

Еквивалентно осовинско оптерећење и број тешких теретних возила као параметар при димензионисању коловозних конструкција

Милан Маринковић¹

¹ Факултет техничких наука, Департаман за грађевинарство и геодезију, Нови Сад

ARTICLE INFO

DOI: 10.31075/PIS.71.01.03

Professional paper

Received: 11.01.2025.

Accepted: 28.01.2025.

Corresponding author:

milan.marinkovic@uns.ac.rs

ORCID ID

Милан Маринковић: N.A.

Keywords:

ПГДС

Еквивалентно саобраћајно
оптерећење

Тешка теретна возила

ABSTRACT

Један од значајнијих параметара приликом димензионисања коловозне конструкције јесте саобраћајно оптерећење. У Србији се саобраћајно оптерећење изражава у броју прелаза еквивалентне стандардне осовине. За прорачун еквивалентног саобраћајног оптерећења битни су: просјечан годишњи дневни саобраћај, пројектни период, просјечна искоришћеност терета као и фактор раста броја тешких теретних возила будући да се путнички аутомобили не узимају у обзир приликом прорачуна саобраћајног оптерећења. У овом раду извршена је анализа фактора промјене броја тешких теретних возила на мрежи државних путева Републике Србије. Обухваћен је период од 2014. године до 2023. године. Анализирани су подаци за оне дионице које су имале бројање саобраћаја за сваку од десет година. Укупно је анализирана 701 путна дионица. Анализом је добијено да просјечна стопа раста на мрежи државних путева Србије износи +4,48% а ако посматрамо само ауто-путеве онда је та стопа +7,98%.

1. Увод

Постоји неколико улазних параметара приликом димензионисања коловозне конструкције. Наведени параметри су: саобраћајно оптерећење, квалитет материјала у слојевима коловозне конструкције, квалитет подлоге као и климатске карактеристике локације на којој се коловозна конструкција гради. Саобраћајно оптерећење се најчешће дефинише у броју прелаза одговарајуће осовине. У свијету се најчешће користе поступци прорачуна у којима се саобраћајно оптерећење изражава у еквивалентним стандардним осовинама од 82 kN или 100 kN. Структура саобраћајног тока је основа за прорачун саобраћајног оптерећења. За прорачун саобраћајног оптерећења у обзир се узимају следећи подаци:

- Број одређених категорија возила
- Пројектни период коловозне конструкције
- Просјечна искоришћеност терета које возило може да превезе
- Просјечна стопа раста тешких теретних возила у току пројектног периода.

Од наведених података у овом раду ће се говорити о просјечној стопи раста броја тешких теретних возила у пројектном периоду.

Овај податак се добија на основу бројања таквих врста возила сваке године. Бројање саобраћаја на државним путевима на територији Републике Србије се приказује кроз просјечни годишњи дневни саобраћај (ПГДС) а може се пронаћи на сајту ЈП „Путеви Србије“. За потребе истраживања обухваћен је период од 2014. године до 2023. године, која је уједно и посљедња година за коју су подаци доступни у тренутку писања рада. Поређен је раст двије узастопне године за одговарајућу дионицу на којој се бројање врши и затим је извршена статистичка обрада наведених података.

2. Начини бројања саобраћаја на државним путевима

Државна путна мрежа Србије се састоји од укупно 16559,7 km државних путева I и II реда. [1].

Подјела државне путне мреже је следећа:

- Државни путеви првог А реда (ауто-путеви) – 999,178 km
- Државни путеви првог Б реда – 4382,184 km
- Државни путеви другог А реда – 7827,527 km
- Државни путеви другог Б реда – 3165,059 km

У годишњим извјештајима о бројању саобраћаја на државним путевима на територији Републике Србије постоје следеће категорије возила:

- ПА – путнички аутомобил
- БУС– аутобус
- ЛТ– лако теретно возило
- СТ– средње тешко теретно возило
- ТТ– тешко теретно возило
- АВ – аутовоз и теретно возило са приколицом

За разлику од наведених категорија, према стандарду СРПС У.Ц4.010. [2], који се користи за одређивање укупног еквивалентног саобраћајног оптерећења за димензионисање коловозних конструкција, постоје следеће категорије возила:

- Аутобус –А₂
- Лако теретно возило –ЛТ₂
- Средње тешко теретно возило –СТ₂
- Тешко теретно возило са двије осовине –ТТ₂
- Тешко теретно возило са три осовине –ТТ₃
- Тешко теретно возило са приколицом –ТТ₂+ПР₃
- Тешко теретно возило са приколицом –ТТ₃+ПР₂
- Тешко теретно вучно возило са полуприколицом (тегљач) – ТТВ₃+ППР₂

На слици 1. је приказано једно од горе поменутих возила.



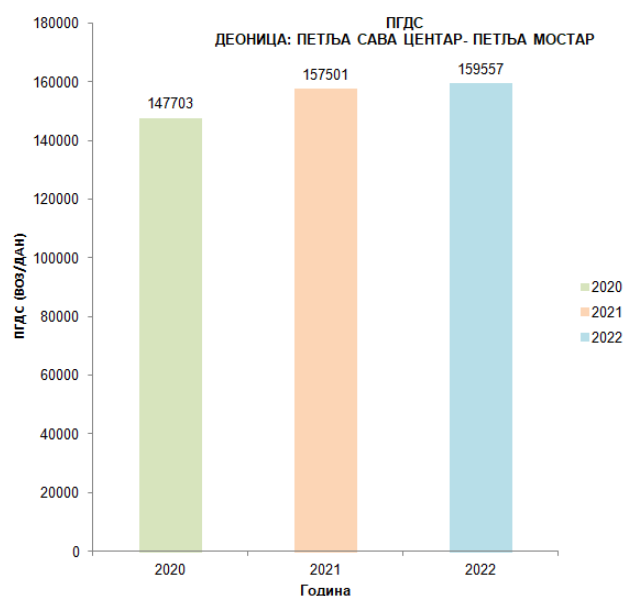
Слика 1. Изглед возила СТ₂

У наведеним врстама возила за прорачун оптерећења нема путничких аутомобила јер њих не узимамо у обзир при прорачуну. Објашњење тога ће бити наведено у наредним поглављима овог рада. Од свих набројаних врста возила која се региструју при бројању возила на државним путевима можемо закључити да су нам за прорачун саобраћајног оптерећења битни бројеви наредних возила: БУС, ЛТ, СТ, ТТ и АВ.

Неке од метода за бројање саобраћаја су: снимање камерама, употреба индукционих петљи, ручно бројање итд. Прегледајући извјештаје бројања саобраћаја на државним путевима уочено је да се број возила утврђује на неки од следећих начина:

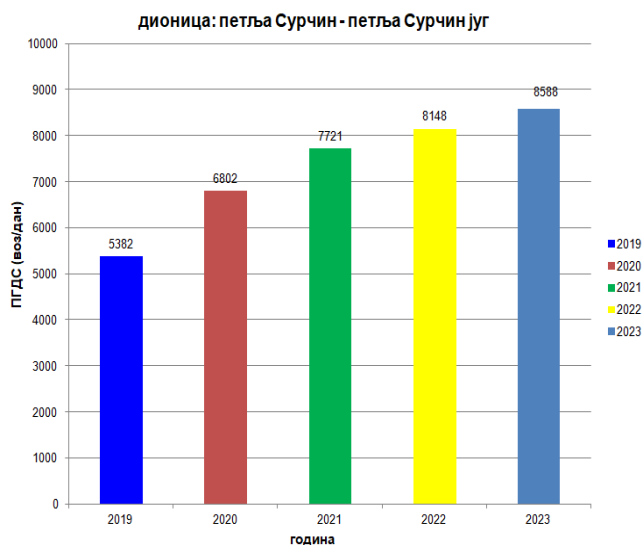
- преузимањем података са аутоматских бројача који стално снимају саобраћај (постоје бројачи који класификују возила у 4 категорије – АБС(4+1) и бројачи који класификују у 10+1 категорију - АБС(10+1))
- повременим аутоматским бројањем саобраћаја - ПАБ
- повременим ручним бројањем саобраћаја - ПРБ
- интерполацијом података - ИНТ
- преузимањем података са деоница са рампама за наплату путарине – НП30
- преузимањем података са деоница у затвореном систему наплате путарине – НП
- преузимањем података са сусједних дионица – АБС*

Анализирајући податке о бројању саобраћаја уочено је да је у 2023. години најоптерећенија дионица држаних путева Републике Србије дионица петља Бубањ Поток- петља Траншпед. ПГДС ове дионице за 2023. годину износи 51682 возила по дану. Посматрајући претходне године највеће оптерећење је од петље Сава Центар до петље Мостар. За ову дионицу бројање није доступно за 2023. годину а претходних година ПГДС ове дионице је преко 150000 возила на дан што се може видјети на слици 2.



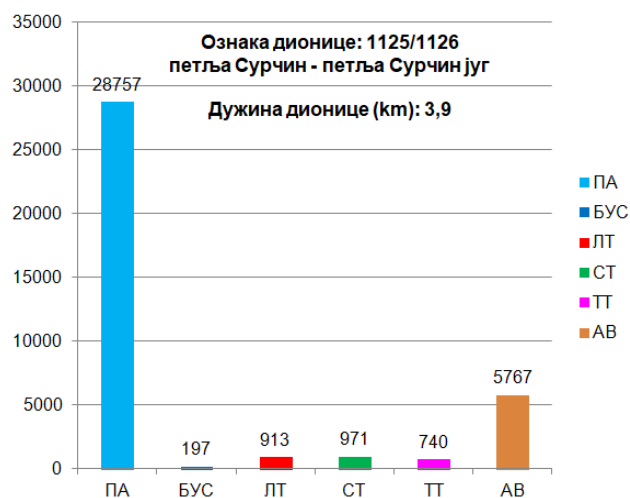
Слика 2. Приказ ПГДС-а за дионицу од петље Сава Центар до петље Мостар за период од 2020. до 2022. године

Гледајући само тешка теретна возила, тј. изузимајући путничке аутомобиле, најоптерећенија дионица је од петље Сурчин до петље Сурчин југ. Укупан број тешких теретних возила за ту дионицу у 2023. години износи 8588 возила на дан. Детаљнији приказ броја ТТВ за ту дионицу за посљедњих пет година је дат на слици 3.



Слика 3. Приказ ПГДС-а за дионицу од петље Сурчин до петље Сурчин југ од 2019. године до 2023. године

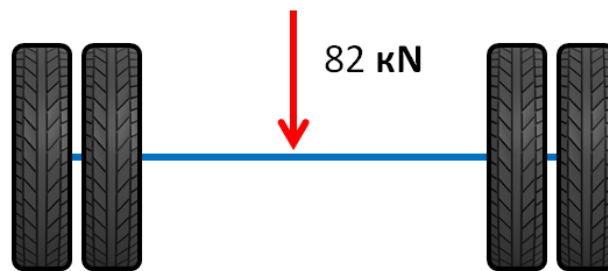
За исту ту дионицу структура возила за 2023. годину је приказана на слици 4. Видљиво је са слике да путнички аутомобили представљају доминантно возило и на овој дионици, као и на већини дионица на мрежи путева.



Слика 4. Приказ структуре возила за дионицу од петље Сурчин до петље Сурчин југ за 2023. годину

3. МЈЕРОДАВНО ОПТЕРЕЋЕЊЕ

Као што је већ наведено у уводном дијелу саобраћајно оптерећење се изражава у еквивалентним стандардним осовинама од 82 kN или 100 kN. Све врсте возила се конвертују у ЕСО која је приказана на слици испод.



Слика 5. Еквивалентна стандардна осовина од 82 kN

Број одређене категорије возила за базну, тј. почетну, годину се множи са факторима еквиваленције. Фактор еквиваленције је просјечан деструктивни утицај посматране осовине у односу на еквивалентну стандардну осовину од 82 kN, тј. представља однос између штетног утицаја на коловозну конструкцију посматране осовине за коју рачунамо фактор еквиваленције и штетног утицаја стандардне осовине од 82 kN. AASHTO тестови су послужили за дефинисање правила четвртог степена. То правило је имплементирано у формулама за факторе еквиваленције. Разликују се формуле за једноструку, двоструку и троструку осовину. Формула за једноструку осовину је:

$$f_e = 2,212 \cdot 10^{-8} \cdot L_1^4 \quad (1)$$

Формула за двоструку осовину је:

$$f_e = 1,975 \cdot 10^{-9} \cdot L_2^4 \quad (2)$$

Формула за троструку осовину је:

$$f_e = 4,269 \cdot 10^{-10} \cdot L_3^4 \quad (3)$$

гдје је:

f_e – фактор еквиваленције

L – укупно оптерећење по осовини

Укупно оптерећење по осовини се добија тако што се властитој тежини одговарајућих возила додаје тежина од терета:

$$T_{os} = V_t + P_t \cdot K_t \quad (4)$$

гдје је:

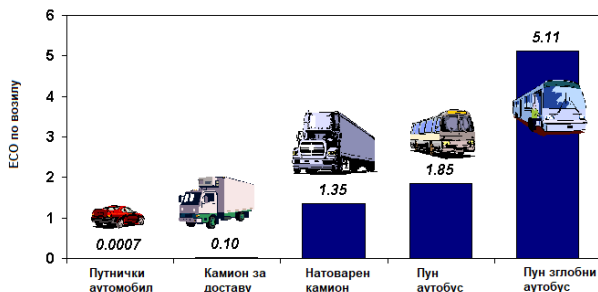
T_{os} – укупно појединачно осовинско оптерећење

P_t – проценат искоришћености терета

K_t – максимални користан терет

Властита тежина и тежина терета су дефинисане у стандарду СРПС У.Ц4.010. за сваку од 8 врста возила из стандарда. Тежина терета се множи са процентуалном искоришћеношћу максималног терета из стандарда. Степен искоришћености теретног капацитета се може утврдити анкетаирањем. Ако није дефинисан тај податак као добра полазна основа може се усвојити проценат искоришћености од 70%.

По стандарду СРПС.У4.010. у прорачун еквивалентног саобраћајног оптерећења се узимају само тешка теретна возила. Под тешким теретним возилима (ТТВ) се подразумевају возила која имају осовинско оптерећење преко 20 kN. На слици 6. су дати фактори еквиваленције за поједине врсте возила. Можемо примјетити да за путнички аутомобил тај фактор износи 0,0007.



Слика 6. Вриједности фактора еквиваленције за појединачна возила [3]

На основу тог податка закључујемо да би требало да имамо 10000 путничких аутомобила да би направили штету као 7 ЕКО од 82 kN. Из тог разлога путнички аутомобили и сва лака возила могу се занемарити приликом прорачуна.

Множењем броја возила са фактором еквиваленције добија се појединачно дневно оптерећење по категоријама возила. Сабирањем појединачних дневних оптерећења добија се укупно дневно оптерећење. Након тога се добија укупно годишње дневно оптерећење за почетну годину експлоатације:

$$T_g = 365 * T_d \quad (5)$$

гдје је:

T_g – укупно годишње саобраћајно оптерећење за прорачун коловозне конструкције

T_d – укупно дневно саобраћајно оптерећење за прорачун коловозне конструкције.

Свака коловозна конструкција се пројектује за одговарајући пројектни период. Како имамо промјену ПГДС-а током пројектног периода не можемо укупно оптерећење добити једноставним множењем броја година са годишњим оптерећењем већ се то ради на основу следеће формуле:

$$T_u = q * T_g \quad (6)$$

гдје је:

T_u – укупно саобраћајно оптерећење у пројектном периоду за прорачун коловозне конструкције

q – фактор раста саобраћаја у пројектном периоду

T_g – укупно годишње саобраћајно оптерећење за прорачун коловозне конструкције

Управо је фактор q параметар који је јако битан и који би требало да познајемо како би добили укупно оптерећење. Фактор q је фактор раста броја тешких теретних возила у пројектном периоду и рачуна се према:

$$q = \sum_{i=1}^p \left(1 + \frac{r}{100}\right)^i \quad (7)$$

гдје је:

q – фактор раста саобраћаја у пројектном периоду

r – просјечна годишња стопа раста ТТВ у пројектном периоду

i – број година пројектног периода

p – укупан пројектни период пута.

За пројектни период од 5 до 20 година и за распон годишње стопе раста броја ТТВ од 1 до 10 дате су табеле које служе како би се убрзао прорачун еквивалентног саобраћајног оптерећења. Наведене вриједности су приказане у табели 1.

Табела 1. Вриједности фактора q [4]

Годишња стопа раста промета, r , у %	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Пројектни период димензионисања, p , у годинама	q									
5	5	5	5	6	6	6	6	6	7	7
10	11	11	12	12	13	14	15	16	17	17
15	16	18	19	21	23	25	27	29	32	35
20	22	25	28	31	35	39	44	49	56	63

Након израчунатог укупног саобраћајног оптерећења прелази се на рачунање мјеродавног саобраћајног оптерећења по саобраћајној траци. Мјеродавно саобраћајно оптерећење по траци зависи од броја трака и рачуна се по формули:

$$T_m = f_t * T_u \quad (7)$$

гдје је:

T_m – мјеродавно саобраћајно оптерећење у пројектном периоду (за прорачун коловозне конструкције)

f_t – фактор којим се узима у обзир број смјерова и број трака (Табела 2)

T_u – укупно саобраћајно оптерећење у пројектном периоду за прорачун коловозне конструкције.

У табели 2. су приказани фактори расподеле саобраћајног оптерећења у зависности од броја трака у сваком смјеру пута.

Табела 2. Процентуална расподела оптерећења у зависности од броја трака [2]

Број саобраћајних трака у попречном профилу пута	Расподјела саобраћајног оптерећења по саобраћајним тракама,			
Једна саобраћајна трака (једносмјеран саобраћај)	100			
Двије саобраћајне траке (двосмјеран саобраћај)	50	50		
Четири саобраћајне траке (двосмјеран саобраћај)	45	5	5	45
Четири саобраћајне траке нивелета пута у успону, $u > 4\%$ (двосмјеран саобраћај)	45	5		50

Након што се израчуна мјеродавно оптерећење оно се може сврстати у једну од пет категорија оптерећења које су приказане у табели 3.

Табела 3. Групе саобраћајног оптерећења

Група саобраћајног оптерећења	Еквивалентно осовинско оптерећење од 82 kN у пројектном периоду		
ВРЛО ТЕШКО	$> 7 \times 10^6$		
ТЕШКО	2×10^6	-	7×10^6
СРЕДЊЕ	7×10^5	-	2×10^6
ЛАКО	2×10^5	-	7×10^5
ВРЛО ЛАКО	$< 2 \times 10^5$		

Категорије оптерећења затим условљавају примјену одговарајућих врста асфалт бетона (АБ) и битуменизираних носећих слојева (БНС). Ти детаљи су дефинисани у стандардима СРПС У.Е4.014 и СРПС У.Е9.021.

4. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА ПРОМЈЕНЕ БРОЈА ТЕШКИХ ТЕРЕТНИХ ВОЗИЛА

Фактор раста броја тешких теретних возила је истраживан за све државне путеве, тј. путне дионице за које су доступна бројања саобраћаја. Укупно је у извјештајима приказано око 860 дионица на којима се броји и утврђује саобраћај на неки од већ поменутих начина. Детаљнија анализа начина бројања саобраћаја је дата у табели 4. Можемо примјетити да тренутно на мрежи државних путева постоји преко 300 аутоматских бројача саобраћаја.

У раду је анализирана просјечна годишња стопа промјене броја ТТВ у периоду од десет година на државним путевима на територији Републике Србије на основу доступних података на сајту ЈП“Путеви Србије“ [4]. Подаци су анализирани за период од 2014. године до 2023. године.

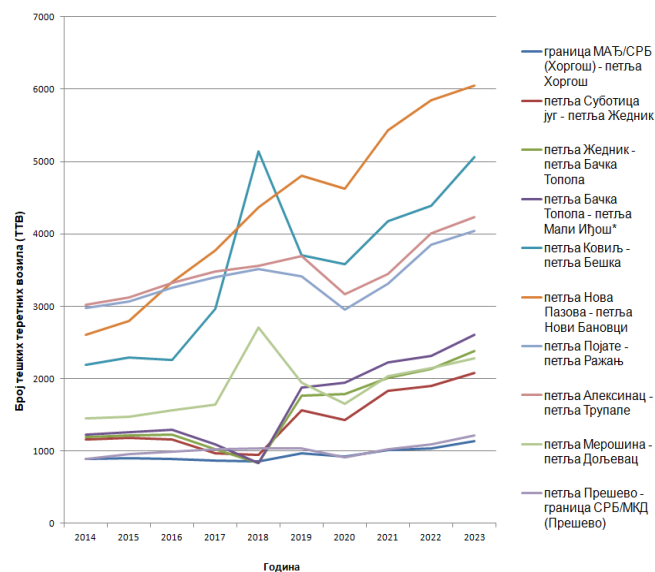
Овај рад представља наставак истраживања аутора овог рада из 2019. године [5] и представља један од ријетких радова који се бави овом тематиком-

Табела 4. Начини бројања саобраћаја на државним путевима од 2014. године до 2023. године

година	ИИТ	АБС(10+1)	АБС(4+1)	АБС*	ПАБ	ПРБ	НП	НП 09
2014	290	322	5	6	79	/	19	7
2015	253	322	5	6	83	41	20	7
2016	304	322	6	7	82	/	26	7
2017	302	321	6	7	96	/	24	8
2018	358	325	/	/	63	/	28	11
2019	303	317	/	/	117	/	32	13
2020	384	341	/	/	0	/	49	43
2021	385	337	/	/	0	/	51	12
2022	283	329	/	/	121	/	44	10
2023	437	306	/	/	0	/	42	5

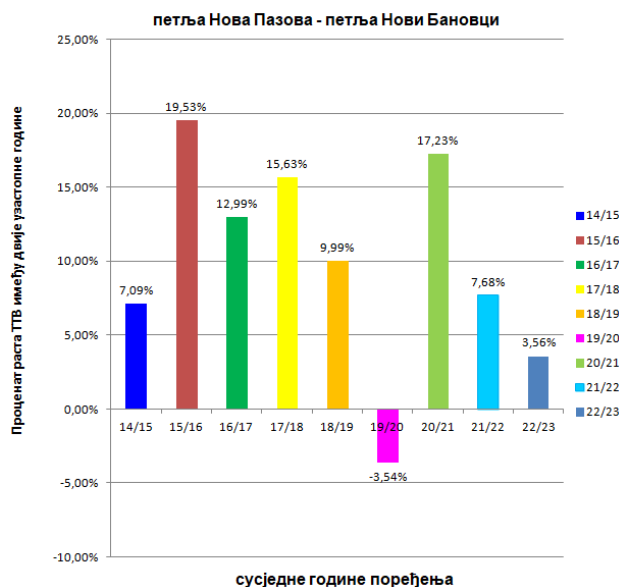
Прво је направљена подјела на путничка возила и тешка теретна возила. Сабрани су бројеви свих тешких теретних возила за сваку путну дионицу. Након тога су подаци обједињени у једну табелу гдје је за сваку дионицу приказан број ТТВ за свих десет година.

Као један примјер анализе на слици 7 је приказано поређење броја ТТВ за дионице на ауто-путу А1 на којима се бројање саобраћаја врши помоћу аутоматских бројача и за које су доступни подаци за свих десет година које су анализиране. На десном дијелу слике су приказани називи путних дионица на којима је утврђен број ТТВ.



Слика 7. Промјене броја ТТВ возила на дионицама ауто-пута на којима се бројање врши помоћу аутоматских бројача

Оно што је видљиво јесте да постоји тренд раста броја ТТВ у периоду од десет година за већину приказаних дионица на слици изнад. Послије тога за сваку од дионица је утврђен пораст броја ТТВ за двије узастопне године. Један од примјера је приказан на слици 8. и то за дионицу ауто-пута од петље Нова Пазова до петље Нови Бановци.



Слика 8. Процентуална промјена броја ТТВ возила за дионицу од петље Нова Пазова до петље Нови Бановци

На приказаној слици уочава се скоро сталан пораст броја ТТВ. Једино је у поређењу броја ТТВ у 2019. години у односу на број ТТВ у 2020. години забиљежен пад. Иако су прегледани сви извјештаји и сва бројања саобраћаја на крају је одабрана 701 дионица на којој се броји саобраћај и то на основу услова да је доступно бројање саобраћаја за сваку од десет година у периоду од 2014. године до 2023. године.

Средња вриједност просјечне годишње промјене броја ТТВ на државним путевима у Србији износи +4,48% а вриједност стандардне девијације износи 0,09. Од свих анализираних дионица на двије дионице се јавила просјечна стопа раста броја ТТВ преко 100%. Прва таква дионица је од границе Србије са Хрватском (гранични прелаз Бездан) до Бездана гдје је број ТТВ у 2017. години за 968% већи у односу на број истих возила у 2016. години. Друга дионица је на путу број 258 другог А реда. Та дионица је од Бујановца до Чукаре на којој је број ТТВ возила у 2016. години већи за преко десет пута (1039 %) у односу на број ТТВ у 2015. години.

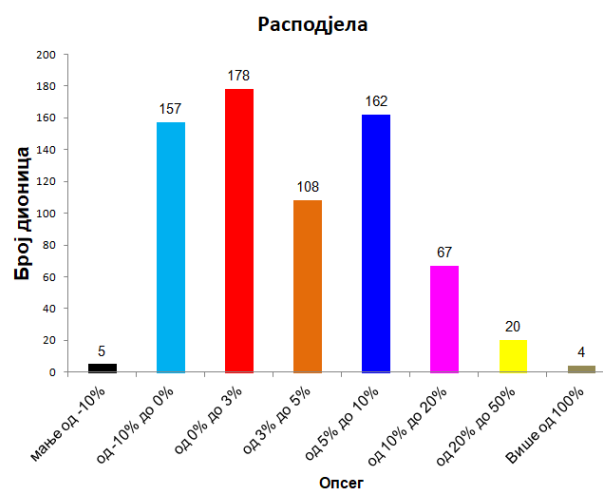
Ако би анализу вршили по категоријама путева онда би се видјеле одређене разлике. Резултати су приказани у табели 5. Највећи просјечни пораст броја ТТВ је на ауто-путевима и износи око +8%. На путевима првог Б и другог А реда тај раст износи око +4,1%.

Из категорије државних путева другог Б реда доступно је бројање за само једну дионицу и просјечни раст за ту дионицу износи +4,05%.

Табела 5. Начини бројања саобраћаја на државним путевима од 2014. године до 2023. године и просјечна стопа раста броја ТТВ за сваку категорију

Категорија пута	Број разматраних дионица	Просјек (2014-2023)	Стандардна девијација
Државни путеви IА реда	64	7,98%	0,046
Државни путеви IБ реда	358	4,17%	0,087
Државни путеви IIА реда	278	4,08%	0,100
Државни путеви IIБ реда	1	4,05%	/*

На слици 9 је приказана расподела броја дионица са одговарајућим опсегом процента промјене броја ТТВ. Највећи број дионица има промјену броја ТТВ у опсегу од 0% до 3%. Други опсег је између 5% до 10%. На трећем мјесту је 157 дионица које имају пад броја ТТВ. Може се још издвојити опсег између 3% и 5%. Број дионица које имају остале просјечне промјене броја ТТВ је доста мањи.



Слика 9. Дијаграм са бројем дионица са одређеним опсегом просјечне промјене броја ТТВ

6. ЗАКЉУЧАК

У раду је приказан поступак прорачуна еквивалентног саобраћајног оптерећења према СРПС У.Ц4.010. Саобраћајно оптерећење се рачуна на основу просјечног годишњег дневног саобраћаја, пројектног периода, просјечне искоришћености носивости терета возила, броја саобраћајних трака

у профилу пута и просјечне промјене броја тешких теретних возила. У прорачуну се не узима број путничких аутомобила. Према наведеном стандарду саобраћајно оптерећење се изражава у број прелаза еквивалентне стандардне осовине од 82 kN. У раду је детаљније обрађен фактор раста броја ТТВ као један од битнијих фактора при димензионисању саобраћајног оптерећења.

База за анализу је бројање саобраћаја на мрежи државних путева у Републици Србији. У крајњој анализи прорачуни су вршени за 701 дионицу. Као услов је усвојено да дионице имају бројање саобраћаја за сваку годину у периоду од 2014. године до 2023. године. У анализираном периоду утврђено је да је просјечна промјена броја ТТВ, од 2014. до 2023. године, +4,48%. Већина посматраних дионица има просјечну промјену броја ТТВ између 0% и +3% и то 178 дионица од 701 дионице колико је анализирано. Ако би посматрали путеве по категоријама можемо да уочимо да ауто-путеви, тј. државни путеви првог А реда, имају просјечну промјену броја ТТВ од око 8%.+ За остале категорије путева просјечни пораст броја ТТВ износи око 4%.

Даља истраживања би требало да обухвате утврђивање различитих просјечних промјена броја ТТВ у току пројектног вијека пута, као и промјену броја свих појединачних категорија ТТВ које се броје. Тиме би смо могли уочити да ли се број појединих категорија у оквиру ТТВ више или мање мијењају на мрежи државних путева Републике Србије.

Захвалност

Ово истраживање је подржано од стране Министарства науке, технолошког развоја и иновација (бр. уговора: 451-03-137/2025-03/200156) и Факултета техничких наука Универзитета у Новом Саду кроз пројекат "Научноистраживачки и уметничкоистраживачки рад истраживача у наставним и сарадничким звањима Факултета техничких наука Универзитета у Новом Саду 2025" (бр: 01-50/295).

Литература:

- [1] Доступно преко: <https://www.putevi-srbije.rs/index.php/sr/o-pata> (приступљено 10.03.2025.)
- [2] Институт за стандардизацију Србије. (1981). *Одређивање укупног еквивалентног саобраћајног оптерећења за димензионисање асфалтних коловозних конструкција*.
- [3] Доступно преко: http://hawaiiiasphalt.org/guide/modules/06_design_factors/06_loads.htm (приступљено 15.03.2025.)
- [4] Бројање саобраћаја. Доступно преко: <https://www.putevi-srbije.rs/index.php/sr/brojanje-saobra%C4%87aja> (приступљено 10.03.2025.)
- [5] Marinković, M. (2019). Average annual rate of change in the number of heavy truck vehicles on the state roads of the Republic of Serbia. *Journal of Road and Traffic Engineering*, 65(1), 51-56. <https://doi.org/10.31075/PIS.65.01.08>

Equivalent standard axle load and number of heavy truck vehicles as a parameter in the pavement design

Milan Marinković, Grad. Civil Eng.

University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department for Civil Engineering and Geodesy, Novi Sad

Abstract:

One of the most important parameters in pavement design is the traffic load. In Serbia, the traffic load is expressed in the number of crossings of an equivalent standard axle. The following parameters are important for the calculation of the equivalent traffic load: average annual daily traffic, project period, percentage of cargo capacity utilization as well as the growth factor of the number of heavy truck vehicles, since passenger cars are not taken into account when calculating the traffic load. In this paper, an analysis of the factors of change in the number of heavy truck vehicles on the national road network of the Republic of Serbia was carried out. The period from 2014 to 2023 is covered. Data were analyzed for those sections that had traffic counts for each of the ten years. A total of 701 road sections were analyzed. By analysis, it was obtained that the average growth rate on the national road network of Serbia is +4.48%, and if we look only at highways, that rate is +7.98%.

Keywords: AADT, types of vehicles, equivalent standard axle load, heavy truck vehicles