice Overall design speed of the section Vri (km/h)	
		60*	80
	Minimalni radijus konveksnog zaobljenja minRv konv. (m) The minimum radius of crest vertical curve minRv crest. (m)	800	3500
Poprečni profil/ Cross-section	Maksimalni poprečni nagib (%) / The maximum crossfall (%)	7	7
	Minimalni poprečni nagib (%) / The minimum crossfall (%)	2.5	2.5
	Širina vozne trake (m) / Width of the driving lane (m)	3.00	3.25
	Širina ivične trake (m) / Width of the paved shoulder (m)	0.25	0.35
	Širina bankine (m) / Width of the road shoulder (m)	1.50	1.50
	Širina trake za postrojavanje (m) The width of the lane for vehicles line-up (m)	3.5	3.5
	Širina ulivno-izlivnih traka / Width of merging – diverging lanes	3.5	3.5
Preglednost/ Sight distance	Minimalna dužina zaustavne preglednosti (m) The minimal length of the brake sight distance (m)	55	115
	Minimalna dužina preticajne preglednosti (m) The minimal length of the overtaking sight distance (m)	320	480
	Minimalni procenat preticajne preglednosti (%) The minimal percentage of overtaking sight distance (%)	20	20

* Računska brzina na celoj deonici je 80 km/h, osim na delu od km 26+880 do km 26+960 gde se put nalazi u vertikalnoj krivini koja ne zadovoljava računsku brzinu od 80 km/h. Za taj potez su prikazani podaci u tabeli 2 za računsku brzinu 60 km/h. S obzirom na to što se radi o projektu pojačanog održavanja i o relativno kratkom potezu (l=80m) isti podaci nisu značajno uticali na utvrđivanje intervencija i na troškove radova.

* The design speed on the whole section is 80 km/h, except for the section from km 26 + 880 to km 26 + 960 where the path is in a vertical curve that fails to satisfy the design speed of 80 km/h. For this stretch, the data in Table 2 for the design speed of 60 km / h is displayed. Given that this is an enhanced maintenance project and a relatively short subsection (l = 80m), the same data insignificantly affects the interventions and the costs of the works.

3.2.1 Poprečni profil

Širine kolovoza na otvorenoj deonici mogu da se podele na tri poddeonice. Od km 26+680 do km 37+000 gde je širina kolovoza oko 7.2 m, zatim od km 37+000 do km 40+360 gde je širina kolovoza u proseku 8.5 m (autoputski profil) i na kraju od km 40+360 do km 42+260 gde je širina kolovoza u proseku 6.5 m.

3.2.1 Cross-section

Carriageway widths on open section can be divided into three subsections. From km 26+880 to km 37+000 where carriageway width is about 7.2m, then from km 37+000 to km 40+360 where carriageway width is about 8.5m (highway profile), and finally from km 40+360 to km 42+260 where carriageway width is about 6.5m.

Tabela 3. Podaci o karakteristikama poprečnog profila [9]
Table 3. Cross section data [9]

R.br. Ord.	Stacionaža Chainage	Dužina Length (km)	Broj saob. traka No. of traffic lanes	Prosečna širina kolovoza saob. trake Average traffic lane pavement width (m)	Prosečna širina bankine Average shoulder width (m)	Ukupna širina kolovoza Total pavement width (m)
1.	26+680 - 37+000	10.320	2	3.60	1.00	7.20
2.	37+000 - 40+360	3.360	2	4.25	1.00	8.50
3.	40+360 - 42+260	1.900	2	3.25	1.00	6.50

3.2.2 Geometrijske i vozno-dinamičke analize

Krivinska karakteristika i analiza brzine

Krivinska karakteristika predstavlja srednju vrednost skretnog ugla na posmatranoj deonici. Za predmetnu deonicu sračunati su krivinska karakteristika, srednje kvadratno odstupanje i koeficijent varijacije:

krivinska karakteristika: $K=42.612$ g/km,
srednje kvadratno odstupanje: $S=29.992$ g/km,
koeficijent varijacije: $KV=70.38\%$.

3.2.2 Geometrical and driving-dynamical analysis

Bendiness and speed analysis

Bendiness represents absolute angular deviation measured in gradian/kilometre. For section in subject bendiness ratio, standard deviation and variation coefficient are calculated:

Bendiness ratio: $K=42.612$ g/km
Standard deviation: $S=29.992$ g/km
Variation coefficient: $KV=70.38\%$

Vrlo visoki koeficijent varijacije posledica je dugih pravaca odnosno krivina velikih radijusa, a malih skretnih uglova na trasi.

Very high variation coefficient is the result of long straight lines and horizontal curves with large radii and small deflection angles.

3.2.3 Usvojene karakteristike deonice po homogenim potezima

U tabeli 4 prikazane su glavne geometrijske karakteristike deonice po homogenim potezima.

3.2.3 Adopted characteristics of the section by homogenous sub-sections

In Table 4 shows the characteristics of the existing section Irig – Ruma which are presented per homogenous subsections:

Tabela 4. Geometrijske karakteristike deonice po homogenim potezima [9]
Table 4. Geometric characteristics of the section by homogeneous sub-sections [9]

R.b. Ord.	Homogeni potez Homogeneous sub-section	Dužina Length (km)	Prosečna zakrivljenost Average curvature (deg/km)	Σ (R+F)/L (m/km)	N ^o (R+F)/km	Prosečan poprečni nagib Average elevation %	Nadmorska visina Altitude mm
H1	km 26+680 – km 28+680	2.000	24.17	1.63	3.64	2.5	150
H2.	km 28+680 – km 35+470	6.790	23.16	1.51	2.81	2.5	150
H3.	km 35+470 – km 36+680	1.210	99.60	0.30	4.03	3.0	150
H4.	km 36+680 – km 37+680	1.000	21.77	0.26	5.49	2.5	150
H5.	km 37+680 – km 40+070	2.390	57.50	0.62	2.01	3.0	150
H6.	km 40+070 – km 41+370	1.300	24.57	0.33	1.01	2.5	150
H7.	km 41+370 – km 42+260	0.890	18.10	0.23	1.02	2.5	150

3.3 Kolovozna konstrukcija

3.3.1 Postojeća kolovozna konstrukcija

Podaci o strukturi i karakteristikama postojeće kolovozne konstrukcije na deonici državnog puta IB-21, deonica: Irig 2 - Ruma 1 dobijeni su na osnovu arhivskih podataka iz 2004. i istražnih radova koji su sprovedeni za potrebe izrade Glavnog projekta pojačanog održavanja u junu 2016. godine.

3.3 Pavement Structure

3.3.1 Existing Pavement Structure

Composition of pavement was analyzed based on the historical data from 2004 as well as based on additional test pits drilling done in June 2016.

Tabela 5. Struktura kolovozne konstrukcije po homogenim potezima [9]
Table 5. Pavement structure by homogeneous sub-sections [9]

Potez Sub-section	Debljine asfaltnih slojeva Thickness of asphalt layers(cm)		Debljine sloja od cementom stabilizovanog kamenog agregata Thickness of cement stabilized layer (cm)	Debljine sloja od nevezanog kamenog agregata Thickness of stone base layers (cm)	Ukupne debljine kolovozne konstrukcije Total thickness of pavement structure (cm)	
	Levo Left	Desno Right			Levo Left	Desno Right
km 26+680 – km 28+680	18	33	/	38	56	71
km 28+680 – km 32+680	21	32	/	32	53	64
km 32+680 – km 34+680	16	20	/	25	41	45
km 34+680 – km 36+680	18	35	10	22	50	67
km 36+680 – km 39+480	20	20	15	37	72	72
km 39+480 – km 42+260	24	28	/	24	48	52

Svojstva materijala u posteljici

U sklopu geotehničkih istraživanja vršeni su istražni radovi na utvrđivanju fizičko-mehaničkih karakteristika materijala u posteljici postojeće kolovozne konstrukcije. Uzorci su dati za geomehanička ispitivanja i to standardnim metodama (standardi iz grupe SRPS U.B1 i SRPS EN 13286-47:2012).

Na uzetim uzorcima obavljena su sledeća laboratorijska geomehanička ispitivanja:

- granulometrijski sastav;
- Atterberg-ove granice konsistencije;
- sadržaj prirodne vlažnosti;
- Proctor-ov opit.

3.3.2 Projektno rešenje kolovozne konstrukcije

Metodološki pristup proračuna potrebnog pojačanja

Analiza nosivosti postojeće kolovozne konstrukcije i proračun potrebnog pojačanja, u ovom projektu, zasnivaju se na – REVISED AASHTO OVERLAY DESIGN PROCEDURE (1993) [12].

Proračun čini definisanje nosivosti postojeće kolovozne konstrukcije i definisanje potrebne nosivosti kolovozne konstrukcije za buduće eksploatacione uslove. Potrebno pojačanje se proračunava po sledećoj jednačini:

$$d_{poj} = \frac{SN_{fut} - SN_{eff}}{a_1} \quad (1)$$

gde je

- SN_{fut} – potreban strukturni broj;
- SN_{eff} – efektivan strukturni broj postojeće kolovozne konstrukcije;
- a_1 – koeficijent zamene sloja za pojačanje.

Potrebno pojačanje od bitumeniziranog materijala, sračunato je iz razlike potrebne i efektivne nosivosti:

$$d_{poj} = \frac{SN - SN_{eff}}{a_{poj}} \quad (2)$$

U sledećoj tabeli prikazani su rezultati proračuna:

Properties of materials in capping layer

Within geotechnical investigations geo-mechanical properties of capping layer was determined. Samples were taken in accordance to standard methods (standards from group SRPS U.B1 and SRPS EN 13286-47:2012).

Determination of geo-mechanical properties included the following:

- determination of material particle size distribution,
- determination of consistency limits of the material,
- determination of bulk density and natural moisture,
- Proctor's test.

3.3.2 Pavement dimensioning

Methodological approach of the necessary reinforcement analysis

The analysis of the existing pavement bearing capacity and the calculation of required overlay in this design is based on – REVISED AASHTO OVERLAY DESIGN PROCEDURE (1993) [12].

The analysis is comprised of defining existing pavement bearing capacity and defining required bearing capacity for future operational conditions. The required overlay is calculated according to the following equation:

where:

- SN_{fut} – required structural number,
- SN_{eff} – effective structural number of existing pavement,
- a_1 – coefficient of the replacement of reinforcing layer (overlay).

The required overlay of bituminous material is calculated from the difference between the required and the effective bearing capacity:

Results of the analysis are as follows:

Tabela 6. Efektivan i potreban strukturni broj [9]
Table 6. An Effective and required structural number [9]

Potez Sub-section	Stacionaža /Chainage (km)	S _{Neff} (cm)	S _{Npotr} (cm)	d _{poj} (cm)
I	km 26+680 – km 28+470	11.68	13.98	6.56
II	km 28+470 – km 32+970	9.60	14.23	13.23
III	km 32+970 – km 35+470	9.52	13.54	11.50
IV	km 35+470 – km 36+670	10.59	13.68	8.83
V	km 36+670 – km 37+680	13.19	13.58	1.00
VI	km 37+680 – km 40+070	13.38	14.02	2.00
VII	km 40+070 – km 41+370	10.52	14.76	12.11
VIII	km 41+370 – km 42+260	10.99	13.79	8.01

Za novi sloj od bitumeniziranog materijala usvojen je koeficijent zamene materijala $a_{poj}=0.40$. Za postojeću kolovoznu konstrukciju korišćeni su sledeći koeficijenti zamene materijala:

- asfaltni slojevi $a_{asf}=0.35$
- cementno stabilizovani kameni agregat, $a_{cs}=0.20$
- sloj od nevezanog kamenog agregata $a_{dk}=0.10$

Na osnovu utvrđenog stanja kolovozne konstrukcije (vrsta i obim oštećenja) kao i na osnovu ESO (ekvivalentnog saobraćajnog opterećenja) predložene su odgovarajuće mere sanacije kolovozne konstrukcije.

3.4 Stanje kolovoza

3.4.1 Podužna neravnost površine kolovoza

Performansa podužne neravnosti kolovoza - Internacionalni indeks neravnosti (IRI) predstavlja meru udobnosti vožnje i utvrđuje se kontinualnim merenjem na odgovarajućem rastojanju [13]. Merenje je izvršeno profilometrom - laserskom gredom montiranim na prednjem delu vozila, koje se kreće brzinom većom od 40km/h (u svemu prema standardu SRPS EN 13036-6:2012).

Na osnovu dijagrama kumulativnih razlika dobijeni su homogeni potezi. U sledećoj tabeli date su srednje vrednosti za IRI i 85-procentne vrednosti po homogenim potezima, kao i ocena stanja prema navedenom kriterijumu:

Tabela 7. Ocena stanja kolovozne konstrukcije po homogenim potezima – IRI [9]
Table 7. Assessment of the pavement condition by homogeneous subsections – IRI [9]

Položaj Location	IRIsr (m/km)	IRI 85% (m/km)	Ocena stanja Assessment of condition
Desna strana / Right side			
km 26+520 – km 27+680	3.09	4.25	Loše / Bad
km 27+680 – km 28+880	2.96	3.95	Osrednje / Fair
km 28+880 – km 33+130	2.69	3.72	
km 33+130 – km 37+630	1.71	2.37	Dobro / Good
km 37+630 – km 39+760	4.31	6.11	Vrlo loše / Very Bad
km 39+760 – km 41+400	2.31	3.29	Osrednje / Fair
km 41+400 – km 42+240	3.01	3.97	
Leva strana / Left side			
km 26+520 – km 27+900	3.04	4.34	Loše / Bad
km 27+900 – km 29+180	4.01	5.55	Vrlo loše / Very Bad
km 29+180 – km 33+100	3.30	4.43	Loše / Bad
km 33+100 – km 37+620	1.70	2.43	Dobro / Good
km 37+620 – km 39+620	5.08	7.16	Vrlo loše / Very bad
km 39+620 – km 40+930	2.76	3.76	Osrednje / Fair
km 40+930 – km 42+240	3.24	4.54	Loše / Bad

3.4.2 Nosivost kolovozne konstrukcije

Defleksije, kao pokazatelji stanja strukture utvrđeni nedestruktivnom metodom, izmerene su deflektometrom s padajućim teretom (FWD 8002-236 - Dynatest), u maju, 2016. godine. Defleksija pri svakom udarcu merena je geofonima postavljenim na sledećim udaljenjima od centra kružne ploče: $r=0$ mm, 200 mm, 300 mm, 450 mm, 600mm, 900 mm, 1200 mm, 1500 mm i 1800 mm.

For the new layer of bituminous materials, the coefficient of material substitution $a_{poj} = 0.40$ was adopted. For the existing pavement structure, the following coefficients of material substitution were used:

- asphalt layers $a_{asf} = 0.35$
- cement stabilized stone aggregate, $a_{cs} = 0.20$
- unbound stone aggregate layer $a_{dk} = 0.10$

Based on the established condition of the pavement structure (type and extent of damage) and on the basis of the ETL (Equivalent Traffic Load), appropriate measures have been proposed for the rehabilitation of the pavement structure.

3.4 Pavement condition

3.4.1 Pavement longitudinal roughness

A performance of the pavement longitudinal roughness - International Roughness Index (IRI) represents a measure of driving comfort and is determined by a continual measurement made at certain distances [13]. Measurement is performed by a profilometer – laser beam installed on front part of a vehicle moving at speed higher than 40 km/h (fully in compliance with the standard SRPS EN 13036-6:2012).

Based on Cumulative difference chart homogeneous sections have been identified. Average values of IRI and 85% values by homogeneous sections and condition assessment by stated criteria are shown in the following table:

3.4.2 Pavement structural condition

Deflections, as indicators of the structure condition determined by a non-destructive method, were measured by a heavy falling weight deflectometer (FWD 8002-236 - Dynatest) in May 2016. Deflection measurement with every drop was done by geophones placed at the following distances from centre of the round plate: $r=0$ mm, 200 mm, 300 mm, 450 mm, 600 mm, 900 mm,

Merenje je rađeno u tragu točka na svakih 100 m po saobraćajnoj traci, odnosno naizmenično na svakih 50 m.

Ukupno je urađeno 313 opita. Defleksije su korigovane odgovarajućim faktorom korekcije u skladu sa: Protocol 3 (CROW Report D11-07) – Short Term Repeatability Verification i Protocol 10 (CROW Report D11-07) – Falling Weight Deflectometer correlation trial.

Metodom kumulativnih razlika (AASHTO) definisani su homogeni potezi prema defleksijama površine kolovoza d0. U narednoj tabeli prikazane su izmerene defleksije po homogenim potezima:

1200 mm, 1500 mm and 1800 mm. Measurement was done in a wheel trace at every 100 m per lane, i.e. intermittently at every 50 m.

Total of 313 tests was done. Deflections were adjusted by a correction factor 0.865 in accordance with the Protocol 3 (CROW Report D11-07) – Short Term Repeatability Verification and Protocol 10 (CROW Report D11-07) – Falling Weight Deflectometer correlation trial.

By use of the method of cumulative differences (AASHTO), homogeneous sections according to pavement surface deflections d0 have been defined. The following homogeneous sections have been identified:

Tabela 8. Izmerene defleksije kolovoza po homogenim potezima [9]
Table 8. Measured pavement deflections by homogenous sub-sections [9]

Hom. potez Hom. Sub-section	Stat. podat./ Stat. data	Izmerene defleksije / Measured deflections (10^{-3} mm)								
		d0	d200	d300	d450	d600	d900	d1200	d1500	d1800
I	avg	318	252	216	176	144	102	75	57	45
	stdev	127	92	72	49	34	18	10	7	5
	kv	0.40	0.36	0.33	0.28	0.23	0.17	0.14	0.13	0.11
	85%	407	302	261	210	170	120	87	64	49
II	avg	416	326	273	213	169	112	79	60	48
	stdev	112	80	60	41	29	16	9	6	5
	kv	0.27	0.25	0.22	0.19	0.17	0.14	0.12	0.10	0.09
	85%	524	406	326	253	195	127	89	67	53
III	avg	335	274	239	190	148	96	65	49	39
	stdev	39	31	25	17	14	11	9	7	6
	kv	0.12	0.11	0.10	0.09	0.09	0.11	0.13	0.14	0.15
	85%	382	317	279	214	161	105	73	56	46
IV	avg	298	246	218	176	140	95	67	51	40
	stdev	87	72	60	42	28	12	5	4	2
	kv	0.29	0.29	0.28	0.24	0.20	0.12	0.08	0.07	0.06
	85%	370	300	267	216	166	104	71	53	41
V	avg	241	200	180	153	128	92	66	50	39
	stdev	82	67	57	43	31	20	13	9	6
	kv	0.34	0.33	0.32	0.28	0.24	0.21	0.19	0.18	0.16
	85%	315	259	228	190	153	110	81	61	46
VI	avg	370	284	240	195	161	117	88	68	54
	stdev	88	60	44	30	23	15	10	7	5
	kv	0.24	0.21	0.18	0.16	0.14	0.13	0.11	0.10	0.09
	85%	415	311	261	217	184	133	97	74	58
VII	avg	239	199	171	135	110	83	64	50	40
	stdev	118	110	80	46	30	20	12	8	5
	kv	0.49	0.55	0.47	0.34	0.27	0.24	0.20	0.16	0.13
	85%	351	311	260	184	146	107	74	57	45

Analizirani su indeks zakrivljenosti površine SCI, indeks oštećenja podloge BDI i d0 (20°C), takođe po homogenim potezima.

Surface Curvature Index SCI, Base Damage Index BDI and d0 (20°C) were analyzed, also by homogeneous sections.

3.4.3 Zbirni prikaz stanja kolovoza

Na osnovu analiziranih parametara:

- defleksija površine kolovoza;
- nosivosti posteljice kolovozne konstrukcije;
- postojeće strukture kolovozne konstrukcije;
- stanja oštećenosti površine kolovoza;

3.4.3 Summary overview of pavement condition

Based on the following analyzed parameters:

- deflection of pavement surface,
- bearing capacity of pavement subgrade,
- current composition of the pavement,
- severity of pavement damage,

- podužne ravnosti površine kolovoza;
- poprečne ravnosti površine kolovoza;
- zaštite od mraza.

Definisani su sledeći homogeni potezi sa stanovišta ocene stanja kolovoza i predviđenih radova na pojačanom održavanju.

- longitudinal evenness of pavement,
- transverse evenness of pavement,
- friction ability,
- protection against frost.

The following homogeneous sections based on pavement condition assessment and needed works on heavy maintenance were defined.

Tabela 9. Karakteristični homogeni potez – zbirni prikaz stanja kolovoza [9]
Table 9. Characteristic homogeneous subsections pavement-condition summary [9]

Homogen potez <i>Homogenous sub-section</i>	Stacionaža <i>Chainage</i>	Dužina hom. poteza <i>Length of hom. sub-section (km)</i>
I homogen potez <i>I Homogenous sub-section</i>	km 26+680 – km 33+000	6.320
II homogen potez <i>II Homogenous sub-section</i>	km 33+000 – km 35+500	2.500
III homogen potez <i>III Homogenous sub-section</i>	km 35+500 – km 36+680	1.180
IV homogen potez <i>IV Homogenous sub-section</i>	km 36+500 – km 37+680	1.000
V homogen potez <i>V Homogenous sub-section</i>	km 37+680 – km 40+070	2.390
VI homogen potez <i>VI Homogenous sub-section</i>	km 40+070 – km 41+370	1.300
VII homogen potez <i>VII Homogenous sub-section</i>	km 41+370 – km 42+260	0.890
Ukupna dužina / Total length (km):		15.580

4 SAOBRAĆAJNA ANALIZA

Informacionu osnovu za izradu predmetnog izveštaja čine sledeći podaci o saobraćajnom opterećenju:

- podaci određeni u projektnom zadatku za izradu Glavnog projekta pojačanog održavanja državnog puta IB 21, deonica: Irig 2 – Ruma 1 (Autoput), L=15.460 km;
- podaci prikupljeni kontrolnim brojanjem saobraćaja;
- podaci preuzeti sa internet stranice JP Putevi Srbije;
- podaci sa brojača saobraćaja broj 2072 preuzeti od JP Putevi Srbije.

4.1 Projekcije saobraćajnog opterećenja

Saobraćajno opterećenje je neophodno za proces projektovanja puteva i odnosi se na vremenske preseke u budućnosti, pa je projektnim zadatkom i pripadajućim metodologijama definisan planski period prema funkcionalnom tipu puta i vrsti i obimu planiranih građevinskih intervencija od deset godina. U daljoj analizi će biti prikazano saobraćajno opterećenje za desetogodišnji planski period.

Merodavno saobraćajno opterećenje na deonici ID 02105 u planskom periodu i u baznoj 2016. godini, prikazano je u tabeli 10.

Merodavno saobraćajno opterećenje na deonicama ID 02106, ID 02107 i ID 02108 u planskom periodu i u baznoj 2016. godini, prikazano je u tabeli 11.

4 TRAFFIC ANALYSIS

The information base for the preparation of this report is the following data on traffic load:

- data specified in the project task for the preparation of the Main Project for Improved Maintenance of the State Road IB 21, section: Irig 2 - Ruma 1 (Highway), L = 15,460 km;
- data collected by control counting of traffic;
- the data is downloaded from the website of PE Roads of Serbia;
- data from the traffic counter number 2072 taken from PE Roads of Serbia.

4.1 Traffic load projection

Traffic load is necessary for the road design process and refers to the time sections in the future, so the terms of reference and the associated methodologies define the planning period according to the functional type of a road and the type and scope of planned construction interventions of 10 years. A further analysis will show the traffic load for a ten-year planning period.

Relevant traffic load on the section ID 02105 during the planned period in the base year of 2016 is shown in Table 10.

Relevant traffic load on sections ID 02106, ID 02107 and ID 02108 during the planned period within the base year of 2016 is shown in Table 11.

Tabela 10. Projekcija rasta saobraćaja na deonici ID 02105 [9]
Table 10. Projection of traffic growth at section ID 02105 [9]

Godina Year	PA	BUS	LT	ST	TT	AV	Ukupno Total
2016	7,741	157	141	197	115	770	9,121
2017	8,066	164	147	205	120	802	9,504
2018	8,405	170	153	214	125	836	9,903
2019	8,758	178	160	223	130	871	10,319
2020	9,126	185	166	232	136	908	10,753
2021	9,509	193	173	242	141	946	11,204
2022	9,908	201	180	252	147	986	11,675
2023	10,325	209	188	263	153	1,027	12,165
2024	10,758	218	196	274	160	1,070	12,676
2025	11,210	227	204	285	167	1,115	13,208
2026	11,681	237	213	297	174	1,162	13,763

Tabela 11. Projekcija rasta saobraćaja na deonicama ID 02106, ID 02107 i ID 02108 [9]
Table 11. Projection of traffic growth at sections ID 02106, ID 02107 and ID 02108 [9]

Godina Year	PA	BUS	LT	ST	TT	AV	Ukupno Total
2016	7,430	115	152	198	165	932	8,992
2017	7,742	120	158	206	172	971	9,370
2018	8,067	125	165	215	179	1,012	9,763
2019	8,406	130	172	224	187	1,054	10,173
2020	8,759	136	179	233	195	1,099	10,601
2021	9,127	141	187	243	203	1,145	11,046
2022	9,510	147	195	253	211	1,193	11,510
2023	9,910	153	203	264	220	1,243	11,993
2024	10,326	160	211	275	229	1,295	12,497
2025	10,760	167	220	287	239	1,350	13,022
2026	11,212	174	229	299	249	1,406	13,569

Ukupno ekvivalentno saobraćajno opterećenje od 80kN odnosno 100kN za projektni period od deset, odnosno dvadeset godina:

- Deonica: ID 02105
ESO80kN (10 god.) = 7.9 x 106 standardnih osovina od 80kN.
ESO80kN (20 god.) = 20 x 106 standardnih osovina od 80kN.
- Deonica: ID 02106, ID 02107 i ID 02108
ESO80kN (10 god.) = 9.2 x 106 standardnih osovina od 80kN.
ESO80kN (20 god.) = 23 x 106 standardnih osovina od 80kN.

The total equivalent traffic load of 80kN or 100kN for the design period of 10, and 20 years:

- Section: ID 02105:
ECO80kN (10years) = 7.9 x 106 standard axle load of 80kN.
ECO80kN (20 years) = 20 x 106 standard axle load of 80kN.
- Section: ID 02106, ID 02107 and ID 02108:
ECO80kN (10years) = 9.2 x 106 standard axle load of 80kN.
ECO80kN (20years) = 23 x 106 standard axle load of 80kN.

4.2 Troškovi saobraćajnih nezgoda

Za potrebe izrade ekonomske analize usvojene su sledeći ulazni podaci za analizu troškova od saobraćajnih nezgoda na predmetnoj deonici državnog puta IB-21, Irig 2 – Ruma 1, u ukupnoj dužini od 15.580 km:

- prosečna stopa saobraćajnih nezgoda na 10⁸ vozila-km iznosi: 32.78
- prosečna stopa poginulih na 10⁸ vozila-km iznosi: 1.93
- prosečna stopa povređenih na 10⁸ vozila-km iznosi: 11.57

4.2 Traffic accidents analysis

For the needs of the economic analysis development, the following input data were adopted for analyzing the costs of traffic accidents on the section of the state road IB-21, Irig 2 - Ruma 1, total length of 15.580 km:

- average rate of traffic accidents per 108 vehicles-km is: 32.78
- average rate of fatalities per 108 vehicles-km is: 1.93
- average rate of bodily injuries per 108 vehicles-km is: 11.57

- prosečna stopa nezgoda s materijalnom štetom na 10⁸ vozila-km iznosi: 21.21
 - prosečan broj saobraćajnih nezgoda iznosi: 17
 - prosečan broj saobraćajnih nezgoda po km iznosi: 1.09
- Prosečne vrednosti saobraćajnih nezgoda prikazane su u tabeli 12.

- average rate of traffic accidents with mat. damage per 10⁸ vehicles-km is: 21.21
 - the average number of traffic accidents is: 17
 - the average number of traffic accidents per km is: 1.09
- The average costs of traffic accidents are presented in the following Table 12.

Tabela 12. Prosečne vrednosti saobraćajnih nezgoda u Srbiji (2016) [9]
Table 12. Average values of traffic accidents in Serbia (2016) [9]

Godina Year	Prosečna vrednost za poginulo lice u Srbiji Average value for death person in Serbia	Prosečna vrednost za teške telesne povrede u Srbiji Average value for serious body injury in Serbia	Prosečna vrednost za lake telesne povrede u Srbiji Average value for light body injury in Serbia	Prosečna vrednost za materijalnu štetu u Srbiji Average Value for Material Damage in Serbia	Prosečna vrednost nezgode u Srbiji Average value of traffic accidents in Serbia
	(€)	(€)	(€)	(€)	(€)
2016	400,000	50,000	4,250	5,000	125,000

Navedene vrednosti usvojene su na osnovu preporuka datih u „Priručniku za analizu troškova i koristi za Srbiju”, JP Putevi Srbije, Beograd, decembar 2010. [14]. Na osnovu prethodnih podataka procenjeni su broj i troškovi saobraćajnih nezgoda na predmetnoj deonici Irig 2 - Ruma 1 (L=15.580 km) u periodu analize (2017-2027). Zbog same prirode projekta (pojačano održavanje) ne smanjuje se broj saobraćajnih nezgoda, već on raste proporcionalno s porastom PGDS-a [15].

Ukupni troškovi saobraćajnih nezgoda (nediskontovani) u periodu analize (2017-2027) procenjeni su na 8,335,000 €. Troškovi saobraćajnih nezgoda nisu uključeni u Ekonomsku analizu.

These values were adopted on the basis of the recommendations given in the "Cost and Benefit Analysis Manual for Serbia", PE "Roads of Serbia", Belgrade, December 2010 [14]. Based on the previous data, the number and costs of traffic accidents on the Irig 2 - Ruma 1 section (L = 15,580 km) for the analyzed period (2017-2027) were estimated. Due to the nature of the design (heavy maintenance) there is no reduction in the number of traffic accidents, but it increases in proportion to the increase in AADT[15].

The total costs of traffic accidents (undiscounted) in the analyzed period (2017-2027) were estimated at 8,335,000 €. The costs of traffic accidents are not included in the Economic Analysis.

5 PREDLOŽENI RADOVI – VARIJANTNA REŠENJA

5.1 Osnovna varijanta: minimum radova na održavanju deonice

5.1.1 Radovi na redovnom održavanju puta

U okviru definisanja „scenarija” osnovne varijante za upoređenje („minimum radova na održavanju kolovoza”), uključeni su radovi na redovnom održavanju puta. Ovi radovi u modelu HDM-4 ne utiču na model promene stanja kolovoza u toku vremena, već ekonomsku analizu opterećuju samo dodatnim troškovima uređenja putnog pojasa (*miscellaneous operations*) [16]. Radovima na redovnom održavanju puta generalno su obuhvatili sledeće radove [17]:

- pregled i praćenje stanja puteva i objekata;
- mestimično popravljavanje i obnavljanje trupa puta;
- čišćenje kolovoza u granicama putnog zemljišta, odnosno zaštitnog pojasa gde se radi o erozivnom terenu;
- zaštita kosina nasipa, useka i zaseka;
- uređenje bankina;
- čišćenje i uređenje jarkova, propusta i drugih delova puta;
- popravka mostova;
- zaštita mostova i objekata od korozije;

5 PROPOSED WORKS – ALTERNATIVES

5.1 Base alternative: minimal works on the maintenance of the section

5.1.1 Routine maintenance

Within the framework of defining the "scenarios" of the basic variants for comparison ("minimum work on carriageway maintenance"), works on regular road maintenance are included. These works in the HDM-4 model do not affect the model of the change in the condition of the carriageway during the time, but they only burden economic analysis with the additional costs of the arrangement of the roadside area ("*miscellaneous operations*") [16]. Routine maintenance works generally include the following works [17]:

- reviewing and monitoring the condition of roads and structures;
- partly repairing and renewing the road bed;
- cleaning the carriageway within the boundaries of the roadside area, or the protection zone where the field is erosive;
- protection of slopes of the embankments, cuts and side cuts;
- road shoulder arrangement;
- cleaning and arranging ditches, culverts and other

- zamena, čišćenje i opravka saobraćajnih znakova i druge opreme puta;
- obnova horizontalne signalizacije;
- košenje trave i održavanje zelenih površina na zemljišnom pojasu;
- zimsko održavanje puteva.

- parts of the road;
- repair of bridges;
- protection of bridges and structures from corrosion;
- replacement, cleaning and fixing traffic signs and other road equipment;
- renovation of horizontal signage;
- mowing grass and maintaining green areas on the soil patch;
- winter road maintenance

Tabela 13. Troškovi redovnog održavanja puta
Table 13. Routine maintenance costs

R.b.	Standard održavanja <i>Maintenance Standard</i>	Kôd standarda <i>Standard Code</i>	Jed. mera <i>Unit</i>	Ekonom-ska cena <i>Economic Cost (€/km)</i>	Finansijska cena <i>Financial Cost (€/km)</i>	Kriterijum za primenu <i>Applying criteria</i>	Efekat primene <i>Effects</i>
1.	REDOVNO ODRŽAVANJE (ROUTINE MAINTENANCE)	RM	km	5,000	6,250	svake godine every year	-

5.1.2 Radovi na redovnom održavanju kolovoza

Radovima na redovnom održavanju kolovoza predviđeno je:

- zalivanje pukotina;
- krpljenje udarnih rupa;
- popravke ivice kolovoza.

5.1.2 Works on regular pavement maintenance

Works on regular maintenance of the carriageway anticipate:

- crack sealing,
- pothole patching and
- edge repair.

Tabela 14. Troškovi redovnog održavanja kolovoza
Table 14. Routine maintenance costs

R.b. <i>Or.</i>	Standard održavanja <i>Maintenance Standard</i>	Kôd standarda <i>Standard Code</i>	Jed. mera <i>Unit</i>	Ekonom-ska cena <i>Economic Cost (€/km)</i>	Finansijska cena <i>Financial Cost (€/km)</i>	Kriterijum za primenu <i>Applying Criteria</i>	Efekat primene <i>Effects</i>
1.	ZALIVANJE PUKOTINA (CRACK SEALING)	CRKSL	m ²	2.26	3.04	Wide Structural Cracking ≥ 1%	Wide and trans. cracks 100%
2.	KRPLJENJE UDARNIH RUPA (POTHOLE PATCHING)	POTPAT	m ²	10.01	13.50	Potholing ≥ 1 no./km	Patching 100%
3.	POPRAVKA IVICA KOLOVOZA (EDGE REPAIR)	EDGRPR	m ²	9.70	13.09	Edge break ≥ 1 m ² ./km	Patching 100%

5.2 Varijanta za poređenje: predloženi radovi na pojačanom održavanju

5.2.1 Radovi na pojačanom održavanju puta

Prema projektnoj dokumentaciji, ukupna finansijska vrednost radova na pojačanom održavanju državnog puta IB-21 na deonici Irig 2 - Ruma 1, u ukupnoj dužini od 15.580 km, iznosi 5,175,240.12 €, odnosno 332,172.02 € po km puta.

5.2 Comparison alternative: proposed works for heavy maintenance

5.2.1 Works on heavy road maintenance

According to the design documentation, total financial value of works on heavy maintenance of the state road IB21 on the section Irig 2 - Ruma 1 in the total length of 15.580 km is 5,175,240.12 €, in other words approx 332,172.02 € per km of road.

Odnos ekonomske prema finansijskoj vrednosti radova iznosi 0.80, tako da ekonomska vrednost radova iznosi 4,140,192.09 €, odnosno 265,737.62 € po km puta.

Navedeni troškovi radova obuhvataju ve troškove radova na pojačanom održavanju koji su predviđeni Glavnim projektom pojačanog održavanja:

- građevinski deo;
- geodetski deo;
- objekti;
- saobraćajna signalizacija i oprema;
- regulisanje saobraćaja za vreme radova;
- odvodnjavanje;
- rasveta.

Radovi na pojačanom održavanju puta predviđeni su tokom 2017. godine (100%).

The ratio of the economic towards financial value of works is 0.80, so that economic value of works is 4,140,192.09 €, in other words approx. 265,737.62 € per km of road.

The abovementioned costs of the works include all the expenses of the enhanced maintenance works that are foreseen in the Main Design of the enhanced maintenance:

- the building parts,
- geodetic part,
- objects,
- traffic signalization and equipment,
- regulation of traffic during works,
- drainage and
- lighting.

Works on heavy road maintenance are planned during the year 2017 (100%).

6 EKONOMSKA ANALIZA

6.1 Analiza ekonomskih pokazatelja

Ekonomska analiza urađena je pomoću modela HDM-4. Ovaj model izračunava diskontovane tokove čistih koristi (ušteta) tokom perioda analize. Ekonomska analiza sprovedena je za svaki homogeni potez, kao i kumulativno za celu deonicu.

6 ECONOMIC ANALYSIS

6.1 Analysis of economic indicators

Economic analysis is based on model HDM-4. This model calculates discounted flows of pure benefits during analysis period. Economic analysis is conducted for every homogenous section and cumulatively for the whole section.

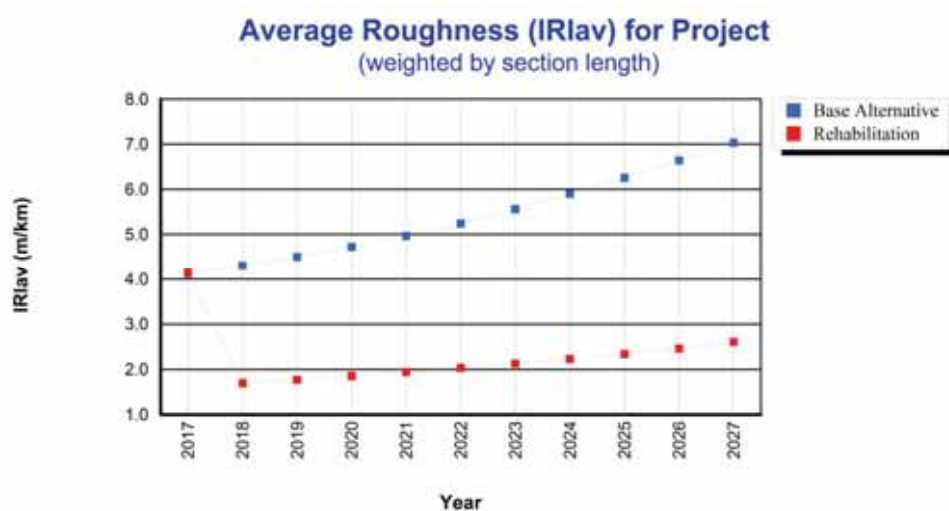
Tabela 15. Rezultati ekonomske analize
Table 15. Results of Economic Analyses

Pregled ekonomskih indikatora / Economic indicators summary	
Uštede u troškovima eksploatacije vozila / Vehicle Operating Costs (mil. €)	8.37
Uštede u vremenu putovanja / Travel Time Savings (mil. €)	3.63
Interna stopa rentabilneta ISR / Internal Rate of Return IRR (%)	31.5
Neto sadašnja vrednost NSV / Net Present Value (mil. €)	7.94
NSV / KAP	1.93

* diskontovane vrednosti /discounted values

Na slici broj 1 prikazana je promena stanja površine kolovoza u zavisnosti od projektnog rešenja.

Figure 1 shows a change of pavement surface condition depending on the design solution.



Slika 1. Promena stanja površine kolovoza
Figure 1. Pavement surface condition change

6.2 Analiza osetljivosti rezultata

Analiza osetljivosti rezultata sprovedena je za sledeće slučajeve:

- smanjenje obima saobraćaja za -20%,
- povećanje ukupnih troškova radova za +20%,
- smanjenje obima saobraćaja za -20% i povećanje ukupnih troškova radova za +20%.

6.2 Sensitivity Analyses

Analysis of data sensitivity is conducted for following cases:

- Traffic volume reduction for -20%,
- Increase of total costs of the works for +20%,
- Traffic volume reduction for -20% with increase of total costs of the works for +20%.

Tabela 16. Analiza osetljivosti rezultata
Table 16. Sensitivity Analyses

Ekonomski indikator/Economic Indicator	IRS (%)	NSV (mil. €)	NSV / KAP
Referentna vrednost / Reference Value	31.5	7.94	1.93
Povećanje troškova radova za +20% <i>Increase of Work Costs +20%</i>	26.6	7.12	1.73
Smanjenje stope saobraćaja za -20% <i>Decrease of traffic growth -20%</i>	30.3	7.26	1.76
Smanjenje stope saobraćaja za -20% i povećanje troškova radova za +20% <i>Decrease of traffic growth -20% and Increase of Work Costs +20%</i>	25.4	6.45	1.56

6.3 Analiza troškova zagađenja vazduha

Troškovi zagađenja odnose se na korišćenje energije drumskog saobraćaja. Sledeće emisije štetnih gasova i materija izračunavaju se na osnovu korišćenja energije: CO, NOx, CO₂, SOx. Brzina kretanja vozila i dužina putne veze određuju potrošnju goriva (benzina ili dizela), u zavisnosti od tipa vozila.

Emisija vozila i troškovi zagađenja vazduha proračunati su pomoću HDM-4 modela. Zbog same prirode projekta (pojačano održavanje) ne nastaju značajne promene u režimu kretanja vozila, pa su i uštede koje se ostvaruju od smanjenja zagađenja vazduha relativno male i procenjene su na 28,035 € (nediskontovana vrednost) tokom perioda analize (2017-2027).

6.3 Air pollution costs analysis

Pollution costs refer to the energy usage of road traffic. The following emissions of pollutants are calculate based on energy usage: CO, NOx, CO₂, SOx. Speed of the vehicle and length of the road connection determines fuel consumption (gasoline or diesel), based on the type of the vehicle.

Calculation of vehicle emission and air pollution costs are calculated with HDM-4 model. Because of the nature of the design (heavy maintenance) there is no significant changes in vehicle movement regime so savings are relatively small and estimated on 28,035 € (undiscounted value) during analysis period (2017-2027).

7 ZAKLJUČCI I PREPORUKE

– Ekonomska analiza je urađena pomoću modela HDM-4. Ovaj model izračunava diskontovane tokove čistih koristi (ušteda) tokom perioda analize. Ekonomska analiza sprovedena je za period eksploatacije od deset godina. Ukupan period analize obuhvata 1+10=11 god. (2017-2027. godine).

– Radovi na pojačanom održavanju puta predviđeni su tokom 2017. godine (100%).

– Početna godina eksploatacije rehabilitovane deonice jeste 2018. godina.

– Ukupna vrednost investicije s primenom u prvoj godini analize (2017) procenjena je na 5,175,240 €, odnosno 332,172 € po km puta (finansijska vrednost).

– Dobijeni rezultati ekonomske analize projektnog rešenja radova na pojačanom održavanju razmatrane deonice, iskazani pre svega putem Interne stope rentabiliteta (ISR= 31.5%) i Neto sadašnje vrednosti (NSV= 7.94 mil. €) ukazuju na opravdanost investicionih ulaganja u radove na pojačanom održavanju.

– Rezultati analize osetljivosti ukazuju na prihvatljivu stabilnost projektnog rešenja, pogotovu ako se ima u

7 CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

– Economic analysis is based on the model HDM-4. This model calculates discounted flows of pure benefits during the analyzed period. Economic analysis is conducted for the period of exploitation of 10 years. Total period of analysis is 1+10=11 years (2017-2027 year)

– Works on heavy maintenance will be executed during the year 2017. (100%)

– Exploitation begins in 2018.

– Total value of investment in the first year of analysis is estimated on 5,175,240 €, or 332,172 €/km (financial value).

– The results of economic analysis for works on heavy maintenance of section in subject expressed through Internal Rate of Return (IRR=31.5%) and Net Present Value (NPV=7.94 mil. €) show that investment for works on heavy maintenance are justified.

– The results of sensitivity analysis show that designed solution is acceptable, especially when social aspect requirements were not considered as it was the case in this analysis.

vidu da u okviru ove analize nisu razmatrane egzogene koristi iz socijalnog aspekta.

– Nažalost, zbog same prirode projekta koji se prvenstveno odnosi samo na održavanje puta (pojačano održavanje), ne smanjuje se broj saobraćajnih nezgoda, već on raste proporcionalno s porastom PGDS-a. Ukupni troškovi saobraćajnih nezgoda (nediskontovani) u periodu analize (2017-2027) procenjeni su na 8,335,000 €. Troškovi saobraćajnih nezgoda nisu uključeni u ekonomsku analizu.

– Uštede koje se ostvaruju smanjenjem zagađenja vazduha relativno su male i procenjene su na 28,034 € tokom perioda analize (2017-2027). Ove koristi nisu uključene u ekonomsku analizu.

– Na osnovu ovih rezultata može se zaključiti da je ulaganje u predložene radove pojačanog održavanja na razmatranoj deonici državnog puta IB-21, Irig 2 – Ruma 1 u ukupnoj dužini od 15,580 km ekonomski opravdano.

ZAHVALNOST

Prikazano istraživanje sprovedeno je uz podršku javnog poduzeća „JP Putevi Srbije” i korišćenje odgovarajućih podataka. U radu je takođe 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”.

Autori zahvaljuju na trudu i razumevanju svim nadležnima koji su odobrili rad i upotrebu podataka

8 LITERATURA REFERENCES

- [1] Radović N., Uzelac Đ., Matić B. „Metodološke osnove za upravljanje putnom mrežom u Republici Srbiji” Conference EVALUATION, MAINTENANCE AND REHABILITATION OF STRUCTURES AND SETTLEMENTS, Serbia, 9-11. maj 2011, str. 63-68.
- [2] Radović N., Uzelac Đ. „Osnove za optimizaciju upravljanja održavanjem kolovoza”, Građevinski kalendar 2009. (str. 46-105), Savez građevinskih inženjera Srbije, Beograd, decembar 2008, YU ISSN 0352-2733, UDK 625.76; 625.8.08.
- [3] Radović N., Šešlija M., Peško I., (2013) "Expert project analyses in the process of road maintenance management", Professional Paper, Gradjevinar, Journal of the Croatian Association of Civil Engineers, Vol 65, No. 7, 2013, p. 641-652.
- [4] Uzelac Đ., Radović N., Matić B., (2010) „Putna mreža Vojvodine, elementi strategije održavanja i daljeg razvoja” iNDiS (Novi Sad, 2009), str. 473-480, ISBN 978-86-7892-220-6, Izdavač: Departman za građevinarstvo, Fakultet tehničkih nauka Novi Sad.
- [5] Radović N., Uzelac Đ., Matić B. (2010) „Strateška analiza putne mreže Vojvodine primenom HDM-4 modela”, Savremena građevinska praksa 2010, Andrevlje, Fruška gora, 13-14. maj 2010.
- [6] Glavni projekat pojačanog održavanja državnog puta IB-21 na deonici: Irig 2 - Ruma 1, projektna organizacija: JV DB Inženjering d.o.o. Beograd (Leader) & Dromos Consulting Ltd, Greece & Dromos Consulting Inc, Greece & Adomne d.o.o. Novi Sad, Serbia & Hidrozavod DTD AD Novi Sad, Serbia & Geourb d.o.o. Beograd Serbia (partners), Beograd, mart/juni 2017.
- [7] CPV-NIEVELT, Baza podataka o putevima, Završni izveštaj, Beograd (2008-2010).
- [8] Radović N., Subotički G., Šešlija M., "Programme Analyses of state road network of the Republic of Serbia", Assessment, maintenance and rehabilitation of structures and settlements (Borsko jezero, 2013), str. 85-90, UDK 519.863: 625.76, Izdavač: Savez građevinskih inženjera Srbije

- [9] Radović, N., "Preparation of Program Analyses of State Road Network and Transport Rehabilitation Project Performance Indicators", Final report, P.E. "Roads of Serbia", Belgrade (2011).
- [10] Pravilnik o uslovima koje sa aspekta bezbednosti saobraćaja moraju da ispunjavaju putni objekti i drugi elementi javnog puta („Sl. glasnik RS”, br 50/2011).
- [11] Referentni sistem za državnu putnu mrežu I i II reda Republike Srbije (www.putevi-srbije.rs).
- [12] AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993, published by the American Association of State Highway and Transportation Officials, 444 N. Capitol Street, N.W. Suite 249 Washington, D.C. 20001. ISBN 1-56051-055-2
- [13] Radović N., Jokanović I., Matić B., Šešlija M., "A measurement of roughness as indicator of road network condition", Technical Gazette, Vol. 3, No. 23, 2016, p. 881-884.
- [14] JP Putevi Srbije, „Priručnik za analizu troškova i koristi za Srbiju”, Beograd, decembar 2010, www.putevi-srbije.rs
- [15] Radović N., Uzelac Đ., Matić B. „Analiza saobraćajnih nezgoda primenom HDM-4 modela”, Međunarodni simpozijum Prevencija saobraćajnih nezgoda na putevima (Novi Sad, 2010) Vol. 530, str. 213-224, UDK 351.754.7, ISBN 978-86-7892-279-4, Izdavač: Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad.
- [16] Radović, N., Mirković, K., Šešlija, M., Peško, I., "Output and Performance Based Road Maintenance Contracting-Case Study Serbia", Technical Gazette, Vol. 21, No. 3, 2014, p. 681–688.
- [17] Šešlija, M., Radović, N., Vatin, N., "Construction of Road Embankment with Waste Materials Applied Mechanics and Materials", Vols. 725-726, pp. 596-601.

REZIME

EKONOMSKA ANALIZA POJAČANOG ODRŽAVANJA DRŽAVNOG PUTA IB21, DEONICA IRIG-RUMA

Miloš ŠEŠLIJA
Igor VUKOBRATOVIĆ
Miodrag POČUĆ
Igor PEŠKO

Upravljanje održavanjem putne mreže predstavlja proces donošenja odluka o investicijama, u kojem je veoma značajno rešiti brojna tehnička i ekonomska pitanja i obezbediti što više objektivnih tehničkih i ekonomskih informacija za konačno donošenje odluke. Planiranje održavanja putne mreže predstavlja jedan od osnovnih zadataka za svakog upravljača putnom mrežom. U radu se daje prikaz metodološkog postupka za izradu ekonomske analize i ocene investicije za radove na periodičnom održavanju puta s primerom deonice državnog puta IB 21, Irig–Ruma, u ukupnoj dužini od 15,580 km, kao deo nacionalnog projekta rehabilitacije puteva i unapređivanja bezbednosti saobraćaja u Republici Srbiji.

Ključne reči: upravljanje putevima, održavanje puteva, HDM-4 model, ekonomska analiza

SUMMARY

ECONOMIC ANALYSES OF HEAVY MAINTENANCE (UPGRADING) OF STATE ROAD IB21, SECTION IRIG-RUMA

Milos SESLIJA
Igor VUKOBRATOVIC
Miodrag POCUC
Igor PESKO

The management of the road network presents the process of decision making on investments, where it is very important to solve numerous technical and economic issues and to provide as much objective technical and economic information as possible for final decision making. Planning the maintenance of the road network is one of the basic tasks for each road network manager. This paper presents a methodological procedure for the preparation of economic analysis and assessment of investments for the periodic maintenance of roads with example of the state road IB 21, section Irig - Ruma, in the total length of 15,580 km as a part of the national road rehabilitation project and the improvement of road safety in the Republic Serbia.

Key words: road management, road maintenance, HDM-4 model, economic analysis