

Modifikovana australijska metodologija za analizu troškova eksploatacije motornih vozila

Marijo Vidas, Saobraćajni fakultet, Beograd, m.vidas@sf.bg.ac.rs

Vladan Tubić, Saobraćajni fakultet, Beograd, vladan@sf.bg.ac.rs

Nemanja Stepanović, Saobraćajni fakultet, Beograd, n.stepanovic@sf.bg.ac.rs

Rezime: U izradi prethodnih studija opravdanosti i studija opravdanosti puteva sa slobodnim režimom korišćenja jedan od početnih koraka je proračun troškova eksploatacije motornih vozila na razmatranim putnim mrežama. U našoj inženjerskoj praksi najkorišćeniji je HDM-4 model za proračun ove kategorije troškova. U ovom radu će biti prikazan model razvijen u Australiji, koji svojom sistematičnošću i praktičnošću predstavlja pogodan model za primenu u lokalnim uslovima. Troškovi eksploatacije motornih vozila se po ovom modelu dele na troškove: goriva, ulja, pneumatika, održavanja i amortizacije. Za svaku vrstu troškova analizirana je zavisnost između tipa vozila, eksploatacione brzine, vrste goriva, uzdužnog nagiba, horizontalne zakrivljenosti, vrste i stanja kolovoznog zastora kao i uslova u saobraćajnom toku. U skladu sa dobijenim međuzavisnostima, definisani su faktori koji kvantifikuju pojedinačne uticaje pomenutih karakteristika, a sve u cilju dobijanja što preciznijih jediničnih troškova po kategorijama vozila za konkretnu saobraćajnu deonicu. Mogućnost da se u model implementiraju sve potrebne cene i prosečna pređena kilometraža po kategorijama vozila predstavlja osnovu za analizu njegove primene u našim uslovima i definisanja potrebnih koraka za njegovu kalibraciju.

Ključne reči: troškovi goriva, troškovi ulja, troškovi pneumatika, troškovi održavanja, troškovi amortizacije

1 UVOD

Ekonomske koristi u izradi prethodnih studija opravdanosti i studija opravdanosti puteva sa slobodnim režimom korišćenja proračunavaju se kao razlika između troškova na mreži bez investicije (MBI) i troškova na mreži sa investicijom (MSI). Veličina ostvarenih koristi, odnosno ušteta, predstavlja osnovu za ispitivanje ekonomske opravdanosti realizacije projekta. U našoj inženjerskoj praksi troškovi upotrebe analizirane mreže (MBI i MSI) sastoje se od: troškova eksploatacije vozila (VOC), troškova vremena putovanja (VOT), troškova saobraćajnih nezgoda (AC), troškova ekološkog uticaja saobraćajnice (EC) i troškova održavanja puteva (MC). Procentualno po učešću pojedinih troškova najveći udeo imaju troškovi eksploatacije vozila (VOC) i troškovi vremena putovanja (VOT). Iz tog razloga je vrlo značajno pronaći odgovarajuće modele koji su u mogućnosti na što precizniji način kvantifikovati sve tehničko-eksploatacione karakteristike koje utiču na povećanje ove dve kategorije troškova.

Najpoznatiji i najkorišćeniji model za proračun VOC dat je u okviru HDM-4 softvera. Softver za razvoj i upravljanje autoputevima (HDM-4) je moćan alat za podršku u donošenju odluka, razvijen od strane Svetske banke i korišćen od strane agencija za

puteve i menadžera putne infrastrukture širom sveta. Nedostatak primene modela za proračun VOC iz HDM-4 je to što je on integrisani u samom softveru, drugim rečima uslovljen je korišćenjem samog softvera. U ovom radu će biti prikazan deo Australijskog modela (CBA6) za proračun VOC koji svojom sistematičnošću i praktičnošću predstavlja pogodan model za primenu u lokalnim uslovima.

2 TROŠKOVI EKSPLOATACIJE MOTORNIH VOZILA (VOC) PO AUSTRALIJSKOM MODELU (CBA6)

VOC po definiciji predstavlja troškove koji su posledica upotrebe motornih vozila. Po CBA6 modelu sastoje se od troškova goriva, ulja, pneumatika, opravki i održavanja kao i troškova kamate i amortizacije. Proračun svake navedene komponente troškova eksploatacije motornih vozila je zasnovna na detaljnoj metodologiji. Proračun VOC je pod uticajem velikog broja faktora koji su prikazani u tabeli 1.

Za svaku vrstu troškova analizirana je zavisnost između tipa vozila, eksploatacione brzine, vrste goriva, uzdužnog nagiba (UN), horizontalne zakrivljenosti, vrste i stanja kolovoznog zastora kao i uslova u saobraćajnom toku. U skladu sa dobijenim međuzavisnostima, definisani su faktori koji kvantifikuju pojedinačne uticaje pomenutih karakterisitka, a sve u cilju dobijanja što preciznijih jediničnih troškova po kategorijama vozila za konkretnu saobraćajnu deonicu. Dodatna mogućnost da se u model implementiraju sve potrebne cene i prosečna pređena kilometraža po kategorijama vozila, predstavlja osnovu za analizu njegove primene u našim uslovima i definisanja potrebnih koraka za njegovu kalibraciju.

Tabela 1. Uticajni faktori po kategorijama troškova koji ulaze u VOC [1]

VOC	Ve	Karakterisitke vozila		Karakteristike puta			Saobraćajni zahtevi (voz/h)
		Kat.	Vrsta goriva	UN	Horizontalna zakrivljenost	Stanje kolovoza	
Gorivo	+	+	+	+	+	+	+
Ulje	+	+	+				
Pneumatici	+	+		+	+	+	+
Opravke i održ.		+				+	
Kamata i amort.	+	+				+	

Većina ovih postupaka proračuna troškova definisano je u Austroads report ap-r264/05 "Harmonisation of non-urban road user cost models" [2].

Zbog ograničenja u obimu rada u daljem tekstu će biti detaljno prikazan postupak za proračun troškova potrošnje goriva sa osvrtom na njegovu mogućnost primene u našoj inženjerskoj praksi.

2.1 Gorivo

Proračun troškova potrošnje goriva za ceo saobraćajni tok se vrši na osnovu potrošnje goriva za svaku kategoriju vozila posebno. Eksploataciona brzina predstavlja karakteristiku koja ima najveći uticaj na stopu potrošnje goriva. U prvom koraku se proračunava bazna potrošnja goriva koja zavisi od kategorije vozila i eksploatacione brzine, a ne zavisi od

karakteristika puta i uslova u saobraćajnom toku. U drugom koraku potrebno je potrošnju goriva prilagoditi lokalnim karakteristikama puta kao što su uzdužni nagib, horizontalna zakrivljenost i stanje kolovoza kao i uslovima u saobraćajnom toku.

2.1.1 Bazna potrošnja goriva

Bazna potrošnja goriva (BPG) i bazna cena goriva (BCG) se proračunavaju na osnovu parametara datih u tabeli.

Tabela 2. Troškovi goriva i faktori potrošnje goriva

Tip voz.	C3	C2	C1	%DIZEL	Cena benzina* (cent/litar)	Cena dizela* (cent/litar)	F _{tab zag}
PA	0,0054	1526,2	37,3	0	82,49	81,57	0,4
BUS	0,0131	5451,1	69,4	0,7	82,49	81,57	0,3
TV	0,0168	3485,1	49	0,5	82,49	81,57	0,3
AV	0,0158	9621,1	118,6	0,9	82,49	81,57	0,3

* Iz cene goriva isključena je vrednost akcize

Bazna potrošnja goriva u litrima na 1000 km se proračunava na osnovu sledeće jednačine [2], ona je zasnovana na potrošnji goriva za svaku kategoriju vozila i eksploatacione brzine.

$$BPG_i = C_3 \cdot V_{ei}^2 + \frac{C_2}{V_{ei}} + C_1 \quad (1)$$

gde je:

BPG_i – bazna potrošnja goriva po kategorijama vozila

V_{ei} – eksploataciona brzina po kategorijama vozila

i – kategorija vozila

C_1, C_2 i C_3 – parametri modela

Ovako proračunata bazna potrošnja goriva predstavlja prosečne vrednosti po kategorijama vozila na pravom putu idealnih tehničko eksploatacionih karakteristika u uslovima slobodnog saobraćajnog toka. Stvarna potrošnja goriva mora uključiti uticaj uzdužnog nagiba, horizontalne zakrivljenosti, stanja kolovoza i uslova u saobraćajnom toku.

2.1.2 Korekcionni faktor potrošnje goriva na uzdužnom nagibu

Prilagođavanje potrošnje goriva deonicama na kojima postoji uzdužni nagib se vrši preko korekcionnog faktora čije vrednosti zavise od kategorije vozila, eksploatacione brzine, procenta uzdužnog nagiba kao i procentualnog dela deonice pod uzdužnim nagibom. Veličina ovog faktora je u direktnoj zavisnosti od veličine uzdužnog nagiba, odnosno njegova vrednost raste sa porastom veličine %UN. Na primer veličina ovog faktora za putnički automobil koji se kreće brzinom od 40 km/h na uzdužnom nagibu od 9% je 0,30, odnosno potrošnja goriva se povećava za 30% u odnosu na put bez uzdužnog nagiba. Faktor uzdužnog nagiba se proračunava prema sledećoj jednačini [2]:

$$F_{UNi} = \sum F_{UNtab_i}(\text{kategorija vozila, \%UN, } V_e) \cdot \%deonice \text{ sa UN} \quad (2)$$

gde je:

F_{UNi} – Faktor uticaja %UN na potrošnju goriva po kategoriji vozila,

F_{UNtabi} – tabelarna vrednost koja predstavlja zavisnost potrošnje goriva od kategorije vozila, %UN i eksploatacione brzine (Tabela 3),

% deonice sa UN – procenat dužine deonice sa odgovarajućim %UN.

Tabela 3. F_{UNtabi} [2]

Kat. Voz.	%UN	Eksploataciona brzina (km/h)													
		8 – 15	16 – 23	24 – 31	32 – 39	40 – 47	48 – 55	56 – 63	64 – 71	72 – 79	80 – 87	88 – 95	96 – 103	104 – 112	
PA	<4%	0.03	0.07	0.07	0.07	0.08	0.09	0.09	0.10	0.08	0.05	0.04	0.04	0.03	
TV	<4%	0.06	0.09	0.08	0.08	0.11	0.16	0.25	0.22	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17	
BUS	<4%	0.08	0.11	0.10	0.13	0.20	0.26	0.39	0.52	0.42	0.29	0.19	0.10	0.00	
AV	<4%	0.06	0.14	0.13	0.19	0.28	0.37	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	
PA	<6%	0.04	0.11	0.10	0.11	0.12	0.14	0.17	0.19	0.16	0.12	0.11	0.10	0.08	
TV	<6%	0.10	0.18	0.22	0.28	0.34	0.43	0.52	0.47	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	
BUS	<6%	0.15	0.24	0.32	0.42	0.54	0.65	0.83	0.98	0.84	0.70	0.57	0.45	0.32	
AV	<6%	0.18	0.29	0.40	0.52	0.66	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	
PA	<8%	0.05	0.19	0.17	0.17	0.18	0.21	0.26	0.30	0.25	0.21	0.18	0.15	0.12	
TV	<8%	0.19	0.39	0.47	0.55	0.62	0.68	0.70	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	
BUS	<8%	0.26	0.50	0.62	0.76	0.91	1.05	1.25	1.42	1.25	1.08	0.92	0.78	0.62	
AV	<8%	0.33	0.60	0.75	0.90	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	
PA	<10%	0.06	0.28	0.27	0.28	0.30	0.35	0.42	0.47	0.42	0.34	0.28	0.25	0.21	
TV	<10%	0.30	0.61	0.72	0.83	0.89	0.93	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	
BUS	<10%	0.39	0.76	0.93	1.11	1.28	1.45	1.69	1.90	1.69	1.49	1.31	1.13	0.95	
AV	<10%	0.47	0.90	1.08	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	

Na osnovu jednačine (2) može se uočiti da ovaj model omogućava kvantifikaciju uticaja različitih veličina %UN na posmatranoj deonici kroz %deonice sa UN.

2.1.3 Korekcionni faktor potrošnje goriva u zavisnosti od horizontalne zakrivljenosti

Horizontalna zakrivljenost puta takođe utiče na povećanje potrošnje goriva. Po ovom modelu tabelarna vrednost faktora koji kvantifikuje ovaj uticaj na potrošnju goriva zavisi od kategorije vozila i kategorije puta.

Putevi se na osnovu horizontalne zakrivljenosti (HZ), odnosno broja horizontalnih krivina, dele u tri kategorije: velika HZ, prosečna HZ i pravi putevi. Za prave puteve tabelarna vrednost faktora iznosi 0, dok se za ostale kategorije puteva ona kreće u rasponu od 0,1 za puteve sa prosečnom HZ i 0,2 za puteve sa velikom HZ. Na osnovu toga se može zaključiti da putevi sa veoma velikim brojem horizontalnih krivina povećavaju potrošnju goriva za 20%. Nedostatak modela je to što nisu date granične vrednosti između puteva sa velikom HZ i prosečnom HZ, odnosno ostavljeno je da korisnik sam proceni u koju kategoriju da svrsta posmatranu deonicu. Korekcionni faktor potrošnje goriva u zavisnosti od horizontalne zakrivljenosti se proračunava prema sledećoj jednačini [2]:

$$F_{R_i} = F_{Rtab}(\text{kategorija vozila, kategorija puta}) \quad (3)$$

Tabela 4. Faktor prilagođavanja potrošnje goriva horizontalnoj zakrivljenosti F_{Rtab} [2]

Kat. voz.	Kategorija puta prema horizontalnoj zakrivljenosti		
	Veoma krivudav	Krivudav	Prav
PA	0,2	0,1	0
BUS	0,2	0,1	0
TV	0,2	0,1	0
AV	0,2	0,1	0

2.1.4 Korekcionni faktor potrošnje goriva u zavisnosti od uslova u saobraćajnom toku

Korekcionni faktor potrošnje goriva u zavisnosti od uslova u saobraćajnom toku se proračunava na osnovu veličine iz Tabele 2. Zagušenje utiče na povećanje potrošnje goriva i ta vrednost se povećava što je vozilo duže u uslovima zagušenog saobraćajnog toka.

Ovaj faktor se proračunava tako što se odnos merodavnog protoka i kapaciteta q_m/C množi sa faktorom iz Tabele 2. za svaku kategoriju vozila ($F_{tab\ zag}$). Na osnovu vrednosti iz Tabele 2. može se zaključiti da uticaj zagušenja nije isti za sve kategorije vozila i da se u takvim uslovima za PA potrošnja više povećava nego za druge kategorije. Vrednost faktora mora biti manji ili jednaka 1. Jednačina za proračun [2] je ovog korekcionnog faktora je:

$$F_{zag_i} = MIN(1, (q_m / C) \cdot F_{tab_{zag_i}}) \quad (4)$$

2.1.5 Korekcionni faktor potrošnje goriva u zavisnosti od stanja kolovoza

Ovaj korekcionni faktor potrošnje goriva zavisi od stanja kolovoza, kategorije vozila i eksploatacione brzine. On se sastoji od proizvoda dva člana: prvi član kvantifikuje povećanje troškova kao posledicu stanja kolovoza, dok drugi član povezuje eksploatacionu brzinu sa ovim proračunom. Modelom je definisana maksimalna vrednost faktora troškova u zavisnosti od stanja kolovoza i ona iznosi 1,75. Ta vrednost se poredi sa proračunatom vrednošću u zavisnosti od trenutnog – realnog stanja kolovoza na posmatranoj deonici, što je objašnjeno u daljem tekstu.

Prvi član se proračunava na sledeći način [2]:

$$SK = \min \begin{cases} CFMAX \\ CSENSP \cdot \frac{(CNRM - PAVC)}{(NRMA - PAVC)} \end{cases} \quad (5)$$

Gde je:

SK – faktor troškova za stanje kolovoza

CFMAX – maksimalna vrednost faktora troškova = 1,75

CSENSP – faktor osetljivosti troškova na stanje kolovoza = 4

CNRM – trenutno stanje kolovoza

PAVC – stanje kolovoza posle rekonstrukcije = 60

NRMA – koeficijent konverzije iz PSR u NRM = 250

NRM – NAASRA Roughness Meter

Da bi se ovaj model primenio u lokalnim uslovima potrebno je napraviti konverziju iz NRM u *International roughness index* (IRI), to se može uraditi preko sledeće jednačine [3]:

$$NRM(counts / km) = 26,49 \cdot IRI(m / km) - 1,27 \quad (6)$$

Proračunata vrednost faktora SK potrebno je prilagoditi kategoriji vozila i eksploatacionoj brzini preko faktora F_{SKtab} iz sledeće tabele:

Tabela 5. F_{SKtab} [2]

Kat. Voz.	Eksploataciona brzina (km/h)												
	8-15	16-23	24-31	32-39	40-47	48-55	56-63	64-71	72-79	80-87	88-95	96-103	104-112
PA	0,023	0,060	0,067	0,070	0,077	0,087	0,100	0,103	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090
BUS	0,050	0,080	0,090	0,100	0,110	0,120	0,140	0,150	0,130	0,120	0,120	0,110	0,100
TV	0,044	0,083	0,093	0,103	0,111	0,123	0,127	0,110	0,104	0,097	0,091	0,076	0,071
AV	0,033	0,097	0,113	0,127	0,143	0,160	0,177	0,193	0,187	0,170	0,160	0,147	0,133

Korekcionni faktor potrošnje goriva zavisi od stanja kolovoza po kategorijama vozila proračunava se preko sledeće jednačine [2]:

$$F_{SKi} = SK \cdot F_{SKtab} \quad (7)$$

2.1.6 Troškovi potrošnje goriva

Na osnovu podataka iz Tabele 2. može se proračunati bazna cena goriva preko sledeće jednačine:

$$BCG_i = CB_i \cdot (1 - \%DIZEL_i) + CD_i \cdot \%DIZEL_i \quad (8)$$

gde je:

- CG_i – cena goriva u centima po litru
- CB_i – cena benzina u centima po litru
- $\%DIZEL_i$ – procenat vozila koji koriste dizel kao pogonsko gorivo po kategorijama vozila
- CD_i – cena dizela u centima po litru

U sledećem koraku mogu se proračunati troškovi potrošnje goriva po kategorijama vozila koji uključuju sve uticajne veličine preko sledeće jednačine [2]:

$$TG_i = BCG_i \cdot BPG_i \cdot (1 + F_{UN_i} + F_{R_i} + F_{zag_i} + F_{SK_i}) \quad (9)$$

3 ZAKLJUČAK

U ovom radu je dat prikaz postupka za proračun troškova eksploatacije vozila po Australijskoj metodologiji CBA6. Detaljno je obrađen postupak za proračun troškova potrošnje goriva. On se sastoji od proračuna bazne potrošnje goriva po kategorijama vozila koja se zasniva na potrošnji na pravom putu u ravničarskom terenu i slobodnim uslovima saobraćajnog toka. Cene goriva koja će se koristiti definiše se na osnovu cene benzina i dizela kao i procentualnom učešću vozila na dizel u posmatranoj kategoriji vozila. Prednost ovog modela je u korekcionim faktorima koji u analizu potrošnje goriva uključuju uzdužni nagib, horizontalnu zakrivljenost, stanje kolovoza i uslove u saobraćajnom toku. Mogućnost da se u proračunu koriste cene na našem tržištu kao i pretpostavka da su tehničko-eksploatacione karakteristike vozila približne omogućavaju primenu ovog modela u lokalnim uslovima uz minimalnu kalibraciju.

LITERATURA

- [1] Department of Transport and Main Roads. (2021). Cost-benefit Analysis manual – Road projects. AUS
- [2] Austroads. (2005). Economic Evaluation of Road Proposals: Harmonisation of Non-Urban Road User Cost Models (ap-r264/05). AUS
- [3] <https://austroads.com.au>

SUMMARY

Modified Australian Methodology for Vehicle Operating Cost Analysis

Abstract: In the preparation of feasibility studies of roads one of the initial steps is the calculation of the vehicle operating costs on the considered road networks. In our engineering practice, the HDM-4 model is the most used for calculating this category of costs. This paper will present a model developed in Australia, which, with its systematicity and practicality, represents a suitable model for application in local conditions. According to this model, the costs of operating motor vehicles are divided into the following costs: fuel, oil, tires, maintenance and depreciation. For each type of costs, the dependence between the type of vehicle, operating speed, type of fuel, gradient, horizontal curvature, type and condition of the pavement, as well as conditions in the traffic flow, was analyzed. In accordance with the obtained interdependencies, factors were defined that quantify the individual impacts of the mentioned characteristics, all with the aim of obtaining the most accurate unit costs by vehicle category for a specific traffic section. The additional possibility to implement all the necessary prices and average mileage by vehicle category in the model is the basis for analyzing its application in our conditions and defining the necessary steps for its calibration.

Key words: fuel costs, oil costs, tire costs, maintenance costs, depreciation costs