
Nina Žiljak, mag. ing.
E-mail: nina.ziljak@gmail.com
Dr.sc. Neven Grubišić
E-mail: grubisic@pfri.hr
Pomorski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Studentska 2, 51000 Rijeka

Evaluacija prometne infrastrukture komparacijom operativnih troškova vozila

SAŽETAK

Prilikom planiranja projekata izgradnje prometne infrastrukture potrebno je vrednovati učinke novoizgrađene prometnice u odnosu na postojeće stanje. Jedan od kriterija koji se u tu svrhu može koristiti je operativni trošak vozila – VOC. Osnovne komponente VOC su potrošnja goriva, ulja i drugih tekućina, zatim intenzitet habanja pogonskih i drugih dijelova vozila te troškovi održavanja i servisiranja. Na operativne troškove utječu različiti prometno-tehnički čimbenici za koje postoji korelacija s tehničkim obilježjima prometnice. Autori u ovom radu kompariraju operativne troškove vozila na konkretnom primjeru koristeći HDM-VOC metodologiju procjene operativnih troškova vozila. Kao primjer poslužila je cestovna dionica koja spaja kontejnerski terminal luke Rijeka s čvorištem Čavle.

Ključne riječi: Operativni troškovi vozila, VOC, prometna infrastruktura, riječki prometni čvor

1. UVOD

Predmet istraživanja ovog rada je usporedba operativnih troškova vozila (engl. *Vehicle operating costs* – VOC) na lokalnoj prometnoj mreži koja povezuje riječku luku s autocestom prema Zagrebu. Analiza VOC troškova napravljena je na relaciji Brajdica – Čavle, na dionici ceste D-404 u odnosu na dionicu „stare“ Grobničke ceste kojom su se kretala vozila prije priključka na riječku zaobilaznicu. Komparacija je napravljena za različite uvjete vožnje i različita tehnička obilježja prometnice za dvije vrste cestovnih vozila - osobni automobil i kamionski tegljač.

Cilj rada je istražiti i primijeniti metodologiju evaluacije prometne infrastrukture, poglavito infrastrukture cestovnog prometa, na temelju usporedbe ušteda u operativnim troškovima vozila. Prema tom kriteriju moguće je procijeniti koristi i uštede koje se postižu izgradnjom ili modernizacijom objekta prometne infrastrukture u odnosu na postojeće stanje prometnice ili prometnog pravca.

Troškovi vozila mogu se podijeliti u dvije osnovne grupe: troškovi koji su vezani uz posjedovanje vozila uključujući i njegovu nabavu te troškove koji nastaju tijekom eksploatacije. Prva grupa ima obilježje fiksni, a druga varijabilni troškova. VOC se odnosi na troškove eksploatacije i izražava se u jediničnim cijenama u odnosu na prijeđeni put vozila. Pretpostavka je da se prilikom izgradnje ili modernizacije prometnica mijenjaju prometno-tehnički uvjeti putovanja što utječe na operativne troškove vozila. Uštede operativnih troškova i koristi koje nastaju prilikom tehničkih unaprjeđenja prometnog pravca iskazuju se kroz komparaciju VOC-a u odnosu na postojeće stanje ili tzv. *base-case* scenarij [8, 157].

Prilikom izgradnje ili modernizacije prometnice potrebno je uzeti u obzir što veći

broj komponenti kojima se opisuju učinci eksploatacije vozila i tehnička svojstva cestovne infrastrukture. Svaka od tih komponenti može utjecati na način i troškove eksploatacije pa u fazi planiranja i projektiranja treba napraviti potrebna mjerenja i simulacije. Na taj način se preventivno smanjuju troškovi budućih suvišnih ulaganja u ekonomski neisplative cestovne dionice. Također je bitno znati u kojoj mjeri je isplativije izgraditi novu dionicu nego modernizirati staru dionicu, pri čemu bi kalkulacija VOC trebala biti obvezna kod izračuna efikasnosti.

Ta metoda može se koristiti i kod evaluacije projekata prometne infrastrukture na intermodalnim prometnim pravcima te intermodalnim čvorištima pri čemu se uzima učinak u odnosu na različite vrste prijevoza. Analizu kopnene prometne infrastrukture kao čimbenika valorizacije riječkog prometnog pravca napravila je Poletan u svom magistarskom radu [7]. Cilj je bio sagledati efikasnost građenja nove infrastrukture u odnosu na već postojeću kopnenu prometnu infrastrukturu. Vurdelja, Piliš i Stanković [12] analiziraju probleme koji se javljaju kod prometovanja teških kamiona standardnim cestovnim pravcima u odnosu na autoceste. Oni ukazuju na probleme degradacije kolnika, sigurnosti u prometu i opasnosti za okoliš koji se pri tomu javljaju, postavljaju problem u odnos s povećanim operativnim troškovima.

2. UTVRĐIVANJE OPERATIVNIH TROŠKOVA VOZILA (VOC)

VOC predstavljaju troškove koji su vezani uz posjedovanje, eksploataciju i održavanje vozila, a funkcija su odnosa mehaničkih svojstava vozila, geometrije prometnice, vrste i tehničkih obilježja podloge po kojoj se prometno sredstvo kreće, brzine vozila te vanjskih prometnih utjecaja [3]. Ti se troškovi iskazuju prema kategorijama vozila po jedinici transportnog puta u određenom vremenskom razdoblju [8, 157]. Najčešće se iskazuju u novčanim jedinicama u odnosu na 1.000 prijedehnih kilometara za jedno vozilo. Značenje izračuna VOC troškova je u tomu što se koriste kao mjerilo učinkovitosti prometnice, odnosno kao mjerilo za valorizaciju projekata izgradnje, proširenja ili rekonstrukcije prometnice. Komparacijom VOC troškova na određenom prometnom pravcu, s obzirom na različite varijante prometnog rješenja, moguće je valorizirati određeni projekt izgradnje prometnice što u konačnici pridonosi kvalitetnijem planiranju i odlučivanju.

Troškovi eksploatacije iskazani kroz VOC uključuju potrošnju goriva i maziva, potrošnju guma, troškove održavanja i popravka te troškove amortizacije [13]. Fiksni troškovi vozila općenito ne utječu na kvalitetu prijevoza pa se oni ne uzimaju u obzir prilikom izračuna i vrednovanja projekata. U tu grupu troškova ulaze, primjerice, troškovi osiguranja, amortizacija, financiranje nabave te skladištenje.

Za procjenu VOC troška postoje različite metodologije, međutim, svima je zajedničko komparacija stanja i prometno-tehničkih uvjeta eksploatacije sa i bez projekta. Osim HDM metode koju preporučuje Svjetska banka, poznata je HERS metoda koju je razvila Federalna agencija za autoceste Sjedinjenih Američkih Država te AASHO metoda nazvana po američkoj udruzi državnih prometnih eksperata¹.

2.1. Komponente VOC

Operativni troškovi vozila uključuju pojedine komponente izravnih troškova čiji utjecaj na ukupni trošak ovisi o uvjetima eksploatacije. Standardne komponente VOC-a su:

- potrošnja goriva,
- potrošnja ulja i tekućina koji osiguravaju mehanički rad pogonskog sustava,
- intenzitet trošenja pneumatika i drugih dijelova vozila,

¹ Više o tome u [1] i [4]

- troškovi održavanja i servisiranja,
- amortizacija i
- troškovi zaliha.

Potrošnja goriva ključna je komponenta operativnih troškova vozila. Troškovi goriva za vozila na autocesti mogu iznositi 50-70% ukupnih troškova [8, 157]. Troškovi goriva mogu se procijeniti na temelju potrošnje goriva i jedinične cijene goriva. Potrošnja goriva, ipak, ovisi, prvenstveno, o klasi, vrsti, starosti i brzini vozila. Vrlo male brzine, preveliki usponi i okuke dovode do viših stopa uporabe goriva, a time i većih ukupnih troškova goriva.

Troškovi ulja za podmazivanje strojnih dijelova i drugih tekućina kojima se osigurava funkcionalnost pogonskog sustava uključuju troškove motornog ulja, ulja za kočnice i transmisijski prijenos, tekućina za hlađenje i zaštitu motora i sl. Stopa potrošnje ovisi o svojstvima motora, načinu upravljanja vozilom te uvjetima eksploatacije - brzini vožnje, zastojsima u toku vožnje, radijusu okuka i sl.

Trošenje pneumatika ovisi o načinu vožnje, ali ponajprije o vrsti i stanju kolnika. Potrošnja guma proporcionalna je prijedenoj udaljenosti. Na cestama i uzletno-sletnim stazama u zračnim lukama, kontakt između prometnog sredstva i podloge ostvaruje se gumenim kotačima, dok je na željeznicama to obično čelični kotač. Na trošenje guma najviše utječu stanje pločnika, polumjeri zakrivljenosti prometnice te promjena brzine vožnje [9].

Troškovi ulja u 2012. godini u Hrvatskoj kretali su se u rasponu od 45 do 90 kuna po litri ovisno o viskozitetu ulja. Troškovi novih guma u 2012. godini kretali su se u rasponu od 350 kuna po gumi za male automobile, 520 kuna po gumi za veće automobile pa do 2.500 kuna po gumi za kamione. Podaci o maloprodajnim cijenama dobiveni su na temelju prikupljenih informacija od autokuća, servisnih radionica te trgovačko-uslužnih centara.

Troškovi održavanja i popravka vozila nastaju na dijelovima vozila koja trebaju zamjenu ili popravak nakon nekog vremena korištenja. Za benzinski pogon vozila to uključuje troškove akumulatora, alternatora, svjećica, crpke goriva, kompresora zraka, remena, naplataka, spojki, kočionih diskova, zatim električnih dijelova – poput žarulja, osigurača i sl. Po nekim metodologijama VOC proračuna u troškove popravka uključeni su i oni koji su posljedica prometnih nezgoda. Troškovi održavanja vozila ovise o vrsti vozila, stanju kolnika, zakrivljenosti prometnice te, u manjoj mjeri, o brzini i načinu vožnje.

Amortizacija vozila ovisi o opsegu korištenja vozila (po kilometrima putovanja) i starosti vozila (po godini proizvodnje). Stope amortizacije obično se bitno ne razlikuju prema tipu vozila budući da se viša nabavna cijena, primjerice, kamiona u odnosu na osobni automobil, kompenzira duljim životnim vijekom eksploatacije [2, 19]. Troškovi amortizacije koji se računaju na osnovi prijedjenih kilometara mogu imati značajan udio u ukupnim troškovima vozila. Stopa amortizacije može varirati ovisno o tehničkim čimbenicima kao što su zakrivljenost prometnice, stanje kolnika i brzina vožnje. Poboljšanje prometne infrastrukture može utjecati na smanjenje gubitka vrijednosti automobila i samim tim na troškove amortizacije kroz manja trošenja dijelova automobila uslijed veće kvalitete kolnika te kroz ujednačavanje prometnog toka čime se izbjegavaju česte promjene ritma vožnje i strojna naprezanja.

Kod teretnih vozila u komponente VOC troškova još ulaze troškovi zaliha koji se javljaju kao oportunitetni trošak (gubitak) zbog stajanja prometnog sredstva s teretom, odnosno kašnjenja u isporuci robe [8]. Manjak propusnosti prometnica može dovesti do povećanih gužvi, zastoja i kašnjenja što ima za posljedicu generiranje te vrste troškova. Njihova visina, međutim, ovisi i o vrijednosti robe koja se prevozi te o aktualnoj kamatnoj stopi. Tako će kašnjenja, uslijed smanjene propusnosti, imati veći utjecaj na VOC ukoliko se radi o teretu veće vrijednosti [4, 5-19].

2.2. Čimbenici koji utječu na VOC

Na operativne troškove vozila, tj. na VOC, utječu tehnički, ekonomski i društveni čimbenici. Oni nisu specifični samo za cestovna vozila nego imaju slična svojstva i utjecaje na operativne troškove prometnog sredstva bez obzira na vrstu transporta. U nastavku su izdvojeni oni čimbenici za koje postoji korelacija s tehničkim obilježjima prometne infrastrukture [8, 160]:

- tip vozila,
- vrsta goriva,
- vertikalni nagib prometnice,
- brzina vozila,
- kašnjenja u prometu,
- dinamika vožnje,
- zakrivljenost prometnice i
- stanje kolnika.

U odnosu na tip vozila kamioni i autobusi obično imaju veće operativne troškove od automobila jer troše više goriva i ulja, a i veće su cijene rezervnih dijelova. Vremenom može doći do promjene VOC-a zbog unaprjeđenja tehnologije vozila i ekonomičnosti motora pa to treba ukalkulirati prilikom evaluacije prometnog pravca. VOC se može izračunati i za prijevozna sredstva koja ne koriste motorni pogon.

Korištenje fosilnih goriva za pogon motornih vozila ima svoja ograničenja i negativno utječe na okoliš. Neizvjesno je u kojoj mjeri će se ta goriva moći eksploatirati u budućnosti budući da su njihovi prirodni izvori ograničeni. Takvo stanje dovodi do povećanog interesa za korištenjem alternativnih izvora energije kao pogonskog sredstva u transportu. Prilikom procjene utjecaja mjera kojima se unaprjeđuje prijevoz, treba uzeti u obzir povećanje udjela alternativnih goriva te broj i vrstu vozila u prometnom toku. Kod konvencionalnih goriva postoje razlike u cijeni, ovisno o vrsti goriva. Zbog toga se kod izračuna operativnih troškova mora procijeniti broj vozila u odnosu na vrstu pogonskog goriva kojeg koriste.

Prilikom kretanja uzbrdo motor se više opterećuje što ima za posljedicu veću potrošnju goriva, nego kod kretanja po ravnom dijelu prometnice. Kod kretanja po nizbrdici potrošnja goriva je niža, ali se učestalije koriste kočnice što dovodi do povećanog trošenja kočioni obloga, a time i do povećanja troškova održavanja. Prema [13] ukupni VOC je najniži za dionice s blagim vertikalnim nagibima do 4%.

Eksploatacijska brzina vozila je dominantan čimbenik u određivanju VOC-a. Poboljšanje uvjeta prijevoza utječe na putnu brzinu koja onda utječe na VOC. Kod nekih vozila potrošnja goriva smanjuje se povećanjem brzine do određene točke, nakon čega se javljaju promjene u potrošnji goriva proporcionalno povećanju brzine. Na eksploatacijsku brzinu i posredno na potrošnju goriva može se utjecati administrativnim mjerama. Te mjere uključuju ograničenje brzine sukladno prometno-tehnološkim uvjetima koji se mijenjaju ovisno o dobi dana, vršnim opterećenjima i slično [11].

Kašnjenja utječu na operativne troškove koji se manifestiraju u porastu potrošnje goriva i većim oportunitetnim troškovima u teretnom prometu zbog duljeg zadržavanja tereta na prijevoznom sredstvu. Kod vrednovanja prometnih mreža nakon unaprjeđenja ili modernizacije neke od komponenti prometnog sustava, VOC troškovi se izražavaju kao funkcija vremena kašnjenja. Gužve na autocestama stvaraju usporavanja pa čak i zaustavljanja prometnog toka, a promjene u dinamici dovode do dodatnog opterećenja vozila pri čemu se najviše troši gorivo i ulje [1]. Utjecaji kašnjenja putovanja na VOC mogu se procijeniti koristeći metodologiju koju predlaže AASHTO [1]. Prema toj metodologiji procjenjuju se kašnjenja prije i poslije poboljšanja prometnog sustava pomoću terenskih mjerenja simulacije ili uz pomoć analitičkih metoda. Izračunavaju se potrošnja goriva

po minuti kašnjenja, cijena goriva i ukupni trošak kašnjenja. Postupak se ponavlja za svaku vrstu vozila posebno. U nekim slučajevima, očekivane promjene zbog kašnjenja su poznate, dok se u drugim slučajevima moraju procijeniti (izračunavanjem kašnjenja prije i poslije zahvata na prometnoj infrastrukturi vrednuju se pojedine varijante). Kašnjenja se mogu procijeniti na temelju trenutnih uvjeta prometa i objekata na cesti.

Putna brzina vozila ovisi o tehničkim i prometno-tehnološkim uvjetima na prometnici. Pokazalo se da česte promjene brzine vožnje utječu na povećanje operativnog troška, osobito na potrošnju goriva. Kada se vozilu smanjuje ili povećava brzina dolazi do dodatnog opterećenja koje rezultira većim korištenjem goriva i ulja. Izgradnjom nove prometnice ili poboljšavanjem uvjeta postojeće (npr. dodavanjem dodatnog prometnog traka) može se utjecati na ujednačavanje prometnog toka i smanjivanje intenziteta promjene brzine vožnje. Na taj način utječe se na smanjivanje operativnih troškova vozila. Utjecaj dinamike vožnje na operativne troškove vozila posebno je izražen u gradskom prometu.

Prilikom prolaska kroz okuke, vozilo treba neutralizirati utjecaj centrifugalne sile kako bi ostalo u radijalnoj putanji. Zbog trenja povećava se trošenje guma, troškovi održavanja i zamjene. Kod izračuna VOC-a to treba uzeti u obzir. Utjecaj horizontalne zakrivljenosti prometnice na troškove vozila ovisi o brzini prolaska vozila kroz okuku. Pri tomu se odvojeno izračunavaju troškovi za dionice s brzinama manjim od 88 km/h, od dionica kod kojih je projektirana brzina prolaska kroz okuke veća od 88 km/h².

Hrapavost kolnika izražava se veličinom PSI (engl. *Present Serviceability Index*) ili IRI indeksom (engl. *International Roughness Index*), a utječe na trošenje guma, troškove popravka i održavanja. Povećano trenje između kotača i podloge može dovesti do veće razine potrošnje goriva u odnosu na putovanje istom brzinom na glatkoj površini. Ukoliko je površina izrazito neravna, dolazi do povećanih vibracija, trošenja dijelova vozila. Istraživanja o utjecajima stanja kolnika na VOC proveli su Svjetska banka i druga međunarodna tijela. Prema studiji koja je provedena u Novom Zelandu [6] na različitim vrstama kolnika, zaključeno je da kvalitetniji kolnici (mala hrapavost) imaju relativno mali utjecaj na operativne troškove vozila, a dodatni troškovi se pojavljuju tek kad IRI prelazi vrijednost od 3,33 m/km.

Ostali čimbenici koji mogu utjecati na operativne troškove vozila uključuju uvjete pod kojima se upravlja vozilom, tehničko stanje vozila, masu vozila, troškove održavanja, uključujući troškove radne snage te troškove rezervnih dijelova. Operativni troškovi gospodarskih vozila uključuju i druge troškove poput troškova koji su posljedica promjena reda vožnje.

3. STUDIJA IZRAČUNA VOC

Kalkulacijom operativnih troškova vozila moguće je usporediti učinkovitost prometno-tehničkih rješenja i isplativosti projekta izgradnje spojne ceste D404 između kontejnerskog terminala luke Rijeka i cestovnog čvora Čavle. Usporedba VOC rađena je u odnosu na dionicu stare Grobničke ceste koja vodi iz središta grada Rijeke preko Orehovice do cestovnog čvora Čavle. Pritom je naglasak stavljen na metodologiju kako bi se pokazala učinkovitost njezine primjene i značenja VOC troška prilikom procjene projekata izgradnje i modernizacije prometne infrastrukture. Iz tog razloga autori su se ograničili samo na neke komponente VOC troška. Proračun je rađen za dvije vrste vozila: osobno vozilo gdje je kao primjer uzeta srednja veličina automobila marke Volkswagen Golf te teretno vozilo gdje je, kao primjer, uzeta srednja veličina kamionskog tegljača sa 2 osovine marke Mercedes Benz Actros. Kalkulacija VOC prikazana je u tablici 1.

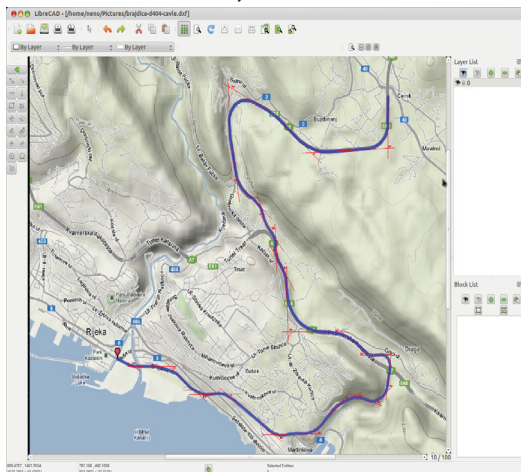
² Prema HERS metodologiji koju koristi Federalna agencija za autoceste Sjedinjenih Američkih Država.

Tablica 1. Kalkulacija VOC troškova usporednih cestovnih dionica

Tehnička obilježja	Mjera	Dionica Brajdica-Čavle (D404)		Dionica Brajdica – Grobnička cesta - Čavle	
		Automobil	Kamion	Automobil	Kamion
Vrsta vozila		Automobil	Kamion	Automobil	Kamion
Tip kolnika		Asfalt	Asfalt	Asfalt	Asfalt
Prosječna hrapavost (IRI)	m/km	1.10	1.10	3.00	3.00
Prosječan pozitivan vertikalni nagib	%	3.10	3.10	3.60	3.60
Prosječan negativan vertikalni nagib	%	3.50	3.50	0	0
Udio putovanja uzbrdo	%	90.00	90.00	90.00	90.00
Prosječna horizontalna zakrivljenost	deg/km	98.97	98.97	297.19	297.19
Prosječna superelevacija	Udio	0.01	0.01	0.04	0.04
Visina terena	m	163.50	163.50	174.50	174.50
Broj traka		Više od 1	Više od 1	1	1
TIP VOZILA		WV Golf Plus	Mercedes Actros	WV Golf Plus	Mercedes Actros
Cijena novog vozila	US\$	25 000	80 000	25 000	80 000
Troškovi goriva	\$/litri	1.80	1.80	1.80	1.80
Troškovi maziva	\$/litri	20.00	20.00	20.00	20.00
Troškovi guma	\$/gumi	90.00	90.00	90.00	90.00
Troškovi održavanja	\$/sat	35.00	35.00	35.00	35.00
Godišnja kamatna stopa	%	6.00	6.00	6.00	6.00
Brzina vozila	km/h	84.90	58.29	36.51	18.38
REFERENTNA JEDINICA	1000 km				
Potrošnja goriva	litra	104.37	1066.66	129.88	1139.01
Potrošnja maziva	litra	1.72	3.24	2.00	3.52
Trošenje guma	ekvivalent novih guma	0.05	0.37	0.07	0.47
Rad na održavanju	sati	2.52	6.55	3.03	10.21
Potrošni rezervni dijelovi	% od cijene novog voz.	0.19	0.10	0.27	0.22
Amortizacija	% od cijene novog voz.	0.84	0.67	1.04	1.46
Istrošenost	% od cijene novog voz.	0.08	0.09	0.13	0.25
UKUPNI VOC PO VOZILU	US\$/1000km	593.22	2931.86	744.97	4067.28
Gorivo	\$	187.87	1919.98	233.78	2050.22
Maziva	\$	34.32	64.72	40.05	70.45
Gume	\$	4.81	32.98	6.03	42.17
Rad na održavanju	\$	88.22	229.30	106.16	357.40
Potrošni rezervni dijelovi	\$	48.05	76.35	67.40	179.55
Amortizacija	\$	208.11	535.80	259.00	1168.12
Istrošenost	\$	20.83	72.73	32.54	199.36

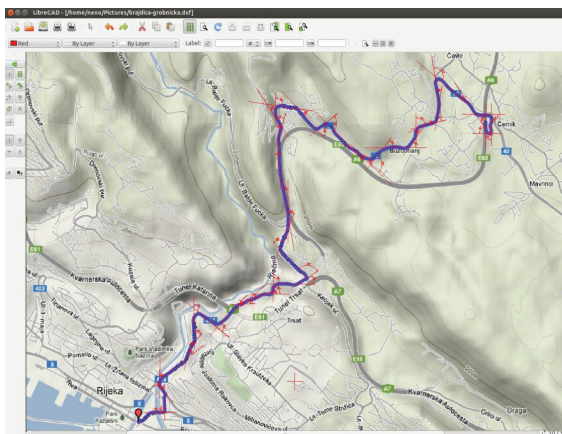
Ukupna duljina dionice u prvoj varijanti, preko D404 je 11,10 km (Slika 1). Ta dionica je u cijelosti višetraka s dva, odnosno tri traka na pojedinim dijelovima u svakom smjeru. Vertikalni nagibi su umjereniji, a radijusi okuka veći u odnosu na staru cestu. Tehnička obilježja prometnice omogućavaju brzine veće od 60 km/h.

Slika 1.: Dionica Brajdica – D404 – čvor Čavle



Dionica koja vodi starom Grobničkom cestom preko Orehovice do čvora Čavle (Slika 2.) nešto je kraća i njena duljina iznosi 8,2 km. Ta dionica korištena je za transport kontejnera prema unutrašnjosti dok nije bila izrađena spojna cesta D404. Dionica dijelom prolazi kroz uže gradsko središte pa je podložna prometnim zastojevima. Dodatne poteškoće stvaraju sudjelovanje javnog prijevoza te gusta prometna signalizacija čime se usporava vrijeme putovanja. Obilježja te dionice su: izražena hrapavost, neravan kolnik, oscilacije vertikalnog nagiba te veliki broj okuka manjih radijusa.

Slika 2.: Dionica Brajdica – Grobnička cesta – čvor Čavle



Kalkulacija ukupnih operativnih troškova provedena je za četiri različita scenarija opterećenja prometnice za svaki tip vozila. Usporedni prikaz rezultata izračuna VOC troškova nalazi se u tablici 2. za osobne automobile, odnosno u tablici 3. za kamione³. Ukupni VOC po vozilu na 1.000 km prve dionice je 593,22 USD, dok je kod druge dionice znatno veći i iznosi 744,97 USD. Može se zaključiti da su operativni troškovi na dionici D-404 manji za obje grupe vozila. Iako se iz priloženih VOC izračuna može primijetiti da su troškovi na dnevnoj i godišnjoj bazi za dionicu D-404 viši u svakom obliku opterećenja prometnice, do približno 20 %, ukupni VOC za tu dionicu je, ipak, manji. Razlog tomu je manja duljina prometnice Brajdica – Grobnička cesta - Čavle. Kad bismo izveli studiju istih dionica za jednaku kilometražu, dobiveni rezultati troškova na dnevnoj i godišnjoj osnovi bili bi veći kod dionice Brajdica - Grobnička cesta - Čavle. Naime, prva dionica je duža i iznosi 11,10 km u odnosu na drugu koja iznosi 8,19 km.

Tablica 2.: Rezultati izračuna VOC za automobile (iznosi u US\$)

Opterećenje prometnice za različite scenarije (broj automobila dnevno)										
Dionica	VOC (\$/1000 vkm)	Duljina dionice (km)	Prometni scenarij (vozila/dan)							
			5.000		7.000		10.000		15.000	
			Dnevno	Godišnje	Dnevno	Godišnje	Dnevno	Godišnje	Dnevno	Godišnje
D404	593,22	11,10	32.923,71	12.017.154,15	46.093,20	16.824.015,81	65.847,42	24.034.308,30	98.771,13	36.051.462,45
Grobnička cesta	744,97	8,19	30.506,52	11.134.880,35	42.709,13	15.588.832,49	61.013,04	22.269.760,70	91.519,56	33.404.641,04

Tablica 3.: Rezultati izračuna VOC za kamione (iznosi u US\$)

Opterećenje prometnice za različite scenarije (broj kamiona dnevno)										
Dionica	VOC (\$/1000 vkm)	Duljina dionice (km)	Prometni scenarij (vozila/dan)							
			500		1.000		1.500		2.000	
			Dnevno	Godišnje	Dnevno	Godišnje	Dnevno	Godišnje	Dnevno	Godišnje
D404	2.931,86	11,10	16.271,82	5.939.215,40	32.543,65	11.878.430,79	48.815,47	17.817.646,18	65.087,29	23.756.861,58
Grobnička cesta	4.067,28	8,19	16.655,51	6.079.261,73	33.311,02	12.158.523,47	49.966,53	18.237.785,20	66.622,05	24.317.046,94

Kod kamiona je primjetna veća razlika u troškovima, nego što je to slučaj kod automobila. Ukupni VOC kod kamiona za dionicu D-404 je 2.931,86 USD, što je 40% manje u odnosu na dionicu Brajdica – Grobnička cesta – Čavle čiji VOC iznosi 4.067,28 USD. Iako je dionica Brajdica - Grobnička cesta - Čavle kraća, opterećenje prometnice je veće pa je ukupna razlika u VOC troškovima kod teretnih vozila još izrazitija. Iz navedenog se može zaključiti u kojoj mjeri je projekt izgradnje novog dijela dionice D-404 bio koristan za unaprjeđenje efikasnosti prometne mreže za područje grada Rijeke.

4. ZAKLJUČAK

Metodologijom kalkulacije VOC troškova moguće je ocijeniti učinke i koristi od izgradnje novog objekta prometne infrastrukture, odnosno modernizacije postojeće prometnice. Iako postoji nekoliko podvrsta izračuna VOC troškova, u ovom radu je korištena HDM metoda Svjetske banke zbog svoje jednostavnosti. Testiranjem na konkretnom primjeru cestovnih prometnica koje spajaju kontejnerski terminal luke Rijeka s cestovnim čvorištem Čavle, autori su primarno željeli pokazati opravdanost primjene evaluacije prometno-infrastrukturnih projekata kroz kvantifikaciju operativnih troškova vozila koja koriste navedene prometnice. Prilikom komparacije nove prometnice

³ Kalkulacija je napravljena uz pomoć HDM-VOC softverskog modela Svjetske banke. Pretpostavljeno je da je prometni tok ravnomjerno raspoređen u oba smjera 50/50.

u odnosu na stari prometni pravac obuhvaćene su osnovne komponente VOC troškova za dvije kategorije vozila. Usprkos takvom, pojednostavnjenom pristupu, iskazane su prednosti novog prometnog rješenja kroz uštede u operativnim troškovima vozila u odnosu na prethodno stanje prometne mreže.

LITERATURA

1. AASHTO, *User Benefit Analysis for Highways*, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington DC, 2003.
2. Barnes, G., Langworthy, P., *The per-mile Costs of Operating Automobiles and Trucks*, Final Report, State and Local Policy Program, University of Minnesota, Minneapolis, 2003.
3. Berthelot, C.F. et.al., *Mechanistic-Probabilistic Vehicle Operating Cost Model*, Journal of Transportation Engineering, Vol.122, 5, 1996. Reston, VA, 1996.
4. FHWA, *Highway Economic Requirements System Technical Manual*, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, DC, 2002.
5. Gašparović S., Jakovčić M., *Cestovni promet kao čimbenik razvoja prometnog sustava Republike Hrvatske*, 5. Hrvatski geografski kongres; Geografija u suvremenom društvu, Osijek, 2011.
6. Opus Central Laboratories, *Review of VOC – Pavement Roughness Relationships Contained in Transfund's Project Evaluation*, Lower Hutt, New Zealand, 1999.
7. Poletan T., *Kopnena prometna infrastruktura u funkciji riječkog prometnog pravca*, magistarski rad, Rijeka, 2001.
8. Sinha, K.C, Labi, S., *Transportation Decision Making: Principles of Project Evaluation and Programming*, Wiley, Hoboken NJ, 2007.
9. Thoresen T., Roper R., *Review and Enhancement of Vehicle Operating Cost Models: Assessment of Non-urban Evaluation Models*, Transp.Res.Rep.279, Australian Road Research Board, Victoria, Australia, 1996.
10. Vilke S., *Optimizacija kopnene prometne infrastrukture između Paneuropskog koridora V i ogranka Vb*, doktorski rad, Rijeka, 2012.
11. VTPI, *Transportation Cost and Benefit Analysis: Vehicle Costs*, Victoria Transportation Policy Institute, Victoria BC, Canada, 2005.
12. Vurdelja J., Pilih Z., Stanković M., *Regulating traffic of heavy cargo vehicles on motorway corridors in Croatia*, Promet-Traffic-Traffico, br.14, 2002.
13. Zaniwski, J.P. et.al., *Vehicle Operating Costs, Fuel Consumption and Pavement Type and Condition Factors*, Final Report, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, DC, 1982.

Transport Infrastructure Evaluation by Comparing Vehicle Operating Costs

SUMMARY

In planning the transport infrastructure, it is necessary for the effects of the newly designed roadway to be evaluated with regard to the existing situation. One of the criteria to be used for the purpose is the Vehicle Operating Cost – VOC. The basic components comprised with the VOC are the fuel, lubricants and other liquids consumption, the level of wear and tear and maintenance and overhauling costs. Vehicle operating costs are influenced by various traffic related technical factors which may be brought in correlation with roadway related technical features. In the case study elaborated in this paper, VOC have been compared using the HDM-VOC methodology on the roadway link between the Rijeka Container Terminal and the road junction of Čavle.

Key words: vehicle operating cost (VOC), transport infrastructure, the Rijeka road junction