

АНАЛИЗА ЗАВИСНОСТИ ТРОШКОВА ЕКСПЛОАТАЦИЈЕ И БРЗИНА НА ОДАБРАНИМ ДЕОНИЦАМА ДВОТРАЧНИХ ПУТЕВА У РЕПУБЛИЦИ СРБИЈИ

Весна Мештеровић, дипл. инж. саоб.

Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет,
vesnamesterovic@gmail.com

др Драженко Главић, дипл. инж. саоб.

Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет, drazen@sf.bg.ac.rs

DOI: 10.31075/PIS.64.02.06

Стручни рад

Резиме: Добро развијена, ефикасна и сигурна мрежа путева, представља важан фактор друштвено – економског развоја једне земље, а да би се наведено постигло, један од корака је и управљање брзинама на мрежи. Последњих година, развијен је концепт оптималних брзина, који подразумева оптимизацију ограничења брзина са аспекта друштвених трошкова. С тим у вези, идеја овога рада била је да се кроз примену модела, испита и прикаже зависност трошкова експлоатације, којима су обухваћени директни трошкови експлоатације моторног возила и трошкови времена путовања путника у возилима, од различитих облика брзине на одређеном сегменту пута, како би се извели закључци о прихватљивости појединих ограничења брзина у локалним условима, са аспекта трошкова корисника. У раду су, као основ за анализу коришћени подаци о слободним брзинама и техничко – експлоатационим карактеристикама сегмената путева, као и подаци о реалним експлоатационим брзинама и постојећим ограничењима брзина.

Кључне речи: трошкови експлоатације возила, трошкови времена путовања, двотрачни путеви, ограничење брзине, експлоатациона брзина.

ANALYSIS OF OPERATING COSTS AND SPEED RELATIONSHIP ON SELECTED SECTIONS OF TWO LANE RURAL HIGHWAYS IN REPUBLIC OF SERBIA

Vesna Mesterovic, B.Sc. T.E.

University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering,
vesnamesterovic@gmail.com

Drazenko Glavic, Ph.D. T.E.

University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering,
drazen@sf.bg.ac.rs

Professional paper

Abstract: A well-developed, efficient and safe road network is an important factor in the socio-economic development of a country, and in order to achieve this, one of the steps is speed management on road network. In recent years, the concept of optimal speed has been developed, which represents the speed limits optimization in a term of social costs. Therefore, the idea of this paper was to examine and show the dependence of the operating costs, which covers the direct vehicle operating costs and time travel costs of passengers in vehicles, from different forms of speed on a certain segment of road, by applying the cost model in order to investigate the acceptability of certain speed limits in local conditions in a term of users costs. The data on free speeds and characteristics of road segments, as well as data on real operating speeds and existing speed limits, were used as the basis for the analysis.

Keywords: vehicle operating costs, time travel costs, two-lane rural highways, speed limit, operating speed.

1. УВОД

У жељи да се повећа мобилност и смањи време путовања на путевима, а самим тим и трошкови корисника, тежи се већој ефикасности саобраћаја, коју је могуће остварити повећањем брзине кретања возила. Једна од мера управљања брзинама на путевима је дефинисање ограничења брзине. Наравно, постављено ограничење брзине би требало да буде у складу са карактеристикама и функцијом пута, окружењем и безбедношћу, али и да одговори на захтеве у погледу мобилности и времена путовања. Уколико то није случај, возачи губе поверење у постављена ограничења и цео систем управљања брзинама је доведен у питање. Посебно је проблематично то што не кредибилна ограничења брзина, ако их на мрежи има у већој мери, могу довести до потцењивања смислених ограничења брзина од стране возача.

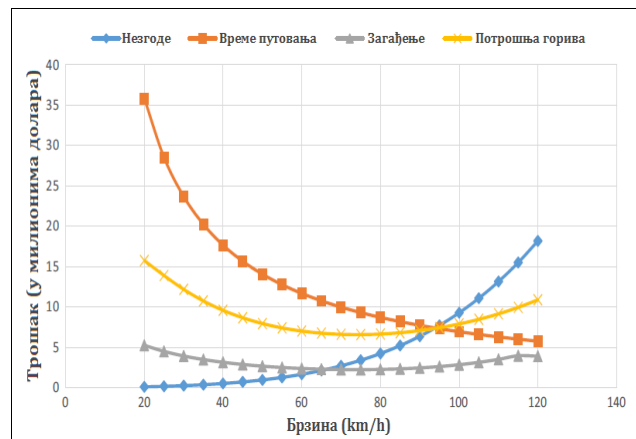
С тим у вези, идеја овога рада била је да се утврди зависност трошкова експлоатације, којима су обухваћени директни трошкови експлоатације моторног возила и трошкови времена путовања путника у возилима, од различитих облика брзине на одређеном путу. Наменски, трошкови су поређени при брзинама ограничења, 85. перцентила и експлоатационих брзина по моделу. На основу тога, донети су закључци о прихватљивости појединих ограничења брзина са аспекта трошкова корисника.

2. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ

Добро развијена, ефикасна и сигурна мрежа путева, представља важан фактор друштвено – економског развоја једне земље. Да би се то постигло, један од корака је и управљање брзинама на мрежи. Законска ограничења брзине заснивају се на концепту да се исте категорије путева могу безбедно експлоатисати при одређеним максималним брзинама у идеалним условима (Forbes, 2012). Одговарајућа брзина за одређену деоницу пута се поставља на такав начин да се у обзир узима њен утицај на безбедност, мобилност, животну средину и квалитет живота људи који живе у непосредној близини пута (OECD, 2006).

Последњих година, развијен је концепт оптималних брзина, који подразумева оптимизацију ограничења брзина са аспекта друштвених трошкова. Постоји много фактора који учествују у одређивању оптималних брзина, укључујући време путовања, број саобраћајних незгода, емисију штетних материја и потрошњу горива (Hosseinlou et al., 2015). Оптимална брзина за појединачног возача, може се разликовати од оптималне брзине за заједницу (Elvik, 2002). Оптимално ограничење брзине је ограничење брзине које доводи до најмањих укупних друштвених трошкова, укључујући трошкове експлоатације моторних возила, трошкове времена путовања, трошкове саобраћајних незгода и остале друштвене трошкове (Forbes, 2012). Cameron (2012) је показао да рационализација ограничења брзине примењивих за сваку класу ванградских путева и за сваки тип возила, чинећи ограничења брзине конзистентним са оптималном брзином у сваком случају, има потенцијал да значајно смањи трошкове саобраћајних незгода.

Имајући у виду да је један од препознатих начина за контролу друштвених трошкова путовања у саобраћајним системима дефинисање ограничења брзине засновано на појму оптималне брзине у односу на друштвене трошкове, Hosseinlou et al. (2015) су испитивали понашање друштвених трошкова путовања (трошкови времена путовања, саобраћајних незгода, потрошње горива и загађења животне средине) при промени брзине. Резултати овог истраживања су показали да је код мањих брзина трошак времена путовања већи од осталих трошкова, али да је при већим брзинама, то најнижи друштвени трошак, док су трошкови незгода највиши (Слика 1). Оптимална брзина заснована на друштвеним трошковима емисије загађујућих материја и потрошње горива, била би 74 km/h, судећи по резултатима овог истраживања.



Слика 1. Друштвени трошкови путовања при различитим вредностима брзина

Извор: (Hosseinlou et al., 2015, стр. 39)

Дакле, јасно је да постоји међусобна зависност брзине возила, односно тока и трошкова експлоатације. Трошкови експлоатације укључују директне трошкове експлоатације возила (трошкови горива и додатни трошкови који укључују гуме, уље, поправке и одржавање) и трошкове времена путовања путника у возилима (Akcelik & Besley, 2003). Експлоатациона брзина возила претежно утиче на степен потрошње горива, а даља прилагођавања степена потрошње горива се врше како би се укључили детаљи везани за локацију, као што су уздужни нагиб, закривљеност, загушење и храпавост (DTMR, 2011).

Брзина се у многим истраживањима и студијама користи и као основа приликом примене метода процене вредности времена путовања базираним на моделима избора брзине. Како би се оценила вредност времена, у моделима избора брзине се претпоставља да се рационални возач одлучује за ону брзину при којој су му укупни трошкови путовања најмањи (McFarland & Chui, 1987).

3. МЕТОДОЛОГИЈА

Како би се испитао однос економских трошкова експлоатације при различитим облицима брзине на одређеном сегменту пута, у обзир су узете експлоатациона брзина утврђена по моделу, постојеће ограничење брзине на разматраном делу пута и вредност 85. перцентила брзине возила у току. У прорачун трошкова експлоатације увршћени су трошкови експлоатације основних категорија моторних возила у току и трошкови времена путовања путника у путничким аутомобилима и у аутобусима.

На мрежи су одабране три двотрачне деонице, са различитим ограничењима брзина, као и различитих вредности просечног годишњег дневног саобраћаја и различитих карактеристика пута. Прорачуни економских трошкова применом трошковних модела преузетих од Кузовића (1994), сведени су на километар деонице, у зони аутоматских бројача саобраћаја. Трошкови су процењени за четири основне категорије возила: путничке аутомобиле, аутобусе, теретна возила и аутовозове. Процена је вршена за једно возило, по категорији.

Подаци о техничко – експлоатационим карактеристикама деоница добијени су из постојеће базе података и емпиријским истраживањима на терену, а подаци о просечном годишњем дневном саобраћају и брзинама добијени су са аутоматских бројача саобраћаја. У раду су, коришћењем аналитичких модела и метода, утврђене експлоатационе брзине тока и 85. перцентил брзине, док је ограничење брзине констатовано на терену. Трошкови експлоатације при одабраним брзинама за све три деонице, прорачунати су за 2016. годину.

У прорачун трошкова, укључени су трошкови експлоатације основних категорија моторних возила и трошкови времена путовања путника у аутомобилима и аутобусима. За полазне вредности трошкова експлоатације моторних возила, усвојене су оне које важе у идеалним условима за одређену категорију возила, а потом су кориговане одговарајућим факторима. Општи модел прорачуна стварних трошкова потрошње горива, уља, пнеуматика и трошкова одржавања и оправке који је коришћен, гласи:

$$T_s = T_i \cdot f_u \cdot f_\beta \cdot f_k \cdot f_{sk} \cdot f_{\Delta v} \quad [din/km/voz] \quad (1)$$

Где су T_s стварни трошкови потрошње горива, уља, пнеуматика, трошкова одржавања и оправке; T_i јединични трошкови у идеалним условима; f_β фактор утицаја степена закривљености пута; f_k фактор утицаја врсте коловозног застора; f_{sk} фактор утицаја стања коловоза; $f_{\Delta v}$ фактор утицаја одређене експлоатационе брзине у односу на брзину у неометаном току на трошкове потрошње горива, уља, пнеуматика, трошкова одржавања и оправке.

Трошкови времена путовања путника на деоницама посматрани су, односно прорачунати одвојено за путнички аутомобил и аутобус. Тако су, у прорачуну, коришћена наредна два модела за утврђивање трошкова:

$$T_{vpPA} = \frac{(C_{h_{pPA}} \times n_{pPA} \times P_{pPA} + C_{h_{oPA}} \times n_{pPA} \times P_{oPA})}{v} \quad (2)$$

Где су T_{vpPA} трошкови времена путовања путника путничким аутомобилом на деоници, $C_{h_{pPA}}$ цена сата пословних путовања путничким аутомобилом (усвојено: 453 дин.), n_{pPA} просечна попуњеност путничког аутомобила, P_{pPA} проценат пословних путовања путничким аутомобилом, $C_{h_{oPA}}$ цена сата осталих путовања путничким аутомобилом (усвојено: 136 дин.), P_{oPA} проценат осталих путовања путничким аутомобилом.

$$T_{vpBUS} = \frac{(C_{h_{pBUS}} \times n_{BUS} \times P_{pBUS} + C_{h_{oBUS}} \times n_{BUS} \times P_{oBUS})}{v} \quad (3)$$

Где су $C_{h_{pBUS}}$ цена сата пословних путовања аутобусом (усвојено: 408 дин.), n_{BUS} просечна попуњеност аутобуса, P_{pBUS} проценат пословних путовања аутобусом, $C_{h_{oBUS}}$ цена сата осталих путовања аутобусом (усвојено: 122 дин.), P_{oBUS} проценат осталих путовања аутобусом.

4. РЕЗУЛТАТИ СА ДИСКУСИЈОМ

У наставку поглавља, истакнуте су утврђене вредности одабраних брзина по деоницама, а потом су приказани и анализирани резултати прорачуна трошкова експлоатације на одабраним деоницама.

4.1. Анализа брзина

Да би се трошкови експлоатације при одабраним брзинама (експлоатациона брзина по моделу, 85. перцентил и постојеће ограничење брзине) могли прорачунати, било је неопходно утврдити које су то вредности брзина за сваку од деоница, које ће бити коришћене. Применом аналитичких модела и метода, као и проверама на терену, ове вредности су утврђене и приказане у Табели 1.

Све три деонице су сегменти путева IB реда, са различитим величинама просечног годишњег дневног саобраћаја, различитим слободним брзинама тока и различитим ограничењима брзина. Примећено је да су на све три деонице, вредности 85. перцентила брзине изнад вредности ограничења, а да је та разлика веома значајна на деоници Шабац – Лојанице.

Табела 1. Вредности одабраних брзина по деоницама у km/h

Брзина	Жупањак - Дудовица	Чачак - Прељина	Шабац - Лојанице
V_{sl}	92	79	83
V_e	73	72	81
V_{85}	93	69	85
V_{ogr}	80	60	50

4.2. Анализа трошкова експлоатације моторних возила

Како би се схватио однос величина јединичних економских трошкова основних категорија возила по километру деонице, у Табели 2, обједињени су јединични економски трошкови експлоатације моторних возила на деоници Шабац – Лојанице. Вредности су изражене у динарима.

Табела 2. Јединични економски трошкови експлоатације моторних возила на деоници Шабац – Лојанице у динарима

	ПА	БУС	ТВ	АВ
V_e (81)	27.89	82.84	92.30	162.41
V_{85} (85)	27.68	81.43	93.31	150.19
V_{ogr} (50)	32.51	99.03	104.38	176.27

На основу резултата прорачуна приказаних у Табели 2, може се закључити да је трошак експлоатације аутовоза, на пример, и до 5 пута већи у односу на трошак експлоатације путничког аутомобила. Друго, будући да је разлика између трошкова експлоатације при брзини ограничења и 85. перцентила брзине значајна, услед велике разлике између величина самих брзина, може се закључити да возачи, свесно или не, бирају брзине при којима се остварују веће уштеде, иако то подразумева вођњу изнад ограничења.

4.3. Анализа трошкова времена путовања путника

Како су путници карактеристични за путничке аутомобиле и аутобусе, прорачун економских трошкова времена путовања вршен је за ове две категорије, по возилу за километар деонице. За просечну попуњеност возила узети су фактори 2,1 за путнички аутомобил, односно 45 за аутобус, усвојени на основу резултата претходних истраживања. За однос пословних и осталих путовања путничким аутомобилом усвојено је 30/70, односно за аутобусе 10/90. Како би се стекао утисак о реду величина, у Табели 2 приказани су резултати прорачуна за деоницу Чачак – Прељина. Реч је о јединичним економским трошковима, који су одређени низом усвојених константи, а у функцији брзине. Ако би се, на пример, ови трошкови проширили на цео ток, односно мултиплицирали за део протока који чине путнички аутомобиле, односно аутобусе, тада би однос трошкова између путничких аутомобила и аутобуса, био супротан, будући да је, конкретно за предметну деоницу, учешће путничког аутомобила у току готово 87%. Дакле, повећање брзине испраћено је смањењем економских трошкова времена путовања, што је и логично, а вредности трошкова за аутобусе су веће, у складу са бројем путника и економским ценама путовања за различите сврхе и видове превоза.

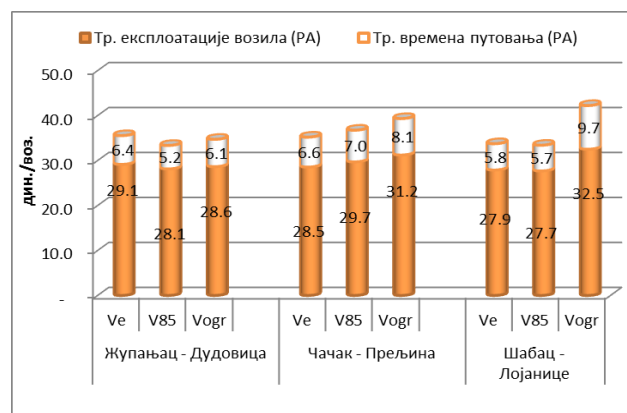
Табела 3. Јединични економски трошкови путовања путника на деоници Чачак – Прељина у динарима

	ПА	БУС
V_e (72) km/h	6.65	94.13
V_{85} (69) km/h	7.03	98.22
V_{ogr} (60) km/h	8.09	112.95

3.4. Синтеза добијених резултата

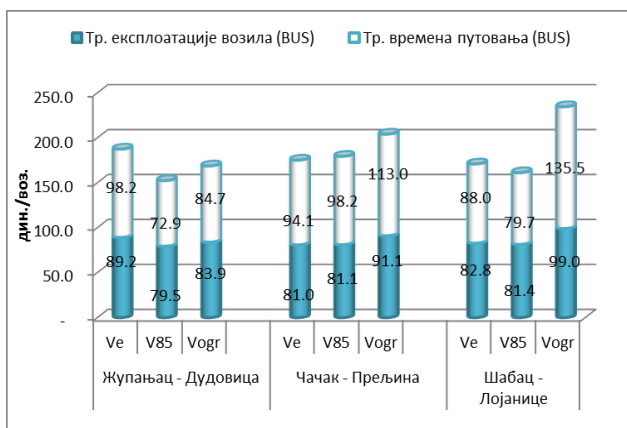
На крају су трошкови експлоатације моторних возила основних категорија које су биле предмет анализе и трошкови времена путовања путника у путничким аутомобилима и аутобусима обједињени, како би се установили јединични економски трошкови основних категорија на километру сваке од деоница, при одабраним брзинама. Трошкови су изражени у динарима.

Будући да путнички аутомобили чине преко 80 % саобраћајног тока на све три деонице, извршен је графички приказ добијених резултата прорачуна трошкова експлоатације за ову категорију (Слика 1). Трошкови су упросечени на једно возило, по километру деонице. Показало се да, осим на првој деоници, на којој је ограничење брзине 80 km/h, а брзина 85. перцентила (V_{85}) и експлоатациона брзина утврђена по моделу (V_e) су приближне ограниченој, на остале две деонице постоји израженије одступање трошкова експлоатације путничког аутомобила при ограниченој брзини, односно ови трошкови су осетно већи. То је нарочито случај на трећој деоници (Шабац – Лојанице), где је ограничење брзине 50 km/h и значајно мање од експлоатационе брзине и 85. перцентила. Такође, при овој брзини већи је и удео трошкова времена путовања путника, што је и логично, будући да се при нижим брзинама време путовања повећава, а самим тим расту и трошкови због изгубљеног времена.



Слика 2. Јединични трошак експлоатације путничког аутомобила по деоницама
Извор: (Аутори)

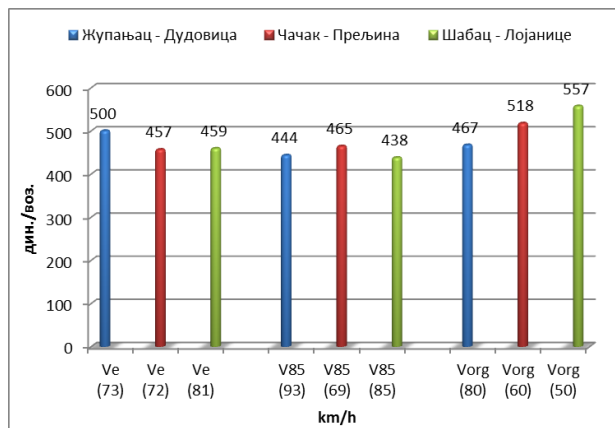
Са друге стране, код аутобуса, при конкретној брзини, учешће анализираних трошкова у укупном трошку експлоатације је другачије (Слика 3). Не само да је укупни економски трошак експлоатације за један аутобус значајно већи, већ је и удео трошкова времена путовања у укупним трошковима експлоатације већи. Такође, примећено је да трошкови времена путовања при мањим брзинама расту брже од трошкова експлоатације моторног возила. Најбољи пример за то су економски трошкови експлоатације при брзини ограничења (50 km/h) на трећој деоници, односно при брзини 85. перцентила (93 km/h) на првој деоници. У првом случају, је економски трошак времена путовања путника већи од трошка експлоатације моторног возила, док је у другом случају овај трошак мањи.



Слика 3. Јединични економски трошак експлоатације аутобуса по деоницама
Извор: (Аутори)

Сликом 4, графички су представљени збирни јединични трошкови експлоатације основних категорија возила при одабраним брзинама по деоницама. Резултати показују да се на две од три деонице највећи економски трошак експлоатације остварује при ограниченим брзинама, односно да трошкови при ограничењу брзине линеарно расту, уколико је ограничење брзине ниже. Ако се трошкови анализирају по деоницама, разлике између трошкова при одабраним брзинама прате одређени поредак.

Међутим, ако се, на пример, упореде само трошкови оперативних брзина (V_{85}) за прву и трећу деоницу, или трошкови експлоатационих брзина по моделу (V_e) за другу и трећу деоницу, трошкови се не разликују много, иако су разлике у брзинама значајне. Ово је последица разлика у техничко – експлоатационим карактеристикама појединих деоница, а самим тим и слободних брзина у току, будући да модел укључује утицај радијуса, уздужних нагиба, стања коловоза и слободних брзина.



Слика 4. Јединични економски трошкови корисника на деоницама при одабраним брзинама
Извор: (Аутори)

На основу добијених резултата, изводи се закључак да је, са аспекта трошкова, тренутно ограничење брзине неприхватљиво, односно да су се вредности 85. перцентила брзина показале као најповољније у погледу укупних уштеда у економским трошковима експлоатације, на две од три деонице. Треба нагласити да овај аспект није и не сме да буде једини критеријум за одлуку о избору ограничења брзине на одређеном делу пута, већ да би у обзир требало узети првенствено категорију пута, геометрију пута, врсте корисника, услове окружења, контролу приступа и податке о саобраћајним незгодама. Поред тога, ако би се резултати прорачуна добијени у раду, проширили на целу ванградску мрежу путева Србије просечни годишњи дневни саобраћај на свим деоницама, добиле би се огромне вредности трошкова на годишњем нивоу, нарочито ако се у виду има да су на великом делу мреже заступљена ниска ограничења брзина.

3. ЗАКЉУЧАК

Основна сврха овога рада била је да се, кроз примену модела трошкова, утврди зависност трошкова експлоатације, којима су обухваћени економски трошкови експлоатације моторног возила и економски трошкови времена путовања путника у возилима, и одабраних брзина на одређеном сегменту пута, како би се извели закључци о прихватљивости појединих ограничења брзина у локалним условима, са аспекта трошкова корисника. Резултати су показали да су, са аспекта трошкова, тренутна ограничења брзине неприхватљива, односно да су се вредности 85. перцентила брзина показале као најповољније у погледу укупних уштеда у економским трошковима експлоатације на две од три деонице.

У истраживању су наменски узете деонице са различитим ограничењима брзина, као и различитих карактеристика, односно са различитим брзинама слободног тока. Поставља се питање концепта управљања брзинама на сва три сегмента пута, односно деонице, будући да су примећене значајне разлике између вредности слободних брзина и постављених ограничења, чиме се кредибилитет и смисленост ограничења доводе у питање, а дисперзија брзина у току повећава. Уз то, реалне брзине у току значајно су изнад ограничених, а возачи свесно, или не, теже брзинама при којима остварују веће уштеде у експлоатацији возила и времену путовања.

Свакако, да би се управљало брзинама на локалном нивоу, није довољно у анализу укључити само трошкове корисника, већ би у оптимизацију трошкова требало додати и трошкове саобраћајних незгода, емисија штетних гасова и слично. Последњих година, овај приступ је у свету све више прихваћен. Такође, ако би се резултати прорачуна добијени у раду, на годишњем нивоу проширили на целу мрежу путева Србије и просечан годишњи дневни саобраћај по свим деоницама на мрежи, добијене вредности би биле упоредиве са вредностима годишњих трошкова саобраћајних незгода у Србији. На тај начин, могло би се утврдити да ли Република Србија, на годишњем нивоу, са аспекта трошкова, више изгуби на ниским ограничењима брзине постављеним без јасне политике и процедура, тј. некредибилним ограничењима брзина, и трошковима експлоатације који на таквој мрежи настају, или паметним управљањем брзинама на мрежи кроз оптимизацију трошкова експлоатације. Овде је важно напоменути да смислена ограничења брзине која су у функцији карактеристика пута и окружења и историје саобраћајних незгода на одређеном делу пута, нису предмет критике и преиспитивања.

Литература

- [1] Forbes, G. (2012). Methods and Practices for Setting Speed Limits: An Informational Report. FHWA Safety Program. Federal Highway Administration, Washington, D.C. (on-line) available at: http://safety.fhwa.dot.gov/speedmgt/ref_mats/fhwasa12004/ (20.11.2017.)
- [2] OECD/ECMT Transport Research Centre (2006). Speed Management. ISBN 92-821-0377-3. (on-line) available at: <http://www.internationaltransportforum.org/jtrc/safety/speed.html> (20.11.2017.)
- [3] Cameron, M. (2012). Optimum speeds on rural roads based on 'willingness to pay' values of road trauma. Journal of the Australasian College of Road Safety, 23(3): 67-74. (on-line) available at: <http://acrs.org.au/wp-content/uploads/ACRSjournalVol23No3Aug12webV2.pdf> (13.03.2018.)
- [4] Hosseinlou, M., Kheyraadi, S., and Zolfaghari, A. (2005). Determining optimal speed limits in traffic network. IATSS Research 39.1 (2015): 36-41. (on-line) available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0386111214000259> (29.11.2017.)
- [5] Elik, R. (2002). Optimal Speed Limits: The Limits of Optimality Models. Transportation Research Record 1818. (on-line) available at: <http://trjournalonline.trb.org/doi/pdf/10.3141/1818-05> (09.03.2018.)
- [6] Akcelik, R., and Besley, M. (2003). Operating cost, fuel consumption and emission models in aaSIDRA and aaMOTION. 25th Conference of Australian Institutes of Transport Research, University of South Australia, Adelaide, Australia, 3.-5.12.2003. p. 1-15. (on-line) available at: [http://www.sidrasolutions.com/documents/AKCELIK_COST_Models\(CAITR%202003\)v2.pdf](http://www.sidrasolutions.com/documents/AKCELIK_COST_Models(CAITR%202003)v2.pdf) (09.03.2018.)
- [7] Queensland Government Department of Transport and Main Roads (2011). Cost Benefit Analysis Manual Road Projects. (on-line) available at: <https://www.tmr.qld.gov.au/business-industry/Technical-standards-publications/Cost-Benefit-Analysis-Manual.aspx> (09.03.2018.)
- [8] McFarland, W., and Chui, M. (1987). The value of travel time: New elements developed using a speed choice model. Transportation Research Record 1116: 15-21. (on-line) available at: https://mobility.tamu.edu/wp-content/uploads/2013/08/tr1116_p15-21.pdf (09.03.2018.)
- [9] Кузовић, Љ. (1994). Вредновање у управљању развојем и експлоатацијом путне мреже. Београд: Саобраћајни факултет, Универзитет у Београду.
- [10] Glavić, D., Mladenović, M., Stevanovic, A., Tubić, V., Milenković, M., & Vidas, M. (2016). Contribution to Accident Prediction Models Development for Rural Two-Lane Roads in Serbia. Promet - Traffic & Transportation, 28(4), 415-424.