

АНАЛИЗА ЕФИКАСНОСТИ РАДА ГРАНИЧНИХ ПРЕЛАЗА У ФУНКЦИЈИ ПРОМЕНЉИВИХ МЕРОДАВНИХ ПРОТОКА

Милица Тубић¹

¹Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, milica.tubic66@gmail.com

Теодора Бајевић

Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, teodorabajevic@gmail.com

Вук Богдановић,

Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, vuk@uns.ac.rs

Резиме: Карактеристике временске неравномерности саобраћајног тока имају фундаменталан значај у планирању, пројектовању и експлоатацији путне мреже. Дефинисан меродавни часовни проток представља основ за доношење одлука о саобраћајној потреби за изградњом инфраструктурних објеката, димензионисање пројектних елемената пута, али и за доношење управљачких и режимских мера. Гранични прелази на аутопутевима представљају функционалне тачке високог значаја за континуитет међународних саобраћајних токова, при чему њихово димензионисање може имати значајан утицај на перформансе функционисања система, односно нивоа услуге на предметној аутопутској деоници. У раду је детаљно анализиран утицај променљивих вредности меродавног часовног протока за потребе димензионисања граничних прелаза, обзиром на временске неравномерности саобраћајног тока у периоду целе године. Приказани су и резултати анализе капацитета и нивоа услуге у оквиру Студије случаја граничног прелаза на аутопуту Е-75 – „Прешево“. У оквиру рада анализиран је и сет мера које могу допринети унапређењу ефикасности рада граничних прелаза, односно свеукупном повећању нивоа услуге.

Кључне речи: гранични прелаз, меродавни проток, капацитет, ниво услуге

ANALYSIS OF THE OPERATIONAL EFFICIENCY OF BORDER CROSSINGS AS A FUNCTION OF VARIABLE DESIGN HOURLY VOLUMES

Milica Tubić¹

¹Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad, milica.tubic66@gmail.com

Teodora Bajević

Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad, teodorabajevic@gmail.com

Vuk Bogdanović

Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad, vuk@uns.ac.rs

Abstract: The characteristics of temporal variability of traffic flow constitute a fundamental basis for the planning, design, and operation of road infrastructure systems. The determination of the design hourly volume represents a critical input for decision-making processes related to infrastructure provision, the dimensioning of roadway design elements, as well as the definition of traffic management and operational control strategies. Highway border crossings represent critical nodes within the transport network, essential for ensuring the continuity and reliability of international traffic flows. Their dimensioning has a pronounced impact on overall system performance, particularly in terms of capacity utilization and the achieved level of service (LOS) along the corresponding highway section. This paper presents a comprehensive analysis of the influence of variable design hourly volume values on the dimensioning of border crossings, taking into account the temporal non-uniformity of traffic demand throughout the annual cycle. Special emphasis is placed on the sensitivity of capacity and performance indicators to fluctuations in peak demand conditions. The analysis is supported by a case study of the Preševo Border Crossing on the E-75 highway, including detailed capacity and level of service assessments. Furthermore, the paper identifies and evaluates a set of operational measures aimed at improving the efficiency of border crossing operations and enhancing the overall level of service of the analyzed system.

Keywords: highway border crossing, design hourly volume, traffic capacity, level of service

1. УВОД

Временска неравномерност саобраћајног тока у највећој мери је последица захтева за просторним премештањем људи и добара у процесима друштвених и привредних активности у утицајној зони посматране саобраћајне деонице, пута или мреже саобраћајница. Карактеристике временске неравномерности саобраћајног тока имају фундаменталан значај у планирању, пројектовању и експлоатацији путне мреже. За потребе инжењерске праксе од посебног су значаја карактеристике временске неравномерности протока возила које су у одређеној мери повезане са цикличностима

¹ Милица Тубић: milica.tubic66@gmail.com

у настајању захтева. Законитост временске неравномерности која представља основу за израду рада јесте часовна неравномерност у периоду целе године (8760 сати). [6]

Дефинисан меродавни часовни проток представља основ за доношење одлука о саобраћајној потреби за изградњом и димензионисањем пројектних елемената пута, али и за доношење управљачких и режимских мера. Порастом степена моторизације, развојем и унапређењем путне и уличне мреже, критеријум меродавног протока померао се од 30-ог ка 50-ом, 100-ом и 200-ом сату. Данас је за ванградке путеве најчешће у употреби критеријум 200-ог часа, који се сматра меродавним и у Републици Србији. Вредност усвојеног меродавног часа варира у зависности од карактера токова (даљински, сезонски, делимично сезонски, итд.) и функције пута. Европске и светске препоруке које се односе на димензионисање граничних прелаза наводе критеријум 30-ог сата као меродавни. [6]

Гранични прелази на аутопутевима представљају функционалне елементе високог значаја за континуитет међународних саобраћајних токова, при чему њихово димензионисање може имати значајан утицај на перформансе функционисања система, односно нивоа услуге на предметној аутопутској деоници. У раду је детаљно анализиран утицај променљивих вредности меродавног часовног протока за потребе димензионисања граничних прелаза, обзиром на временске неравномерности саобраћајног тока у периоду целе године. Циљ рада је и да се кроз анализу добијених параметара ефикасности утврди који карактеристичан сат би био меродаван за димензионисање граничног прелаза, у постојећим условима саобраћајних токова, који су знатно већи од оних који су иницијално коришћени за димензионисање.

2. САОБРАЋАЈНО-ТЕХНИЧКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ И КАПАЦИТЕТ ГРАНИЧНОГ ПРЕЛАЗА ПРЕШЕВО

Гранични прелаз Прешево (Слика 1) налази се на јужном делу територије Србије, у близини града Прешево, на административној граници са Северном Македонијом. Са македонске стране границе прелаз се наставља на гранични прелаз Табановце.



Слика 1. Гранични прелаз Прешево и гранични прелаз Табановце
Извор: Google Earth

Гранични прелаз Прешево налази се на траси међународног аутопута Е-75, који је део паневропског Коридора Х и због тога представља једну од најважнијих друмских веза између централне Европе са државама југоисточне Европе.

На националном нивоу аутопут носи ознаку А1, а траса се простире кроз Србију у правцу север–југ, повезујући градове као што су Суботица, Нови Сад, Београд и Ниш, а затим наставља према граничном прелазу Прешево и даље ка Скопљу и Солуну.

Због таквог положаја, анализирани гранични прелаз има значајну улогу у функционисању међународног путничког и теретног саобраћаја. Велики део транзитног саобраћаја између држава западне и централне Европе и туристичких дестинација у Грчкој реализује се управо преко овог граничног прелаза. Током летњих месеци, када долази до повећања туристичког саобраћаја, интензитет саобраћајних токова на овом правцу значајно расте, што често доводи до повећаног оптерећења расположивих капацитета граничног прелаза.

2.1. Геометрија и техничке карактеристике граничног прелаза

Организација граничног прелаза Прешево обухвата јасно дефинисане прилазне траке, раздвојене према врсти возила и смеру кретања. У функционалном смислу, прелаз је пројектован тако да омогући паралелно реализовање више контролних процеса кроз већи број канала, чиме се повећава његова

пропусна моћ и смањује задржавање возила. У том смислу, број и распоред контролних канала представља кључни фактор у одређивању капацитета прелаза, при чему се потенцијална уска грла најчешће јављају у зони контроле, која представља критичну тачку система.

Због специфичности начина вршења граничне контроле теретних возила и аутобуса, фокус истраживања и анализе овог рада биће усмерен на параметре ефикасности опслуживања путничких аутомобила, при чему анализа подразумева само излазни ток из Републике Србије. У складу са тим, разматрани су искључиво контролни канали намењени путничким аутомобилима, којих на предметном граничном прелазу има пет (по смеру).

2.2. Просторни капацитет граничног прелаза [3]

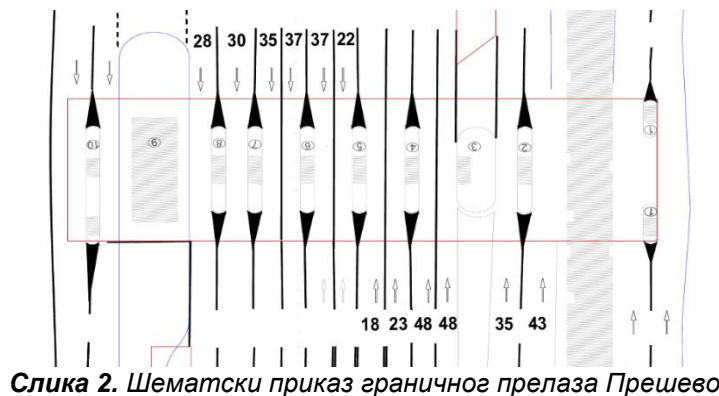
За потребе анализе, нарочито у контексту ефикасности опслуживања путничких аутомобила, кључан параметар представља просторни капацитет граничног прелаза. Просторни капацитет граничног прелаза представља максималан број возила која се могу истовремено накопљати у зони прелаза, односно на прилазним каналима, уз континуирано реализовање саобраћаја. Одређује се као однос укупне дужине свих прилазних канала (намењених путничким аутомобилима) и дужине меродавног возила:

$$C_p = \frac{L}{d}$$

Где су:

- L – укупна дужина свих прилазних канала граничног прелаза који су намењени путничким аутомобилима;
- d – просторни габарит меродавног возила (6 m);
- C_p – укупан број накопљених возила на саобраћајној инфраструктури у зони граничног прелаза, у посматраном меродавном сату.

На основу претходно описаног поступка прорачуна, израчунат је просторни капацитет предметног граничног прелаза. Из прорачуна просторног капацитета иницијално је искључена једна трака која је намењена за опслуживање аутобуса. Просторни капацитет подразумева пет прилазних канала намењених за опслугу путничких аутомобила и он износи 159 возила (у анализираном смеру изласка из Републике Србије). На Слици 2 је шематски приказан гранични прелаз Прешево са прорачунатим просторним капацитетом по прилазним каналима.

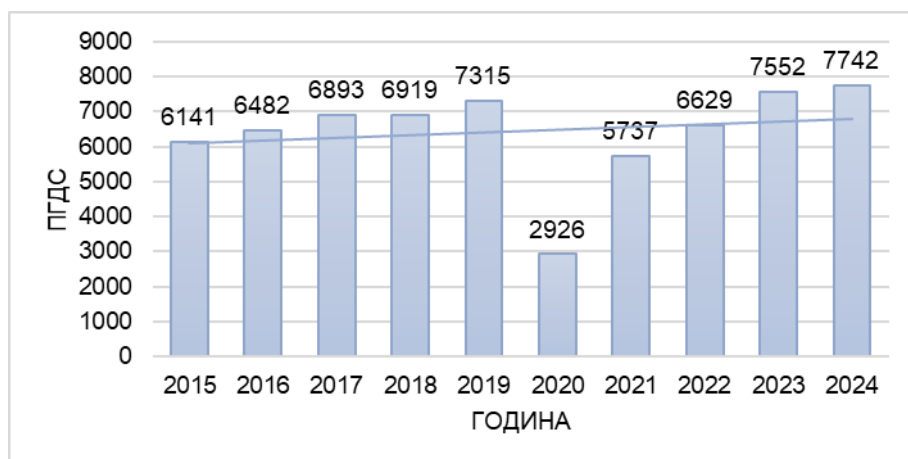


Слика 2. Шематски приказ граничног прелаза Прешево

3. АНАЛИЗА ДОСТИГНУТИХ САОБРАЋАЈНИХ ТОКОВА НА ДЕОНИЦИ АУТОПУТА Е-75 - ПЕТЉА ПРЕШЕВО - ГРАНИЦА СРБ/МКД (ПРЕШЕВО)

Предметна анализа заснована је на резултатима бројања саобраћаја на деоници А1123/А1124 петља Прешево - граница СРБ/МКД (Прешево), које „Путеви Србије“ д.о.о. објављује у својим јавно доступним публикацијама. На овај начин извршена је анализа остварених саобраћајних токова, структуре тока, али и временске неравномерности у периоду године. Анализа саобраћајног оптерећења спроведена је за десетогодишњи период од 2015. до 2024. године, из разлога што се од 2015. године на предметној деоници бележе подаци о саобраћају употребом аутоматског бројача саобраћаја, чиме је омогућен континуитет у прикупљању података. На предметној деоници постављена су два аутоматска бројача саобраћаја: 1319 (смер петља Прешево - излаз из Републике Србије) и 1320 (смер улаз у Републику Србију - петља Прешево). Анализа неравномерности и структуре тока спроведена је за 2024. годину, обзиром да у моменту израде рада 2025. година није била завршена, па подаци неопходни за анализу не би били релевантни. За 2025. годину спроведена је детаљна анализа саобраћаја за месеце јул и август, односно за сате у години у којима на предметној деоници долази до максималног оптерећења.

Анализа тренда достигнутих саобраћајних токова за наведени десетогодишњи период приказана је на Графикону 1.



Графикон 1. Промена ПГДС-а у периоду од 2015. до 2024. године

На основу приказане промене ПГДС-а у десетогодишњем периоду, генерално се може закључити да је дошло до раста ПГДС-а, са највећим достигнутим вредностима у 2024. години. Пад у вредности ПГДС-а у периоду 2020-2022. године последица је пандемије вируса COVID-19. Посматрано кроз структуру саобраћајног тока, на предметној деоници забележено је доминатно учешће путничких аутомобила са учешћем од око 84%, аутобуси чине 2%, лака и средња теретна возила по 1%, аутовозови имају удео око 12%, док тешка теретна возила учествују у структури тока са уделом мањим од 1%.

На Графикону 2 приказана је сатна дистрибуција саобраћајног тока за 2024. годину. Табела 1 приказује вредности протока за карактеристичне сате у 2024. години.

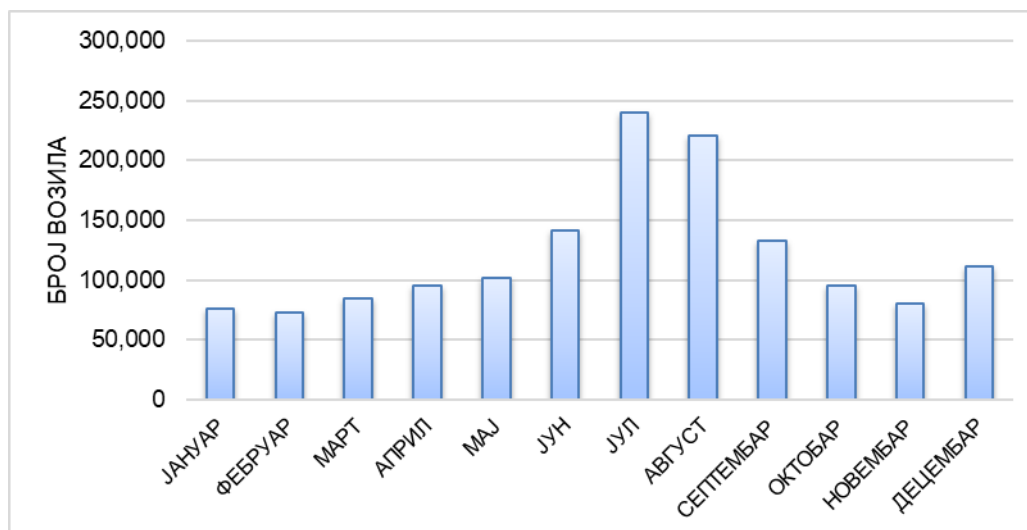


Графикон 2. Сатна дистрибуција саобраћајног тока у 2024. години

Табела 1. Вредност протока у карактеристичним сатима за 2024. годину

Меродавни проток	Критеријум – час							
	1-ви	30-ти	50-ти	100-ти	200-ти	500-ти	1000-ти	2000-ти
qm (воз/час)	623	517	497	466	420	357	295	229

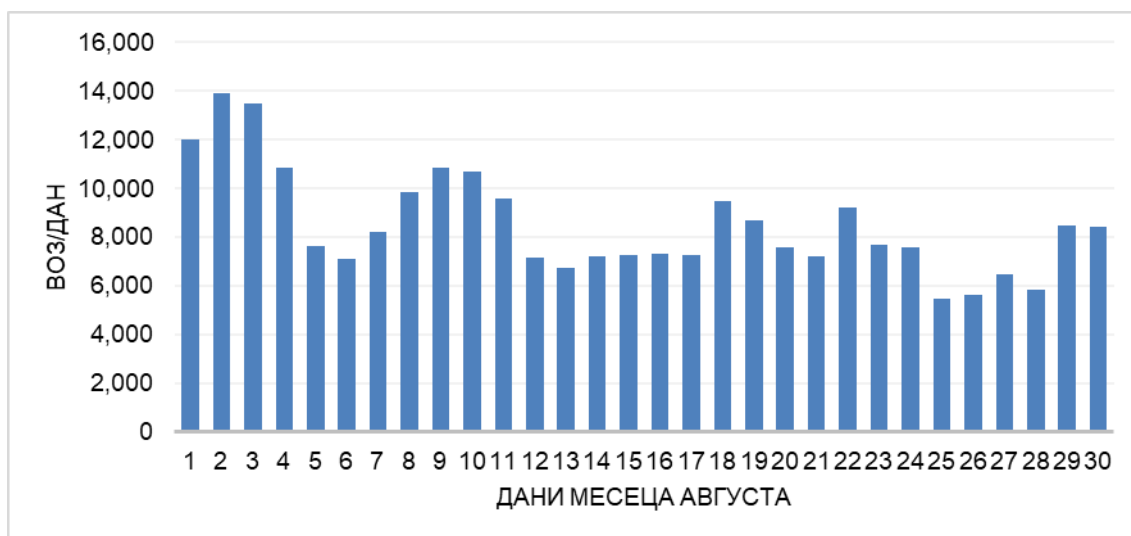
На Графикону 3 приказан је укупан број возила по месецима у 2024. години (возила/месечно). Резултати показују да се може уочити изразита сезонска неравнометност, при чему се јул и август издвајају као месеци са највећим саобраћајним оптерећењем.



Графикон 3. Месечна дистрибуција саобраћајног тока у 2024. години

У наставку приказана анализа се односи само на смер изласка из Србије, обзиром да је само за њега спроведено истраживање чији резултати су коришћени у даљем прорачуну.

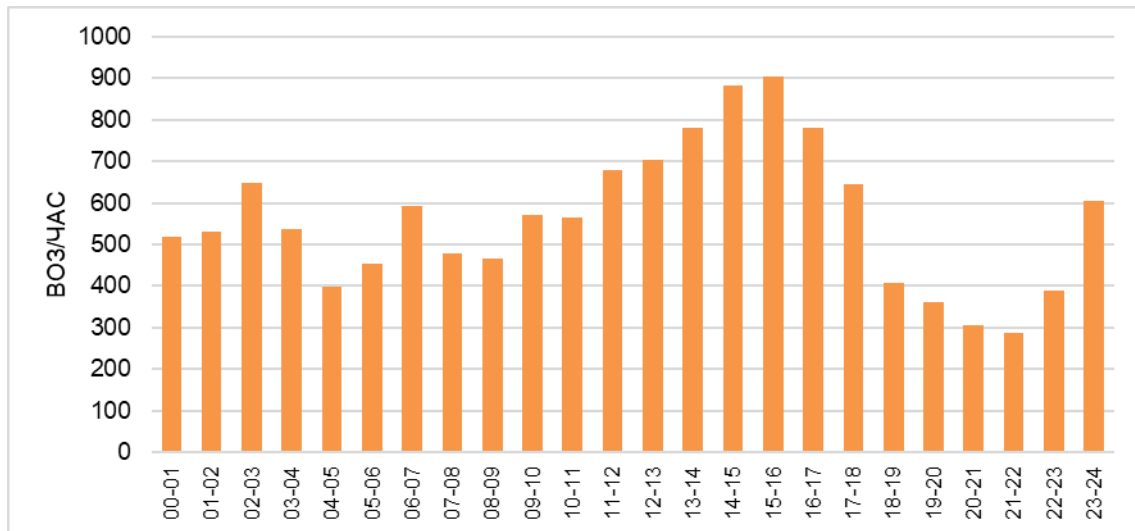
Како би предметна анализа била свеобухватна, за 2025. годину анализирани су подаци за два месеца са вршним оптерећењем, уз претпоставку да се у том периоду налази максимални сат. У оквиру анализе најпре је било неопходно идентификовати дане са максималним оптерећењем. На основу података са Графикана 4 може се закључити да је максимално саобраћајно оптерећење на деоници забележено 02.08. и 03.08. У наредном кораку анализирано је часовно оптерећење у оквиру два наведена дана, како би био утврђен максимални, односно „први“ сат, али су анализирани и узастопни сати у целокупном дану са максималним оптерећењем. У периоду 15-16h, дана 03.08.2025. забележено је максимално часовно оптерећење за 2025-ту годину и оно износи 903 voz/h.



Графикон 4. Вредности дневног саобраћаја за август 2025. године

У августу 2024. године забележено је 221.079 возила, док је у августу 2025. године забележено 254.516 возила, што представља значајан раст од 15% возила.

Када је реч о „првом“, односно максималном сату у 2024. години, вредност укупног саобраћајног тока износила је 623 возила, док је путничких аутомобила било 476. У максималном сату 2025. године забележено је 903 возила (Графикон 5), од којих је 641 возило било путнички аутомобил. Укупан саобраћај у првом сату бележи значајан скок од око 45%, док је број путничких аутомобила порастао за око 35%.



Графикон 5. Часовно оптерећење за 03.08.2025.

4. АНАЛИЗА ПАРАМЕТАРА ЕФИКАСНОСТИ РАДА ГРАНИЧНИХ ПРЕЛАЗА

4.1. Методологија за оцену нивоа услуге на граничним прелизима [2] [3] [4] [5]

Иницијални корак у методологији представља утврђивање меродавне вредности времена потребног за спровођење процедуре граничне контроле, односно време задржавања на контролној станици. Како би усвојена вредност одговарала реалним условима на предметном граничном прелазу спроведено је саобраћајно истраживање, односно мерење времена потребног за процедуру граничне контроле. Мерење је спроведено у две итерације, односно спроведена су два истраживања током октобра и новембра 2025. године, при чему је анализа подразумевала само излазни ток из Републике Србије. Због специфичности поступка вршења граничне контроле теретних возила и аутобуса, фокус истраживања представља време опслуге путничких аутомобила. Дефинисана вредност времена опслуге утврђена је на основу узорка од сто узастопних накупљених путничких возила и износи приближно 61 s. Из узорка су искључене вредности времена потребног за спровођење граничне контроле у случају да је поступак трајао више од 180 s.

На основу претходно утврђене вредности може се закључити да је максималан проток возила у току једног сата на једном прилазном каналу, односно саобраћајној траци, 60 voz/h. Као што је већ напоменуто, предметни гранични прелаз у смеру изласка из земље има 5 дефинисаних прилазних трака за путничке аутомобиле, што указује да је могуће опслужити 5 voz/min. У наставку су приказани параметри у оквиру методологије који ће бити коришћени за даље анализе.

Табела 2. Методологија за оцену НУ на аутопутским граничним прелизима

Табеларне вредности				
t	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄
q _{max} /traka/h	T(1h)/ t ₁	T(1h)/ t ₂	T(1h)/ t ₃	T(1h)/ t ₄
пропусна моћ (q _{GP})*	N/t ₁	N/t ₂	N/t ₃	N/t ₄
q _{GP} /q _m	(N/t ₁)/ q _m	(N/t ₂)/ q _m	(N/t ₃)/ q _m	(N/t ₄)/ q _m
V _{reda}	(q _m - q _{GP1})/N	(q _m - q _{GP2})/N	(q _m - q _{GP3})/N	(q _m - q _{GP4})/N
Y	V _{reda1} *k ₁	V _{reda2} *k ₂	V _{reda3} *k ₃	V _{reda4} *k ₄
C _p	N*Y	N*Y	N*Y	N*Y
C _{po}	L/d	L/d	L/d	L/d
C _p /C _{po}	(N*Y)/(L/d)	(N*Y)/(L/d)	(N*Y)/(L/d)	(N*Y)/(L/d)

Табела 3. Легенда

t - време задржавања возила на контролној станици
q _{max} /traka/h - максималан проток возила у току једног сата на једном прилазном каналу (саобраћајној траци)
q _{GP} - заснована на броју прилазних трака (5 трака ГП "Прешево") и интервала слеђења возила (просечног времена задржавања возила на контролној станици)
q _{GP} /q _m - однос пропусне моћи ГП и величине саобраћајног протока у посматраном меродавном сату

Vreda - брзина накупљања реда у једној прилазној саобраћајној траци, односно брзина „шок таласа” у прилазним тракама ГП у периоду посамтраног јединичног подеока
Y - укупан број накупљених возила у једној прилазној траци у периоду посамтраног меродавног сата
Cp - укупан број накупљених возила на у зони ГП у посамтраном меродавном сату
Cpo - просторни капацитет - представља максималан број возила који може бити присутан у прилазним саобраћајним тракама у зони граничног прелаза
Cp/Cpo – однос укупног броја накупљених возила и просторног капацитета
N – број прилазних саобраћајних трака (канала)
k1, k2, k3, k4 - број подеока у оквиру часовног протока
L – укупна дужина свих прилазних трака ГП које су намењене за ПА
d – просторни габарит меродавног возила (6 метара)

У Табели 4 приказана је скала реперних вредности дефинисаних параметара за оцену нивоа услуге.

Табела 4. Скала реперних вредности параметара за оцену НУ на аутопутским ГП [3]

Оцена нивоа услуге (НУ)		
Параметар	q_{GP}/q_m	Cp/Cpo
НУ А	> 2	< 0,25
НУ В	> 1,75	> 0,25
НУ С	> 1,5	> 0,50
НУ D	> 1	> 0,75
НУ E	> 0,60	> 0,90
НУ F	< 0,60	> 1

4.2. Ефикасност рада граничног прелаза Прешево у функцији променљивих меродавних протока

Имајући у виду да у тренутку истраживања публикација о бројању саобраћаја за 2025-ту годину није била доступна, није било могуће обезбедити комплетан и репрезентативан скуп података, па је стога детаљна анализа варијација саобраћајног оптерећења по различитим меродавним сатима извршена за 2024. годину, за коју су били доступни потпуни и поуздани подаци. Основни циљ анализе је дефинисање меродавног часа на основу кога се врши димензионисање граничног прелаза, као и утврђивање граничних услова функционисања система, односно одређивање услова при којима ниво услуге прелази у неприхватљиву категорију (ниво услуге F), чиме се дефинише праг прихватљивог квалитета услуге.

Главни циљ увођења меродавног протока као критеријума за димензионисање пројектних елемената пута јесте рационализација трошкова, јер би у случају димензионисања саобраћајнице по вредности максималног часовног протока било неопходно издвојити знатно већа финансијска улагања, док би током већег броја сати у току године саобраћајни захтеви били знатно мањи од капацитета (предимензионисано). Из тог разлога, у свим светским приручницима препоручује се димензионисање на основу меродавног сата. Међутим, вредност меродавног часовног протока зависи од функције посматране саобраћајне деонице у путној и уличној мрежи, односно анализира се да ли је у питању ванградска или градска деоница и да ли су присутни сезонски токови или не. Данас је за граничне прелазе најчешће у употреби критеријум 30-ог сата.

Обзиром да се гранични прелаз Прешево налази на деоници аутопута са изразитим утицајем сезонских токова, најпре је спроведена анализа саобраћајних токова у 2024. години за различите вредности часовног оптерећења (Табела 5), при чему је детаљно спроведена анализа за првих десет часова у којима се јавља највећа вредност оптерећења у току године. Анализа је, затим, подразумевала и друге карактеристичне сате, као што су 15., 20., 30., 50., 100., 150. и 200.

Променом улазних вредности саобраћајног оптерећења за различите карактеристичне сате у току године може се уочити да вредности параметара ефикасности и нивоа услуге варирају. Када је реч о критеријуму нивоа услуге Cp/Cpo , прихватљив ниво услуге се јавља од вредности оптерећења у четвртном сату, док је у случају критеријума нивоа услуге q_{GP}/q_m ниво услуге E заступљен за све наведене сате. На основу претходног, може се закључити да се по критеријуму протока добијају значајно лошије вредности нивоа услуге у односу на критеријум капацитета (на граници прихватљивог).

Табела 5. Вредности параметара ефикасности за карактеристичне сате у 2024. години

Сат	q (PA)	q _{GP} (q/min)	q/tr/min	N	q _{GP} /q _m	V _{reda}	Y	C _p	C _{po}	C _p /C _{po}	NU C _p /C _{po}	NU q _{GP} /q _m
1	476	5	7,93	5	0,630	0,59	34,62	173	159	1,088	F	E
2	470	5	7,83	5	0,638	0,57	33,44	167	159	1,050	F	E
3	465	5	7,75	5	0,645	0,55	32,46	162	159	1,019	F	E
4	459	5	7,65	5	0,654	0,53	31,28	156	159	0,981	E	E
5	442	5	7,37	5	0,678	0,47	27,93	140	159	0,881	D	E
6	431	5	7,18	5	0,696	0,44	25,77	129	159	0,811	D	E
7	430	5	7,17	5	0,698	0,43	25,57	128	159	0,805	D	E
8	429	5	7,15	5	0,699	0,43	25,38	127	159	0,799	D	E
9	428	5	7,13	5	0,701	0,43	25,18	126	159	0,792	D	E
10	427	5	7,12	5	0,703	0,42	24,98	125	159	0,786	D	E
15	419	5	6,98	5	0,716	0,40	23,41	117	159	0,736	C	E
20	408	5	6,80	5	0,735	0,36	21,25	106	159	0,667	C	E
30	395	5	6,58	5	0,759	0,32	18,69	93	159	0,585	C	E
50	380	5	6,33	5	0,789	0,27	15,74	79	159	0,497	B	E
100	356	5	5,93	5	0,843	0,19	11,02	55	159	0,346	B	E
150	333	5	5,55	5	0,901	0,11	6,49	32	159	0,201	A	E
200	321	5	5,35	5	0,935	0,07	4,13	21	159	0,132	A	E

Свакако, када се ова два критеријума посматрају збирно усваја се лошији ниво услуге. Препоручене минималне вредности нивоа услуге за подношљиво функционисање саобраћаја на граничном прелазу (C или D) јављају се у случају 5-ог сата, док се задовољавајући ниво услуге (A и B) јавља тек у случају 50-ог сата. Међутим, како је претходно наведено, ако се посматрају нивои услуге по оба критеријума збирно, за све вредности наведених часова не постоје задовољавајуће вредности у наведеном распону. У наредном кораку спроведена је и анализа за максимални сат у 2025. години, како би се добила реална слика о промени параметара са порастом саобраћаја (Табела 6).

Табела 6. Вредности параметара ефикасности за максимални сат у 2025. години

Сат	q (PA)	q _{GP} (q/min)	q/tr/min	N	q _{GP} /q _m	V _{reda}	Y	C _p	C _{po}	C _p /C _{po}	NU C _p /C _{po}	NU q _{GP} /q _m
1	641	5	10,69	5	0,468	1,14	67,11	336	159	2,110	F	F

Обзиром на значајан пораст саобраћаја у односу на максимални сат у 2024. години, очекивано су добијени још лошији резултати свих параметара. Оцена нивоа услуге је по оба критеријума F, што представља неподношљиве услове функционисања саобраћаја на граничном прелазу.

На основу резултата добијених анализом за 2024. годину може се закључити да до накупљања возила у редовима долази за све наведене вредности протока. Просечна вредност просторног капацитета по прилазној траци износи око 32 возила. На основу претходне анализе може се уочити да у случају прва четири сата долази до накупљања возила које премашује вредност просторног капацитета. У случају попуњавања просторног капацитета формира се ред и на самој деоници аутопута, што представља неприхватљиве услове у саобраћајном току и неповољно утиче на безбедност саобраћаја. Идентични, па и још лошији резултати, забележени су за максимални сат у 2025. години, где је просторни капацитет прилазне траке на граничном платоу премашен за двоструку вредност.

Претходно наведено условило је потребу за додатном анализом ефеката накупљених возила на деоници аутопута. Ефекти накупљања возила нису ограничени само на тренутни сат већ се преливају/преносе на узастопне сате у току дана, што доприноси сеобухватно још лошијим ефектима и последицама на функционисање система. Како би предметна анализа представила реално стање накупљања возила на самом платоу и аутопутској деоници, у анализу је укључен низ узастопних сати у дану у коме се јавља сат са максималним протоком за 2025. годину (03.08.2025). Параметри ефикасности прорачунати анализом за узастопне сате у наведеном дану приказани су у Табели 7.

Табела 7. Вредности параметара ефикасности за узастопне сате за дан 03.08.2025.

Сат	q (PA)	Бр. неопслужених возила	Бр. накупљених возила ван платоа (по траци АП)	Дужина накупљеног реда (m)	Дужина реда на аутопуту (по траци АП)	Задржавање возила (min)	Задржавање возила (h)
00-01	368	68	0	407	0	0	0
01-02	377	145	0	869	0	25	0,41
02-03	461	306	73	1833	440	105	1,75
03-04	382	388	114	2325	686	146	2,44
04-05	283	370	106	2221	633	138	2,29
05-06	323	393	117	2359	703	149	2,48

Сат	q (PA)	Бр. неопслужених возила	Бр. накупљених возила ван платоа (по траци АП)	Дужина накупљеног реда (m)	Дужина реда на аутопуту (по траци АП)	Задржавање возила (min)	Задржавање возила (h)
06-07	421	514	178	3085	1066	210	3,49
07-08	339	553	197	3317	1182	229	3,82
08-09	332	584	213	3507	1276	245	4,08
09-10	406	691	266	4143	1595	298	4,96
10-11	401	792	316	4750	1898	348	5,81
11-12	483	975	408	5847	2447	440	7,33
12-13	500	1174	508	7046	3046	540	8,99
13-14	555	1429	635	8573	3810	667	11,12
14-15	626	1754	798	10526	4786	830	13,83
15-16	641	2096	968	12573	5810	1000	16,67
16-17	555	2350	1096	14100	6573	1128	18,79
17-18	459	2509	1175	15052	7049	1207	20,11
18-19	288	2497	1169	14982	7014	1201	20,02
19-20	256	2453	1147	14720	6883	1179	19,65
20-21	218	2371	1106	14227	6637	1138	18,97
21-22	203	2274	1058	13646	6346	1090	18,16
22-23	275	2250	1045	13499	6272	1077	17,96
23-24	430	2379	1110	14276	6661	1142	19,04

На основу резултата приказаних у претходној табели може се закључити да до накупљања возила долази тек у трећем сату, када се јавља интензивнија вредност саобраћајног тока. Обзиром да су надолazeћи саобраћајни захтеви значајно већи од пропусне моћи граничног прелаза, неопслужена возила се нагомилавају и преносе у наредне сате. Крајњи резултат кумулативно накупљених неопслужених возила представља редове на аутопуту дужине од по 6,6 km, са неприхватљивим временом чекања за кориснике. Значајан негативан утицај на накупљање возила има и вршни период од пет узастопних часова са максималним вредностима саобраћајних захтева (12-17 часова).

5. ПРЕДЛОГ МЕРА ЗА УНАПРЕЂЕЊЕ РАДА ГРАНИЧНОГ ПРЕЛАЗА ПРЕШЕВО [1]

У наредном кораку спроведена је и анализа у којој су третиране мере које се односе, најпре, на повећање пропусне моћи, односно додавање још једног канала за путничке аутомобиле, као и мера која се односи на повећање просторног капацитета платоа.

У наредним табелама приказани су резултати аналитичког поступка прорачуна параметара ефикасности у случају додавања још једног, односно шестог канала за опслугу путничких аутомобила. Анализа је подразумевала вредности протока за карактеристичне сате у 2024. години, потом анализу максималног сата у 2025. години, као и анализу ефеката на саму деоницу аутопута у случају 24 узастопна сата у максималном дану.

Упоредном анализом параметара ефикасности у случају постојања пет и шест канала, за карактеристичне сате у 2024. години, добијени су знатно бољи резултати са аспекта нивоа услуге по критеријуму C_p/C_{po} (Табела 8). У случају примене ове мере за први максимални сат у 2024. години добијен је прихватљив ниво услуге. Посматрајући анализе које се односе на максимални сат у 2025. години, уочава се да не долази до побољшања нивоа услуге ни по једном критеријуму, из разлога што надолazeћи саобраћајни захтеви и даље премашују пропусну моћ и капацитет граничног прелаза (Табела 9).

Када је реч о анализи ефеката нагомилавања возила у случају узастопних сати у максималном дану на аутопутској деоници, може се закључити да долази до значајног побољшања нарочито са аспекта дужине формираног реда на аутопуту (процена је да би могуће смањење реда износило и до 4,5 km), као и у времену чекања (Табела 10).

Табела 8. Вредности параметара ефикасности за карактеристичне сате у 2024. години (6 канала)

Сат	q (PA)	q _{GP} (q/min)	q/tr/min	N	q _{GP} /q _m	V _{reda}	Y	C _p	C _{po}	C _p /C _{po}	NU C _p /C _{po}	NU q _{GP} /q _m
1	476	6	7,93	6	0,756	0,32	19,02	114	189	0,60	C	E
2	470	6	7,83	6	0,766	0,31	18,03	108	189	0,57	C	E
3	465	6	7,75	6	0,774	0,29	17,21	103	189	0,54	C	E
4	459	6	7,65	6	0,784	0,28	16,23	97	189	0,51	C	E
5	442	6	7,37	6	0,814	0,23	13,44	81	189	0,43	B	E
6	431	6	7,18	6	0,835	0,20	11,64	70	189	0,37	B	E
7	430	6	7,17	6	0,837	0,19	11,48	69	189	0,37	B	E

Сат	q (PA)	q _{GP} (q/min)	q/tr/min	N	q _{GP} /q _m	V _{reda}	Y	C _p	C _{po}	C _p /C _{po}	NU C _p /C _{po}	NU q _{GP} /q _m
8	429	6	7,15	6	0,839	0,19	11,31	68	189	0,36	B	E
9	428	6	7,13	6	0,841	0,19	11,15	67	189	0,35	B	E
10	427	6	7,12	6	0,843	0,19	10,98	66	189	0,35	B	E
15	419	6	6,98	6	0,859	0,16	9,67	58	189	0,31	B	E
20	408	6	6,80	6	0,882	0,13	7,87	47	189	0,25	A	E
30	395	6	6,58	6	0,911	0,10	5,74	34	189	0,18	A	E
50	380	6	6,33	6	0,947	0,06	3,28	20	189	0,11	A	E
100	356	6	5,93	6	1,011	0,00	0,00	-	189	-	-	-
150	333	6	5,55	6	1,081	0,00	0,00	-	189	-	-	-
200	321	6	5,35	6	1,121	0,00	0,00	-	189	-	-	-

Табела 9. Вредности параметара ефикасности за максимални сат у 2025. години (6 канала)

Сат	q (PA)	q _{GP} (q/min)	q/tr/min	N	q _{GP} /q _m	V _{reda}	Y	C _p	C _{po}	C _p /C _{po}	NU C _p /C _{po}	NU q _{GP} /q _m
1	641	6	10,69	6	0,562	0,78	46,09	277	189	1,47	F	F

Табела 10. Вредности параметара ефикасности за узастопне сате за дан 03.08.2025. (6 канала)

Сат	q (PA)	бр. неопслужених возила	бр. накупљених возила ван платоа (по траци АП)	Дужина накупљеног реда (m)	Дужина реда на аутопуту (по траци АП)	Задржавање возила (min)	Задржавање возила (h)
00-01	368	8	0	47	0	0	0,00
01-02	377	25	0	149	0	0	0,00
02-03	461	126	0	753	0	0	0,00
03-04	382	148	0	885	0	11	0,19
04-05	283	70	0	421	0	0	0,00
05-06	323	33	0	199	0	0	0,00
06-07	421	94	0	565	0	0	0,00
07-08	339	73	0	437	0	0	0,00
08-09	332	44	0	267	0	0	0,00
09-10	406	91	0	543	0	0	0,00
10-11	401	132	0	790	0	3	0,06
11-12	483	255	33	1527	197	65	1,08
12-13	500	394	103	2366	616	135	2,24
13-14	555	589	200	3533	1200	232	3,87
14-15	626	854	333	5126	1996	365	6,08
15-16	641	1136	473	6813	2840	505	8,42
16-17	555	1330	571	7980	3423	603	10,04
17-18	459	1429	620	8572	3719	652	10,86
18-19	288	1357	584	8142	3504	616	10,27
19-20	256	1253	532	7520	3193	564	9,40
20-21	218	1111	461	6667	2767	493	8,22
21-22	203	954	383	5726	2296	415	6,91
22-23	275	870	340	5219	2042	372	6,21
23-24	430	939	375	5636	2251	407	6,79

У наредним табелама приказани су резултати аналитичког поступка прорачуна параметара ефикасности у случају повећања просторног капацитета граничног прелаза. У постојећем стању део платоа који је намењен за путничке аутомобиле може да прими 159 возила, а предложена мера подразумева повећање на 240 возила (што представља продужење платоа за око 100 m). Анализа је подразумевала вредности протока за карактеристичне сате у 2024. години, потом анализу максималног сата у 2025. години, као и анализу ефеката на саму деоницу аутопута у случају 24 узастопна сата у максималном дану.

Табела 11. Вредности параметара ефикасности за карактеристичне сате у 2024. години (повећање просторног капацитета)

Сат	q (PA)	q _{GP} (q/min)	q/tr/min	N	q _{GP} /q _m	V _{reda}	Y	C _p	C _{po}	C _p /C _{po}	NU C _p /C _{po}	NU q _{GP} /q _m
1	476	5	7,93	5	0,630	0,59	34,62	173	240	0,72	C	E
2	470	5	7,83	5	0,638	0,57	33,44	167	240	0,70	C	E
3	465	5	7,75	5	0,645	0,55	32,46	162	240	0,68	C	E
4	459	5	7,65	5	0,654	0,53	31,28	156	240	0,65	C	E
5	442	5	7,37	5	0,679	0,47	27,93	140	240	0,58	C	E
6	431	5	7,18	5	0,696	0,44	25,77	129	240	0,54	C	E
7	430	5	7,17	5	0,698	0,43	25,57	128	240	0,53	C	E

Сат	q (PA)	q _{GP} (q/min)	q/tr/min	N	q _{GP} /q _m	V _{reda}	Y	C _p	C _{po}	C _p /C _{po}	NU C _p /C _{po}	NU q _{GP} /q _m
8	429	5	7,15	5	0,699	0,43	25,38	127	240	0,53	C	E
9	428	5	7,13	5	0,701	0,43	25,18	126	240	0,53	C	E
10	427	5	7,12	5	0,703	0,42	24,98	125	240	0,52	C	E
15	419	5	6,98	5	0,716	0,40	23,41	117	240	0,49	B	E
20	408	5	6,80	5	0,735	0,36	21,25	106	240	0,44	B	E
30	395	5	6,58	5	0,759	0,32	18,69	93	240	0,39	B	E
50	380	5	6,33	5	0,789	0,27	15,74	79	240	0,33	B	E
100	356	5	5,93	5	0,843	0,19	11,02	55	240	0,23	A	E
150	333	5	5,55	5	0,901	0,11	6,49	32	240	0,13	A	E
200	321	5	5,35	5	0,936	0,07	4,13	21	240	0,09	A	E

Табела 12. Вредности параметара ефикасности за максимални сат у 2025. години
(повећање просторног капацитета)

Сат	q (PA)	q _{GP} (q/min)	q/tr/min	N	q _{GP} /q _m	V _{reda}	Y	C _p	C _{po}	C _p /C _{po}	NU C _p /C _{po}	NU q _{GP} /q _m
1	641	5	10,69	5	0,468	1,14	67,11	336	240	1,40	F	F

Табела 13. Вредности параметара ефикасности за узаустопне сате за дан 03.08.2025.
(повећање просторног капацитета)

Сат	q (PA)	бр. неопслужених возила	бр. накупљених возила ван платоа (по траци АП)	Дужина накупљеног реда (m)	Дужина реда на аутопуту (по траци АП)	Задржавање возила (min)	Задржавање возила (h)
00-01	368	68	68	407	0	0	0,00
01-02	377	145	145	869	0	0	0,01
02-03	461	306	306	1833	197	81	1,35
03-04	382	388	388	2325	443	122	2,03
04-05	283	370	370	2221	390	113	1,88
05-06	323	393	393	2359	460	125	2,08
06-07	421	514	514	3085	823	185	3,09
07-08	339	553	553	3317	939	204	3,41
08-09	332	584	584	3507	1033	220	3,67
09-10	406	691	691	4143	1352	273	4,55
10-11	401	792	792	4750	1655	324	5,40
11-12	483	975	975	5847	2204	415	6,92
12-13	500	1174	1174	7046	2803	515	8,59
13-14	555	1429	1429	8573	3567	642	10,71
14-15	626	1754	1754	10526	4543	805	13,42
15-16	641	2096	2096	12573	5567	976	16,26
16-17	555	2350	2350	14100	6330	1103	18,38
17-18	459	2509	2509	15052	6806	1182	19,71
18-19	288	2497	2497	14982	6771	1176	19,61
19-20	256	2453	2453	14720	6640	1155	19,24
20-21	218	2371	2371	14227	6394	1114	18,56
21-22	203	2274	2274	13646	6103	1065	17,75
22-23	275	2250	2250	13499	6029	1053	17,55
23-24	430	2379	2379	14276	6418	1118	18,63

Упоредном анализом параметара ефикасности за карактеристичне сате за 2024. годину, у случају повећања просторног капацитета добијени су знатно бољи резултати са аспекта нивоа услуге по критеријуму Ср/Сро. У случају примене ове мере прихватљив ниво услуге добијен је чак и за први максимални сат у 2024. години (Табела 11). Посматрајући анализе које се односе на максимални сат у 2025. години уочава се да не долази до побољшања нивоа услуге ни по једном критеријуму, из разлога што надоласећи саобраћајни захтев и даље премашује пропусну моћ и капацитет граничног прелаза (Табела 12). Када је реч о анализи ефеката нагомилавања возила у случају узаустопних сати у максималном дану, на аутопутској деоници, не уочава се се значајно побољшање у дужини реда формираног на аутопуту, као ни у времену чекања (Табела 13).

6. ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА И ДАЉЕ ПРЕПОРУКЕ

Спроведена анализа постојећих услова реализације саобраћаја на граничном прелазу „Прешево“ указује на незадовољавајући ниво функционисања система. Уочени проблеми се огледају у формирању редова и накупљања возила на платоу граничног прелаза, продуженим временима чекања за приступ граничној контроли, као и у формирању вишекилометарских колона које се преливају на аутопутску деоницу. Истовремено, резултати анализе показују да се сам процес граничне контроле,

који у значајној мери утиче на услове функционисања саобраћаја, реализује у релативно кратком временском интервалу од приближно једног минута по путничком аутомобилу. Имајући у виду да су постојеће домаће и иностране препоруке претежно фокусиране на унапређење ефикасности процеса контроле, поставља се питање да ли је такав приступ довољан, или се узрок проблема пре свега налази у неадекватном димензионисању капацитета граничног прелаза. Додатно се истиче и недостатак јасно дефинисане домаће регулативе и методолошког оквира за димензионисање граничних прелаза.

Гранични прелази на аутопутевима представљају функционалне елементе од изузетног значаја за континуитет међународних саобраћајних токова, при чему њихово димензионисање директно утиче на перформансе система и ниво услуге на предметној деоници. Димензионисање система на основу виших меродавних сати (нпр. 30-ти, 50-ти, 100-ти или 200-ти сат) доводи до смањења инвестиционих трошкова и избегавања предимензионисања. Међутим, имајући у виду значај аутопутских праваца, посебно у оквиру европске путне мреже, као што је коридор Е-75, поставља се питање оправданости таквог приступа у односу на трошкове и негативне ефекте који настају у периодима вршног сезонског оптерећења. У раду је спроведена анализа која указује да се негативни ефекти огледају у случају изоловане анализе максималних сати у години. Међутим, анализа је показала да се још критичнији резултати добијају посматрањем узастопних сати где долази до формирања километарских колона на аутопутској деоници која је највишег ранга и функционалног значаја.

У оквиру рада анализиран је и сет мера које обухватају повећање броја саобраћајних канала за контролу, као и проширење просторног капацитета граничног прелаза. Међутим, ни применом наведених мера није обезбеђен задовољавајући ниво функционисања система у вршним условима оптерећења. Сходно наведеном, основни закључак рада односи се на потребу редифинисања меродавног сата за димензионисање граничних прелаза високог функционалног значаја са изразитим сезонским варијацијама. Резултати указују да је у циљу адекватног сагледавања реалних услова оптерећења оправдано разматрање меродавног сата у оквиру најоптерећенијих сатних интервала, односно у распону између првог и десетог сата по величини протока.

Као препорука за даља истраживања, истиче се потреба за анализом не само узастопних вршних сати, већ и вишедневних периода током сезоне високог оптерећења, како би се веродостојније приказали реални услови функционисања система и у потпуности сагледали негативни ефекти. Додатно, неопходно је спровести прогнозу саобраћајних токова на основу уочених законитости и трендова, у циљу процене будућих услова и правовременог планирања капацитета.

Захвалница

Резултати приказани у овом раду су део истраживања пројекта „Истраживање трендова у развоју одрживих саобраћајних и логистичких система“, основаног од стране Департмана за саобраћај, Факултета техничких наука у Новом Саду, Универзитета у Новом Саду, Република Србија.

Acknowledgement

The results presented in this paper are part of the research project "Investigation of trends in the development of sustainable transport and logistics systems", established by the Department of Transport, Faculty of Technical Sciences in Novi Sad, University of Novi Sad, Republic of Serbia.

Литература

- [1] Analysis of border crossings in South East Europe and measures for their improvement, Marios Miltiadou at al., Aristotle University of Thessaloniki, Polytechnic School, Faculty of Rural & Surveying Engineering, Dept. Of Transportation & Hydraulic Engineering, Greece, 2016.
- [2] David E. Lettner, Jake M. Kosior, and Stephen P. Rozyckie, Developing and Applying Level-of-Service Framework to Land-Based Port-of-Entry Infrastructure Planning, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2409, Washington, D.C., 2014, pp. 54-62.
- [3] Дробњак Ј.; Методологија за анализу нивоа услуге на аутопутским граничним прелазима у Републици Србији, Мастер рад, Саобраћајни факултет, Универзитет у Београду, Београд 2023.
- [4] Handbook of Best Practices at Border Crossings – A Trade and Transport Facilitation Perspective, OSCE Organization for Security and Co-operation in Europe, 2012.
- [5] Highway Capacity Manual 2010, Vol. 2, Uninterrupted Flows, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2010.
- [6] Тубић В.; Видас М.; Степановић Н., 2022., Основе теорије саобраћајног тока, Саобраћајни факултет, Универзитет у Београду