



УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
ФАКУЛТЕТ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА

Бојана М. Бошковић

**ТЕОРИЈСКА И ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА АНАЛИЗА
УТИЦАЈА КОЧНОГ СИСТЕМА ВОЗИЛА НА
БЕЗБЕДНОСТ ДРУМСКОГ САОБРАЋАЈА**

докторска дисертација

Крагујевац, 2025.



UNIVERSITY OF KRAGUJEVAC
FACULTY OF ENGINEERING

Bojana M. Bošković

**THEORETICAL AND EXPERIMENTAL ANALYSIS OF
THE INFLUENCE OF THE VEHICLE BRAKING
SYSTEM ON ROAD TRAFFIC SAFETY**

Doctoral Dissertation

Kragujevac, 2025.

Аутор
Име и презиме: Бојана Бошковић
Датум и место рођења: 20.05.1992. године, Краљево
Садашње запослење: Асистент, Академија струковних студија Шумадија – Одсек Трстеник
Докторска дисертација
Наслов: Теоријска и експериментална анализа утицаја кочног система возила на безбедност друмског саобраћаја
Број страница: 175
Број слика: 106
Број библиографских података: 199
Установа и место где је рад израђен: Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу
Научна област (УДК): Машинско инжењерство ([656.1:614.8]:629.017)
Ментор: др Надица Стојановић, доцент, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу
Број и датум одлуке Већа универзитета о прихватању теме докторске дисертације: IV-04-10/5 од 22.01.2025. године

Мојој породици

ЗАХВАЛНИЦА

Посебну захвалност упућујем својој менторки, др Надици Стојановић, која је неуморно делила своје знање и искуство са мном. Њена посвећеност, стрпљење и подршка инспирисали су ме да напредујем и откривам нове димензије свог истраживања. Њено вођство било је драгоценост, не само у академском смислу, већ и у обликовању мог приступа раду и учењу. Професорка Надица Стојановић је била не само ментор, већ и узор посвећености и професионалности. Њени савети нису ми помагали само у истраживању, већ су ме обликовали као истраживача и као особу. Њена подршка била је непроцењива, а њено веровање у мене дало ми је снагу да наставим и у најтежим тренуцима, да увек тежим ка вишим циљевима и дам свој максимум.

Такође, изражавам захвалност и професору др Ивану Грујићу на драгоцености помоћи приликом спровођења експеримента. Његово знање, стрпљење и пажња према детаљима били су од огромне користи у практичном делу мог истраживања. Уз његову подршку, сваки корак експерименталног рада био је јасно усмерен и успешно реализован. Његова стручност и несебична посвећеност помогли су ми да постигнем високе стандарде у овом делу истраживања.

Желим да се захвалим професорима, првенствено др Данијели Милорадовић, која је била мој ментор саветник на овом нивоу студија, као и др Јованки Лукић, др Јасни Глишовић, др Јовану Дорићу и др Павлу Питки, који су ми током студија пренели своја знања и искуства. Њихов труд и посвећеност образовању студената поставили су темеље мог стручног развоја и омогућили ми да се припремим за изазове истраживачког рада. Хвала вам што сте својим предавањима, саветима и подршком били део мог академског пута.

Желим да изразим дубоку захвалност професору др Саши Бабићу, чија је стручност и мотивација имала посебан утицај на мој рад. Његова подршка и посвећеност су ми омогућили да истражујем нове перспективе и развијам критички приступ. Професор Бабић је увек био ту да ме подстакне да идем даље и пружао ми је драгоцене увиде који су знатно унапредили квалитет мог истраживања. Његов ентузијазам и веровање у мене били су непроцењиви, и осећам дубоку захвалност што имам прилику да радим под његовим вођством.

Захваљујем се и осталим колегама са Академије струковних студија Шумадија - Одсек Трстеник, на корисним сугестијама и подршци током овог пута. Њихове повратне информације, као и подршка и веровање у мене, помогли су ми да постигнем оно што сам замислила.

На крају, желим да се захвалим својим пријатељима, који су ми током овог пута били извор подршке, смеха и мотивације. Њихово пријатељство, разумевање и увек присутна рука помоћи учинили су да се осећам сигурно на сваком кораку. Хвала вам што сте веровали у мене, охрабривали ме када сам била уморна и славили са мном сваки мали корак напред. Без вас, овај процес би био много тежи, и неизмерно сам захвална што вас имам у животу.

Драга породицо, овај докторат посвећујем вама, који сте од почетка били уз мене као моја највећа подршка и инспирација. Кроз све успоне и падове, били сте ми највећи ослонац, давали ми снагу и веровали у мене, чак и кад сам сумњала у себе. Ваша љубав и разумевање подстакли су ме да не одустанем и наставим даље, чак и у најизазовнијим тренуцима. Без вас, овај тренутак не би био могућ.

Овај докторат је резултат вашег труда, подршке и инспирације. Сваки корак овог пута догујем вама. Хвала вам од срца на свему.

РЕЗИМЕ

Кочни систем има кључан утицај на безбедност саобраћаја. Улога кочног система је прилагођавање брзине возила, заустављање и задржавање возила у стању мировања. Ефикасност кочења оцењује се оствареним успорењем током процеса кочења. Успорење возила зависи од техничког стања кочног система, услова пута, оптерећења возила и возача. Акцент у првом делу истраживања докторске дисертације је стављен на техничку неисправност кочног система. Анализом доступних података Агенције за безбедност саобраћаја у вези са бројем саобраћајних незгода где је један од узрочника била техничка неисправност, закључује се да се 24% саобраћајних незгода догодило због неисправног кочног система. Даљом анализом испитани су ставови возача путем анкете о томе како долази до саобраћајне незгоде услед неисправности кочног система возила. Прикупљањем одговора и њиховом анализом дошло се до податка да ниво образовања, године поседовања возачке дозволе и број пређених километара на годишњем нивоу не утичу на ставове испитаника. Постоји група испитаника (4,6% од укупно 457 испитаника) која не би реаговала на сигналну лампицу која указује на неправилност у раду кочног система. Следећа фаза истраживања базирана је на лабораторијским мерењима, односно утврђивању утицаја радних параметара на вредност успорења возила. Најутицајнији параметар је притисак у кочној инсталацији, затим брзина у тренутку активирања кочнице, док је параметар који има најмањи утицај температура елемената фрикционог пара. Новина овог истраживања је увођење новог контролног параметра ограничавања успорења, чиме је омогућено да успорење које се постиже не доведе до нарушавања стабилности возила и безбедности саобраћаја. На крају истраживања креиран је модел за предикцију успорења возила, чија грешка не прелази 1,52%, чиме би се у будућности допринело смањењу потребе за лабораторијским истраживањима.

Кључне речи: возило, успорење, ефикасност кочења, безбедност саобраћаја, ставови возача, модел за предикцију.

ABSTRACT

The braking system has a crucial impact on traffic safety. The role of the braking system is to adjust the vehicle speed, stop it, and hold it stationary. The effectiveness of braking is evaluated by the deceleration achieved during the braking process. Vehicle deceleration depends on the technical condition of the braking system, road conditions, vehicle load, and the driver. The first part of this doctoral dissertation focuses on the technical malfunction of the braking system. The analysis of the available data from the Road Traffic Safety Agency regarding the number of traffic accidents where technical malfunction was one of the causes shows that 24% of traffic accidents occurred due to faulty braking systems. Further analysis examined drivers' attitudes through a survey on how traffic accidents occur as a result of brake system malfunctions. The collection and analysis of responses revealed that education level, years of holding a driver's license, and the number of kilometers driven annually do not affect respondents' attitudes. A group of respondents (4.6% out of a total of 457 respondents) indicated that they would not react to a warning light signaling a brake system malfunction. The next phase of the research was based on laboratory measurements, i.e. on determining the influence of operating parameters on the value of vehicle deceleration. The most influential parameter is the pressure in the braking system, followed by the speed at the moment of brake activation, while the parameter with the least influence is the temperature of the friction pair elements. This research introduces a novel control parameter for deceleration limitation, ensuring that the achieved deceleration does not lead to impairment of vehicle stability and traffic safety. Finally, the model for predicting vehicle deceleration was developed, with an error margin not exceeding 1.52%, which could contribute to reducing the need for laboratory testing in the future.

Keywords: vehicle, deceleration, braking efficiency, traffic safety, drivers' attitudes, prediction model.

САДРЖАЈ

1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА	1
1.1 Развојни пут кочног система	1
1.2 Основе кочног система	4
1.3 Значај успорења возила са аспекта безбедности саобраћаја	11
1.4 Разлози предложеног истраживања.....	13
1.5 Основне хипотезе	15
1.6 Циљеви дисертације.....	15
1.7 Очекивани резултати	16
1.8 Структура докторске дисертације	16
2. ЗНАЧАЈ ИСПРАВНОСТИ КОЧНОГ СИСТЕМА ВОЗИЛА КАО ФАКТОРА БЕЗБЕДНОСТИ ДРУМСКОГ САОБРАЋАЈА.....	18
2.1 Значај успорења возила у процени перформанси кочног система.....	18
2.2 Утицај отказа кочног система на безбедност саобраћаја	25
2.2.1 Слабљење кочнице	25
2.2.2 Геометријска одступања диска и кочне плочице	27
2.2.3 Бука и вибрације.....	30
2.2.4 Откази система против блокирања точкова	32
3. МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА	34
3.1 Статистичка метода.....	34
3.1.1 Статистичка анализа утицаја неисправности кочног система возила на број саобраћајних незгода	34
3.2 Ставови возача у погледу исправности кочног система возила са аспекта безбедног учешћа у друмском саобраћају	37
3.3 Експериментална метода.....	41
3.3.1 Експериментална истраживања диск кочница	42
3.3.2 Опитна инсталација.....	43
3.3.3 Поступак и приказ тестова експерименталних истраживања.....	45
4. АНАЛИЗА БЕЗБЕДНОСТИ САОБРАЋАЈА НА ТЕРИТОРИЈИ РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ У ПЕРИОДУ ОД 2019. ДО 2023. ГОДИНЕ.....	51
4.1 Индикатори безбедности саобраћаја	55
4.2 Показатељи безбедности саобраћаја	56
4.3 Праћење тренда саобраћајних незгода кроз историју	59
4.4. Анализа стања безбедности саобраћаја на територији Републике Србије у периоду од 1981. до 2018. године	62
4.4.1 Приказ стања безбедности саобраћаја у Републици Србији.....	62

4.4.2	Групе утицајних фактора саобраћајних незгода за Републику Србију у 2018. години.....	65
4.5	Анализа стања безбедности саобраћаја у Републици Србији у периоду од 2019. до 2023. године	66
4.5.1	Анализа стања безбедности саобраћаја у Републици Србији у периоду од 2019. до 2023. године са аспекта броја саобраћајних незгода	67
4.5.2	Анализа стања безбедности саобраћаја у Републици Србији у периоду од 2019. до 2023. године са аспекта последица.....	70
4.6	Јавни и саобраћајни ризик у Републици Србији у периоду од 2019. до 2023. године	74
5.	СТАВОВИ ВОЗАЧА У ПОГЛЕДУ ИСПРАВНОСТИ КОЧНОГ СИСТЕМА ВОЗИЛА СА АСПЕКТА БЕЗБЕДНОГ УЧЕШЋА У ДРУМСКОМ САОБРАЋАЈУ	79
5.1	Избор елемената анкетног истраживања	80
5.2	Креирање упитника.....	85
5.3	Резултати и дискусија анкетног истраживања	87
5.4	Корелациона анализа	103
6.	ПРИКАЗ И АНАЛИЗА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ДОБИЈЕНИХ РЕЗУЛТАТА	108
6.1	Приказ и дискусија резултата спроведених експерименталних испитивања	108
6.1.1	Проширени тест са константном почетном брзином	108
6.1.2	Проширени тест са константним кочним притиском.....	112
6.1.3	Проширени тест понављања	115
6.1.4	Тестови испитивања у зависности од максималног граничног успорења.....	124
6.2	Анализа утицаја радних параметара на излазне величине применом Тагучи методе.....	129
6.2.1	Креирање модела.....	130
6.2.2	Доказивање нулте хипотезе.....	131
6.2.3	Рангирање улазних параметара.....	131
6.2.4	Анализа варијансе	131
6.2.5	Анализа утицаја брзине возила у тренутку активирања кочнице, притиска у кочном систему и температуре елемената фриксионог пара на вредност успорења	132
7.	РАЗВОЈ МОДЕЛА ЗА ПРЕДИКЦИЈУ УСПОРЕЊА ВОЗИЛА	134
7.1	Примена машинског учења у развоју модела за предвиђање	134
7.2	Експериментални подаци	135
7.3	Методологија развоја модела.....	136
7.4	Резултати и дискусија	138
8.	ЗАКЉУЧАК.....	148
8.1	Допринос истраживања	152
8.2	Доказ постављених хипотеза	152

8.3 Будућа истраживања	153
ЛИТЕРАТУРА.....	154
Страна литература.....	154
Домаћа литература	164
ПРИЛОГ А.....	167
ПРИЛОГ Б.....	170

ПОПИС СКРАЋЕНИЦА И ОЗНАКА

Попис скраћеница термина на српском језику

АБС	Агенција за безбедност саобраћаја
БС	Безбедност саобраћаја
ДСР	Динамички саобраћајни ризик
ЈР	Јавни ризик
ЛТП	Лаке телесне повреде
МШ	Материјална штета
НАСТ	Настрадали
ПБНЛ	Пондерисани број настрадалих лица
ПБСН	Пондерисани број саобраћајних незгода
ПГДС	Просечан годишњи дневни саобраћај
ПОВ	Повређени
ПОГ	Погинули
ПУ	Полицијска управа
СН	Саобраћајна незгода
СР	Саобраћајни ризик
ТИЗМГУ	Тестови испитивања у зависности од максималног граничног успорења
ТКП	Тест са константним кочним притиском
ТКПБ	Тест са константном почетном брзином
ТКП _{М3ОМУ}	Тест са константним кочним притиском и активираним модулом за ограничење максималног успорења
ТКПБ _{М3ОМУ}	Тест са константном почетном брзином и активираним модулом за ограничење максималног успорења
ТП	Тест понављања
ТП _{М3ОМУ}	Тест понављања и активираним модулом за ограничење максималног успорења
ТТП	Тешке телесне повреде
УН	Уједињене нације

Попис скраћеница термина на страном језику

AAAFTS	Фондација Америчке аутомобилске асоцијације за безбедност саобраћаја (енгл. <i>American Automobile Association Foundation for Traffic Safety</i>)
ABS	Система против блокирања точкова (енгл. <i>Anti-lock Braking System</i>)
ARIMA	Ауторегресивни интегрисани модел покретног просека (енгл. <i>Autoregressive Integrated Moving Average</i>)
CARE	Заједничка база о саобраћајним незгодама (енгл. <i>Community database on road accidents</i>)
DRAC	Стопа успорења у циљу избегавања судара (енгл. <i>Deceleration Rate to Avoid a Crash</i>)

ECE	Стандарди Европске економске комисије (енгл. <i>European Economy Community</i>)
EDA	Истраживачка анализа података (енгл. <i>The Exploratory Data Analysis</i>)
ESRA	Међународно истраживање ставова о безбедности саобраћаја (енгл. <i>E-survey of Road users Attitudes</i>)
FMVSS	Федерални стандарди за безбедност моторних возила (енгл. <i>Federal Motor Vehicle Safety Standards</i>)
IRTAD	Међународна група за анализу података о саобраћајним незгодама (енгл. <i>International Traffic Safety Data and Analysis Group</i>)
IS	Индијски стандарди (енгл. <i>Indian Standards</i>)
ITS	Интелигентни транспортни систем (енгл. <i>Intelligent Transportation System</i>)
OECD	Организација за економску сарадњу и развој (енгл. <i>Organisation for Economic Co-operation and Development</i>)
SARIMA	Сезонски ауторегресивн интегрисани покретни просек (енгл. <i>Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average</i>)
SARTRE	Друштвени ставови према ризику саобраћаја на путевима у Европи (енгл. <i>Social Attitudes to Road Traffic Risk in Europe</i>)
UNECE	Економска комисија Уједињених Нација за Европу (енгл. <i>United Nations Economic Commission for Europe</i>)

Попис ознака

Ознака	Јединица	Назив
D	-	број незгода са смртним исходом
D_R	-	разлика рангова за сваки пар резултата
F	N	сила
$MFDD$	m/s ²	средње потпуно развијено успорење
N	-	број регистрованих аутомобила
N_{cp}	-	величина циљне популације
N_u	-	величина узорка
P	-	број становника
S_k	m	пут кочења
T	°C	температура
V_b	km/h	брзина на крају мерења
V_e	km/h	брзина на почетку мерења
a	m/s ²	убрзање
d_{avg}	m/s ²	средње успорење
$\vec{d}(t)$	m/s ²	вектор успорења (негативно убрзање)
dt	s	временски интервал
dV	m/s	смањење брзине

d_z	m/s ²	задато успорење у модулу за ограничење успорења при којем се врши деактивација кочница
e	%	граница грешке
g	m/s ²	убрзање силе Земљине теже
m	kg	маса тела
P	-	пропорција истраживане популације
p_h	МПа	кочни притисак (притисак у хидрауличној инсталацији)
r	-	Пирсонов коефицијент
s_b	m	пређени пут од тренутка када је започето кочење до тренутка постизања брзине V_b
s_e	m	пређени пут од тренутка када је започето кочење до тренутка постизања брзине V_e
t_k	s	време кочења
v_0	km/h	брзина у тренутку активирања кочнице
\bar{y}	-	аритметичка средина
y_i	-	одступање оригиналне вредности
y_r	-	одступање вредности од аритметичке средине
z	%	интервал поузданости
Π_i	-	пондер ($i = 1 \div 3$)
$CH_{ЛТП}$	-	број саобраћајних незгода са лаким телесним повредама
$CH_{ПОГ}$	-	број саобраћајних незгода са погинулим лицима
$CH_{ТПП}$	-	број саобраћајних незгода са тешким телесним повредама

Грчки алфабет

Ознака	Јединица	Назив
Δ	-	порастан
ρ	-	Спирманов коефицијент
σ	-	стандардна девијација

1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА

У уводном делу биће представљен предмет истраживања кроз приказ; развоја кчног система, основног принципа рада кчног система, значаја успорења са аспекта безбедности саобраћаја, утицаја техничког стања возила, утицаја температуре на пут кочења, као и разлога због којих се врши предложено истраживање. Такође, у оквиру овог поглавља биће дефинисане хипотезе и циљеви, као и очекивани резултати.

1.1 Развојни пут кчног система

Кчни систем, са аспекта техничке исправности возила, представља систем који директно утиче на безбедно учешће возила у саобраћају. Улога система за кочење јесте успоравање и/или заустављање возила, односно прилагођавање условима саобраћаја, а све у циљу да не дође до саобраћајне незгоде. Поред тога, улога кчног система је да онемогући кретање возила у случају када је возило паркирано, односно да га задржи у стању мировања.

Прича о кчним системима почиње проналаском аутомобила 1886. године, од стране Карла Бенца (енгл. *Carl Benz*). Данас, готово сто четрдесет година касније, кчни систем је еволуирао у сложен систем који је пројектован да се прилагоди различитим експлоатационим условима. Први аутомобили су били опремљени једноставним механизмима за кочење који нису били ефикасни и представљали су значајне безбедносне ризике, јер је њихова конструкција била иста као на кочијама, па су и точкови били као на кочијама – крути (најчешће дрвени). Први аутомобил приказан је на слици 1.1.



Слика 1.1 Први аутомобил (Munro, 2022)

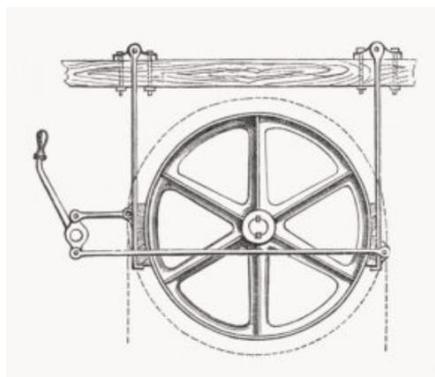
Прве пнеуматике који су коришћени на возилу развили су, 1895. године, браћа Мишлан (фран. *Michelin*), што је довело до повећања брзине кретања возила и даље је условљавало развој нових технологија кочења, које би у том тренутку могле да одговоре новонасталим захтевима. Ови пнеуматици приказани су сликом 1.2. У јуну 1895. године, браћа Мишлан су се пријавила за трку Париз-Бордо-Париз како би доказали да је могуће возити тешко возило на великим раздаљинама, које је опремљено пнеуматичима.

Прве добош кчнице развио је Готлиб Дајмлер (нем. *Gottlieb Daimler*). Сила кочења се преносила преко кчне траке која се налазила са спољашње стране добоша, односно

добош је готово био обмотан њоме. Трака је једним крајем била причвршћена за шасију возила, док је другим крајем била у вези са ужетом које је преносило кочну силу. Добош је био у чврстој вези са точком и имао је исту угаону брзину као и точак. На почетку 20. века, Луј Рено (фран. *Louis Renault*), врши модификацију овог дизајна. Педала кочнице управљана полугом и ужадима, делује на унутрашњу страну добоша који ротира, док је добош такође био причвршћен за точак. Тако заштићене од спољашњих утицаја (нечистоћа и воде), кочнице биле су врло ефикасне (Mayank и сарадници, 2022). Прве диск кочнице (слика 1.3) патентирао је Вилијам Ленчестер (енгл. *William Lanchester*) 1902. године. Састојале су се од бакарне кочне плочице и челичног диска. Међутим, у односу на тадашње добош кочнице имале су недостатке: мали коефицијент трења која се остваривао у току процеса кочења и при том су захтевале много веће силе за заустављање. Још један недостатак ових кочница била је појава шкрипе.



Слика 1.2 Изглед пнеуматика који су први коришћени на аутомобилима (Merbilhaa, 2023)



Слика 1.3 Прве диск кочнице (Versand, 2025)

Феномен шкрипе је смањен применом азбестних облога, које је увео Херберт Фруд (енгл. *Herbert Froot*). Међутим, иако је тачан датум тешко одредити, отприлике 1990-их година, уз помоћ низа студија, долази се до спознаје о токсичности азбеста и почиње се са радом на смањењу његове примене. Од тада, модерне кочне плочице се праве од неазбестних органских једињења, полуметалних једињења, керамике или синтерованих металних прахова. Оно што је још тада био главни адут диск кочница је њихова способност да боље одводе топлоту у околину, што доводи до мање деградације перформанси у односу на њихове претходнике.

Када је кочни систем у питању, велики помак је направљен код аутомобила француске производње Хиспано-Суиза (енгл. *Hispano-Suiza*) 1919. године, који је поседовао једну ножну педалу за активирање кочница на сва четири точка. Ово је одступало од

уобичајеног захтева које је имао возач, да мора истовремено да делује на команде које се активирају руком и ногом.

Услед развоја нових технологија у аутомобилској индустрији, долази до повећања брзине возила, што доводи до првих система кочења на четири точка. Хидрауличке кочнице је патентирао Малком Лочид (енгл. *Malcom Lockheed*). Дузенберг Модел А (енгл. *Duesenberg Model A*), постаје први аутомобил серијске производње који 1921. године почиње са коришћењем хидрауличког кочног система на сва четири точка. Ово је узроковало нови проблем код кочница, а то је њихово хабање, које је имало значајан утицај на перформансе кочења. Самоподешавајуће кочнице су први пут коришћене на аутомобилу Кол (енгл. *Cole*) из 1925. године, а систем који се данас користи развијен је 1946. године, када је Студбејкер (енгл. *Studebaker*) уградио систем који је клинове и полуге држао потиснуте уз помоћ опруге и на тај начин подешавао зазор у кочном систему.

Серво кочнице датирају из раних 1900-их, када је аутомобил Тинчер (енгл. *The Tincher*) користио пнеуматске кочнице, међутим, оне своју примену у серијској производњи налазе на аутомобилима Пирс-Ароу (енгл. *Pierce-Arrow*) тек 1928. године.

Године 1958. године развијен је аутомобилски систем против блокирања точкова (енгл. *Anti-Blocking system*), који је уграђен у Џенсен (енгл. *Jensen FF*). Међутим, ово није представљало нову технологију, јер је први такав систем који се примењивао на авионима развио Гејбријел Воисин (енгл. *Gabriel Voisin*) 1929. године. Након тога, Бош-Мерцедес (енгл. *Bosch-Mercedes*) је крајем 1936. развио електронски систем против блокирања точкова.

Хидраулички кочни системи који су тада били у употреби, имали су главни кочни цилиндар са једним клипом, а у случају хаварије код таквог кочног система, односно оштећења неког од водова, није било могуће заочити ниједним точком. Први покушај да се ово реши је направила фирма Вагнер електрик (енгл. *Wagner electric*) која је уградила два главна цилиндра повезана на исту педалу. Кадилак (енгл. *Cadillac*) је 1962. године представио главни кочни цилиндар са два клипа, сличан данашњим.

Први модерни систем диск кочница представљен је на серијском возилу Студбејкер Аванти (енгл. *Studebaker Avanti*) 1962. године, који је имао диск кочнице Бендикс (енгл. *Bendix*) на сва четири точка. Разлог због којег је овај систем био тако успешан је тај што је користио вакуумски појачивач да смањи силу коју возач мора да оствари на педали током процеса кочења.

Следећи корак направљен на развојном путу система против блокирања точкова, догодио се 1978. године, када је Мерцедес понудио потпуно електронски систем заснован на њиховом ранијем систему из 30-их година прошлог века. Ово је у суштини систем који се и данас користи.

Почетком 21. века, из употребе се у потпуности избацују азбестне кочне плочице, услед спознаје о њиховој штетности на здравље људи и околину. Мерцедес је 2006. године развио активни помоћни систем за одржавање растојања (енгл. *Brake Distronic*). Систем користи радарско мерење растојања до возила испред, и у случају када возило детектује објекат испред (може бити друго возило, пешак и сл.), аутоматски кочи. На овај начин се спречавају акцидентне ситуације.

Системи који помажу да се возило безбедно заустави и да се спречи појава акцидентних ситуација настављају да се развијају веома брзо. Електронски кочни системи, који користе сензоре и микропроцесоре за контролу кочног система су нешто што се подразумева на новим возилима, јер пружају боље перформансе и прецизнију контролу од традиционалних хидрауличких система. Историја развоја технологије кочница показује колико се далеко стигло у погледу безбедности и перформанси. Од једноставне кочнице која се активирала путем полуге, до кочног система где се кочна сила преноси путем сигнала, кочнице су прешле дуг пут током претходних сто двадесет година. Историјски развој кочница приказан је на слици 1.4.



Слика 1.4 Историјски развој кочница

1.2 Основе кочног система

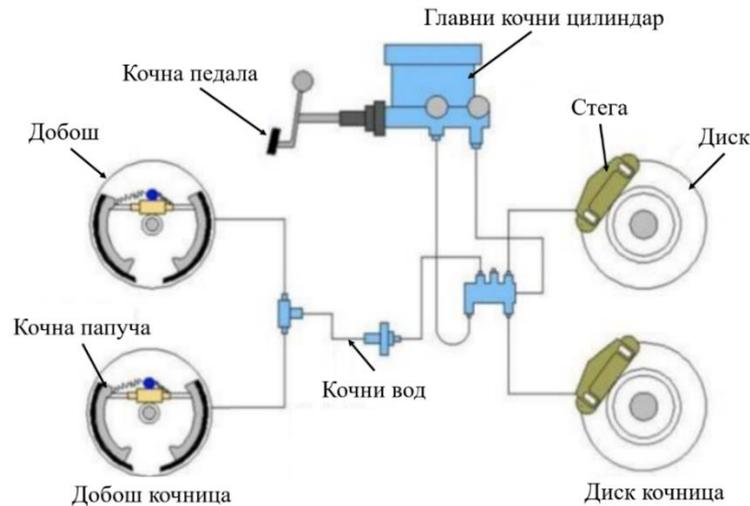
Главни циљ система за кочење је смањење брзине возила. Различита ограничења која се постављају пред кочни систем, као што су минималан зауставни пут, поузданост при различитим експлоатационим условима и сл., постала су кључна брига приликом пројектовања нових возила. Као и сваки дизајн, прорачуни успорења почињу са одређеним претпоставкама које се касније потврђују или модификују у складу са добијеним резултатима мерења.

Систем за кочење је део доњег подстроја који служи за успоравање или потпуно заустављање возила и за обезбеђивање задржавања возила у стању мировања (Глишовић и Лукић, 2021). Кочни систем користи трење кочних папуча и добоша (добош кочнице) или кочних плочица и диска (диск кочнице) за претварање кинетичке енергије у топлотну енергију која се генерише у процесу кочења. Када се кочнице активирају, кочне папуче или кочне плочице, које притискају добош или диск, претварају кинетичку енергију у топлоту трењем. Кочнице су у суштини механизам за промену вида енергије. Код возила се могу пронаћи различита извођења система за кочење. Код старих возила, најчешће коришћена комбинација је диск кочнице на предњим точковима, а добош кочнице на задњим точковима (слика 1.5), док се на новијим возилима на свим точковима користе диск кочнице.

Према „Правилнику о подели моторних и прикључних возила и техничким условима за возила у саобраћају на путевима“ („Службени гласник“ 53/2025), кочни систем или уређај за заустављање, возачу мора омогућити поуздан рад, што подразумева брз и

ефикасан одзив, постепено смањење брзине до жељене брзине или до заустављања возила. Функције које остварује систем за кочење су:

- радно кочење,
- помоћно кочење,
- паркирно кочење и
- дуготрајно успоравање.



Слика 1.5 Шема хидрауличког система за кочење (Мауанк и сарадници, 2022)

Радно кочење има задатак да обезбеди прогресивно смањење брзине возила, по потреби и да заустави возило без обзира на брзину којом се оно кретало у том тренутку, као и тип терена по коме се кретало. Међутим, његово дејство мора бити постепено и возач мора имати могућност да то дејство оствари са свог седишта, при чему се његове руке налазе на точку управљача.

Помоћно кочење омогућава, уколико дође до једног или више отказа у систему за кочење, да возило успори и заустави. Том приликом, интензитет кочења мора бити адекватно остварен, а једна рука возача мора бити слободна, како би возач имао могућност да поред кочења, врши и управљање возилом.

Паркирно кочење има задатак да спречи кретање заустављеног возила уз помоћ одговарајућег механичког уређаја предвиђеног за то. Приликом изведбе овог подсистема, возачу се мора омогућити да он то може урадити са возачког места, када је реч о моторном возилу.

Дуготрајно успоравање возила се такође изводи тако да возач са возачког места може извршити његову активацију, како би остварио успоравање возила које се креће путем са великим нагибом. Овакав вид кочења је проблематичан са аспекта термичког напрезања кочница.

Технологија кочења се константно развија због побољшања безбедности, ефикасности и перформанси возила. Све већи број возила и различити услови на путу повећавају ризик од настанка саобраћајних незгода, што подстиче инжењере у овој области да побољшају кочни систем и системе који помажу возачу да не дође до акцидентних ситуација. Поред безбедносних фактора, ефикасност, перформансе и иновације материјала су постале фокусне тачке у неколико студија кочних система током протекле деценије.

Сваки кочни систем се састоји од четири подсистема: командног механизма, извора енергије, преносног механизма и извршних елемената (слика 1.6). Сваки од ових система има одређени задатак, а као целина чине кочни систем путничких возила.



Слика 1.6 Структура система за радно кочење код путничких возила (Глишовић и Лукић, 2021)

Командни механизам се користи за активирање кочног система (радне, паркирне и других кочница) и за различите врсте кочница је изведен на различите начине. Код путничких возила, то је педала кочнице за радну кочницу. Командни механизам може бити ножни или ручни. Извор енергије је возач, који притиском на командни механизам радне кочнице активира систем за кочење. Уређај за активирање радне кочнице се састоји од: педала кочнице, главног кочног цилиндра и серво појачивача.

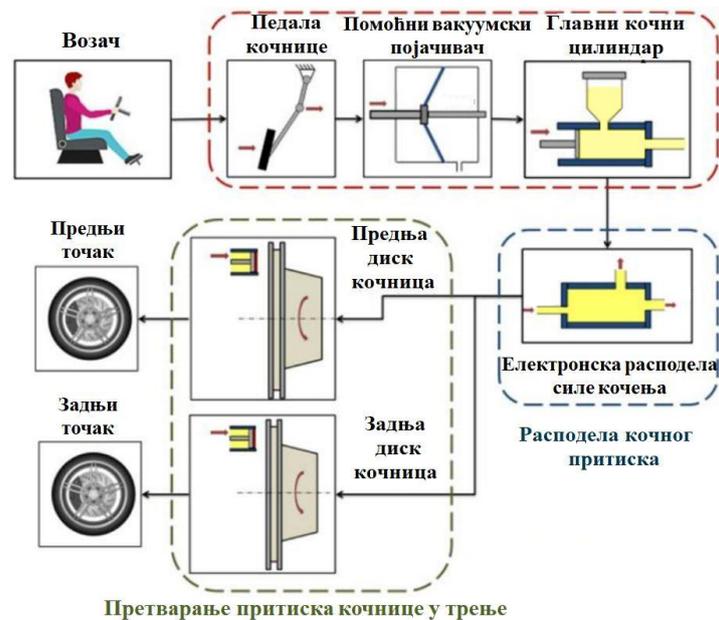
Преносни механизам има задатак да побуду са команде пренесе на извршне органе, чиме се обезбеђује успорење возила. Преносни механизам може преносити силу коју је обезбедио само возач, силу возача уз делимично коришћење спољашњих извора силе или преносити силе само из другог извора, али на основу импулса који потиче од возача (Глишовић и Лукић, 2021). Пренос енергије у техници може се описати као процес преласка енергије са једног система или објекта на други, и он се може извршити:

- механички,
- хидраулички,
- пнеуматски и
- електрично.

Преносни механизам је у првом маху био изведен као механички скуп елемената, који је силу преносио ужадима, полугама итд. Данас се користе хидраулички преносни механизми. Иако су механички механизми једноставнији и јефтинији и омогућавају трајно задржавање возила у месту, имају велике губитке, теже их је имплементирати код возила већих дужина и сила која се уз помоћ њих остварује на тачковима се разликује. Недостатак могућности за повећање силе коју возач може применити, доводи до тога да се ова решења не могу користити на возилима већих маса, код којих мишићна снага возача није довољна да би се оствариле потребне силе за кочење. Пнеуматски систем за кочење се користи у возилима великих маса, односно код теретних возила, аутобуса, приколица и полуприколица, односно код возила којима је потребан снажан и поуздан систем за кочење.

Хидраулички преносни механизам је нашао највећу примену на путничким возилима. Хидраулички кочни систем користи течност за пренос силе са педале кочнице на извршне органе. Када је педала кочнице активирана, течност у главном кочном цилиндру је под притиском и почиње да се преноси притисак кроз водове до кочне стеге. Овај притисак узрокује да клипови унутар кочне стеге или кочног цилиндра притискају кочне плочице на кочни диск или кочне папуче на добош, стварајући трење које омогућује успоравање или заустављање возила. Примарне предности хидрауличких кочних система су њихова прецизност и конзистентност, јер је хидрауличка течност нестишљива, пружајући тачан и стабилан одзив кочења (Anselma

и сарадници, 2019). Компактан дизајн компоненти хидрауличког система олакшава интеграцију унутар возила и захтева мање одржавања у поређењу са пнеуматским кочним системом. Међутим, ови системи су подложни цурењу течности, што може смањити ефикасност кочења, а на то утиче топлота која се ствара током процеса кочења (Pustavrh и сарадници, 2023). Како је хидраулички систем за кочење најзаступљенији на возилима, и предмет је овог истраживања, проблеми који се најчешће јављају код ових система биће описани у другом поглављу. На слици 1.7 дат је шематски приказ хидрауличког система за кочење.



Слика 1.7 Шема хидрауличног кочног система (Anselma и сарадници, 2019)

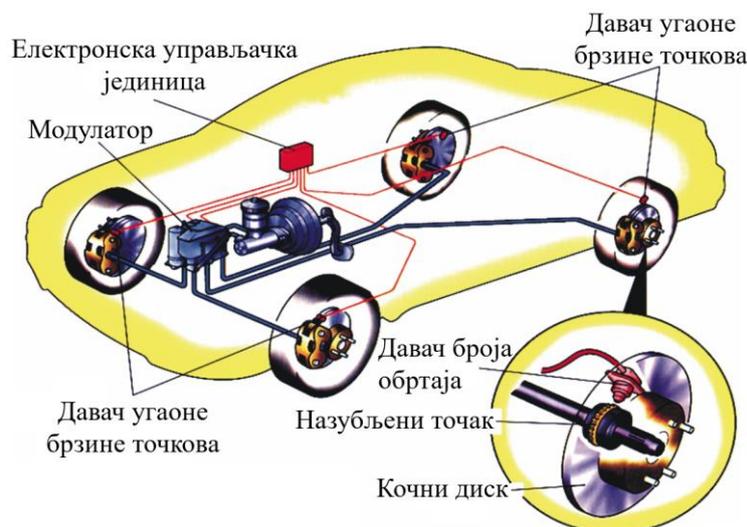
Хидраулички кочни систем, који користи течност за преношење притиска са педале кочнице на кочну стегу (диск кочнице), нуди боље перформансе кочења у поређењу са механичким системима (Reif, 2014). Хидропнеуматски систем подразумева комбинацију хидраулике и пнеуматике, како би се компензовали недостаци једног, предностима другог система. Овакав систем се у наредном периоду може очекивати на возилима, управо из разлога компензације међусобних недостатака система који су интегрисани.

Електрични преносни механизам ради на принципу преноса сигнала од педале кочнице до актуатора који се налази на кочној стези. Принцип рада огледа се у праћењу помераја педале кочнице. Померај педале кочнице прати сензор који даје електронској управљачкој јединици тачну информацију о сили притиска на педалу кочнице. Електронска управљачка јединица управља радом актуатора, тачније електромотора, који погони хидрауличке пумпе. Улога хидрауличких пумпи је обезбеђивање адекватног притиска кочног флуида. Оно што карактерише овај систем јесте да сваки точак има свој електромотор, што омогућава прецизно управљање процесом кочења.

Поред наведених система, данас се користе и различити електронски системи на возилу од којих је најзаступљенији систем против блокирања точкова (енгл. *Anti-lock braking system (ABS)*). Систем против блокирања точкова је једна од најзначајнијих иновација у технологији кочења, јер спречава блокирање точкова током кочења, омогућавајући возачу да задржи контролу над возилом (Yiğit и сарадници, 2022). Системи попут

система за електронску расподелу силе кочења (енгл. *Electronic brakeforce distribution*) и система који помаже у процесу наглог кочења (енгл. *Emergency brake assist*) додатно побољшавају перформансе кочења оптималном расподелом силе кочења између предњих и задњих точкова и пружају додатну помоћ приликом кочења у акцидентним ситуацијама (Junwei и Jian, 2010).

Систем против блокирања точкова спречава блокирање точкова возила приликом наглог кочења. Сензори који детектују угаону брзину точкова и контролни модул који регулише притисак у кочном систему (слика 1.8) чине систем против блокирања точкова који омогућава возачу да одржи контролу управљања возила током интензивног процеса кочења (Shiza и Kumar, 2023). Ово је кључно у изненадним ситуацијама, јер омогућава возилу да се брже заустави и ефикасније избегне препреке. Када возач нагло кочи, систем против блокирања точкова аутоматски регулише притисак у кочном систему како би се спречило блокирање точкова, што возачу омогућава да управља возилом и избегне потенцијалну опасност. Овај систем може да смањи ризик од незгода, тако што спречава клизање точкова возила, а које је честа појава када точкови блокирају на клизавом коловозу (Huertas-Leyva и сарадници, 2023).



Слика 1.8 Систем против блокирања точкова (Ау и сарадници, 2011)

Савремени системи кочења као што су систем против блокирања точкова, електронска расподела силе кочења, помоћ при кочењу у акцидентним ситуацијама итд., нуде значајна побољшања у области безбедности саобраћаја. Комбинација и интеграција ових система обезбеђује сигурнији и поузданији систем кочења у различитим експлоатационим условима вожње.

Извршни елементи кочница

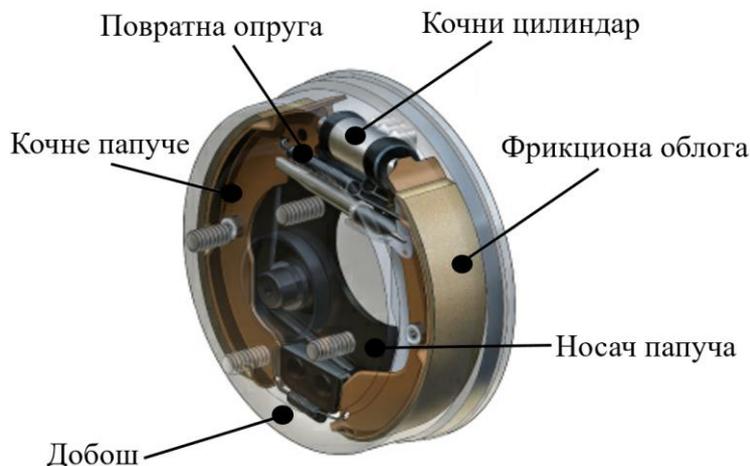
Извршни елементи кочница омогућавају пренос силе кочења на точкове и директно имају утицај на успорење возила, односно пут кочења возила. Постоје две врсте извршних органа кочница: добош и диск кочнице.

Добош кочнице

Добош кочнице користе трење узроковано налегањем кочних папуча на ротирајући део у облику цилиндра који се назива кочни добош. Добош кочнице се користе углавном

код тешких и лаких теретних возила (Глишовић и Радоњић, 2002), теренских возила и код путничких возила нижих класа на точковима задње осовине. Разлог томе је потреба за генерисањем мање силе кочења на задњим точковима у односу на предње. Потребна мања сила кочења на задњим точковима је последица што током процеса кочења возило више оптерећује предње точкове. Услед мање силе и топлота која је настала је мања (Kharre и Metkar, 2021). Стога је век трајања добош кочница три до четири пута дужи од века трајања предњих кочних дискова (Микулић, 2020).

Основни делови добош кочнице су приказани на слици 1.9. Добош је у чврстој вези са точком, док су кочне папуче ослоњене на носач папуча. Добош има исту угаону брзину као и точак, док је носећа плоча непокретна. При дејству возача на педалу кочнице, клипови унутар цилиндра гурају кочне папуче ка добошу. Контакт се остварује између фриксионе облоге и добоша, а у самом контакту настаје трење. Трење које се јавља омогућује возилу да се заустави.



Слика 1.9 Компоненте добош кочница (Kharre и Metkar, 2021)

Како добош кочнице нису предмет истраживања ове докторске дисертације, о њима неће бити више речи. Диск кочнице се углавном користе на возилима новије производње и оне ће бити детаљно објашњене.

Диск кочнице

Диск кочнице представљају други тип извршних органа у кочном систему, слика 1.10. Кочни диск је у чврстој вези са точком, док је кочна стега у вези са носећом структуром возила. Унутар кочне стеге се налазе кочне плочице. Кочна стега може бити фиксна или пливајућа. Када возач притисне педалу кочнице која је повезана са главним кочним цилиндром, кочна течност почиње да се креће ка извршним органима кочног система, где даље делује на клип унутар кочне стеге, по принципу Паскаловог закона. Ово за последицу има померање кочне плочице ка кочном диску. Кочна плочица налаже на кочни диск који ротира. Услед трења које се јавља у контакту кочног диска и кочних плочица, угаона брзина кочног диска се смањује и на тај начин се постиже успорење, односно заустављање диска, а самим тим и возила (Barik и Khadari, 2021).

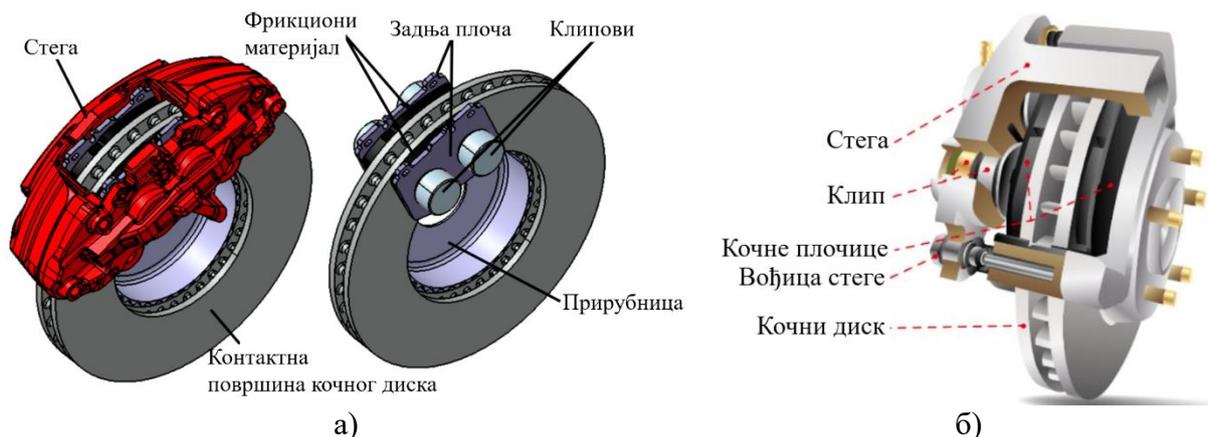
Диск кочнице могу имати фиксну или пливајућу кочну стегу, слика 1.11. Диск са фиксном кочном стегом (слика 1.11 а)) има кочне цилиндрице са обе стране. У кочној стези се могу налазити два, односно четири кочна цилиндра са клиповима, који морају бити постављени један наспрам другог. Овакве кочнице су ефикасније, кочне плочице

имају боље налегање на кочни диск и сила која се остварује у контакту је већа. Када возач активира педалу кочнице, притисак у кочној инсталацији почиње да расте и кочна течност се креће ка клиповима. Кочна течност делује са задње стране клипова, и клипови почињу да се крећу ка кочним плочицама. Затим се кочне плочице померају ка кочном диску и долази до пораста трења у контакту и кочни диск се зауставља. Након престанка кочења (отпуштања педале кочнице), опруга враћа клипове и кочне плочице у њихов почетни положај.



Слика 1.10. Компоненте диск кочница (Abbasi, 2018)

Сличан принцип рада је и код кочног система са пливајућом кочном стегом. За разлику од кочне стеге која је фиксна, код пливајуће кочне стеге клип се налази само са једне стране, слика 1.11 б). Кочни клип који се налази унутар кочне стеге притиска само једну кочну плочицу. Као последица притиска који клип врши на кочну плочицу јавља се реактивна сила која потискује другу кочну плочицу (Микулић, 2020). На овај начин се остварује трење са обе стране диска и возило или успорава или се зауставља, зависно од жеље возача.



Слика 1.11 Диск кочица са (а) фиксном и (б) пливајућом кочном стегом (Wahlström и сарадници, 2020; Nikoyo brake, 2025)

Диск кочнице имају бројне предности у односу на добош кочнице, као што су: добро одвођење топлоте, добре перформансе кочења и мала осетљивост на воду и друге утицаје из атмосфере (Abbasi, 2018). Разлог масовне примене диск кочница у односу на добош кочнице јесте то што се релативно брзо одводи топлота са њих, зазор између кочног диска и кочних плочица је мали и аутоматски се врши његово подешавање, што

повећава њихову ефикасност у оба смера кретања, малих су маса, једноставне за одржавање итд. (Микулић, 2020).

Генерисање топлоте у контакту кочног диска и кочних плочица услед трења које се остварује током процеса кочења, може имати различите негативне последице, као што су: промена геометрије диска, промена карактеристика материјала кочних плочица (Barik и Khadari, 2021), промене карактеристика кочне течности, па чак може негативно утицати и на систем еластичног ослањања (García и сарадници, 2019). Такође, може имати утицај на успорење возила које је у директној вези са путем кочења. Негативне појаве које се дешавају током процеса кочења биће објашњене у оквиру другог поглавља ове докторске дисертације.

1.3 Значај успорења возила са аспекта безбедности саобраћаја

Главни задатак система за кочење је да обезбеди адекватно успорење возила. Почетком 16. века италијански научник Галилео Галилеј (итал. *Galileo Galilei*) је први почео да се бави концептом убрзања. Проучавањем објеката који се крећу, дошао је до закључка да је убрзање заправо промена брзине возила у одређеном временском периоду. Међутим, физичар Исак Њутн (енгл. *Isaac Newton*) је заправо проширио Галилејева открића и о њима писао у својој књизи „Математички принципи природне филозофије“ (енгл. *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* или само *Principia*). У овој књизи су дефинисани сви Њутнови закони, који укључују и Други Њутнов закон, а који се односи на убрзање и гласи: *Убрзање које тело добија при кретању сразмерно је величини резултујуће силе (збиру свих сила), а обрнуто сразмерно маси тог тела*, релација (1.1) (Newton, 1687). Њутнови закони су имали кључну улогу у дефинисању и разумевању убрзања.

$$F = m \cdot a \quad , \quad (1.1)$$

где су:

m – маса тела и

a – убрзање.

Средња вредност успорења (у даљем тексту: успорење) је заправо негативно убрзање и представља смањење брзине у јединици времена, а добија се као средња вредност за разматрани период. Вредност успорења при интензивном кочењу спада у важне улазне податке анализе саобраћајне незгоде (Kolla и сарадници, 2020). Успорење је векторска величина која се може добити одређивањем првог извода брзине (такође векторска величина) по времену, релација (1.2):

$$\vec{d}(t) = \frac{d\vec{V}}{dt} \quad , \quad (1.2)$$

где су:

$\vec{d}(t)$ – вектор успорења (негативно убрзање),

dV – смањење брзине,

dt – временски интервал.

се готово и не спроводе. Стога, од велике је важности израчунати брзину возила у складу са дефинисаним вредностима успорења на основу којих се процењују граничне брзине возила, односно веродостојност спроведених прорачуна.

Кочни систем на возилу је један од најкомплекснијих система, јер поред своје основне функције да смањи брзину возила, као и да у критичним ситуацијама правовремено заустави возило, мора да обезбеди да успорење буде такво да се не наруши стабилност и управљивост возила. Одржавање баланса између ових захтева је врло сложено. У последњих тридесет година спроведена су бројна истраживања која су покушавала да дају одговоре на питање: „*Шта то у највећој мери утиче на процес кочења?*”.

Током процесу кочења је потребно остварити рад који је сразмеран кинетичкој енергији возила, како би се возило зауставило. Постоје две врсте кочења: слободно и форсирано кочење. Разлика између форсираног и слободног кочења је та што се код интензивног кочења готово истог тренутка постиже потпуно успорење, па се може сматрати да је константно (овде се не узима у обзир возач и колико је њему потребно да реагује на насталу ситуацију). Код слободног кочења процес се одвија кроз три карактеристичне фазе. Прва фаза представља пораст успорења до неке максималне вредности, у другој фази долази до стабилизације успорења које се сада може сматрати потпуним, док у трећој фази успорење опада до нуле.

1.4 Разлози предложеног истраживања

Процес кочења возила је изузетно сложен процес предодређен многим факторима који могу бити и случајни, слика 1.13. Сви фактори су подељени у четири групе и чине систем човек-возило-пут-околина. Највећа пажња посвећује се утицају човека (возача), док је недовољно истражен утицај техничке исправности возила, конкретно система за кочење. Иако се о њему много говори, приликом спровођења процедуре за испитивање система за кочење, нису сви радни параметри узети у обзир. Управо ово је била полазна тачка, да се испита утицај радних параметара (брзина возила у тренутку активирања кочница, притисак у кочном систему и температура елемената фриксионог пара) у процесу кочења на успорење возила.

Процес кочења се остварује трењем између кочног диска и кочних плочица. Приликом процеса трења долази до загревања површина које су у контакту, што знатно смањује ефикасност кочења. Смањење ефикасности кочења даље води ка смањењу вредности успорења, које узрокује продужење пута кочења, што представља проблем када је безбедност друмског саобраћаја у питању.

Ефикасност кочења превасходно зависи од силе трења, која се јавља у контакту између извршних елемената у систему кочења. Сила трења представља производ нормалне силе која директно зависи од кочног притиска (притиска у кочном систему) и коефицијента трења, а који је условљен пре свега карактеристикама материјала у контакту. Трење које се јавља у контакту извршних елемената у систему кочења омогућује да се возило заустави на растојању које не би угрозило безбедност учесника у саобраћају. Величина коефицијента трења условљава да ли ће се возило брже или спорије зауставити при истом кочном притиску.

Возило при кретању има одређену кинетичку енергију. У условима кочења, кинетичка енергија возила се претвара у топлоту која се генерише на елементима који су у

контакту (кочни диск и кочне плочице). Топлота настала услед кочења доводи до промене величине коефицијента трења, а самим тим и до промене силе трења. Са порастом коефицијента трења смањује се пут кочења, док ће смањење коефицијента трења узроковати дужи пут кочења. Тачније, смањење и повећање пута кочења директно зависи од успорења, а које је директно условљено силом трења који се остварује између извршних елемената у систему кочења. Успорење утиче на дужину пута кочења, што се директно одражава на безбедност друмског саобраћаја, из чега произилази потреба за даљим утврђивањем утицаја радних параметара кочења на безбедно учешће возила у саобраћају.



Слика 1.13 Фактори који утичу на процес кочења

Занимљиво је да и поред изградње нових и безбеднијих путева, број саобраћајних незгода и даље расте (Gorzelańczyk и сарадници, 2023). Из тога произилази закључак да на број саобраћајних незгода, поред саобраћајне инфраструктуре и понашања возача у саобраћају, утиче и техничко стање возила (Romani и сарадници, 2022). Техничко стање возила директно дефинише да ли је возило исправно или не. Неисправност возила је проузрокована отказом неког од система на возилу, и при њиховом отказу може доћи до настанка саобраћајне незгоде. У истраживању који су спровели Adanu и сарадници (2024) је утврђено да на највећи број саобраћајних незгода доминантан утицај имају кочни систем или пнеуматици.

Један од узрока неисправности возила јесте и старост возила. Утврђено је да код возила старијих од 15 година чешће долази до отказа кочног система (Наџ и сарадници, 2023). Разлог због ког чешће долази до отказа код старијих возила јесте нередовно периодично одржавање (Das и сарадници, 2019). У највећем броју случајева поседовање старих возила, нередовно периодично одржавање, као и поседовање неисправних возила јесте проблем финансијске природе. Одатле произилази да постоји јасна веза између поседовања неисправног возила и економског статуса власника возила (Ozelim и сарадници, 2016).

На безбедност саобраћаја, поред техничког стања возила, утичу и радни параметри кочења: брзина возила, маса возила и притисак у кочној инсталацији. У зависности од радних параметара зависиће и количина генерисане топлоте у диск кочницама, а што се директно одражава на величину коефицијента трења (Стојановић, 2021). Коефицијент трења је у директној вези са успорењем. Поред тога, промена величине успорења возила код различитих типова возила се разликује. Постојање разлике се огледа у маси возила, конструкциског извођења кочног система итд.

Возила исте масе која су имала већу брзину у тренутку активирања кочнице имају дужи пут кочења, односно потребно им је више времена да се зауставе (Maungya и Vokare, 2012). На дужину пута кочења, поред радних параметара кочења утичу и психо-физичко стање возача. Када се каже возач, мисли се на то да ли је он професионални тест возач или не. Код непрофесионалних тест возача пут кочења је дужи, од 20% до 30% (Greibe, 2008). Још један кључни фактор који утиче на пут кочења, јесте пораст температуре диск кочница. Са порастом температуре опада коефицијент трења, који је у директној вези са дужином пута кочења. Експериментална истраживања, међу њима и (Bellini и сарадници, 2024) су показала да коефицијент трења на почетку процеса кочења са порастом температуре расте, па тако када се температура диск кочница налази у опсегу од 100 °C до 180 °C, коефицијент трења се креће од 0,4 до 0,6. Међутим, даљи пораст температуре до 350 °C проузрокује опадање коефицијента трења на 0,2, а то се директно одражава на пут кочења (Bellini и сарадници, 2024). Од возила се очекује да у случају неке изненадне ситуације има минимални пут кочења (максимално успорење) без нарушавања стабилности возила, односно без нарушавања безбедности саобраћаја. Изнети проблеми који се јављају у току процеса кочења су управо и дали подстицај за ово истраживање.

1.5 Основне хипотезе

На основу објављених резултата из предметне области и прелиминарних теоријских истраживања у области утицаја кочног система возила на безбедност друмског саобраћаја, произашле су четири хипотезе, и то:

- ❶ Тренд промене средњег потпуно развијеног успорења возила је у директној вези са радним параметрима кочења (брзином возила у тренутку активирања кочница, притиском у кочном систему и температуром елемената фриксионог пара);
- ❷ Неисправност кочног система возила у оквиру групе техничке неисправности возила један је од значајних утицајних фактора на настанак саобраћајних незгода;
- ❸ Ставови возача који се односе на одржавање возила утичу на експлоатацију возила са неисправним кочним системом и
- ❹ На основу експериментално добијених резултата могуће је развити модел за предикцију успорења.

1.6 Циљеви дисертације

Циљеви истраживања предложене теме докторске дисертације су:

1. Приказ тренутног стања из предметне области код нас и у свету.
2. Одређивање утицаја радних параметара кочења на успорење, пут кочења и *MFDD* возила.

3. Анализа саобраћајних незгода у периоду од пет година на територији Републике Србије у којима су учествовала возила код којих се као један од утицајних фактора наводи неисправност кчног система.
4. Анализа ставова возача по питању неисправности кчног система возила.
5. Развој модела за предикцију успорења возила.

1.7 Очекивани резултати

Очекивани резултати предложене теме докторске дисертације су:

- Приказ тренутног стања истраживања из предметне области.
- Проналажење оптималних вредности радних параметара кочења са циљем добијања безбедног/удобног успорења возила.
- Утврђивање ставова возача у погледу експлоатације неисправних возила.
- Приказ саобраћајних незгода у периоду од пет година у којима су учествовала возила код којих се као утицајни фактор наводи неисправност кчног система.
- Модел за предикцију успорења возила.

1.8 Структура докторске дисертације

Докторска дисертација је подељена на девет поглавља, и то:

1. Уводна разматрања
2. Значај исправности кчног система возила као фактора безбедности друмског саобраћаја
3. Методологија истраживања
4. Анализа безбедности саобраћаја на територији Републике Србије у периоду од 2019. до 2023. године
5. Ставови возача у погледу исправности кчног система возила са аспекта безбедног учешћа у друмском саобраћају
6. Приказ и анализа експериментално добијених резултата
7. Развој модела за предикцију успорења возила
8. Закључак
9. Литература

У оквиру првог поглавља представљен је предмет истраживања, проблеми и могућности за њихово решавање, као и због чега се предлаже истраживање. Такође, у оквиру овог поглавља дефинисане су хипотезе и циљеви, као и очекивани резултати истраживања.

Друго поглавље приказује значај кчног система са аспекта безбедног учешћа возила у саобраћају. Досадашња релевантна истраживања, како код нас тако и у свету, биће анализирана у овом поглављу.

Треће поглавље представља методологију истраживања, која ће се примењивати у оквиру докторске дисертације.

Четврто поглавље представља статистичку анализу саобраћајних незгода на територији Републике Србије у којима су учествовала возила код којих је узрок саобраћајне незгоде била неисправност кчног система.

Ставови возача до којих се дошло путем анкетирања приказани су у петом поглављу, где ће бити анализирани. Такође, приказана је и корелација између ставова возача и могућег настанка саобраћајне незгоде услед неисправности кчног система.

Шесто поглавље обухвата анализу и дискусију експериментално добијених резултата. На основу добијених резултата биће утврђено који од радних параметара кочења има највећи, односно најмањи утицај на успорење возила, пут кочења и *MFDD*.

У седмом поглављу биће развијен модел за предикцију успорења возила и његова верификација.

Осмо поглавља обухвата закључке и научни допринос реализованог истраживања, као и правце даљих истраживања.

Девето поглавље обухвата попис свих референци које су коришћене за израду докторске дисертације.

2. ЗНАЧАЈ ИСПРАВНОСТИ КОЧНОГ СИСТЕМА ВОЗИЛА КАО ФАКТОРА БЕЗБЕДНОСТИ ДРУМСКОГ САОБРАЋАЈА

Безбедност друмског саобраћаја је битан аспект друштва, јер директно утиче на живот и здравље људи. Према подацима Светске здравствене организације (WHO, 2023) у саобраћају на годишњем нивоу погине око 1,19 милиона људи. Забрињавајућа чињеница је та да су повреде у саобраћају водећи узрок смрти деце и младих (од 5 до 29 година), а чак 92% смртних случајева се дешава на путевима у земљама са ниским и средњим животним стандардом. Повреде узимају учешће од око 60% на глобалном нивоу. Стога је побољшање стања безбедности саобраћаја од великог значаја.

Основни фактори безбедности саобраћаја према проширеној Хедоновој матрици су: човек, возило, пут и околина. Возило, као један од фактора, чине елементи активне и пасивне безбедности возила који су веома важни у свим фазама саобраћајне незгоде (пре настанка саобраћајне незгоде, за време саобраћајне незгоде и након саобраћајне незгоде). Елементи који су од велике важности, када је реч о возилу као фактору безбедности саобраћаја су:

- систем за кочење,
- систем за управљање,
- пнеуматици,
- маса возила,
- каросерија возила,
- сигурносни појасеви,
- ваздушни јастуци,
- наслони за главу итд.

Систем за кочење је препознат као један од најважнијих фактора безбедности возила. Овај веома сложен систем на возилу, који чини скуп склопова и подсклопова, има за циљ да прогресивно смањи брзину возила, односно да оствари одређено успорење. Систем за кочење мора поседовати високе перформансе и поузданост. Како би ови захтеви били испуњени, потребно је анализирати који то делови у склопу система за кочење најчешће отказују и који је разлог за појаву тих отказа, јер ефикасан кочни систем значи безбедно возило (Дедовић и сарадници, 2021). Стога, потребно је нагласити да се кочење врши у одређеним тренуцима. Процес кочења зависи и од субјективних и објективних фактора и то: саобраћајних услова (акцидентне ситуације, начин регулисања саобраћаја, наилазак на друго возило или препреку итд.), путних услова (видљивост, прегледност, улазак у кривину, конфигурација терена итд.), навика и жеље возача итд. (Mulahusejnović, 2021).

2.1 Значај успорења возила у процени перформанси кочног система

Исправан кочни систем је само једна карика у ланцу која води до жељеног успорења. Са аспекта динамике возила, важно је оптимизовати комплетно возило како би се постигло максимално успорење. То се решава смањењем тежине возила и ротирајућих маса, смањењем висине тежишта, односно померањем положаја тежишта ка задњој осовини, оптимизацијом система ослањања итд.

Познато је да возила која се крећу већим брзинама имају дужи зауставни пут. Зауставни пут чине пут реаговања и пут кочења (Липовац, 2008), слика 2.1. Пут реаговања се састоји од уочавања опасне ситуације, затим времена које је потребно возачу да реагује, односно да ногу са педале гаса пребаци на педалу кочнице и времена које је потребно да притисне педалу кочнице.

На дужину зауставног пута и пута кочења могу утицати различити фактори. Психофизичко стање возача (умор, алкохол, болест итд.) утиче на дужину пута реаговања, док на дужину пута кочења утичу: исправност кочног система, временски услови, стање пнеуматика, врста подлоге итд.

Отказ система за кочење је узрок великог броја саобраћајних незгода (Putra и сарадници, 2020) и доприноси настанку саобраћајне незгоде (Галић, 2015). Саобраћајна незгода, чији је узрок отказ система за кочење, би могла бити избегнута исправном индикацијом стања кочнице. На овај начин би се повећала безбедност возила, чиме би се смањили његови штетни ефекти на живот и здравље људи (Dhanamjauulu и сарадници, 2019). На основу тога се може закључити да на зауставни пут утичу сви параметри стања безбедности саобраћаја, а то су возач-возило-пут-околина (В-В-П-О систем).



Слика 2.1 Зауставни пут возила

Да би се возило зауставило, мора се постићи одговарајућа сила на кочним плочицама, тј. сила трења која делује на кочни диск. Ову силу остварује возач притиском на педалу кочнице, а то има два ефекта:

- смањује се кинетичка енергија возила – кинетичка енергија се смањује услед трења које се јавља у контакту диск кочница и
- повећава се температура кочница – трење које се јавља у контакту за последицу има загревање делова између којих се остварује трење.

Брзина кретања возила утиче на процес кочења, јер веће брзине захтевају веће силе кочења. Велике силе кочења доводе до великих вредности трења у контакту, па самим тим и до већег успорења. Када се примењује велика сила кочења, возило ће успорити веома брзо, међутим велика успорења могу утицати на губитак стабилности и управљивости возила. Да би возило успорило, примењује се веома велика сила кочења, а обављени рад ће довести до високих температура на извршним органима – кочницама. За одвођење топлоте током кочења, кочне плочице морају бити тако пројектоване да што већу количину топлоте предају кочном диску. Кочни диск треба бити тај који ће генерисану топлоту у што већој мери апсорбовати и даље је предати околини. Карактеристике материјала су већим делом заслужне који ће део већу количину топлоте апсорбовати током кочења и предати околини. На пример: топлотна проводљивост кочног диска у истраживању (Стојановић, 2021) је $53,3 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$, док је кочној плочици $3 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$. Поред карактеристика материјала битна је и сама

конструкција кчног диска (вентилирајући или пуног попречног пресека). Већа топлотна проводљивост се постиже применом вентилирајућих кчних дискова.

Приручник Института за инжењере саобраћаја (енгл. *The Institute of Transportation Engineer's - ITE*) је 90-их година прошлог века дефинисао максимално успорење, а које се сматра удобним успорењем, $3,048 \text{ m/s}^2$ (Institute of Transportation Engineers, 1992). Све вредности преко те се сматрају неудобним успорењем. У претходном издању овог приручника вредност успорења од чак $4,572 \text{ m/s}^2$ је усвојена за граничну вредност комфора, док су удобна успорења које је дефинисало Америчко удружење за путеве и транспорт (енгл. *The American Association of State Highway and Transportation Officials - AASHTO*) у свом приручнику „Зелена књига“ (енгл. *Green book*¹) мања од вредности дефинисане у од стране *ITE* и износило је $3,14 \text{ m/s}^2$ ($0,32g$) (Staff, 1990). Ове податке треба узети са резервом јер вредности граничног комфора приликом успорења зависе од брзине возила непосредно пре предузетог кочења². На пример, у „Зеленој књизи“ се може пронаћи да се удобним успорењем, када возило кочи са почетне брзине од 30 km/h , сматра успорење до $2,49 \text{ m/s}^2$, док за почетну брзину од 60 km/h , удобно успорење је било $1,64 \text{ m/s}^2$. Ови подаци су били од изузетне важности приликом пројектовања возила каснијих година.

Такође, спроведене су разне студије где су се истраживали различити фактори који су утицали на процес кочења, а самим тим и на успорење возила. Ти фактори су варирани све у циљу утврђивања утицаја поменутих параметара на успорење возила (Fambro и сарадници, 1997). Са друге стране, експериментално истраживање спроведено у Индији 2016. године (Vokare и сарадници, 2017) састојало се из три дела. У првом делу учествовало је 3.982 путничких возила чија се брзина у тренутку активирања кочнице кретала у опсегу од 92 km/h до 100 km/h , а средња вредност успорења износила је $3,32 \text{ m/s}^2$. У поновљеном истраживању учествовало је 5.808, такође путничких возила, али сада са промењеном вредношћу почетних брзина, које су се кретале у опсегу од 61 km/h до 91 km/h , а средња вредност успорења у том случају је износила $2,25 \text{ m/s}^2$. Поред овог, спроведен је и трећи круг експерименталног истраживања, међутим у том истраживању посматрана су теретна возила, и то њих 902. Средња вредност успорења теретних возила износила је $0,49 \text{ m/s}^2$.

Вредност успорења утиче на пут кочења. Што је веће успорење, пут кочења ће бити краћи, па је самим тим краће и време кочења. Анализирано је још једно истраживање које је спроведено у Републици Србији где је брзина у тренутку активирања кочнице симулираног возила износила 100 km/h , а притисак у кочној инсталацији био 10 MPa (Стојановић, 2021). За постизање ове вредности притиска у кочној инсталацији било је потребно $1,49 \text{ s}$, док је време кочења за овако дефинисане услове износило $1,94 \text{ s}$. Закључак који је произашао након овог истраживања јесте да је потребно да време кочења буде што краће, али поред тога потребно је водити рачуна да ли је подлога у могућности да прими и пренесе остварени кочни момент, а да се не наруши стабилност возила.

Важност добијања што већег броја података о средњој вредности успорења приказано је у истраживању *Yuan* и сарадника (2022), у оквиру кога је извршена анализа понашања 906 возача који се нормално³ заустављају на градским раскрсницама, све у

¹ Овај приручник дефинише прописе у погледу геометријског дизајна аутопутева и улица.

² Почетна брзина.

³ Без интензивног/форсираног кочења. Препрека је уочена на време.

циљу одређивања карактеристика кочења у реалним условима друмског саобраћаја. У случају веће брзине кретања возила које се приближава раскрсници, изискује се краћи пут реаговања, што за последицу има веће максимално успорење. На просечно успорење и време кочења утицај је имало и стање саобраћаја, док максимално успорење зависи само од начина кретања возила.

У студији (Younes, 2023) спроведеној у Јордану, уведен је нови протокол помоћи у току вожње. Возила су морала бити опремљена системима где возило са другим возилом може да размењује информације, као и са инфраструктуром. Тиме би возило правовремено добило информацију о постојању знака СТОП, као и предлог брзине кретања, а све у циљу безбедног заустављања. Предложени алгоритам омогућује возачима безбедно заустављање и оптималну стопу успоравања⁴ за свако возило на основу удаљености анализираног возила и циљане раскрснице. Штавише, алгоритам узима у обзир брзину путовања посматраног возила, са акцентом на раскрснице са знаком СТОП. Аутори су дошли до закључка да што је дужи пут кочења и што је мањи пораст успорења, то је процес заустављања на циљаној раскрсници удобнији. Возачи би требало раније да почну процес кочења када возе возило већом брзином. Интензивно кочење возила може довести до губитка контроле над возилом и нарушавања удобности. Сва новија истраживања акценат стављају на успорење возила која су од изузетног значаја за безбедност саобраћаја. Сви нови системи на возилу, успорење користе као један од параметара одлучивања, у процесу кочења.

Један од битних фактора у процесу кочења јесте и постојање система против блокирања тачкова. Систем против блокирања тачкова се 80-их година прошлог века на возила уграђивао као додатна опрема. Унапређењем овог система и отклањањем свих аномалија које је претходно поседовао, у Европској унији се, схватајући значај овог система, доноси одлука средином 2004. године да он постане обавезан систем на аутобусима и тешким камионима. Поред боље управљивости у току процеса кочења коју обезбеђује овај систем, знатно је скраћен пут кочења возила, који директно утиче на безбедност саобраћаја. Ово је био покретач низа студија које су се спроводиле, како би се показао утицај система против блокирања тачкова на успорење, односно пут кочења, са акцентом на такозвано интензивно кочење⁵.

Како би се утврдила вредност успорења возила са системом против блокирања тачкова, извршено је истраживање (Nagurnas и сарадници, 2007) на 10 аутомобила која су поседовала овај систем. Истраживање је спроведено за три различите брзине, и то: 40 km/h, 60 km/h и 80 km/h. Добијени резултати истраживања дали су колика је средња вредност успорења и она је била 7,45 m/s².

Слично истраживање је извршио и *Kudarauskas* (2007). Истраживање је спроведено за исте брзине кретања, док је једина разлика била што су се за потребе овог истраживања примењивала возила и без система против блокирања тачкова. Средње вредности успорења, у случају брзине возила у тренутку активирања кочница биле су 40 km/h, 60 km/h и 80 km/h, које је поседовало систем против блокирања тачкова било је 8 m/s², 8,41 m/s² и 8,76 m/s², респективно, док у случају непостојања овог система средње вредности успорења су била 7 m/s², 6,89 m/s² и 6,66 m/s², респективно.

⁴ Стопа успорења возила показује колико брзо се брзина возила смањује током времена.

⁵ Кочење при којем је оставарена максимална сила кочења.

Истраживање (Fu и Sayed, 2021) које је извршено за 2.202 возила (камиони, аутомобили, троточкаши и мотоцикли), спроведено је у циљу одређивања вредности успорења при којој би се саобраћајна незгода могла избећи (енгл. *Deceleration Rate to Avoid a Crash - DRAC*). Брзина возила у тренутку активирања кочница није била дефинисана, већ је возачима речено да возе оном брзином при којој се осећају сигурно. *DRAC* је један од битних фактора приликом експертизе саобраћајних незгода. Аутори су дошли до закључка да са порастом вредности успорења, при којој би се саобраћајна незгода могла избећи, након што *DRAC* премаши максималну вредност успорења, расте и ризик од настанка судара. Добијена средња вредност успорења у овом истраживању је $2,22 \text{ m/s}^2$. Одакле даље произилази закључак да је вредност средњег успорења јако битна са аспекта одређивања пута кочења, па чак и при програмирању дужине трајања жутог светла на семафорима (Vokare и Maurya, 2017).

Извршеним прегледом доступне литературе која се односи на успорење возила, произашли су закључци који су то заправо параметри који утичу на величину средњег успорења. Битни утицајни параметри на величину средњег успорења су (Nagurnas и сарадници, 2007; Kudarauskas, 2007; Вауан и сарадници, 2010; Fitch и сарадници, 2010):

- брзина возила у тренутку активирања кочног система,
- постојање система против блокирања точкова,
- положај терета у товарном простору,
- карактеристике коловоза,
- стање пнеуматика,
- стање кочног система,
- концепција возила,
- пол и старост возача и
- тип возила којим се управља.

При реализацији експеримента веома је битно који уређаји ће се користити за мерење и праћење излазних величина. Аутори *Ondruš и Hockicko (2015)* су вршили испитивање кочења возила категорије М1, којим је управљао један исти возач, а мерење излазних величина је вршено помоћу уређаја за мерење успорења (*decelerograph XL Meter™ Pro*) и тада нове алтернативне методе видео анализе, уз помоћ видео камере. Кочење возила је било форсирано. Експеримент је спроведен за 7 мерења и добијено је 7 вредности успорења при различитим брзинама, а аутори су дошли до закључка да метода видео анализе не треба да буде главна метода за мерење успорења, већ се може користити као алтернатива. Разлог томе јесте тачност резултата, а која директно зависи од више фактора као што су: квалитет камере, временски услови и контраст између возила и околине.

Вредност *MFDD*-а, као и вредност успорења, зависи од примењених кочница, односно произвођача (Vrábel и сарадници, 2014). Слични резултати *MFDD*-а су постигнути при варираним брзинама (50 km/h и 90 km/h), као и при одређивању средњег успорења за различите брзине кретања возила. Међутим, оно што је интересантно јесте да је просечна вредност *MFDD*-а била нижа када се користе јефтиније компоненте (разлика у цени кочних плочица и кочних дискова на предњој осовини је била 150,4 евра у корист *STARLINE*-а у односу на *BREMBO*), у случају безбедног учествовања у саобраћају пожељна су већа успорења.

Испитивање перформанси аутомобилских кочница укључује одређивање времена кочења, пута кочења и нивоа успорења. Кочне перформансе аутомобила морају бити

обезбеђене за различите површине пута као што су бетон, битумен итд. Такође, треба да обезбеде адекватну поузданост без обзира на временске услове. Широм света се користе различити стандарди за испитивање кочница да би се осигурала безбедност возила и пешака. Аутори (Kumbhar и сарадници, 2017) су у свом истраживању представили методологије које се користе за испитивање радних кочница код двочкаша. Њихов циљ је био упоређивање три стандарда за испитивање кочница:

1. Индијски стандарди (енгл. *Indian Standards - IS*),
2. Федерални стандарди за безбедност моторних возила 122 (енгл. *Federal Motor Vehicle Safety Standards - FMVSS*) и
3. Правилник UN/ECE R78 (енгл. *Economic Commission for Europe - ECE*).

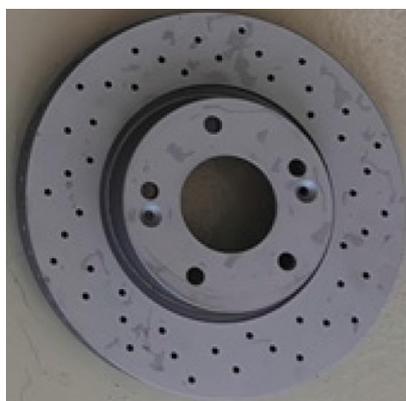
Избор адекватног критеријума за дефинисање новијег издања стандарда за испитивање би требало да пружи детаљније информације о општим захтевима и о потребној опреми за испитивање. Током испитивања потребно је поштовати процедуру/редослед спровођења самог испитивања. Главни допринос ове студије јесте једноставније формулисања новог стандарда за испитивање на основу приказаних недостатака наведена три, односно избегавање грешке при утврђивању успорења возила. Један од предлога за побољшање будућег стандарда јесте да се укључи и утицај температуре кочних елемената, јер има велики значај при утврђивању успорења возила. Према јединственим одредбама које се односе на одобравање возила категорија М1 и N1 у односу на кочење, које представљају стандард у аутомобилској индустрији, тачно је дефинисано како се рачуна *MFDD* (CITA, 2018), јер се перформансе прописане за кочне системе одређују на основу средњег потпуно развијеног успорења возила и зауставног пута. На основу добијене вредности *MFDD*-а, може се израчунати еквивалентна вредност успорења применом релације (2.1) (Gogola и сарадници, 2022):

$$Z = \frac{MFDD}{g} 100\% . \quad (2.1)$$

Вредности *MFDD*-а су условљене различитим факторима. Фактори који су од суштинског значаја на вредност *MFDD*-а су (Skrucany и сарадници, 2018; Bošković и сарадници, 2024a; Skrucany и сарадници, 2020; Gnar и сарадници, 2021 и Synák и сарадници, 2022):

- пречник кочног диска – са повећањем пречника вредност *MFDD*-а се повећава (нпр. заменом кочног диска чији је пречник 256 mm кочним диском чији је пречник 280 mm, при кретању возила од 40 km/h, вредност *MFDD* се повећала за 2,31 m/s²),
- са порастом температуре извршних органа кочног система вредност *MFDD*-а се повећава,
- положај терета у товарном простору утиче на вредност *MFDD*-а (у циљу добијања што веће вредности *MFDD*-а терет треба поставити ближе задњој осовини),
- са смањењем оптерећења возила, вредности *MFDD*-а се смањује,
- коловоз треба да обезбеди довољну силу приањања како би се постигле што веће вредности *MFDD*-а и
- примењене кочне компоненте.

Испитивање утицаја заменских⁶ кочница које се могу примењивати на путничким возилима из три ценовне категорије (висока⁷, средња⁸ и ниска⁹ цена) у циљу добијања вредности пута кочења и *MFDD*-а извршили су *Synák* и сарадници (2022). Експериментално истраживање извршено је на полигону. Такође, извршено је и испитивање у лабораторији где је добијена зависност силе управљања и силе кочења, као и температура кочних дискова при непрекидном кочењу (истовремено кочење и погон возила) и поновљено кочење (возило се више пута залеће до жељене брзине и сваки пут зауставља – број понављања је био 32). Разлика између вредности пута кочења возила, времена кочења и *MFDD*-а готово да није ни постојала, без обзира на ценовну категорију и тип испитивања. Аутори наводе да је разлог мале разлике између ових вредности – утицај система активне безбедности возила. Показано је да цена кочних компоненти има утицај на температуру кочних дискова при поновљеном кочењу од највеће брзине до потпуног заустављања, као и при непрекидном кочењу при малој брзини. Компоненте кочница из нижег ценовног ранга не представљају ризик при раду путничког возила, у односу на кочне компоненте из средњег или вишег ценовног ранга. Међутим, компоненте кочница из нижег ценовног ранга које се користе на теретним возилима, могу представљати опасност за безбедност друмског саобраћаја уколико теретно возило (нпр. потпуно натоварено возило које се креће на низбрдици) остварује дуготрајно интензивно кочење. Такође, вршена су и мерења температуре кочних дискова, где је максимална дебљина кочног диска била 26 mm, као и случај примене кочног диска минималне дебљине 24,4 mm. Показано је да су кочни дискови из нижег ценовног ранга са минималном дебљином имали вишу температуру за чак 217 °C од кочних дискова средње цене са максималном дебљином, под истим условима. Закључено је да осим цене, на температуру кочних дискова има утицај и њихова дебљина. Оно што је занимљиво јесте да компоненте кочница високе цене са отворима (слика 2.2), нису имале најнижу температуру ни у једном мерењу.



Слика 2.2 Кочни диск са отворима (*Synák* и сарадници, 2022)

Новија истраживања покушавају да вредност успорења и *MFDD*-а имплементирају у системе који се користе код аутономних возила и код система за безбедну вожњу на возилима. Аутори *Nagori* и сарадници (2023) су уз помоћ софтверских алата направили предиктивни модел *MFDD*-а и пута кочења након судара, који је дефинисан уз помоћ неуронских мрежа, са грешком од 0,3% када је у питању предикција *MFDD*-а и 0,26% када је у питању предикција пута кочења.

⁶ Које се уграђују након првоуграђених.

⁷ Кочни диск – 70 евра; Сет кочних плочица – 49 евра.

⁸ Кочни диск – 50 евра; Сет кочних плочица – 34 евра.

⁹ Кочни диск – 20 евра; Сет кочних плочица – 11 евра.

Време развоја новог производа услед притиска тржишта је смањено. Међутим, квалитет производа треба бити исти или још бољи у односу на доступне производе на тржишту. Како би се то постигло, користе се предиктивни модели. Један такав предиктивни модел који се користи јесте модел за одређивање зауставног пута и *MFDD*-а (Aswan и сарадници, 2018). Овај модел је тестиран и затим је извршено поређење предвиђених параметара перформанси са подацима који су добијени експерименталним путем. Добијене вредности одступају само 3%, тако да модел који су аутори направили може да се користи у индустрији као алтернатива лабораторијским испитивањима.

Извршеним прегледом истраживања из предметне области, произашао је још један разлог за оваквим истраживањем – непостојање потребних информација које су дефинисане у циљу истраживања ове докторске дисертације и у оквиру хипотеза.

2.2 Утицај отказа кочног система на безбедност саобраћаја

2.2.1 Слабљење кочнице

Најчешћи проблем који се јавља у процесу кочења, а који возачу може указивати на постојање проблема у систему за кочење, јесте „слабљење кочнице“ (енгл. *brake fade*). Овај термин се користи како би се описало смањење ефикасности система за кочење. Слабљење кочнице се често дефинише као отказ, али то је заправо делимичан отказ система за кочење који траје веома кратко, односно док температура извршних органа не падне на оптималну вредност (Girdhar и сарадници, 2021). Како је извршни део система за кочење триболошки систем, у њему се генерише одређена количина топлоте која може бити узрок настанка слабљења кочница. Савремене кочнице које се користе на возилима раде и у температурном опсегу од 600 °C до 800 °C, али је показано да у пракси долази до отказа и на много нижим температурама. Утврђивање тачног температурног прага отказа могуће је једино експерименталним методама, а реконструкција саобраћајне незгоде се може вршити математичким моделима који су добијени на основу истраживања (Бодоло и Адам, 2024).

Постоје четири категорије слабљења кочница, а које су приказане сликом 2.3.



Слика 2.3 Поткатегорије слабљења кочнице

Смањење коефицијента трења у фрикционом пару се назива **механичко слабљење** или μ -слабљење кочнице. Коефицијент трења се смањује са повећањем нормалног оптерећења, брзине и температуре кочница (Rhee, 1974). Стога, слабљење кочнице када је реч о коефицијенту трења, се може поделити на:

- слабљење услед оптерећења,
- слабљење услед повећања температуре и
- слабљење услед повећања брзине.

Смањење силе трења због накупљања гасова на месту контакта делова фрикционог пара назива се **гасно слабљење**, слика 2.4. Гасови који се јављају у контакту фрикционог пара изазивају акумулацију притиска који смањује резултујућу силу кочења, а која даље утиче да вредност силе трења буде мања. Ово је проузроковано испарењем смоле из фрикционог материјала (Herring, 1967). Постоји још један узрок настанка тзв. гасног слабљења које настаје када дође до велике брзине протока гаса услед чега се формира танак слој загрејаног гаса између фрикционих елемената у контакту, при чему се контактна површина смањује. Овај проблем који је навео (Herring, 1967), а потврдио (Owen, 2010) решен је тако што је на површини кочне плочице направљен прорез уз помоћ кога се ови гасови одводе у околину. Топлоту коју су кочне плочице генерисале неопходно је ослободити у што краћем временском периоду. То је могуће постићи адекватним избором фрикционог материјала, на пример фрикционих материјала који у себи имају бакарна влакна. Бакарна влакна имају бољу отпорност на топлоту, јер је карактеристика бакра – висока топлотна проводљивост (Fu и сарадници, 2012). Поред бакра, у фрикционе материјале се додаје и месинг, који такође има добру топлотну проводљивост (Satapathy и Vijwe, 2004). На овај начин се повећава топлотна проводљивост кочних плочица и самим тим је слабљење кочница мање изражено.



Слика 2.4 Гасно слабљење кочнице (Obari, 2024)

Уколико се возило користи у окружењу са великим процентом влажности или пак по киши, може доћи до формирања воденог филма између површине диска и кочних плочица. У окружењу високе влажности долази до значајног опадања коефицијента трења (EL-Tayeb и Liew, 2009). Ово смањење се приписује хидродинамичким ефектима филма воде који је формиран на контактної површини кочног диска, који је најизраженији при већим брзинама и малој сили кочења. На овај начин долази до значајног смањења коефицијента трења услед повећања брзине клизања (Blau и McLaughlin, 2003). Ефикасност кочнице је смањена и то се назива **слабљење кочнице услед присуства воде**.

Пораст температуре не ствара само један, већ низ проблема у кочном систему. Наиме, услед дуготрајног кочења или код више узастопних кочења може доћи до загревања кочне течности (Owen, 2010). Ово је јако неповољно уколико је кочна течност која се налази у кочном систему упила влагу из ваздуха (**слабљење кочне течности**). Због

тога, са повећањем температуре кочне течности долази до појаве ваздушних чепова у хидрауличком кочном систему (Стојановић, 2021). У случају поновног кочења при таквим условима, долази до „пропадања“ кочне педале и возило губи могућност кочења.

Приликом одржавања возила потребно је да се поштују препоруке произвођача како би се избегле ове негативне појаве. Једна од препорука јесте замена кочне течности и то уколико је њена температура кључања испод 175 °C (Mustafić, 2016). Експериментално је доказано (Podorigora и сарадници, 2017) да постоји утицај температуре кључања кочне течности на време одзива кочног система. Поред тога, потребно је извршити и испитивање основних физичко-хемијских карактеристика кочне течности и дефинисати доње и горње граничне вредности које обезбеђују оптимално функционисање кочног система. Такође, потребно је одредити и степен чистоће кочне течности, односно садржај чврстих честица у кочној течности (Mulahusejnović, 2021). Све претходно наведено може довести до појаве слабљења кочне течности.

Још један у низу проблема који се може јавити код хидрауличких кочница јесте цурење кочне течности (слика 2.5), које за последицу има пад притиска у кочној инсталацији. Ово се може догодити услед неадекватног одржавања система за кочење, односно његових компоненти. Цурење се може јавити услед оштећења или старења заптивних елемената, прекомерног оптерећења (висок притисак) који може изазвати пуцање водова, оштећења која настају због хемијских утицаја или пак механичких оштећења насталих због удараца, вибрација итд. (Mohan и Pugazhendhi, 2017). Проблеми који су претходно наведени се углавном јављају код возила која су стара или код возила са великим бројем пређених километара. Код новијих возила ови проблеми се јављају углавном због физичких оштећења.



Слика 2.5 Цурење кочне течности (Butler, 2022)

Уколико је вод оштећен у непосредној близини кочног диска, кочна течност може доспети на кочни диск, при чему долази до наглог смањења коефицијента трења. Ово такође, може бити један од узрока слабљења кочнице (Ху, 2017). Како је хемијски састав кочне течности такав да је она јако агресивна за метал, доћи ће до појаве корозије на кочном диску (ово се односи на кочни диск који је направљен од сивог ливеног гвожђа).

2.2.2 Геометријска одступања диска и кочне плочице

Геометријско одступање фрикционих елемената од њиховог основног облика значајно утиче на процес кочења. Као последица деформације, долази до неравномерности момента кочења, што значајно утиче на процес кочења, а самим тим и на безбедност

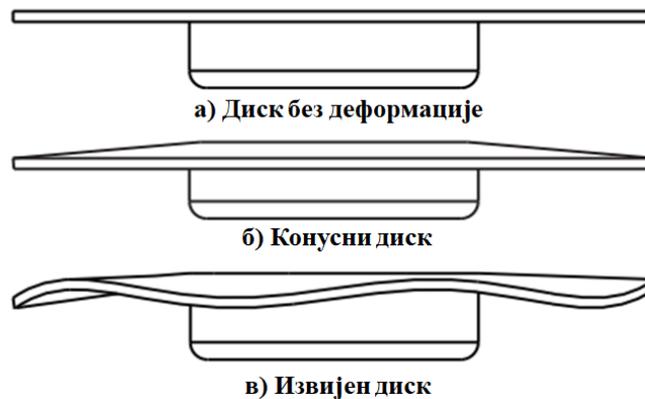
возила (Дедовић и сарадници, 2021). Одступања у геометрији фрикционог пара могу бити привремена или трајна. Последица су излагања високим температурама, механичким напрезањима и затим хлађења на температуру околине без дејства механичких напрезања. Привремена одступања у геометрији су она одступања која нестају након изједначавања температуре фрикционих елемената са температуром околине. Трајна одступања у геометрији, су пак она која након изједначавања температуре фрикционих елемената и околине остају таква. Како је кочење изузетно сложен процес, може доћи до појаве суперпонирања одступања, које за последицу имају изузетно сложену геометрију фрикционих елемената (Eggleston, 2000). У делу који следи биће побројана најзначајнија геометријска одступања диска.

Генерисана топлота током процеса трења, може да доведе до локалних промена на контактної површини или до деформација које се могу јавити на кочном диску и кочној плочици. Неправилности у геометрији фрикционих елемената које се јављају услед рада, могу бити различите, а поред услова експлоатације, зависе и од саме геометрије кочних дискова. Геометрија кочних дискова у највећој мери утиче на ослобађање топлоте у околину. Количина топлоте се неће подједнако ослобађати у околину уколико се примењује кочни диск пуног попречног пресека или вентилирајући. Уколико се примењује вентилирајући кочни диск, на количину ослобођене топлоте утицаће и облик и број ребара. Најчешће термичке деформације које се јављају изазивају деформацију диска у облику конуса или пак могу изазвати извијање диска (Као и сарадници, 2000; Коетнијом и сарадници, 2002; Dufrénoy и Weichert, 2003), слика 2.6.

Кочни диск који није био изложен било ком виду напрезања приказан је сликом 2.6(а). Конусни облик диска настаје као последица термичког ширења контактне површине кочног диска. Контактна површина кочног диска је интегрално повезана прирубницом кочног диска, а прирубница је преко завртњева у вези са главчином точка, што даље представља ограничење које формира овакав тип деформације, слика 2.6(б). Загревањем кочног диска, чија је дебљина контактне површине мала, долази до извијања. Појава виших температура у близини обода контактне површине кочног диска у односу на прирубницу, доводи до његовог извијања. Ово је последица неједнаког ширења материјала, како у радијалном, тако и у аксијалном правцу. Момент савијања се ствара уколико температуре нису симетричне у односу на средњу раван диска. Ово за последицу има извијање диска, слика 2.6(в) (Davis и сарадници, 2002). Како би се ово избегло, потребно је обезбедити потпуну симетричност диска и симетричност загревања у току експлоатације возила и у току процеса кочења. Извијање зависи од топлотног градијента између прирубнице диска и главчине точка (Eggleston, 2000), површине контакта кочног диска и кочне плочице итд. Да ли ће се диск вратити у свој првобитан облик када се охлади и достигне температуру околине зависи од тога да ли је достигнута критична граница, односно да ли су деформације диска из еластичног прешле у пластично стање. Такође, уколико су термичка напрезања изнад критичне границе, може доћи до тога да, иако диск тренутно није деформисан, у будућности може бити подложен извијању (Papier и сарадници, 2005.), као и појави или удубљења или испупчења на контактної површини кочног диска.

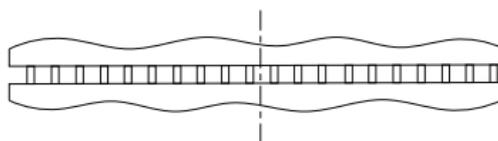
Извијање кочног диска настаје услед разлике у дебљини контактне површине кочног диска и неједнаког хабања кочног диска. Разлика у дебљини контактне површине кочног диска може бити присутна и код новог кочног диск. Разлог томе јесте пропуст у технологији производње (Као и сарадници, 2000). Други разлог настанка извијања

контактне површине кчног диска јесте неравномерно стезање завртња, због нестручности лица које сервисира возило. Још један разлог настанка разлике у дебљини контактне површине кчног диска је неједнако налегање кчних плочица на кчни диск, што за последицу има неједнако хабање.



Слика 2.6 Најчешће геометријске неправилности кчног диска (Rashid, 2014)

Промена дебљине диска је још један у низу проблема који се јавља у току процеса кочења. Теоријски, потребно је да дебљина диска буде свуда једнака, односно да промене дебљине диска не постоје. Међутим, то у пракси није случај. Различита дебљина диска се може јавити још у фази производње, што за последицу има да током процеса кочења, услед постојања промене дебљине контактне површине кчног диска, долази до неравномерног хабања кчних плочица, неравномерног загревања диска и на самом крају, деформација кчног диска. Трајне деформације се дешавају када се услед хабања, у неким областима контактне површине кчног диска више, а у неким мање, уклања површински део. Са друге стране, уколико је диск направљен од ливеног гвожђа, а његова температура прелази $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Eggleston, 2000) и након тога се брзо охлади, могу да се појаве промене у дебљини контактне површине кчног диска (слика 2.7).

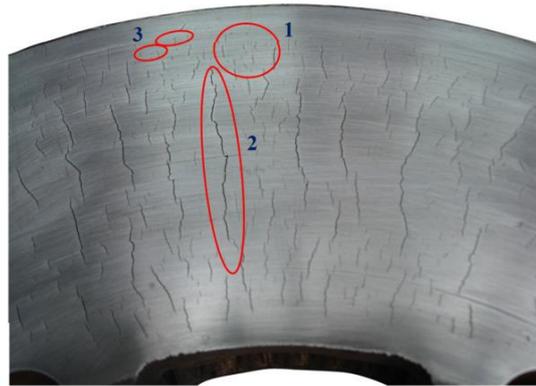


Слика 2.7 Шематски приказ промене дебљине диска (Rashid, 2014)

Контактна површина кчног диска би требала да буде равна и да буде управна у односу на осу ротације. Уколико ово није случај, може доћи до појаве поремећаја овалности кчнихница. Овај термин је устаљен у Републици Србији, а на њега је стављен акценат у протеклих пар година, када је требало да се уврсти у параметре који ће се испитивати на линијама техничког прегледа, у оквиру система за кочење. Међутим, термин „овалност“ је можда потребно изменити. Овалност кчнихница би требало испитивати само код добош кчнихница, јер овалност подразумева одступање од кружног, односно цилиндричног облика. Када су у питању диск кчнихница, бољи термин би био „равност кчнихница“. Оба феномена се током провере момента кочења на линији техничког прегледа манифестују као периодична промена силе кочења приликом ротације точка (Дедовић, 2021), а аутори су утврдили да деформација диска од $125\text{ }\mu\text{m}$ на тесту

одговара равности од 50% (Ramos и сарадници, 2010). Равност се мери дефинисањем разлике између најниже и највише тачке на површини кочног диска.

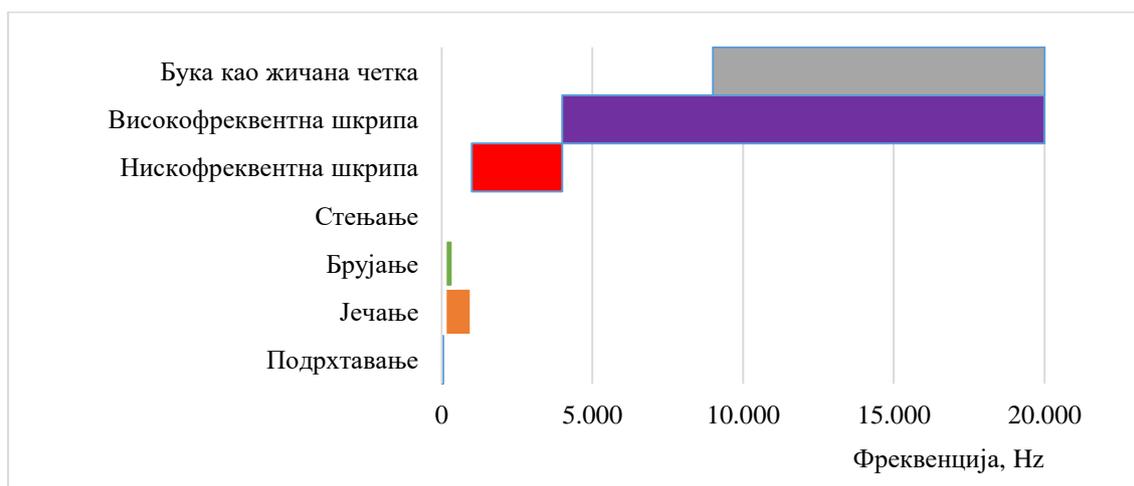
Приликом процеса интензивног кочења, у радијалном правцу се јављају велики напони који изазивају пластичне деформације. Међутим, како се диск хлади, долази до појаве заосталих напона. Када су у питању поновљени циклуси кочења, након извесног времена се стварају такозване заморне пукотине, односно микропукотине (Dufrénoy и Weichert, 2003; Kim и сарадници, 2008; Rashid и Strömberg, 2013; Gao и сарадници, 2007; Vagnoli и сарадници, 2009; Maskin и сарадници, 2002), слика 2.8.



Слика 2.8 Пукотине на површини кочног диска; 1 - микропукотине, 2 - радијалне пукотине, 3 - ободне (уздужне) пукотине (Sawczuk и сарадници, 2021)

2.2.3 Бука и вибрације

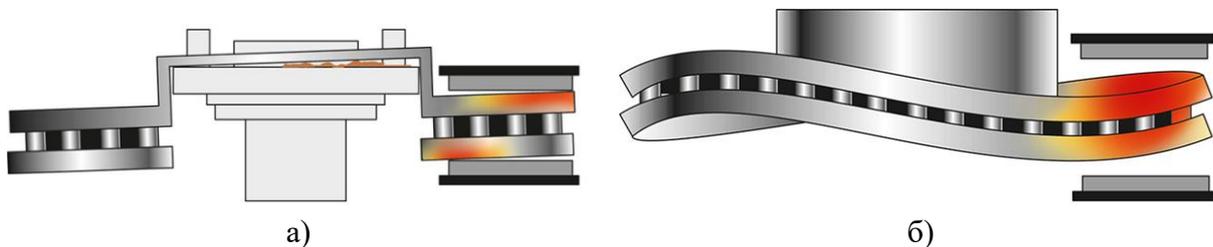
Процес кочења је праћен појавом вибрација и буке (Stojanović и сарадници, 2018). Ове вибрације представљају велики проблем акустичке удобности возила. Типови буке који потичу од кочног система носе назив по звуку на који асоцирају, слика 2.9.



Слика 2.9 Фреквентни опсег буке кочница (Стојановић, 2025)

Подрхтавање (енгл. *judder*) је нискофреквентна принудна структурна вибрација услед побуде која се генерише у контакту кочног диска и кочне плочице (Jacobsson, 2003; Bruant и сараднице, 2008). Узрок појаве ових вибрација се јавља услед геометријских одступања диска и варијација коефицијента трења. Подрхтавање се састоји из тзв. хладног подрхтавања (енгл. *cold judder*) и термичког подрхтавања (енгл. *thermal*

judder). Хладно подрхтавање настаје услед геометријских неправилности диска и јавља се и када су кочнице хладне (на самом почетку процеса кочења). Термичко (вруће) подрхтавање настаје због геометријских одступања диска, услед великог термичког напрезања у кратком временском периоду које узрокује термоеластичне деформације, које за последицу имају термоеластичне нестабилности у виду врућих тачака (Jacobsson, 2008), слика 2.10.



Слика 2.10 Хладно (а) и термичко (б) подрхтавање (Professional motor mechanic, 2022)

Још један вид нискофреквентних структурних вибрација је јечање (енгл. *groan*). Ове вибрације настају независно од угаоне брзине точка и температуре диск кочница (Hiller, 2006). Цвиљење се може поделити у две групе и то продорно цвиљење (енгл. *creep groan*) и динамичко цвиљење (енгл. *dynamic groan*). Продорно цвиљење се јавља услед наизменичног лепљења и клизања (енгл. *stick-slip*) елемената у контакту, које настаје када је статички коефицијент трења већи од динамичког коефицијента трења. Динамичко цвиљење је резултат негативног пригушења. Бука која се јавља као последица овог вида вибрација назива се још стењање (енгл. *moan*).

Шкрипа (енгл. *squeal*) је високофреквентна вибрација (> 1000 Hz) компоненти кочница током процеса кочења (Kinkaid и сарадници, 2003; Лукић, 2011), која је узрокована резонанцијом. Вибрације се не шире кроз структуру возила, већ кроз ваздух (Jacobsson, 2003). Променљива природа шкрипе чини овај процес врло сложеним (Pärninen, 2002). Она може да се јави на различитим фреквенцијама, јер оне често одговарају природним фреквенцијама кочног система. Другим речима, јавља се у одређеним фреквентним опсезима услед променљивих услова које изазивају модалне промене компоненти система за кочење, али не зависе од брзине возила и остају константне за посматрани кочни систем (Balvedi и Gerges, 2008). Аутори (Wagner и сарадници, 2007) наводе да шкрипа настаје услед нестабилности сила трења које проузрокују самопобуђене вибрације. Шкрипа кочница је изузетно сложена појава, међутим, постигнут је велики напредак у разумевању принципа генерисања шкрипе, али још увек није у потпуности дефинисано који су то узроци услед којих овај вид вибрација настаје (Акау и сарадници, 2009).

Бука налик трљању жичане четке (енгл. *wire brush*) је нерезонантна бука јако високе фреквенције (Hiller, 2006). Она се не преноси ваздухом, већ кроз структуру возила (Lindberg, 2011). Назива се још и буком која је настала услед храпавости контактне површине фриксионог пара.

Појава било ког вида буке, код власника возила ће узроковати неповерење у возило и навести га да помисли да нешто са његовим возилом није у реду, што ће за последицу имати неки изненадни маневар или отпуштање педале кочнице, што даље може проузроковати саобраћајну незгоду. Зато је неопходно пројектовати такве делове који у току рада неће производити буку, који ни на који други начин неће угрозити безбедност свих учесника у саобраћају.

2.2.4 Откази система против блокирања точкова

Систем против блокирања точкова је један од најбитнијих система код савремених возила који директно има утицај на безбедност саобраћаја (Liu и сарадници, 2021). Стопа отказа система против блокирања точкова се повећава са бројем пређених километара и старошћу аутомобила (TÜV Kraftfahrt GmbH Institute of Traffic Safety Department Safety Research and Development, 2002).

Постоји низ проблема који се могу јавити у систему против блокирања точкова. Један од најједноставнијих отказа јесте отказ лампице индикатора система против блокирања точкова. Приликом покретања возила, лампица која указује да је систем против блокирања точкова исправан би требало да се искључи. Индикатор лампа система против блокирања точкова приказана је сликом 2.11 и зависно од произвођача може бити у другој боји.



Слика 2.11 Индикатор лампа система против блокирања точкова

Пример другог отказа у систему против блокирања точка, јесте оштећење давача броја обртаја или електричне инсталације. Оштећење се може јавити током експлоатације возила. Међутим, може се јавити и код потпуно новог возила, што је последица пропуста у производњи или провере квалитета и исправности свих делова и система возила. Оштећена електрична инсталација временом може довести до електричног пробоја, а што може значајно смањити функционисање или пак довести до отказа система против блокирања точкова (Technical Service Bulletin, 2013). Механичко¹⁰ оштећење назубљеног точка (слика 2.12) изазваће лажне информације о броју обртаја точка, што може довести до неправилног функционисања система против блокирања точка (Pecolta и сарадници, 2021).



Слика 2.12 Механичко оштећење зупчастог прстена (Samarins, 2023)

Чест проблем који се јавља код система против блокирања точкова настаје када се давач броја обртаја задрља металним честицама (насталим услед хабања кочница) или другим нечистоћама из околине. У том случају, давач може да шаље лажне информације, што за последицу има беспотребно активирање система против

¹⁰ Механичко оштећење назубљеног точка заправо јесте недостатак одређеног броја зубаца.

блокирања точкова (Smart, 2024). Проблеми који се могу појављивати повремено су узроковани оштећеним конекторима. Конектори могу бити оштећени уколико су савијени, односно поломљени или се на њима налази корозија, што може проузроковати прекид везе. Адекватном идентификацијом узрока могућих отказа, као и услова при којима они настају, могу се значајно унапредити перформансе возила, а што директно утиче на безбедност саобраћаја, па самим тим се могу смањити и трошкови одржавања/сервисирања возила.

3. МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА

Методе које су коришћене за потребе истраживања ове докторске дисертације се могу сврстати у три групе и то: статистичке, анкетне и експерименталне.

Статистичка метода биће коришћена за анализу саобраћајних незгода у Републици Србији у којима се као утицајни фактор појављује неисправност кочног система. Поред тога, статистичке методе примениће се и за анализу и обраду експерименталних резултата добијених на пробном столу за испитивање термичких напрезања диск кочница – BRAKE DYNО 2020.

Метод анкете биће спроведен кроз попуњавање унапред припремљеног упитника. Циљна група су возачи који ће бити одабрани методом случајног узорка.

Сва неопходна експериментална мерења за потребе реализације предложене докторске дисертације су извршена у лабораторијским условима. Експериментална истраживања су реализована у Лабораторији за моторна возила на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу. У циљу реализације експерименталног истраживања спроведен је проширени тест са константном почетном брзином, проширени тест са константним притиском, проширени тест понављања и тестови испитивања у зависности од максималног граничног успорења. Посебно су праћене величине успорења, пута кочења, као и *MFDD*-а (мери се од тренутка када возило достигне 80% почетне брзине, до тренутка када падне на 10%, према стандарду ЕСЕ 13). На овај начин ће се добити оцена о ефикасности кочног система током периода када је успорење највеће, а кочнице раде са максималном ефикасношћу.

3.1 Статистичка метода

У овом раду коришћена је дескриптивна статистика за анализу стања безбедности саобраћаја на територији Републике Србије у периоду од 2019. до 2023. године. Статистичка метода је коришћена и за анализу ставова возача са аспекта техничке исправности возила.

3.1.1 Статистичка анализа утицаја неисправности кочног система возила на број саобраћајних незгода

За предвиђање саобраћајних незгода, поред традиционалних статистичких метода, могу се користити методе дубоког учења (енгл. *deep learning*) и машинског учења (енгл. *machine learning*). Последњих година расте интересовање за регресионе моделе - временске серије (енгл. *time series analysis*), што показује чињеница да се у литератури може наћи значајан број публикација на ову тему. Неки од примера су: број неисправних комада по радном времену (када је у питању контрола квалитета у индустрији), број трансакција на берзи у минути, број возила која прођу кроз одређену раскрсницу или деоницу пута у одређеном интервалу времена, број паркираних возила на паркингу у одређеном временском интервалу, као и број саобраћајних незгода у одређеном периоду (у 15 минута, у сат времена, у 24 сата, у недељи, у месецу, у години, у периоду од пет година итд.). Табелом 3.1 приказане су различите статистичке методе за предвиђање саобраћајних незгода у друмском саобраћају. Последња три рада (Gošić

и сарадници, 2022; Deretić и сарадници, 2022 и Mičić и сарадници, 2022) представљају истраживања спроведена у Републици Србији.

Табела 3.1 Преглед статистичких метода за предвиђање саобраћајних незгода у друмском саобраћају

Аутори	Метода
<i>Khasnabis</i> и <i>Hwa Lyoo</i> (1989)	ARIMA модел (енгл. <i>Autoregressive Integrated Moving Average - ARIMA</i>)
<i>Bener</i> и сарадници (2010)	Регресиона анализа, Анализа временских серија (енгл. <i>time-series regression</i>)
<i>Commandeur</i> и сарадници (2011)	Традиционални регресиони модели (линеарни, генерализовани линеарни и нелинеарни) ARIMA модел
<i>Mutangi</i> (2015)	ARIMA модел
<i>Darma</i> (2017)	ARIMA модел Модел преносне функције – Модел буке, Модел у простору стања (енгл. <i>state-space model</i>)
<i>Parvareh</i> и сарадници (2018)	ARIMA модел SARIMA модел (енгл. <i>seasonal autoregressive integrated moving average</i>)
<i>Abdulhafedh</i> (2017)	Поасонов модел (енгл. <i>Poisson model</i>) Негативан бином Модел са вишком нула (енгл. <i>Zero-inflated model</i>) Логит и пробит (енгл. <i>Logit and Probit</i>) Неуронске мреже
<i>Nanga</i> (2019)	SARIMA модел
<i>Sadegh</i> (2019)	ARIMA модел <i>Prophet</i> модел
<i>Samson</i> и <i>Adewale</i> (2020)	Анализа временских серија (квадратна (енгл. <i>quadratic</i>), растућа (енгл. <i>growth</i>) и линеарна (енгл. <i>linear</i>))
<i>Jomnonkwao</i> и сарадници (2020)	Анализа временских серија (енгл. <i>Time-series analysis</i>) Крива процене (енгл. <i>Curve estimation</i>) Регресиона анализа (енгл. <i>Regression analysis</i>) Анализа путање (енгл. <i>Path analysis</i>)
<i>Getahun</i> (2021)	ARIMA модел
<i>Vipin</i> и <i>Rahul</i> (2021)	Експлоративна анализа података (енгл. <i>Exploratory data analysis (EDA)</i>) Регресиона анализа временских серија (енгл. <i>Time-series regression</i>)
<i>Sumit</i> и сарадници (2021)	Анализа временских серија
<i>Kaunitz</i> (2022)	Логистичка регресија (енгл. <i>Logistic regression</i>) Анализа временских серија
<i>Khasawneh</i> и сарадници (2022)	Анализа временских серија
<i>Cai</i> и <i>Di</i> (2023)	Појачавање (енгл. <i>Boosting</i>) ARIMA модел Модел за бројање података временских серија (енгл. <i>Time-series count data model</i>)

Табела 3.1 (наставак)

Аутори	Метода
Gošić и сарадници (2022)	Хи-квадратни тест (енгл. <i>Chi-squared test</i>) Студентов <i>t</i> -тест (енгл. <i>Student's t-test</i>) Линеарна регресиона анализа (енгл. <i>Linear regression analysis</i>) Логаритамска регресија (енгл. <i>Logarithmic regression</i>)
Deretić и сарадници (2022)	SARIMA модел
Mičić и сарадници (2022)	Поасонов модел Негативан биномни модел (енгл. <i>Negative binomial</i>) Негативан бином са случајним ефектом (енгл. <i>Random effect negative binomial</i>) Поасонов модел са нултом засићеношћу (енгл. <i>Zero-inflated Poisson</i>) Негативни биномни модели са нултом засићеношћу (енгл. <i>Zero-inflated negative binomial models</i>)

Како би се успешно решио проблем саобраћајних незгода, прво се мора створити реална слика, што обухвата разумевање њихових карактеристика, врста, узрока и околности под којима се дешавају. Први корак у овом процесу је јасно дефинисање шта се подразумева под појмом узрок, јер се тек након тога може радити на његовом отклањању. До ових сазнања долази се кроз детаљна истраживања и анализе незгода, чији резултати омогућавају да се идентификују ризичне групе учесника, опасне локације, као и време и околности настанка незгода. На основу прикупљених и обрађених података, изводе се конкретни закључци и формулишу техничка решења која се затим примењују у целокупној области безбедности саобраћаја (регулација и управљање, пројектовање и планирање, контрола саобраћаја итд.).

Методе анализе пре свега зависе од квалитета података, а примена сложених аналитичких метода је бесмислена уколико су подаци непотпуни. Из тог разлога, постоје модели који паралелно са студијама ставова возача и саобраћајном статистиком могу се користити за решавање проблема безбедности саобраћаја. У земљама ОЕCD постоји пет модела за описивање безбедности саобраћаја (Липовац, 2008):

- описни (дескриптивни) модели,
- модели предвиђања (аналитички макромодели),
- модели фактора ризика (аналитички микромодел),
- модели који приказују последице саобраћајне незгоде и
- модели који се ослањају на праћење индикатора безбедности саобраћаја.

Уколико је потребно утврдити ниво безбедности саобраћаја, најчешће се користи дескриптивна статистичка анализа, која се заснива на апсолутним и релативним показатељима. Ови модели описују стање и проблеме безбедности саобраћаја у три правца: изложеност, ризик и последице саобраћајних незгода. Основни извори ових података су полицијски, медицински и извештаји осигуравајућих друштава. Подаци из добијених извештаја се допуњавају, стога их је најбоље комбиновати.

Поступак анализе безбедности саобраћаја коришћен у овом истраживању приказан је сликом 3.1. Прво се подаци преузимају из базе података Агенције за безбедност саобраћаја Републике Србије и складиште се на интерној меморији рачунара. Након складиштења, врши се визуелизација преузетих података у облику графика и дијаграма.

На крају, извршена је дескриптивна анализа приказаних података и донешени су закључци о стању безбедности саобраћаја.



Слика 3.1. Поступак анализе безбедности саобраћаја

Анализа стања безбедности саобраћаја на подручју или на деоници пута је веома важан задатак у области безбедности саобраћаја. Мере и активности које треба спровести у циљу повећања степена безбедности саобраћаја вреднују се и даље развијају кроз сталне анализе, поређења и оцене стања безбедности саобраћаја. Упоредне анализе са референтним областима доприносе побољшању мера безбедности саобраћаја. Просечне вредности у свакој земљи за подручја са сличним карактеристикама, али и подручја у земљама у оквиру Организације за економску сарадњу и развој или Европске Уније, треба користити као референтна подручја. За мерење нивоа безбедности саобраћаја могу се користити директни и индиректни индикатори безбедности саобраћаја и апсолутни и релативни показатељи безбедности саобраћаја. За упоредну анализу је погодније користити апсолутне индикаторе безбедности саобраћаја.

3.2 Ставови возача у погледу исправности кочног система возила са аспекта безбедног учешћа у друмском саобраћају

Важно је пратити трендове у области безбедности саобраћаја, када су у питању ставови и понашања учесника у саобраћају, обзиром да се стање током времена може побољшавати или погоршавати. Већина европских земаља примењује сличне мере како би се побољшала безбедност друмског саобраћаја. Ове мере се дефинишу на основу спроведених различитих врста истраживања и анализа које за циљ имају смањење ризика. Сличне мере се примењују како би постојала могућност упоређивања ефеката које оне пружају и могу се значајно разликовати од државе до државе.

Истраживања међународног карактера су стандардизована, а једно од најистакнутијих истраживања је SARTRE (енгл. *Social Attitudes to Road Traffic Risk in Europe – Друштвени ставови према ризику саобраћаја на путевима у Европи*). SARTRE је формиран упитник који се бави истраживањем ставова учесника у саобраћају о:

- коришћењу система заштите учесника у саобраћају (сигурносни појас, заштитна кацига),
- војњи при различитим карактеристичним психофизичким стањима возача (вожња под утицајем алкохола, вожња под утицајем психоактивних супстанци и умор) и
- прекорачењу брзине.

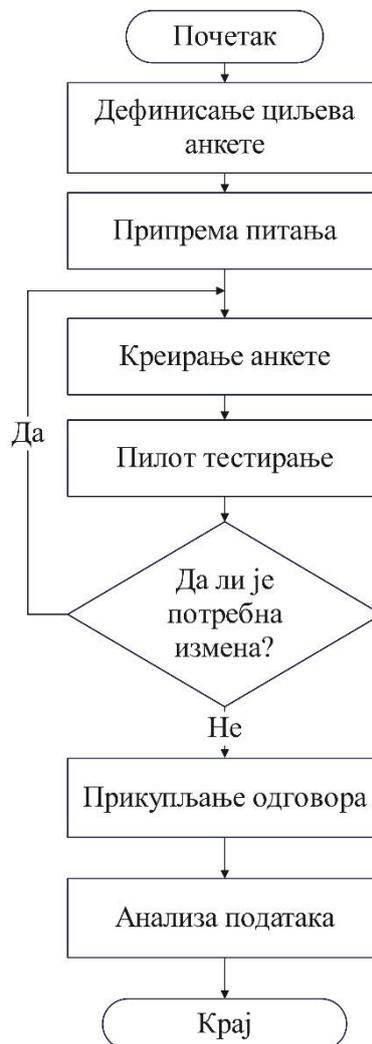
Ова студија се спроводи још од 1991. године, при чему је кроз период од тридесет година значајно порастао број земаља које учествују. У првом истраживању које је било спроведено од 1991. до 1992. године учествовало је 15 земаља (SARTRE 1), у другом истраживању (SARTRE 2) које је спроведено у периоду од 1996. до 1997. године учествовало је 19 земаља, а у трећем (SARTRE 3) су учествовале чак 23 земље, са око 24.000 испитаника.

Новије истраживање, које такође има за циљ дефинисање ставова возача широм света, је ESRA (енгл. *E-Survey of Road users Attitudes*). ESRA истраживање је први пут спроведено 2015. године у 25 држава, чак и у оним државама које нису део Европе. Следеће ESRA истраживање које је реализовано 2018. године је у основи базирано на SARTRE 4 истраживању и укључује одређена питања из анкетног упитника организације AAAFTS (енгл. *American Automobile Association Foundation for Traffic Safety - Фондација Америчке аутомобилске асоцијације за безбедност саобраћаја*). У овом истраживању учествовало је пет типова учесника у саобраћају: возачи аутомобила, возачи мопеда и мотоцикла, бициклисти и пешаци. У најновијем истраживању ESRA 3 (спроведено 2023. године) били су укључени и возачи електричних тротинета. Поред овога, обрађено је пет тема о безбедности на путевима које обухватају војњу под дејством алкохола, употребу дрога и лекова, прекорачење брзине, заштитне системе (нпр. коришћење сигурносних појасева, употреба кациге), одвраћање пажње (нпр. коришћење мобилних телефона у току војње) и умор. Све то поткрепљено је анализом ставова о коришћењу различитих видова транспорта, ставовима према безбедном и небезбедном понашању, као и да ли је такво понашање прихватљиво. Најновије истраживање ESRA 3 уврстило је и ставове о инфраструктури и конкретним регионалним питањима.

Наведена истраживања из области безбедности саобраћаја нису посматрала возило, као један од потенцијалних ризика, што је била полазна тачка да се у оквиру докторске дисертације спроведе анкета о ставовима возача у погледу исправности кочног система возила са аспекта безбедног учешћа у друмском саобраћају. Комплетна процедура од дефинисања циља анкете, преко смишљања питања, до реализације и анализе резултата добијених анкетом је представљена алгоритмом који је приказан сликом 3.2.

Анкета (лат. *inlaquastia*) представља једну од најчешће коришћених квалитативних метода истраживања и састоји се у испитивању околности појединачних случајева (Пешић и сарадници, 2019). Фајгел (2004) пак поред ове дефиниције наводи, да је термин анкета који се користи у српском језику, преузет из француског језика од речи - *enquête*, што значи истраживање или истрага. Међутим, када се каже „анкета”, обично се мисли на истраживање које укључује употребу (анкетних) упитника. Упитници су

тренутно доминантан начин прикупљања података и врло је важно да се прикупљање података путем упитника ради систематски, како би статистичка обрада тих података била могућа (Јаничић, 2019).



Слика 3.2 Алгоритам спровођења анкете

Истраживање ставова учесника у саобраћају је важан део методологије анализе нивоа безбедности саобраћаја. Спровођењем оваквог вида истраживања, испитују се аспекти који су кључни за доношење адекватних мера, које за циљ имају промену ставова испитаника. Оваква промена, као резултат има унапређење ставова групе која је испитана и на тај начин се директно може утицати на побољшање стања безбедности саобраћаја. Циљ спроведене анкете јесте добијање података о ставовима возача у погледу исправности кочног система возила, на основу којих би се усмеравале будуће превентивне активности. Поред тога, ово истраживање има за циљ да буде основа за укључивање ставова возача о возилима (са акцентом на кочни систем), у пројекте SARTRE и ESRA.

Концепција питања зависи од сврхе истраживања које се спроводи, међутим постоје одређена правила која се морају испоштовати приликом формирања упитника: питања морају бити јасна, недвосмислена и дефинисана тако да их испитаници могу разумети,

не смеју бити сугестивна и морају имати исти значај за све испитанике. Када се формирају питања мора се проверити следеће:

- ❶ Да ли је то питање уопште потребно?
- ❷ Да ли је потребно више питања уместо једног?
- ❸ Да ли испитаник поседује знање потребно да одговори на постављена питања?
- ❹ Да ли је испитаник вољан да одговори на постављено питање?
- ❺ Да ли ће испитаник моћи да се сети траженог податка?

Када се све ово провери, креће се са формирањем упитника. Упитник почиње са питањима која су једноставна, често општег карактера. Након тога се полако испитаник уводи у причу, без збуњивања и без прелажења са теме на тему. На самом крају се постављају конкретна питања.

Конципирање питања може бити различито, у зависности од могућих начина одговора. Питања могу бити отвореног, полуотвореног и затвореног типа. Питања отвореног типа испитанику дају могућност да да произвољан одговор, што знатно усложњава процедуру обраде добијених података. Одговори који су полуотвореног типа, представљају одговоре који су већ унапред дефинисани, међутим испитанику се оставља могућност и да сам да произвољан одговор. Затворен тип питања је пак нешто што се најчешће користи, и он се може поделити на три основне групе, и то:

- ❶ дихотмна питања (на која се одговара са „ДА” или „НЕ”),
- ❷ питања са више могућих одговора и
- ❸ скале процена (вербалне, нумеричке или графичке).

Након формирања анкете, приступа се пилот анкетавању. Пилот анкетавање представља поступак у коме се врши тестирање упитника на малом броју испитаника, како би се уклониле грешке и нејасноће, уколико постоје. Уколико грешке не постоје, приступа се анкетавању, односно прикупљању одговора (Пешић и сарадници, 2019).

Најзначајнији део анкетног истраживања јесте прикупљање података. Начин прикупљања података највише зависи од предмета истраживања, прецизности анкете, буџета, расположивог оквира и времена које је на располагању. Традиционални начин прикупљања података је онај који је спроведен за потребе ове докторске дисертације, и то личним интервјуисањем, тзв. анкета „лицем у лице“ (енгл. *face-to-face*). Анкета „лицем у лице“ подразумева да анкетар остварује лични контакт са испитаником, где уз помоћ унапред састављеног упитника прикупља податке. Правилно спровођење овакве анкете за резултат има најквалитетније податке и највишу стопу одговора. Анкетна истраживања се не обављају на популацији (скуп свих ентитета на основу којих се закључује), већ на узорку који је коначан број и мора бити репрезентативан. Узорак је заправо скуп који чине чланови циљне популације (у овом случају то су возачи), који су случајно одабрани. Како је циљ да се прате промене које се јављају у току времена (период од 2019. до 2023. године), коришћена су лонгитудинална истраживања, а подручје које је обухваћено је национално (на територији Републике Србије). Када се бира величина узорка, постоји низ смерница које треба испратити, како би се дошло до оптималног броја узорка. Оптимум подразумева максимирање добијених податка, са што мање утрошеног времена и новчаних средстава, где је потребно водити рачуна да се добије и одређена прецизност. Када је узорак мали, не може се обезбедити потребна тачност резултата, али када је превелик, може се непотребно утрошити много времена и новца.

Минимална величина узорка се може израчунати на различите начине. Уколико је позната вредност популације, она се рачуна по релацији (3.1) (Cochran, 1977):

$$S = \frac{z^2 \cdot \sigma \cdot (1 - \sigma)}{e^2} \cdot \left(1 + \frac{z^2 \cdot \sigma \cdot (1 - \sigma)}{e^2 \cdot N_{cp}} \right) \quad (3.1)$$

Величине у релацији (3.1) представљају:

- S – минималан број узорака,
- z – интервал поузданости,
- σ – стандардна девијација,
- e – граница грешке и
- N_{cp} – величина циљна популација.

Често величина циљне популације није позната, па се минимална величина узорка може израчунати применом релације (3.2) (Пешић и сарадници, 2019):

$$n \geq \frac{z^2 \cdot p \cdot (1 - p)}{d_{max}^2} \quad (3.2)$$

где су:

- n – величина узорка,
- z – интервал поверења (поузданости),
- p – пропорција истраживане популације и
- d_{max} – максимално одступање (тачност/грешка узорка).

Након прикупљања података, потребно је извршити њихово филтрирање и анализу, након чега следи доношење закључака. Наравно, поред доношења закључака, могуће је предложити мере за унапређење безбедности саобраћаја. Приликом статистичке анализе података, добија се одређена дескриптивна анализа коју чине показатељи попут: укупног броја, процентуалног учешћа, дистрибуције, дисперзије итд. Анализа добијених података биће урађена уз помоћ софтверских алата, који на врло брз и ефикасан начин дефинишу претходно поменуто параметре.

3.3 Експериментална метода

Планирање експеримента се врши још у фази пројектовања и дизајнирања одређеног система на возилу, са циљем проналажења оптималних вредности свих фактора који на посматрани процес имају утицаја. Када се процени у каквом стању се систем налази, одређује се које то променљиве имају најнеповољнији утицај. Након одређивања приоритетних утицајних фактора, спроводе се мере за побољшање квалитета. Циљ експеримента је да се пронађе статистички значај ефекта који фактор или више фактора има утицај на излазну величину (Крстић, 2006). На овај начин се смањује могућност појаве отказа и значајно повећава безбедност, како корисника возила, тако и свих учесника у саобраћају, поготово када је кочни систем у питању.

Уобичајено је да се прва испитивања одређеног система изврше у лабораторији. Лабораторијска испитивања која се врше на пробним столовима су веома заступљена када су у питању испитивања одређеног система у аутомобилској индустрији. Међутим, лабораторијска испитивања склопа су недовољна, посебно када се врше испитивања кочног система, јер се његова реална процена обично може извршити тек након што је комплетно возило састављено, што доводи до потенцијалних проблема који се откривају прекасно (Liao и сарадници, 2020). Ова ограничења су током година, довела до тога да се уређаји који се користе за испитивање кочница у лабораторијским условима, константно унапређују како би били ефикаснији у односу на испитивање комплетног возила, јер испитивања у лабораторијским условима су укључивала мање променљивих и били су потребни мањи ресурси (инжењери и опрема) (Grochowicz и сарадници, 2010).

Испитивање кочног система на пробним столовима може се вршити на различите начине, у зависности од тога који елемент се посматра и који се резултати очекују. Сваки од тестова се разликује по процедури испитивања, улазним подацима (радни параметри – оне које дефинише истраживач), очекиваним резултатима (излазне величине – величине које се мере током испитивања), узорцима (броју узорака, категорији узорака) итд. (Grochowicz и сарадници, 2014). Уопштено, лабораторијска испитивања кочница се могу поделити у три главне категорије:

- на пин-он-диску (енгл. *pin-on-disc*),
- на кочном (инерционом) динамометру и
- на ваљцима за испитивање кочница.

Експериментална истраживања која се спроводе у лабораторијским условима подразумевају симулацију реалних услова, како би оваква врста испитивања била валидна. Поред тога, при извођењу лабораторијских испитивања, могуће је контролисати услове. Највеће предности испитивања која се спроводе у лабораторији су да су једноставнија, јефтинија, поновљива и захтевају знатно мање времена у односу на испитивања у реалним условима.

3.3.1 Експериментална истраживања диск кочница

Процена успорења возила, које је неизоставни део временско-просторне анализе саобраћајне незгоде, добија се на основу дужине пута кочења који зависи од низа фактора и то од: брзине, а која даље зависи од тога да ли је возило опремљено системом против блокирања точкова, коефицијента приањања у контакту пнеуматика и тла, услова околине итд. У зависности од циља, могу се спроводити различити типови испитивања диск кочница. Постоје три основна типа испитивања и то:

- хомологацијска,
- развојна и
- контролна.

Поступком хомологације се проверава усклађеност, најчешће возила или опреме, са техничким и законским стандардима који су у датом тренутку важећи, а који имају за циљ да осигурају да одређени производ задовољава безбедносне, еколошке и функционалне захтеве, пре него што се пуште у експлоатацију. У Републици Србији ово се односи на тзв. ЕСЕ правилнике које доноси Економска комисија Уједињених Нација за Европу (енгл. *United Nations Economic Commission for Europe - UNECE*). Ознака правилника за кочни систем је *ECE-R13*.

Развојна истраживања представљају испитивања која за циљ имају да дају информације, а које су кључне приликом испитивања већ постојећег система, односно да потврде функционалност, ефикасност, поузданост и безбедност пре имплементације система и његовог пуштања у рад.

Провера квалитета диск кочница, као и уједначеност током процеса производње врши се током контролних испитивања. Контролна испитивања се врше како би се осигурало да кочнице задовољавају прописане техничке карактеристике и безбедносне стандарде.

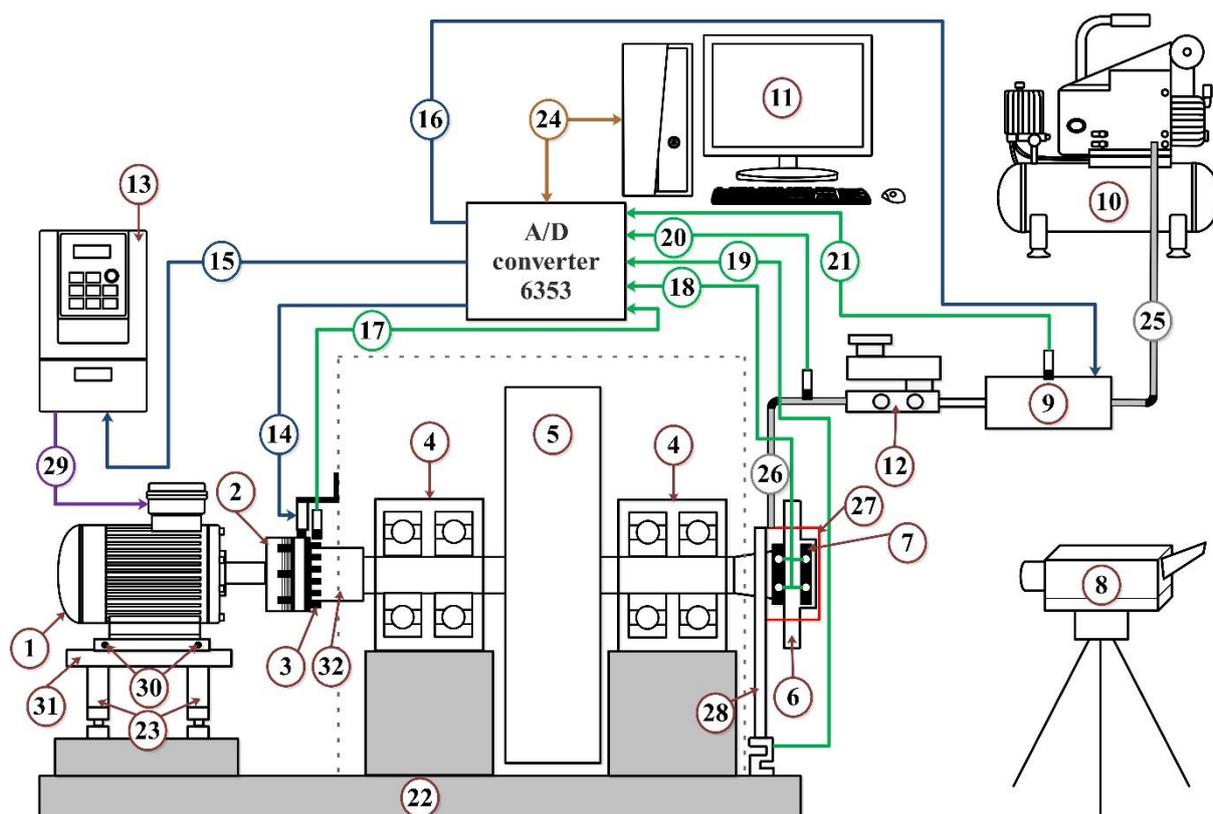
Спроведена испитивања фокусирана су на утицај радних параметара кочења: притиска, брзине у тренутку активирања кочнице и температуре на процес кочења, конкретно на успорење, пут кочења и *MFDD*.

3.3.2 Опитна инсталација

Испитивање извршних елемената диск кочница је спроведено у Лабораторији за моторна возила, на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу. Пробни сто на коме су извршена сва мерења носи назив BRAKE DYNO 2020 и припада категорији кочних динамометара. Пробни сто симулира кинетичку енергију дела возила који одговара половини оптерећења предње осовине возила. На њему се може симулирати кинетичка енергија различитих маса која се крећу истом или различитом брзином, као и једног возила које се може кретати различитим брзинама. Испитивање возила различитих маса није циљ овог истраживања, јер већа маса возила доводи до дужег времена потребног за заустављање возила, обзиром да процес заустављања зависи од инерције која расте са порастом масе. Из овог разлога, за потребе ове докторске дисертације испитивање ће се извршити за једно возило, чија је маса која оптерећује један предњи точак била 300 kg. Сва мерења у Лабораторији су спроведена на температури од $21\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Путем рачунара се врши комуникација и контрола пробног стола BRAKE DYNO 2020. Програм за управљањем пробним столом је направљен у софтверском пакету LabVIEW™, чиме је омогућена аутоматизација процеса испитивања. Пробни сто је са рачунаром повезан преко A/D конвертора 6353 *National instruments*, који има за задатак да шаље командне сигнале (дефинисан број обртаја мотора, укључивање/искључивање кочнице, кочење са или без ограничавања максималног успорења) и да аналогне сигнале са давача дискретизује и пошаље на рачунар, на ком ће бити складиштени. Слика 3.3 приказана је шема пробног стола на коме су спроведена сва мерења за потребе ове докторске дисертације, док су у табели 3.2 дате основне карактеристике пробног стола.

Пробни сто се састоји од погонског дела – електромотора (1), који је у вези за замајном масом (5) преко електромагнетне спојнице (2). Замајна маса је у чврстој вези са вратилом, на чијем се једном крају налази кочни диск (6), који је у чврстој вези са вратилом, док се на другом крају налази електромагнетна спојница (2). Електромагнетна спојница спаја вратило замајне масе и електромотор. Вратило замајне масе се преко лежајева (4) ослања на носећу конструкцију пробног стола (22). Комплетан извршни кочни систем се налази на пробном столу. Поред кочног диска, налази се и кочна стега (27). Кочна стега је у чврстој вези са носећом плочом (28), што би заправо на возилу била каросерија. У циљу мерења кочног момента у току процеса кочења, на једном крају носеће плоче је стега, а на другом давач силе (19).



Слика 3.3 Шема пробног стола (Стојановић, 2021)

Табела 3.2 Карактеристике пробног стола (Стојановић, 2021)

Номинална снага електромотора	18,5 kW
Опсег брзине	до 1.500 о/min
Максимални кочни момент	2.500 Nm
Максимални кочни притисак	150 bar
Максимална температура кочних плочица	250 °C

Управљање пробним столом је аутоматизовано и врши се путем рачунара (11). Електромотор се покреће преко рачунара. Дефинисање радних параметара (маса возила, брзина кретања возила и успорење) се задају путем рачунара. Пробни сто симулира само четвртину возила, односно маса возила која се уноси у софтвер је управо четвртина масе возила. Максимални притисак у кочној инсталацији (12) који може да се постигне у току испитивања се ручно подешава. Активација кочнице се постиже преко хидрауличке кочне инсталације (12) и (26), а која се активира применом пнеуматског система (9), путем компресора (10). Компресор се у току испитивања активира путем команде која стиже од рачунара, преко А/Д конвертора, а који је у вези преко кабла (16) са електромагнетним вентилом за активацију пнеуматског цилиндра. Сигнал активира електромагнетни вентил који пропушта ваздух из вода (25), који покреће клип са клипњачом у пнеуматском цилиндру. Клипњача је другим крајем у чврстој вези са полугом у кочном цилиндру, а која омогућује померање клипа у кочном цилиндру, где затим долази до пораста притиска у хидрауличкој кочној инсталацији. Повећање притиска у кочној инсталацији омогућује да кочне плочице (7) задатим притиском налегну на кочни диск.

Управљање пробним столом омогућује два режима рада, односно снимање резултата од тренутка активирања пробног стола, па све док се не заврши и задње мерење, и

снимање само током процеса кочења. Резултати који се снимају током рада пробног стола су: број обртаја кочног диска и замајне масе са давача броја обртаја (17) на основу којих програм прорачунава брзину кретања возила, кочни момент са давач силе (19), притисак у кочној инсталацији са давача притиска (20), термографски приказ кочног диска са термовизијске камере (8) и температура у кочним плочицама са давача температуре (18). У свакој кочној плочици налазе се по два давача, тако што је један постављен на улазном, а други на излазном крају кочне плочице. Такође, испитивања се могу спровести у условима без хлађења и у условима принудног хлађења.

У оквиру експерименталног испитивања коришћене су органске кочне плочице и вентилирајући кочни диск од сивог ливеног гвожђа. Изглед примењених компоненти дат је сликом 3.4.



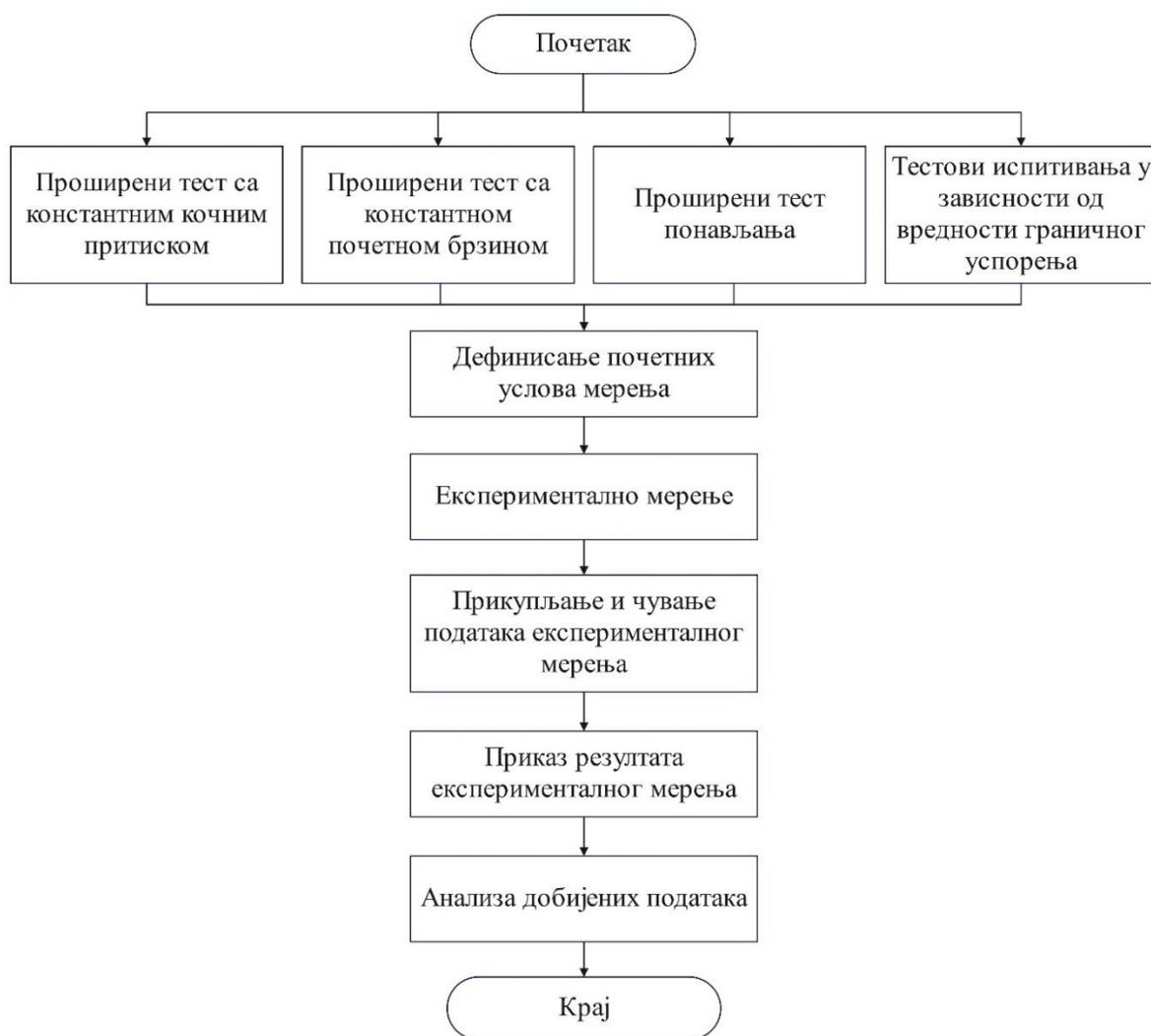
Слика 3.4 Вентилирајући кочни диск (лево) и кочне плочице (десно) коришћене у експерименталном испитивању

3.3.3 Поступак и приказ тестова експерименталних истраживања

Поступак спровођења експерименталних испитивања биће описан у овом делу. Сликом 3.5 приказан је алгоритам процедуре експеримента.

Спроведена су укупно четири теста. Прва три теста заправо представљају проширене тестове који су коришћени у истраживању Стојановић (2021), и то: тест са константном почетном брзином, тест са константним притиском и тест понављања. Поменути три теста су проширена (зато у називу сваког теста стоји „проширени“) и они су се састојали из два дела. Први део испитивања је био потпуно исти као и у истраживању Стојановић (2021) – изворни тест. Други део испитивања, што је заправо и новина у односу на поменуто истраживање, јесте постојање модула за ограничавање максималног успорења – што чини модификовани тест. Модификовани тест је извршен када је модул за ограничење максималног успорења активан, слика 3.6. Четврти тест је потпуно нови тест. У наставку ће о сваком тесту бити више речи.

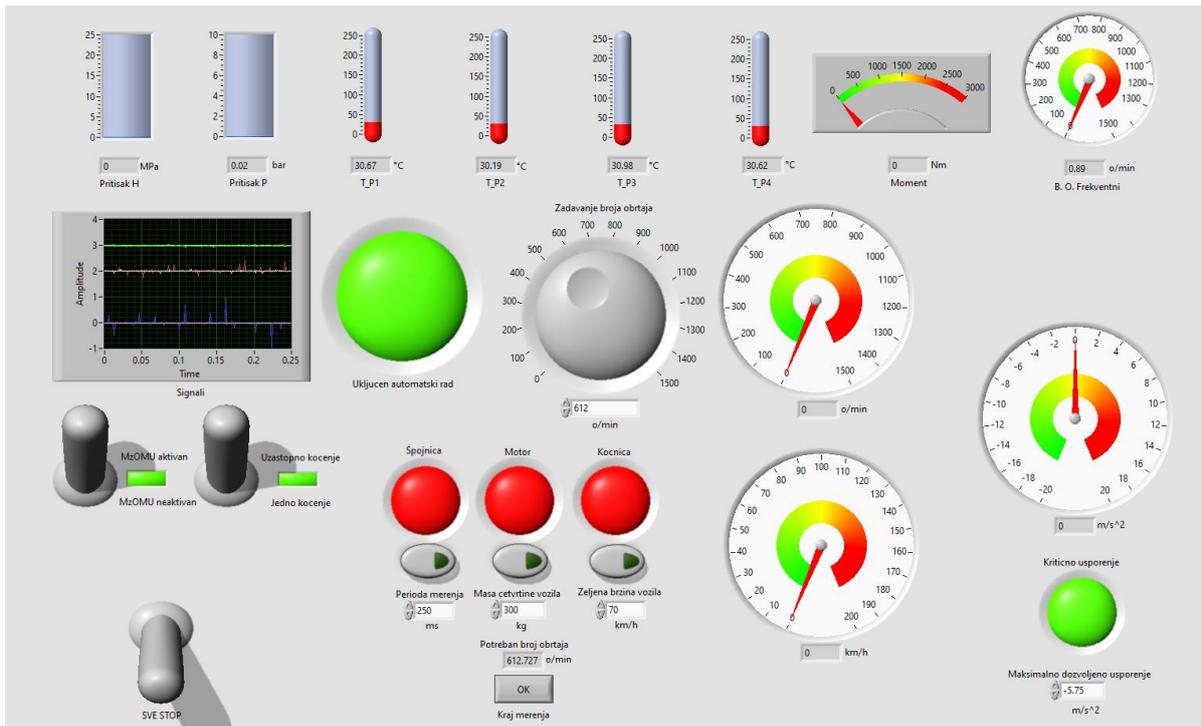
Полазна тачка приликом вршења експерименталних испитивања, јесте избор теста. Било који тест да се одабере, реализује се при истим почетним условима (температура диск кочнице је између 25 °C и 26 °C, температура у лабораторији 21 °C ± 1 °C), како би тестови били упоредиви између себе. Такође, потребно је дефинисати контролне параметре за сваки тест посебно. Контролни параметри су: маса четвртине симулираног возила (за све тестове је износила 300 kg), брзина кретања симулираног возила и притисак у кочној инсталацији. Тек када се заврши ова фаза, може се почети са мерењем.



Слика 3.5 Алгоритам експеримента

Сprovedена су укупно четири теста. Прва три теста заправо представљају проширене тестове који су коришћени у истраживању Стојановић (2021), и то: тест са константном почетном брзином, тест са константним притиском и тест понављања. Поменути три теста су проширена (зато у називу сваког теста стоји „проширени“) и они су се састојали из два дела. Први део испитивања је био потпуно исти као и у истраживању Стојановић (2021) – изворни тест. Други део испитивања, што је заправо и новина у односу на поменуто истраживање, јесте постојање модула за ограничавање максималног успорења – што чини модификовани тест. Модификовани тест је извршен када је модул за ограничење максималног успорења активан, слика 3.6. Четврти тест је потпуно нови тест. У наставку ће о сваком тесту бити више речи.

Полазна тачка приликом вршења експерименталних испитивања, јесте избор теста. Било који тест да се одабере, реализује се при истим почетним условима (температура диск кочнице је између 25 °C и 26 °C, температура у лабораторији 21 °C ± 1 °C), како би тестови били упоредиви. Такође, потребно је дефинисати контролне параметре за сваки тест посебно. Контролни параметри су: маса четвртине симулираног возила (за све тестове је износила 300 kg), брзина кретања симулираног возила и притисак у кочној инсталацији. Тек када се заврши ова фаза, може се почети са мерењем.



Слика 3.6 Изглед интерфејса са додатном функцијом за ограничење максималног успорења

Подаци добијени експерименталним путем се складиште на рачунар. У зависности од врсте теста који се одабере, зависиће како ће се чувати подаци. Када су у питању проширени тест са константном почетном брзином, проширени тест са константним кочним притиском и тестови испитивања у зависности од максималног граничног успорења, резултати мерења се чувају само током процеса кочења. За проширени тест понављања, чување података се врши од тренутка почетка испитивања до тренутка када се кочни диск заустави (у овом случају након десетог циклуса понављања).

Модул за ограничавање максималног успорења прати успорење симулираног возила. Активирање кочнице на пробном столу резултира смањењем угаоне брзине кочног диска. Смањење угаоне брзине кочног диска је у директној вези са успорењем. Принцип рада модула за ограничење максималног успорења заснива се на праћењу промене транслаторне брзине возила, која се директно рачуна из промене кинетичке енергије замајне масе. Промена брзине по времену, заправо представља успорење, за случај смањења брзине. Када успорење возила достигне вредност која је задата у програму за аутоматску контролу пробног стола, кочни систем се аутоматски деактивира. Систем остаје деактивиран све до тренутка док успорење не падне испод задате вредности. Када вредност успорења падне испод задате вредности, кочни систем се поново активира. У случају да успорење поново пређе задату вредност успорења, кочни систем се поново деактивира. Овај процес се понавља све док успорење прелази задату вредност у току процеса кочења. Међутим, у случају да вредност успорења не достигне задату вредност, модул за ограничавање максималног успорења, неће деактивирати кочни систем.

Резултати који су добијени током експеримента су обрађени и приказани путем дијаграма и табела. Приказ и анализа добијених података, биће детаљно приказани у

оквиру поглавља 6, а у поглављу 8 биће дати сумирани закључци који су произишли из експерименталног истраживања.

3.3.3.1 Проширени тест са константном почетном брзином

Проширени тест са константном почетном брзином представља испитивање које се врши за исту брзину у тренутку активирања кочница симулираног возила од 100 km/h до потпуног заустављања, односно до крајње брзине од 0 km/h. Резултати овог теста могу приказати утицај промене притиска у кочној инсталацији на промену:

- температуре на кочним плочицама,
- времена кочења,
- пута кочења,
- успорења и
- потпуно развијеног средњег успорења (*MFDD*-а).

Проширени тест са константном почетном брзином је извршен за два случаја. Први случај је у ствари случај када није активан модул за ограничавање максималног успорења (у даљем тексту ТКПБ), и он је исти као и у испитивању које је извршено у истраживању Стојановић (2021) – изворни тест, док други случај у ствари представља модификовани постојећи тест (у даљем тексту ТКПБ_{МЗОМУ}). Модификовани тест поред свих контролних параметара који су се уносе у програм за контролу пробног стола, укључивао је и контролу граничног успорења, табела 3.3. Вредност успорења за потребе овог истраживања је била 5,75 m/s², која је добијена као средња вредност успорења у истраживању (Tretsiak, 2011).

Вредности успорења и *MFDD*-а не морају бити исте, али су међусобно повезане, а то да ли ће бити приближне зависи првенствено од услова испитивања. Уколико је процес кочења стабилан и без неких наглих промена, ове вредности ће бити приближне. На основу ових тврдњи, може се закључити да, уколико се вредност успорења ограничи на 6 m/s², постиже се стабилан процес кочења, а самим тим се не нарушава удобност путника, као што је дефинисано правилником ЕСЕ R13. Аутор (Tretsiak, 2011) је у свом истраживању навео да је гранична вредност удобног успорења 5,75 m/s². Нелагодност код путника почиње да се јавља при успорењу од 0,75 m/s², а горња граница за успорење које се још увек може сматрати удобним износи 1,5 m/s² (Santos-Cuadros и сарадници, 2024). Успорење је ограничено на 1,5 m/s² зато што испитаници нису користили сигурносни појас и аутори су одлучили да вредност успорења ограниче како би спречили могуће повреде током тестирања. Из тог разлога је граница удобног успорења нижа у односу на претходно истраживање. Када је реч о теренским испитивањима, аутори (Carlowitza и сарадници, 2024) наводе да је успорење од 3,5 m/s² у опасним ситуацијама прихватљиво, али и да успорење које прелази 6 m/s² значајно утиче на комфор.

Величине које се посматрају и снимају током експеримента, могу се поделити на: мерне и изведене. Мерне величине су оне величине које се користе у истом облику у којем су добијене са давача - температура на кочним плочицама и кочни притисак, док изведене величине представљају величине које се прорачунавају - пут кочења, успорење, брзина кретања возила и потпуно развијено средње успорење.

Табела 3.3 Контролни параметри проширеног теста са константном почетном брзином

Изворни назив теста	Контролни параметри			Назив модификованог теста
	Други случај			
	Први случај		$d_g = 5,75 \text{ m/s}^2$	
ТКПБ1	$T_p = (25,5 \pm 0,5)^\circ\text{C}$ $m = 300 \text{ kg}$ $v = 100 \text{ km/h}$	$p = 1 \text{ МПа}$		ТКПБ1 _{М3ОМУ}
ТКПБ2		$p = 2 \text{ МПа}$		ТКПБ2 _{М3ОМУ}
ТКПБ3		$p = 3 \text{ МПа}$		ТКПБ3 _{М3ОМУ}
ТКПБ4		$p = 4 \text{ МПа}$		ТКПБ4 _{М3ОМУ}
ТКПБ5		$p = 5 \text{ МПа}$	ТКПБ5 _{М3ОМУ}	

3.3.3.2 Проширени тест са константним кочним притиском

Проширени тест са константним кочним притиском представља испитивање које се врши за различите брзине у тренутку активирања кочнице. Кочење се врши до потпуног заустављања симулираног возила (крајња брзина је 0 km/h). Резултати овог теста служе за приказ утицаја брзине у тренутку активирања кочнице симулираног возила на промену:

- температуре на кочним плочицама,
- времена кочења,
- пута кочења,
- успорења и
- потпуно развијеног средњег успорења (*MFDD*-а).

Проширени тест са константним кочним притиском је испитни поступак при коме се симулирају услови кочења при различитим вредностима брзина у тренутку активирања кочнице, док је притисак у кочној инсталацији непромењен. Табелом 3.4 приказани су контролни параметри за пет различитих тестова (ТКП1 – ТКП5), при чему су за сваки тест наведене вредности брзине у тренутку активирања кочнице, температуре и притиска у кочној инсталацији, као и припадајуће варијанте модификованих тестова, код којих би модул за ограничење максималног успорења деактивирао кочни систем када би гранично успорење прешло дефинисану вредност.

Табела 3.4 Контролни параметри проширеног теста са константним кочним притиском

Назив изворног теста	Контролни параметри			Назив модификованог теста
	Други случај			
	Први случај		$d_g = 5,75 \text{ m/s}^2$	
ТКП1	$T_p = (25,5 \pm 0,5)^\circ\text{C}$ $m = 300 \text{ kg}$ $p = 5 \text{ МПа}$	$v = 60 \text{ km/h}$		ТКП1 _{М3ОМУ}
ТКП2		$v = 70 \text{ km/h}$		ТКП2 _{М3ОМУ}
ТКП3		$v = 80 \text{ km/h}$		ТКП3 _{М3ОМУ}
ТКП4		$v = 90 \text{ km/h}$		ТКП4 _{М3ОМУ}
ТКП5		$v = 100 \text{ km/h}$	ТКП5 _{М3ОМУ}	

3.3.3.3 Проширени тест понављања

Проширени тест понављања представља тест који се састоји од десет узастопних циклуса кочења. Тест понављања је спроведен за пет различитих брзина у тренутку активирања кочнице и то за: 60 km/h, 70 km/h, 80 km/h, 90 km/h и 100 km/h. Без обзира о којој брзини се ради, кочи се до потпуног заустављања и сви почетни услови су непромењени. Овим тестовима може се приказати утицај више узастопних кочења на:

- температуре кочних плочица,
- време кочења,
- пут кочења,
- успорење и
- потпуно развијено средње успорење (*MFDD*-а).

Мерења су спроведена за случај када није активан и када је активан модул за ограничење максималног успорења. Модул за ограничење максималног успорења деактивира кочни систем када успорење достигне вредност од $5,75 \text{ m/s}^2$. Контролни параметри ТП (изворног) теста и ТП_{М3ОМУ} (модификованог) теста приказани су у табели 3.5.

Табела 3.5 Контролни параметри проширеног теста понављања

Назив изворног теста	Контролни параметри			Назив модификованог теста
	Други случај			
	Први случај		$d_g = 5,75 \text{ m/s}^2$	
ТП1	$T_p = (25,5 \pm 0,5)^\circ\text{C}$ $m = 300 \text{ kg}$ $p = 5 \text{ MPa}$ $n = 10$	$v = 60 \text{ km/h}$		ТП1 _{М3ОМУ}
ТП2		$v = 70 \text{ km/h}$		ТП2 _{М3ОМУ}
ТП3		$v = 80 \text{ km/h}$		ТП3 _{М3ОМУ}
ТП4		$v = 90 \text{ km/h}$		ТП4 _{М3ОМУ}
ТП5		$v = 100 \text{ km/h}$	ТП5 _{М3ОМУ}	

3.3.3.4 Тестови испитивања у зависности од максималног граничног успорења

Тестови испитивања у зависности од максималног граничног успорења су тестови који су јако слични ТКПБ5_{М3ОМУ}, с тим што се максимално успорење варира (2 m/s^2 , 3 m/s^2 , 4 m/s^2 , 5 m/s^2 и 6 m/s^2). Брзина у тренутку активирања кочнице износила је 100 km/h . Контролни параметри тестова испитивања у зависности од максималног граничног успорења дати су табелом 3.6. Задатак тестова испитивања у зависности од максималног граничног успорења јесте да се покаже утицај промене максималног успорења на вредност:

- температуре на кочним плочицама,
- времена кочења,
- пута кочења,
- успорења и
- потпуног развијеног средњег успорења (*MFDD*-а).

Табела 3.6 Контролни параметри тестова испитивања у зависности од максималног граничног успорења

Тест	Улазни подаци	
ТИЗМГУ1	$T_p = (25,5 \pm 0,5)^\circ\text{C}$ $m = 300 \text{ kg}$ $p = 5 \text{ MPa}$ $v = 100 \text{ km/h}$	$d_g = 2 \text{ m/s}^2$
ТИЗМГУ2		$d_g = 3 \text{ m/s}^2$
ТИЗМГУ3		$d_g = 4 \text{ m/s}^2$
ТИЗМГУ4		$d_g = 5 \text{ m/s}^2$
ТИЗМГУ1		$d_g = 6 \text{ m/s}^2$

4. АНАЛИЗА БЕЗБЕДНОСТИ САОБРАЋАЈА НА ТЕРИТОРИЈИ РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ У ПЕРИОДУ ОД 2019. ДО 2023. ГОДИНЕ

На стање безбедности саобраћаја утичу: степен развоја моторизације, створени услови за безбедно одвијање саобраћаја, саобраћајна култура, имплементација прописа и поштовање истих. Сви ови услови се разликују од земље до земаље, као и у оквиру једне земље, а такође могу бити различити за поједина подручја (општине, полицијске управе итд.).

У нападу који се догодио 11. септембра 2001. године на Куле близнакиње, које су биле део Светског трговинског центра у Њујорку, убијено је преко 3.000 људи, што је приближно броју људи који на дневном нивоу изгуби живот у саобраћајним незгодама широм света. Поред тога, најмање 30.000 људи бива повређено у саобраћајним незгодама или има неки вид инвалидитета који је настао као последица учествовања у саобраћајним незгодама (Mohammed и сарадници, 2019).

Према подацима Светске здравствене организације (WHO, 2023), у свету сваке године у саобраћајним незгодама смртно страда скоро 1,19 милиона људи, а чак око 50 милиона људи бива повређено. На годишњем нивоу, у Европској унији, трошкови настали услед саобраћајних незгода се процењују на око 160 милијарди евра и оне представљају трећи по реду узрочник насилног смртог страдања.

Безбедна возила играју кључну улогу у спречавању судара и смањењу вероватноће озбиљних повреда. Постоји низ прописа Уједињених нација о безбедности возила која би, уколико би се у потпуности примењивали у производњи и експлоатацији, спасили многе животе (WHO, 2023). Постојање законске регулативе, без њене адекватне примене је врло проблематично и може значајно погоршати постојеће стање. Безбедност возила је посебан термин који означава смањење штетних ефеката које возила изазивају и то посебно оних везаних за живот и здравље људи. Убрзан развој аутомобилске индустрије условио је константно унапређење система за заустављање возила (у даљем тексту: систем за кочење) (Vilaça и сарадници, 2017).

Мерење броја саобраћајних незгода (СН) подразумева дефинисање броја саобраћајних незгода, њихових основних обележја, као и њихових последица. Правилно дефинисање саобраћајне незгоде је врло комплексно, јер се може посматрати са два аспекта и то: са аспекта науке, односно теорије, и са аспекта праксе. У научно-теоријском смислу, правилно дефинисање саобраћајне незгоде је важно, јер се на тај начин одређују предмет и донети истраживања када је у питању безбедност саобраћаја. Када је реч о практичном аспекту, дефиниција саобраћајне незгоде има за циљ да одреди који догађаји ће бити евидентирани, како ће се обрађивати добијени подаци, какву врсту одговорности ће то повлачити за собом итд. Ово представља огроман проблем приликом упоређивања добијених резултата. Поједине државе још увек нису формално дефинисале појам саобраћајне незгоде у свом законодавству. То значи да не постоји јасан и стандардизован начин за класификацију, евидентирање и анализу саобраћајних незгода. Без формалне дефиниције, саобраћајне незгоде не могу бити правилно регистроване и анализирани. Са друге стране, неке државе врше евиденцију саобраћајних незгода, али само оних са озбиљним последицама (Липовац, 2008). Међутим, неопходно је рећи и то да се евидентирају саобраћајне незгоде које подлежу

кривичном закону и за које се евидентирају само одређени подаци и покреће кривични поступак, док са друге стране, постоје и СН које подлежу прекршајном закону и за које се такође скупљају подаци и покреће прекршајни поступак. Овде је потребно направити јасну разлику (Пешић и сарадници, 2019).

Нормативне дефиниције су оне дефиниције које су записане у закону, стандарду или другим подзаконским актима и у вези су са конкретним правним актима који се могу мењати. Из овога произилази да су нормативне дефиниције ограничене у времену, односно важе док се не промени пропис и ограничене у простору, тј. важе само у границама одређене државе. Ради бољег разумевања, биће наведене само неке од дефиниција саобраћајне незгоде.

Дефиниција саобраћајне незгоде по УН гласи (United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR), & International Science Council (ISC), 2025): *„Саобраћајна незгода је незгода која се догодила на месту отвореном за јавни саобраћај или која је започета на таквом месту, у којој је једно или више лица погинуло или повређено и у којој је учествовало најмање једно возило у покрету“*. Према препоруци Уједињених нација, главна обележја саобраћајне незгоде су: место (место отворено за јавни саобраћај или је започета на таквом месту), последице (повређена или погинула лица) и учесници (возило).

Дефиниција саобраћајне незгоде према Закону о безбедности саобраћаја на путевима (2025): *„Саобраћајна незгода је незгода која се догодила на путу или је започета на путу, у којој је учествовало најмање једно возило у покрету и у којој је најмање једно лице погинуло или повређено или је настала материјална штета“*.

Како би се могло управљати безбедношћу саобраћаја, саобраћајне незгоде се евидентирају и прате. Те евиденције су у обавези да воде:

- полицијски службеници - они попуњавају посебан упитник о СН који садржи све најзначајније податке о СН, као и њене последице. Ограничења која се јављају том приликом су евидентиране само оне СН о којима је полиција обавештена;
- здравствене установе - евидентирају све податке које могу бити значајни за схватање повреде, лечење и анализу узрока смрти итд. Ограничење које се овде јавља јесте примарни задатак лекара - спашавање живота. Из тог разлога евидентирају се сви подаци који су значајни за лечење и опоравак повређених и не постоји јединствена база података;
- осигуравајућа друштва - она су у обавези да за сваку СН код које се појављује захтев за исплату штете, евидентирају податке који су значајни за исплату штете. Овде се као ограничење јавља то да осигуравајућа друштва евидентирају СН и последице за своје потребе. Они имају интерес да врше процену у своју корист, па ове евиденције често нису усаглашене нити стандардизоване и из ових разлога не постоји јединствена база података;
- Судство - где је потребно да се стручно и свеобухватно анализира велики број СН са посебним акцентом на незгоде са настрадалим (НАСТ) лицима¹¹. Међутим, велики број СН не анализира судство, што је управо и ограничење. Поред овога, суд води рачуна да не направи грешку јер не жели да осуди некога ко није крив за настанак СН;

¹¹ У настрадала лица спадају: погинула лица, тешко телесно повређена лица и лако телесно повређена лица.

- управљач јавног пута - су предузећа за одржавање путева у Републици Србији. Она не воде посебне евиденције о СН које би помогле у дефинисању опасних места на одређеној деоници пута и самим тим би олакшале отклањање опасности.

Индикатори безбедности саобраћаја служе за разумевање процеса који доводи до СН, јер се на тај начин могу развити ефективне мере за смањење броја СН, односно броја НАСТ лица. Циљ Европске уније је да све државе чланице и потенцијални кандидати прихвате и стандардизацију индикатора за праћење безбедности саобраћаја. На тај начин би се вршило скупљање података и метод посматрања би био стандардизован, чиме би се тачно дефинисала учесталост скупљања узорка, величина узорка и време узимања узорка, протоколи мерења итд. У државама у којима је ово већ имплементирано примећено је да имају ефективне контрамере, као и квалитетније и садржајније програме, а што је најважније имају одличне показатеље безбедности саобраћаја. Приликом скупљања ових података важно је да ти индикатори буду добијени и објављени од стране независних тела, минимум једном годишње.

Сви индикатори безбедности саобраћаја могу се сврстати у четири групе и то:

1. индикатори који се односе на понашање учесника у саобраћају,
2. индикатори који се односе на путеве,
3. индикатори који се односе на возила и
4. индикатори који се односе на збрињавање повређених у незгодама.

Праћење индикатора безбедности саобраћаја омогућава схватање и прецизно дефинисање проблема безбедности саобраћаја и планирање ефективних мера. Однос између постојећих и жељених вредности индикатора безбедности саобраћаја дефинише шта је потребно предвидети и предузети у циљу побољшања стања безбедности саобраћаја.

Проблем безбедности друмског саобраћаја је важан само уколико има утицаја на појаву СН, односно може се сматрати мање важним уколико је утицај на појаву СН мањи. Оно што представља потешкоћу је то што се одређени проблеми разликују у њиховој важности у доприношењу настанку СН. Ти проблеми се могу делимично преклапати и у том случају њихов допринос је веома тешко утврдити. Међутим, значај неког проблема у доприносу појаве СН је могуће измерити и управо та мерења представљају основу за избор важних показатеља безбедности саобраћаја¹².

Потенцијално смањење броја СН или броја погинулих (ПОГ) или повређених (ПОВ) учесника у саобраћају се може остварити елиминисањем, на пример одређеног типа понашања учесника у саобраћају или исправљањем одређеног недостатка у дизајну саобраћајног система, те је овај аспект значајан као показатељ безбедности саобраћајног система.

Показатеље безбедности саобраћаја су аутори Пешић и сарадници (2019) дефинисали као „мерљиву“ величину која је узрочно повезана са СН или повредама, коришћена уз број укупних саобраћајних незгода или повреда, како би се показао утицај на безбедност саобраћаја. На овај начин се дефинише однос између показатеља

¹² Показатељ безбедности је свака променљива која се користи као додатак броју СН или повреда за мерење промена у безбедности саобраћаја.

безбедности саобраћаја и типа СН, а да се при том не посматра појединачна саобраћајна незгода. Циљ је да се на одређене показатеље безбедности саобраћаја може утицати одређеним предлозима и мерама, како би се смањио ризик за настанак одређеног типа СН.

Коришћењем показатеља безбедности саобраћаја може се дефинисати квалитет безбедности саобраћајног система или његовог сегмента, са аспекта испуњавања одређеног закона, односно стандарда. Технике валоризације на тај начин пореде стварне вредности са прописаним вредностима и дефинишу њихове разлике.

Показатељи безбедности саобраћаја највише помажу законодавцима за разумевање ефеката њихове политике, јер је њихов задатак да пруже повратне информације о спровођењу њихових политика, наравно уколико се извештаји са показатељима безбедности саобраћаја формирају редовно (најчешће на годишњем нивоу). Потребно је напоменути да се ови показатељи требају дефинисати одмах након објављивања статистичких података о саобраћајним незгодама, како би се омогућило боље разумевање одређених догађаја. Још једна од примена показатеља безбедности саобраћаја је у оквиру студија евалуација појединих програма који се спроводе са циљем побољшања стања безбедности саобраћаја (Пешић и сарадници, 2019).

Приликом дефинисања и узимања у разматрање одређених показатеља безбедности саобраћаја треба бити прилично обазрив. Иако постоји велики број потенцијалних показатеља безбедности саобраћаја, нису сви они подједнако важни. Њихов значај се може проценити снагом односа показатеља са СН или тежином повреде, односно величином његовог доприноса у настанку СН. Управљање безбедношћу саобраћаја, заправо подразумева да се одређеним управљачким мерама преведе стање система из постојећег у жељено (слика 4.1) (Пешић и сарадници, 2019).



Слика 4.1 Начин управљања системом безбедношћу саобраћаја (Пешић и сарадници, 2019)

Све што је претходно наведено служи за боље разумевање података који ће бити анализирани у оквиру овог поглавља.

4.1 Индикатори безбедности саобраћаја

Агенција за безбедност саобраћаја (АБС) је у обавези¹³ да прати, анализира и унапређује стање безбедности саобраћаја у Републици Србији. То чини тако што је развијена јединствена база података где:

- Министарство унутрашњих послова, односно Управа саобраћајне полиције је у обавези да Агенцији за безбедност саобраћаја достави податке о: саобраћајним незгодама, лицима и возилима која су учествовала у саобраћајним незгодама (од 1997. године – година пре актуелне); центрима за обуку возача (актуелно стање - свака два месеца се ажурира); станицама за технички преглед возила (актуелно стање - свака два месеца се ажурира); моторним и прикључним возилима (по општинама и полицијским управама); саобраћајним прекршајима (од 2016. године) и возачима моторних возила;
- Јавно предузеће „Путеви Србије” је у обавези да достави податке о: референтном систему државних путева – деоница; референтном систему државних путева – деоница; саобраћајној сигнализацији; просечном годишњем дневном саобраћају – ПГДС; аутоматским бројачима саобраћаја; опасним местима – тзв. „црне тачке”; мостовима; тунелима; клизиштима; ITS¹⁴ уређајима и међународним Е путевима.

Поред тога, Агенција за безбедност саобраћаја је у обавези да доставља податке и о:

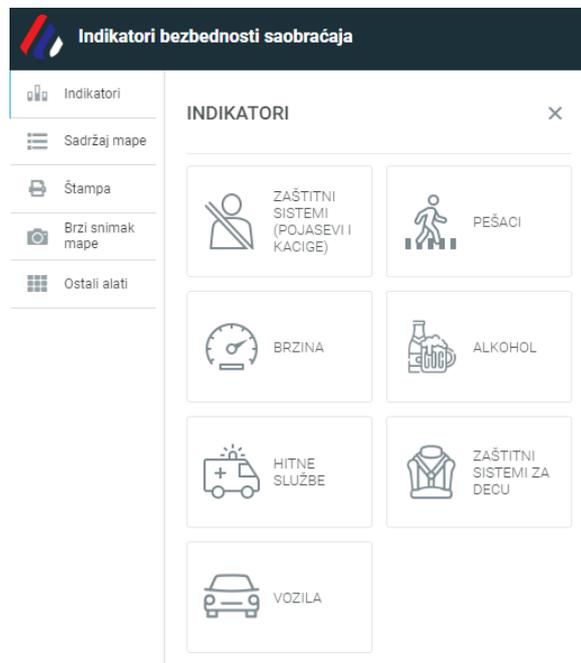
- индикаторима безбедности саобраћаја (груписаним по полицијским управама (ПУ) при чему се приказује последње мерење, док су табеларно доступна сва мерења, уколико се ради о конкретном индикатору мереном у одређеној години);
- ризицима страдања учесника у саобраћају (такође по ПУ и општинама, за претходну годину или претходне три године за ризике одређених категорија учесника);
- ставовима учесника у саобраћају;
- радионицама за тахографе (актуелно стање које се ажурира свака два месеца);
- техничарима у радионицама за тахографе (актуелно стање, такође се ажурира на свака два месеца);
- возачима којима је одузета возачка дозвола (актуелно стање, ажурира се свака два месеца);
- подаци о предавачима, испитивачима, инструкторима, возачима трамваја и професионалним возачима (актуелно стање, ажурира се свака два месеца) и
- локалним телима за координацију послова безбедности саобраћаја (актуелно стање које се такође ажурира на свака два месеца).

Према бази података Агенције за безбедност саобраћаја, индикатори су подељени у седам група, како је приказано на слици 4.2. Од седам приказаних индикатора безбедности саобраћаја, најмања пажња посвећена је возилима, јер се у оквиру тог одељка могу пронаћи врло шути подаци. Подаци о проценту комерцијалних возила, проценту путничких возила, проценту мопеда и мотоциклиста у возном парку, просечна старост возила, као и безбедносне карактеристике возног парка, готово да су неупотребљиве. Овако добијене информације се не могу анализирати на адекватан начин, јер могу довести до погрешних закључака. Овај део базе је потребно проширити.

¹³ Члан 9, Став 2, Тачка 1, Закона о безбедности саобраћаја на путевима (Сл. гласник РС, бр. 19/2025)

¹⁴ ITS (енгл. *Intelligent Transportation System* – интелигентни транспортни систем)

Подаци о техничкој исправности моторних возила (добијени од стране техничких прегледа, на годишњем нивоу), треба да садрже информације о томе на који начин власници возила размишљају, односно колико им је приоритетно да њихово возило буде технички исправно, колико често врше проверу одређених система на возилу итд. Укрштањем ових података са већ постојећим подацима из базе, стекла би се шира слика на чему је потребно интензивније радити, када је у питању возило као индикатор безбедности саобраћаја у Републици Србији.



Слика 4.2 Индикатори безбедности саобраћаја у Републици Србији према Агенцији за безбедност саобраћаја Републике Србије (Кукић, 2021)

4.2 Показатељи безбедности саобраћаја

За мерење нивоа безбедности саобраћаја користе се одређени показатељи. Ти показатељи могу бити:

1. директни и индиректни и
2. апсолутни и релативни.

Директни показатељи се односе на последице саобраћајних незгода (погинула лица, повређена лица – лаке или тешке телесне повреде и материјална штета). Индиректни показатељи су они који, како им само име каже, стање безбедности саобраћаја дефинишу на „индиректан” начин (степен моторизације, дужина путне мреже, проценат прекорачења ограничења брзине, проценат коришћења сигурносних појасева итд.).

Показатељи безбедности саобраћаја могу се поделити и на апсолутне и релативне. Апсолутни показатељи представљају бројчану вредност неке појаве (нпр. укупан број евидентираних саобраћајних незгода), док релативни показатељи представљају однос апсолутног показатеља и неког другог показатеља – број становника, број регистрованих моторних возила, број возача, дужина пута, транспортни рад (путник·km или t·km), број пређених километара свих возила (возило·km), ПГДС итд.

Показатељи безбедности саобраћаја који се најчешће користе су:

- јавни ризик (ЈР),
- саобраћајни ризик (СР) и
- динамички саобраћајни ризик (ДСР).

Јавни ризик се може представити на различите начине. Наиме, једна од дефиниција јавног ризика је да он представља количник између збира годишњег броја погинулих и теже повређених лица (ПОГ+ТТП) и броја становника на подручју посматране земље, полицијске управе или општине (број погинулих и број лица са тешким телесним повредама на 100 хиљада становника). Када се дефинише јавни ризик, потребно је обратити пажњу шта све он садржи. У неким земљама је искључен број лица са тешким телесним повредама, па јавни ризик представља количник између годишњег броја погинулих лица (ПОГ) и броја становника на подручју посматране земље, полицијске управе или општине (број погинулих на 100 хиљада становника). Друге земље пак лаке телесне повреде (ЛТП) и тешке телесне повреде (ТТП) лица групишу и називају их једним именом - повређена лица (ПОВ), па стога јавни ризик дефинишу као количник између збира годишњег броја погинулих и повређених лица (ПОГ+ПОВ) и броја становника на подручју посматране земље, полицијске управе или општине (број погинулих и повређених на 100 хиљада становника). Да ли ће се увек делити са 100 хиљада становника? Наравно да не. Уколико је реч о државама, углавном се именилац дели са 1.000.000 становника, међутим, када се ради о општинама (конкретно у Републици Србији) дели се са 10.000 становника. Потребно је још једном напоменути, да се приликом упоређивања података (нпр. између држава, полицијских управа или општина) морају користити исте вредности броја становника, како би поређење имало смисла. Један од начина одређивања јавног ризика приказан је релацијом (4.1) (Пешић и сарадници, 2019):

$$JP = \frac{\text{Број (ПОГ + ПОВ)}}{\text{Број становника на посматраном подручју}} \cdot 100.000. \quad (4.1)$$

Саобраћајни ризик се, као што је било у случају јавног ризика, рачуна на основу релације (4.2). Односно, он може узимати у обзир погинула и повређена лица збирно, или може повређена лица раздвојити на лица са тешким телесним повредама и лица са лаким телесним повредама, а може повређена лица искључити и бавити се само погинулим лицима. Без обзира шта ће се од поменутог наћи у бројиоцу, именилац је број регистрованих моторних возила на подручју посматране земље, полицијске управе или општине (нпр. број погинулих и броја лица са тешким телесним повредама на 10.000 регистрованих возила) (Пешић и сарадници, 2019):

$$CP = \frac{\text{Број (ПОГ + ПОВ)}}{\text{Број регистрованих моторних возила на посматраном подручју}} \cdot 10.000. \quad (4.2)$$

Динамички саобраћајни ризик је најбољи показатељ ризика од смртог страдања на путевима у саобраћају и представља количник између збира годишњег броја погинулих и теже повређених лица (ПОГ+ТТП) и броја пређених километара на подручју посматране земље, полицијске управе или општине (број погинулих и број лица са тешким телесним повредама на 1.000.000 пређених километара), релација (4.3) (Пешић и сарадници, 2019):

$$ДСР = \frac{\text{Број}(ПОГ + ТТП)}{\text{Број пређених километара на посматраном подручју}} \cdot 1.000.000. \quad (4.3)$$

На основу сва три ризика, може се добити одређени сет информација које могу послужити за дефинисање одређених мера. Међутим, ипак није лако доћи до одређених информација. Наиме, податке о броју становника и броју регистрованих моторних возила можемо пронаћи на сајту Републичког завода за статистику (Републички завод за статистику, 2025). Одређивање динамичког ризика, са друге стране, је врло тешко изводљиво. Информације о броју пређених километара је готово немогуће добити. Ову информацију поседују предузећа која се баве техничким прегледом возила, међутим не постоји јединствена база у којој би ти подаци били складиштени, односно власници техничког прегледају ту информацију не прослеђују даље.

Пондерисан број саобраћајних незгода (ПБСН) и пондерисани број настрадалих лица (ПБНЛ) су величине које се користе када се рачуна ризик на основу одређених пондера (кофицијената). Ти пондери су добијени на основу укупних трошкова у друштву који се тичу последица. Одређивањем ПБСН може се добити увид у локалитете који имају повећан ризик страдања (опасна места или „црне тачке”). Пондерисан број саобраћајних незгода рачуна се применом релације (4.4) (Пешић и сарадници, 2019):

$$ПБСН = СН_{ЛТП} \cdot П_1 + СН_{ТПП} \cdot П_2 + СН_{ПОГ} \cdot П_3, \quad (4.4)$$

где су:

$СН_{ЛТП}$ – број саобраћајних незгода са лаким телесним повредама,

$СН_{ТПП}$ – број саобраћајних незгода са тешким телесним повредама и

$СН_{ПОГ}$ – број саобраћајних незгода са погинулим лицима.

Вредности пондера су:

$П_1$ – вредност пондера = 1,

$П_2$ – вредност пондера = 10 и

$П_3$ – вредност пондера = 85¹⁵.

Пондерисан број саобраћајних негода и пондерисан број настрадалих лица су величине које се користе приликом одређивања ризика. Пондери и у једном и у другом случају служе, да се приликом прорачуна не сабирају саобраћајне незгоде које нису исте тежине, односно да се не сабирају ТТП, ЛТП и ПОГ лица. На пример, не може се рећи да уколико имамо 5 саобраћајних незгода са погинулим лицима и 3 саобраћајне незгоде са повређеним лицима да је укупан број саобраћајних незгода 8, јер се ово то не може поредити. Из тог разлога, уводе се тежински коефицијенти, односно пондери који се додају сваком типу саобраћајних незгода како би се истакао његов значај, па тако, саобраћајне незгоде са погинулим лицима имају највеће вредности пондера, док најмање вредности пондера имају саобраћајне незгоде са лаким телесним повредама. Вредности пондера се разликује од земље до земље и уколико се неке вредности желе поредити, морају се користити исте вредности пондера. Вредности пондера 1, 10 и 85 су оне које се најчешће придружују саобраћајним незгодама, при чему се пондер 1

¹⁵ Вредности пондера који се могу пронаћи у статистичком извештају који дефинише Агенција за безбедност саобраћаја Републике Србије.

придружује СН са МШ, пондер 10 СН са ПОВ и пондер 85 СН са ПОГ. Такође, пондери 1, 13 и 99 се могу придружити приликом прорачуна ПБНЛ, при чему се пондер 1 придружује ЛТП, 13 ТТП и 99 ПОГ. Ово се данас ретко користи јер се још увек води полемика, које то пондере узети који би на адекватан начин приказали и описали нивое између ПОГ (погинулих) и ПОВ (повређених) лица и МШ (материјалне штете), уколико је реч о СН. Иста ситуација је и код одређивања ПБНЛ (Пешић и сарадници, 2019).

4.3 Праћење тренда саобраћајних незгода кроз историју

Проблем безбедности саобраћаја по обиму и врсти није одувек био исти. Значај безбедности саобраћаја је у почетку сматран као један мали проблем коме није придаван велики значај, што је за последицу имало неадекватно третирање тог проблема, односно његово занемаривање. Међутим, то није био случај у свим земљама. Развијене државе су раније схватиле проблем безбедности саобраћаја, па су и раније приступиле његовом адекватном решавању. Кроз историју, могу се уочити четири фазе које се односе на решавање проблема безбедности саобраћаја.

Прва фаза је трајала од 1925. до 1935. године, у којој је аутомобил представљао превозно средство, а саобраћајне незгоде које су у овом периоду евидентирани дефинисане су као кривични догађај. Узрок настанка саобраћајних незгода приписан је прилагођавању људи на возила и сматран је пролазним. База података о саобраћајним незгодама није постојала, а истраживања су се сводила на појединачне истраге полиције и судства. Карактеристично за прву фазу је то да је акценат безбедности био стављен на техничку исправност моторног возила, јер су честа потреба за стајањем и проблеми стартовања мотора били главни проблем. Доктрина једног “Е” (енгл. *Engineering*) бива доминантна, а на самом крају прве фазе, успоставља се и доктрина два “Е” (енгл. *Engineering – Education*). Неадекватно посматрање и решавање проблема безбедности саобраћаја, резултирало је константним порастом броја саобраћајних незгода и његових последица. Сталан пораст како апсолутних, тако и релативних показатеља безбедности саобраћаја посматран је као законитост која је нужна последица експанзије саобраћаја.

Друга фаза се односила на период од 1935. до 1965. године и карактерише је нагли пораст броја моторних возила у свету, који је последица њихове масовне производње. У том периоду процењује се да је било од 25 до 250 возила на 1.000 становника. Масовна производња возила условила је и убрзан развој саобраћајница. Ограничење брзине на 20 km/h, у том тренутку је било у раскораку са возилима која су била у могућности да развију већу брзину од дозвољене, што је за последицу имало нагли пораст броја саобраћајних незгода. У центар пажње друге фазе ставља се човек и постављају се темељи доктрине три “Е” (енг. *Engineering – Education – Enforcement*). Управљање се врши добрим пројектовањем возила и путева (енгл. *Engineering*), адекватним обучавањем људи за учествовање у саобраћају (енгл. *Education*), као и контролом саобраћаја од стране полиције (енгл. *Enforcement*). Безбедност саобраћаја се признаје као значајан друштвени проблем, а инжењери, правници и психолози су у овој фази били главни актери који су имали задатак да смање број страдања у саобраћају. Раду са рецидивистима (возачима који су склони саобраћајним незгодама) се посвећује посебна пажња, али се и даље не схватају негативни ефекти у саобраћају, односно њихов утицај на безбедност саобраћаја. Број незгода и број настрадалих као апсолутни

показатељи расту. Такође, уочава се пораст и релативних показатеља. Ово се сматра првим управљањем стања безбедности саобраћаја.

Трећа фаза почиње 1965. године и траје до 1985. године, коју карактерише експанзија саобраћаја, односно пораст броја возила (од 250 до 500 моторних возила на 1.000 становника), али и све јачи и успешнији напори управљања саобраћајем. Главни циљ је било елиминисање ризика саобраћајног система, па се у читав процес укључују и саобраћајни инжењери, али и медицински радници (саобраћајна медицина), као и стручњаци из примењене математике и статистике. Ово говори о томе колико је проблем саобраћаја у овом периоду био важан, јер је тада био највећи проблем укупног друштвеног развоја. Карактеристика овог периода је феноменолошки приступ изучавања штетних појава у саобраћају, а возачима се додељује активна улога у систему безбедности саобраћаја. Контрамере које су предузете су комбиновани модели и шеме за смањење ризика. Заштитне мере које су донете, заправо су стандарди у погледу безбедности саобраћаја, ограничења брзине, употребе сигурносних појасева, јављају се законска ограничења на употребу алкохола приликом управљања возилом итд., и формирају се институције које прате поједине сегменте безбедности саобраћаја. Ове институције евидентирају саобраћајне незгоде и дефинишу основне појмове као што је саобраћајна незгода, погинули у саобраћајним незгодама итд. Посматрањем саобраћајних незгода у овој фази, уочава се да је људски фактор један од најбитнијих у систему возач-возило-пут-околина и да су здружене грешке возача и других учесника у саобраћају чешће од појединачних, што се до тог тренутка сматрало. Промена постојећих правила саобраћаја уследила је на основу емпиријских истраживања, теоријских формулација и модела који користе статистичке анализе. Иако су ове мере дале добре полазне резултате, њихов ефекат је био краткотрајан. Наставља се тренд раста апсолутних показатеља, али и смањење релативних показатеља. Енглески научници су уочили да број саобраћајних незгода са смртним исходом расте по следећој законитости - релацији (4.5) (Липовац, 2008):

$$D = 0,003 \cdot \left(\frac{N}{P} \right)^{\frac{1}{3}}, \quad (4.5)$$

где су:

D - број незгода са смртним исходом,

P - број становника и

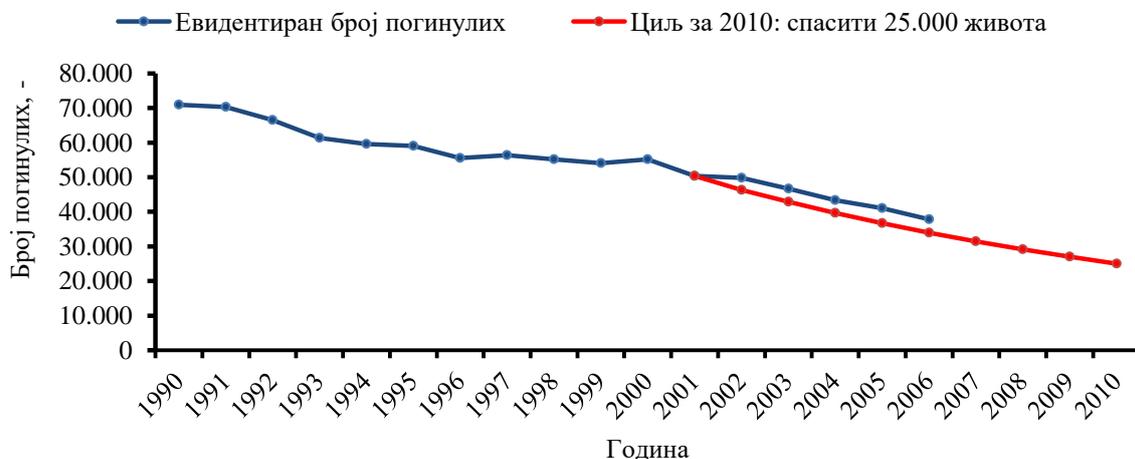
N - број регистрованих аутомобила.

Четврта фаза креће од 1985. године и у тој фази саобраћај и саобраћајни проблеми постају доминантни. Нагли пораст саобраћајних незгода, може се повезати са повећањем броја возила на преко 500 моторних возила на 1.000 становника. Поред свих стручњака који су били укључени у процес управљања саобраћајем, јавља се потреба за укључивањем и стручњака системске анализе, примењене технологије, теорије комуникација и социологије, како би се развили модели безбедности саобраћаја. Циљ је било побољшање безбедности саобраћаја и регулисање саобраћаја, али да се не омета развој транспортног система. Возило се сматра као потреба савременог човека, па се, поред материјалних последица губитака, штете и трошкова, све више уважавају и нематеријалне последице саобраћајних незгода као што су бол, патња и загађивање животне средине. Прикупљање података о саобраћајним незгодама врши се

систематски и почиње се са уједначавањем дефиниција и база. Праве се међународне базе података о саобраћају и саобраћајним незгодама и то:

- IRTAD (енгл. *International Traffic Safety Data and Analysis Group* - Међународна група за анализу података о саобраћајним незгодама) – база података за земље OECD (енгл. *Organisation for Economic Co-operation and Development* - Организација за економску сарадњу и развој) и
- CARE (енгл. *Community database on Accidents on the Roads in Europe* – заједничка база о саобраћајним незгодама).

Управљање безбедношћу саобраћаја врши се на саобраћајној мрежи, предузимају се одређене контрамере, али уз праћење транспортних трошкова, који укључују временске губитке, поремећаје на транспортној мрежи, проблема који се односе на проток саобраћаја итд. Током 1990. године, саобраћајне незгоде су биле девете по реду узрочника смртности у свету, а прогнозирано је (World Disasters Report, 1998) да ће се оне до 2020. године попети на треће место. Посматрање проблема безбедности саобраћаја на овај начин, као резултат је имало смањен број апсолутних вредности, иако је развој саобраћаја довео до повећања интензитета саобраћајних токова. Социјално загађивање међуљудских односа је карактеристика ове фазе и сматра се значајном последицом саобраћајних незгода. Сликаом 4.3 дат је пример годишњег броја погинулих лица у саобраћајним незгодама у ЕУ за период од 1990. до 2005. године, са проценом плана смањења до 2010. године, који није остварен. Разлози за то су недовољна едукација учесника у саобраћају, брза моторизација којој се путна инфраструктура и законска регулатива нису могли прилагодити. Иако су донети нови прописи, њихова примена је била неадекватна, а сарадња институција је дала лоше резултате.



Слика 4.3 Годишњи број погинулих лица у саобраћајним незгодама у ЕУ од 1990. године до 2005. године, са проценом плана смањења до 2010. године (CARE, 2018)

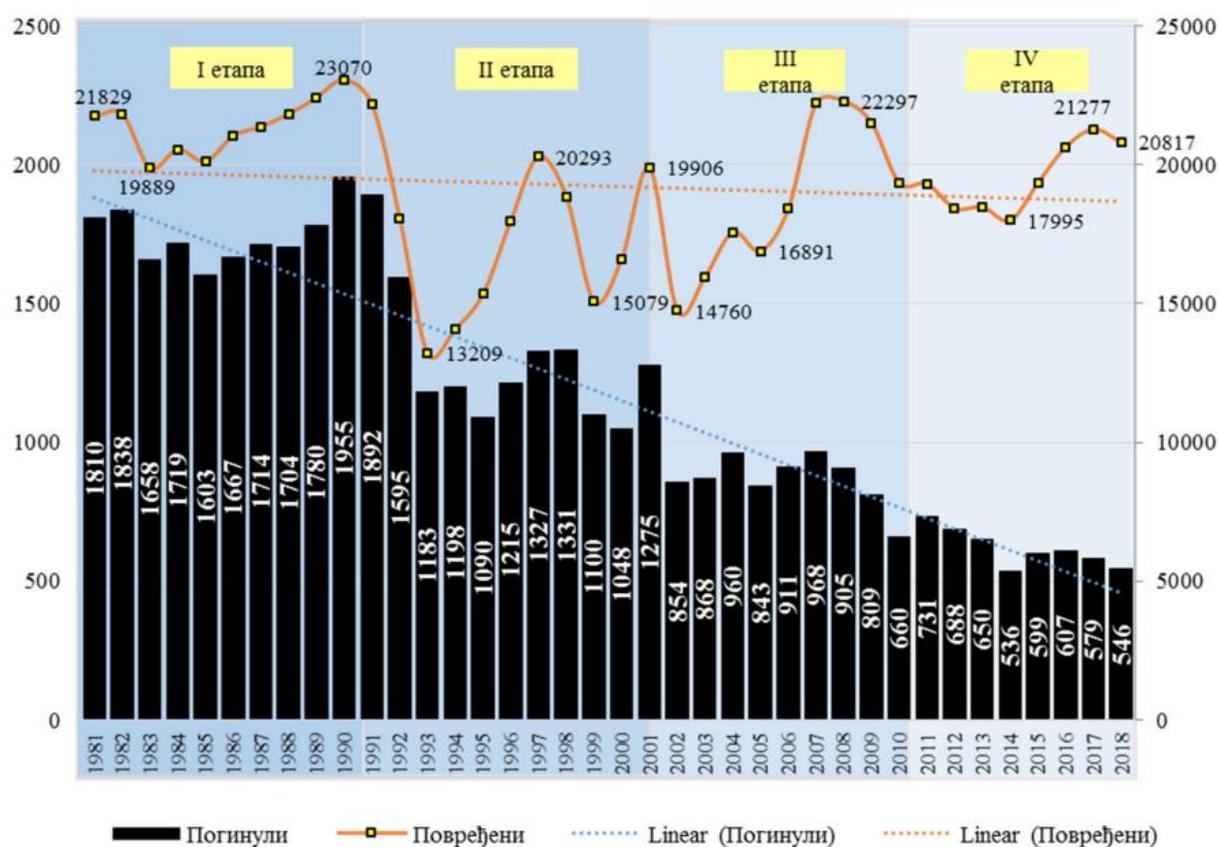
Спроведена истраживања, као и могућност предикције тренда саобраћајних незгода, довели су до закључка да је безбедност саобраћаја друштвени феномен којим се може управљати (Липовац, 2008).

4.4. Анализа стања безбедности саобраћаја на територији Републике Србије у периоду од 1981. до 2018. године

Анализирање стања безбедности саобраћаја и формирање извештаја омогућује праћење и управљање безбедности саобраћаја на неком подручју, које има за циљ уочавање побољшања/погоршања стања у односу на неки претходно посматрани период. Подаци о саобраћајним незгодама и последицама саобраћајних незгода су доступни у Интегрисаној бази података о обележјима безбедности саобраћаја у Републици Србији, које Агенција за безбедност саобраћаја добија од Министарства унутрашњих послова Републике Србије.

4.4.1 Приказ стања безбедности саобраћаја у Републици Србији

Интензивно праћење и управљање безбедношћу саобраћаја почиње осамдесетих година прошлог века. Стање безбедности саобраћаја у Републици Србији, у протеклих 30 година може се поделити у 4 етапе, као што је наведено у поглављу 3. Број погинулих и повређених у периоду од 1981. до 2018. године, подељен је на етапе, где се јасно може уочити пад броја погинулих, док је тренд броја повређених приближно константан, слика 4.4. Ово је полазна тачка за даље истраживање које је спроведено у оквиру ове докторске дисертације.



Слика 4.4 Број погинулих и повређених кроз етапе у периоду од 1981. до 2018. године (Агенција за безбедност саобраћаја Република Србија, 2021)

Вредности апсолутних показатеља безбедности саобраћаја у Републици Србији у периоду од 2014. до 2018. године

Апсолутни показатељи, односно стварне вредности основних показатеља, представљају стваран број саобраћајних незгода, настрадалих лица (повређених и погинулих лица) или број лица са лаким телесним повредама, односно лица са тешким телесним повредама у одређеном периоду. У посматраном периоду догодило се укупно 177.438 саобраћајних незгода, од којих је 2.591 саобраћајних незгода са погинулим лицима, 67.479 саобраћајних незгода са повређеним лицима и 107.368 саобраћајних незгода са материјалном штетом. Приликом анализе ових података, потребно је обратити пажњу на број саобраћајних незгода са само материјалном штетом. Овај податак је потребно разматрати опрезно, јер нису све саобраћајне незгоде са материјалном штетом евидентиране. Саобраћајне незгоде са мањом материјалном штетом региструју осигуравајућа друштва и за њих се попуњава образац (Европски извештај) о саобраћајним незгодама и оне нису обухваћене приказаним бројем саобраћајних незгода са материјалном штетом.

У периоду од 2014. године до 2018. године у саобраћајним незгодама у Републици Србији смртно је страдало 2.869 лице у 2.591 СН са ПОГ лицима, тешке телесне повреде је задобило 16.924 лица, док је лаке телесне повреде задобило 83.144 лица у укупно 67.479 СН са ПОВ лицима. Вредности основних показатеља стања безбедности саобраћаја у Републици Србији у периоду од 2014. до 2018. године, приказани су у табели 4.1. Година 2017. је година у којој се догодило највише саобраћајних незгода (СН са ПОВ и СН са НАСТ), а што указује и укупан број саобраћајних незгода, док је најмањи број забележен 2014. године и то због усвајање прве Стратегије безбедности саобраћаја на путевима Републике Србије за период од 2015. до 2020. године, који је праћен интензивним кампањама и појачаном контролом саобраћаја. Највише СН са ПОГ догодило се 2016. године, а највећи број СН са МШ 2014. године за разматрани период. Број последица, било да се ради о повредама или губитку живота, је био највећи такође 2017. године. Посматрајући заједно бројне вредности за саобраћајне незгоде и последице, конкретно за СН са ПОГ, може се закључити да их је 2017. године било највише. Ако се посматра део табеле који се односи на последице, види се такође да је 2017. године било највише ПОГ лица. Одавде произилази или да возач није био сам у ауто или да су погинула лица из више возила која су учествовала у једној саобраћајној незгоди. Поред СН са ПОГ постоји и број СН са ПОВ и он је био највећи 2017. године. Број ПОВ је такође био највећи 2017. године, али сам број представља збир ТТП и ЛТП, а како је он био највећи 2017., логично је да је и број ПОВ био највећи исте године. Глобално гледано, укупан број НАСТ био је највећи 2017. (представља збир ПОГ и ПОВ), а што је последица укупног броја СН, који је такође 2017. био највећи.

Посматрајући показатеље са аспекта раста/смањења последица саобраћајне незгоде, на пример за СН са ПОГ постоји пораст у периоду од 2014. до 2016. године, а затим се бележи пад. Слична ситуација је и са СН са ПОВ, једино што се разликује што број СН са ПОВ бележи раст све до 2017. године, а затим број СН са ПОВ опада. Исто важи и за број СН са НАСТ, као и за СН са ПОВ. Број СН са МШ био је највећи 2014., затим 2015. је мањи, па у 2016. години опет бележи раст... Уколико се посматра тренд промена у бројним вредностима, код последица за број ПОГ може се рећи да је тренд промене исти као и за СН са ПОГ. Посматрајући број ПОВ, види се да је забележен раст све до 2017. године, а исто је било са бројем СН са ПОВ по годинама.

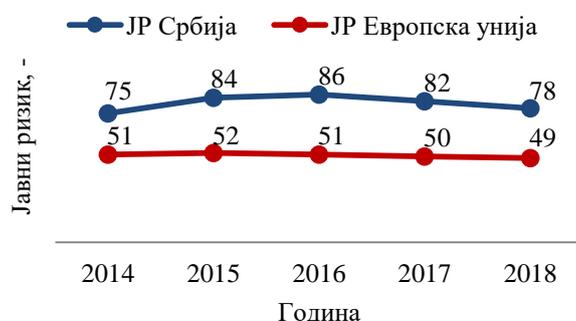
Табела 4.1 Основни показатељи стања безбедности саобраћаја у периоду од 2014. до 2018. године

Година	САОБРАЋАЈНЕ НЕЗГОДЕ				
	СН ПОГ	СН ПОВ	СН НАСТ	СН МШ	Укупно СН
2014	476	12.568	13.044	21.969	35.013
2015	548	13.109	13.657	20.518	34.175
2016	551	13.866	14.417	21.558	35.975
2017	525	14.226	14.751	21.715	36.466
2018	491	13.710	14.201	21.608	35.809
Укупно	2.591	67.479	70.070	107.368	177.438
Година	ПОСЛЕДИЦЕ				
	ПОГ	ТПП	ЛТП	ПОВ	Укупно НАСТ
2014	536	3.275	14.720	17.995	18.531
2015	599	3.448	15.903	19.351	19.950
2016	607	3.362	17.304	20.666	21.273
2017	579	3.503	17.765	21.268	21.847
2018	548	3.336	17.452	20.788	21.336
Укупно	2.869	16.924	83.144	100.068	102.937

Јавни ризик страдања у саобраћају у периоду од 2014. до 2018. године

Јавни ризик (ЈР) који је релативни показатељ безбедности саобраћаја, служи за приказивање смртог страдања или/и степена повреда у саобраћају у односу на број становника неког подручја, нпр. укупан број погинулих у саобраћају на сто хиљада становника неког подручја или број погинулих припадника неке популације, односно категорије учесника, на милион становника подручја које је од значаја (Статистички извештај АБС, 2019). ЈР обезбеђује могућност поређења са другим регијама, са којима иначе не би било могуће извршити поређење због разлике у броју становника.

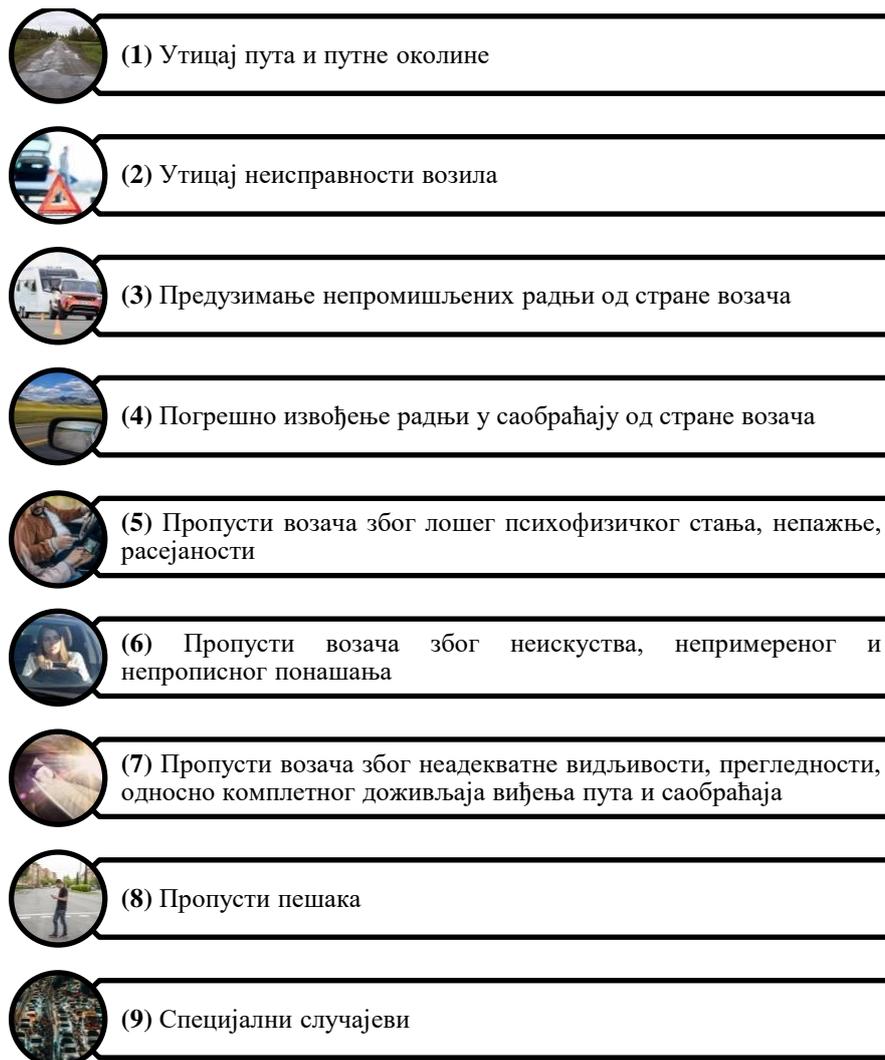
Сликом 4.5 приказан је ЈР у саобраћају у Републици Србији и Европској унији у периоду од 2014. до 2018. године. Посматрајући вредности ЈР за Републику Србију и Европску унију, ЈР је већи за Републику Србију. Ово показује да је стање безбедности саобраћаја, са аспекта ЈР у Републици Србији врло неповољно и да је потребно предузети адекватне мере. Спровођење мера може се извршити тек након детаљне анализе, којом би се утврдили фактори који су имали највећи допринос на настанак СН.



Слика 4.5 Јавни ризик страдања у саобраћају у Републици Србији и у Европској унији у периоду од 2014. до 2018. године (Статистички извештај 2019, АБС)

4.4.2 Групе утицајних фактора саобраћајних незгода за Републику Србију у 2018. години

Нов модел за прикупљања података о саобраћајним незгодама, који је уведен 2016. године, омогућује и евидентирање свих утицајних фактора. Утицајни фактори се бележе за сваку саобраћајну незгоду и то ради полицијски службеник који врши увиђај. Према овом, новом моделу, полицијски службеник наводи више фактора који су довели до саобраћајне незгоде, за разлику од претходних узрока, где је најчешће биран један, „најутцајнији“. Дефинисано је укупно 84 утицајних фактора, који су сврстани у девет група, слика 4.6.



Слика 4.6 Групе утицајних фактора

Табелом 4.2 приказана је расподела утицајних фактора у саобраћајним незгодама за период од 2016. до 2018. године. Разлог непостојања информација о утицајним факторима за претходни посматрани период (за 2014. и 2015. годину), јесте нов начин рада приликом увиђаја, а то је прикупљање већег броја фактора који су довели до настанка саобраћајних незгода. Укупан број утицајних фактора већи је него број саобраћајних незгода зато што може бити евидентирано више утицајних фактора из једне групе утицајних фактора.

Табела 4.2 Расподела утицајних фактора за период од 2016. године до 2018. године

Година	2016			2017			2018		
	СН ПОГ	СН ПОВ	СН МШ	СН ПОГ	СН ПОВ	СН МШ	СН ПОГ	СН ПОВ	СН МШ
(1)	95	1.578	2.283	45	955	1.936	39	806	1.936
(2)	65	510	451	32	336	321	21	302	276
(3)	337	8.272	9.019	354	9.058	8.633	317	8.958	8.546
(4)	207	5.211	11.058	199	5.006	11.454	174	4.598	11.302
(5)	144	1.942	1.906	107	1.900	1.622	84	1.751	1.509
(6)	63	841	769	52	708	585	43	612	549
(7)	45	838	664	37	592	460	27	493	388
(8)	87	1.014	26	64	990	29	80	834	24
(9)	24	630	1.025	20	594	955	30	594	864

4.5 Анализа стања безбедности саобраћаја у Републици Србији у периоду од 2019. до 2023. године

Анализа стања безбедности саобраћаја у Републици Србији за период од 2019. до 2023. године биће приказана у овом делу рада, где ће акценат бити стављен на утицај неисправности кочног система. Анализа ће бити урађена са два аспекта, и то са аспекта лица и аспекта незгода. Сви подаци који су коришћени приликом анализе преузети су из Интегрисане базе података о обележјима безбедности саобраћаја, која се налази на сајту Агенције за безбедност саобраћаја Републике Србије, чији је изглед приказан сликом 4.7.



Слика 4.7 Изглед интернет странице Интегрисане базе података о обележјима безбедности саобраћаја (Кукић, 2021)

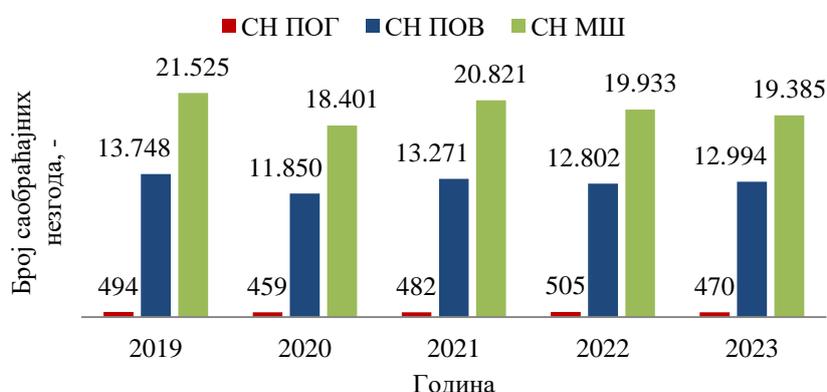
Значај јавно доступних података о саобраћајним незгодама је вишеструк. База је јавно доступна свима и формирана је тако да буде једноставна за коришћење великом броју корисника. Корисници не врше увоз података, не морају да знају структуру и релације базе података итд. Међутим, када је нешто веома једноставно, може да доведе до погрешног тумачења добијених резултата. Из тог разлога, креирано је и Упутство за разумевање података добијених коришћењем *Web gis* апликације Агенције за

безбедност саобраћаја (Агенција за безбедност саобраћаја Република Србија - Упутство за коришћење софтверске апликације, 2021).

Услед недостатака капацитета за развој сопствених база, локалне самоуправе могу врло једноставно преузети податке који су им потребни и њиховим укрштањем доћи до закључака који могу бити за њих значајни. Основна идеја јесте, да се у оквиру података уоче одређени модели са одређеним догађајима, на основу којих се могу усмерити активности ка циљној групи, које би довеле до унапређења посматране појаве. Поред овога, може се вршити мониторинг тренутног стања, предикција итд., а на основу тога управљање, које треба бити основ планирања средства за унапређење стања безбедности саобраћаја. Праћење стања је потребно извршити пре и после имплементације одређене мере, како би се утврдила њена оправданост.

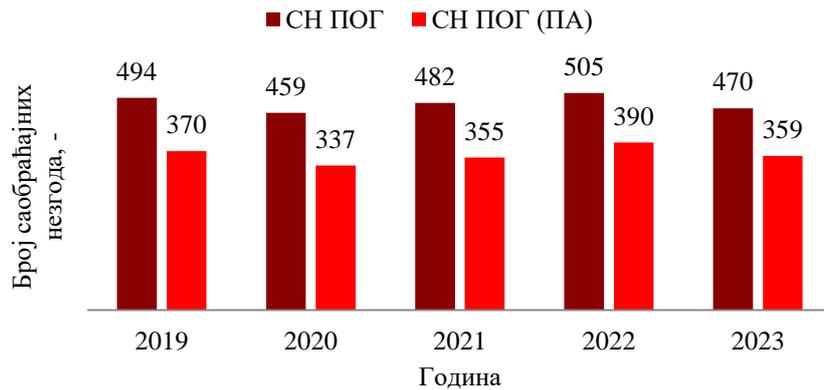
4.5.1 Анализа стања безбедности саобраћаја у Републици Србији у периоду од 2019. до 2023. године са аспекта броја саобраћајних незгода

Подаци који за циљ имају приказ стања безбедности саобраћаја у Републици Србији, у периоду од 2019. до 2023. године, преузети су из базе Агенције за безбедност саобраћаја и јако су битни за доношење закључака и мера у спречавању настанка СН, као и формирању упитника. Број СН који се догодио на територији Републике Србије, у периоду од 2019. до 2023. године, износио је укупно 167.140. Сликаом 4.8 приказан је број СН са ПОГ и СН са ПОВ, као и СН са МШ за период од 2019. до 2023. године. Највећи број СН са ПОГ лицима догодио се 2022. године (505), а са ПОВ лицима и МШ 2019. године. Најмањи број СН и са аспекта ПОГ лицима, ПОВ лица, као и са МШ је био 2020. године. Разлог томе је пандемија *Covid 19* вируса, због које је била ограничена мобилност становништва.



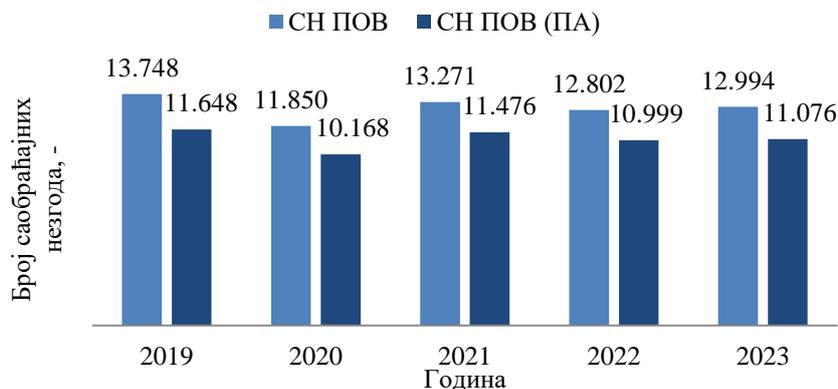
Слика 4.8 Број СН са ПОГ и ПОВ лицима и МШ у периоду од 2019. до 2023. године

У укупном броју СН за период од 2019. до 2023. године, путнички аутомобили (ПА) су учествовали у чак 88,63% СН. Уколико посматрамо по категоријама, ПА су у СН са ПОГ лицима учествовали са чак 75,15%, са ПОВ лицима 85,62%, а у СН са МШ чак 90,90%. Упоредни приказ укупног броја СН са ПОГ лицима и СН са ПОГ лицима у којима су учествовали ПА дат је сликом 4.9, док је упоредан приказ укупног броја СН са ПОВ лицима и СН са ПОВ лицима у којима су учествовали ПА дат на слици 4.10. Упоредан приказ укупног броја СН са МШ и СН са МШ у којима су учествовали ПА је приказан на слици 4.11, за период од 2019. до 2023. године, по годинама.

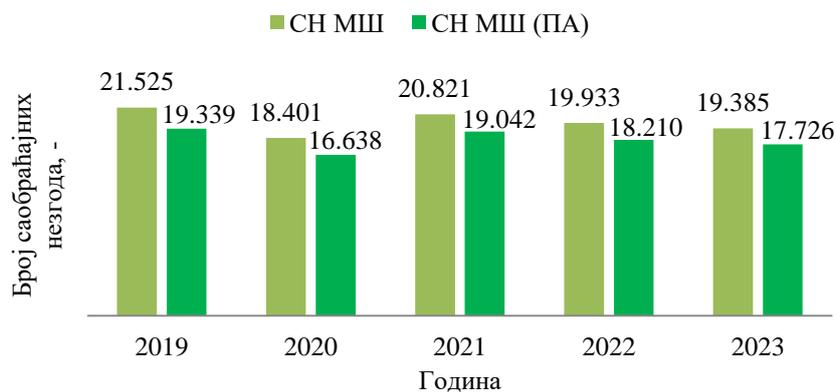


Слика 4.9 Упоредни приказ укупног броја СН са ПОГ лицима и СН са ПОГ лицима у којима су учествовали ПА у периоду од 2019. до 2023. године

Без обзира да ли се ради о СН са ПОГ лицима, СН са ПОВ лицима или СН са МШ, може се уочити да ПА имају велики удео у укупном броју СН, и то преко 85%. Ово је био још један разлог зашто треба испитивање усмерити на путнички аутомобил.



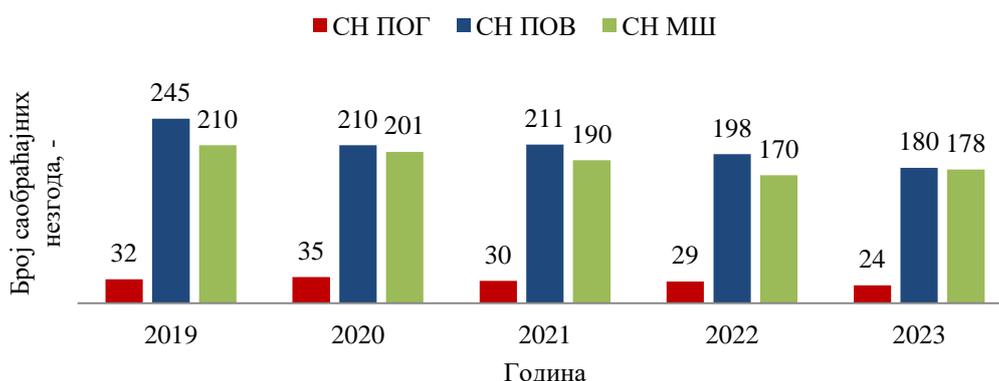
Слика 4.10 Упоредни приказ укупног броја СН са ПОВ лицима и СН са ПОВ лицима у којима су учествовали ПА у периоду од 2019. до 2023. године



Слика 4.11 Упоредни приказ укупног броја СН са МШ и СН са МШ у којима су учествовали ПА у периоду од 2019. до 2023. године

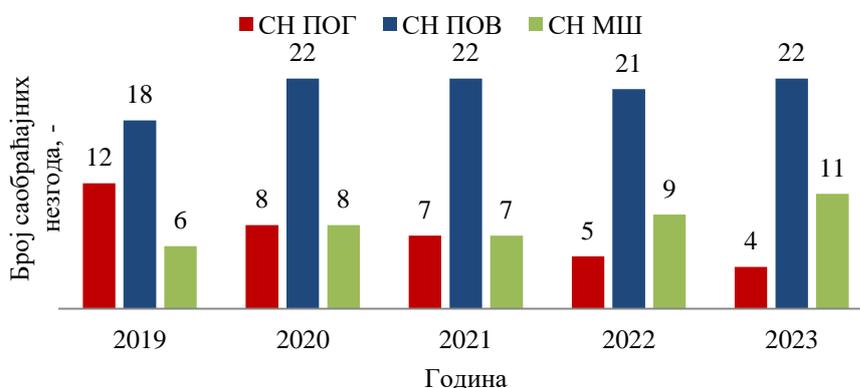
Анализа техничке неисправности возила као утицајног фактора на настанак СН је посматрана за исти период. Приказ броја СН са ПОГ и СН са ПОВ лицима и СН са МШ, за период од 2019. до 2023. године код којих је као један од утицајних фактора

евидентирана техничка неисправност возила је приказан сликом 4.12. Када је реч о техничкој неисправности возила, као једном од утицајних фактора на настанак саобраћајних незгода, може се уочити да у периоду од 2019. до 2023. године, број СН са ПОГ лицима до 2020. године бележи пораст, а након тога пад. Када је реч о СН са ПОВ лицима, у истом периоду, може се уочити тренд пада броја СН, осим за 2021. годину, када је се десио незнатни пораст. Међутим, број СН са МШ бележи пад у периоду од 2019. до 2022. године, док је 2023. године био нешто већи у односу на 2022. годину. Број СН са НАСТ лицима за период 2019. до 2023. године, где је као један од утицајних фактора наведена техничка неисправност возила, бележи пад. У овом периоду дошло је до поштравања прописа који се односе на проверу техничке исправности возила, што је допринело смањењу броја СН са НАСТ лицима.



Слика 4.12 Број СН са ПОГ и ПОВ лицима и МШ у периоду 2019. до 2023. године – техничка неисправност возила

Сликом 4.13 приказан је број СН са ПОГ, СН са ПОВ лицима и МШ за период 2019. до 2023. године, где је од укупно 150 СН са ПОГ лицима код којих је као утицајни фактор евидентирана техничка неисправност, код 36 СН са ПОГ лицима као узрок настанка СН се наводи неисправност система за заустављање – кочење. Код СН са ПОГ лицима се може уочити да је највећи број евидентиран 2019. године, а да се након тога бележи смањење. Када се посматрају СН са МШ може се уочити да је највећи број забележен 2023. године. Број СН са ПОВ лицима се током посматраног периода креће око 20.



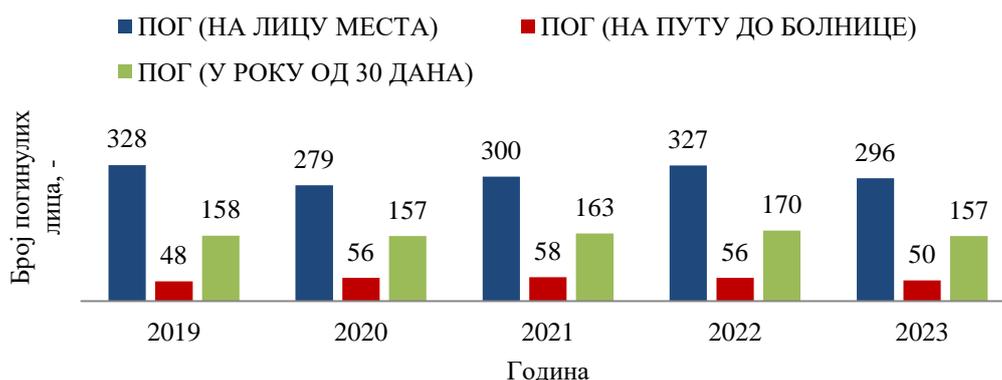
Слика 4.13 Број СН са ПОГ и ПОВ лицима и МШ за период 2019. до 2023. године – неисправност система за кочење

Посматрајући СН са ПОГ лицима код којих је као један од утицајних фактора наведена техничка неисправност возила, у укупном броју СН са ПОГ лицима, чине 6,2%. Код чак

24% СН са ПОГ лицима у оквиру техничке неисправности возила, неисправност система за кочење је била наведена као утицајни фактор за настанак СН, за период од 2019. до 2023. год. Овим је потврђена друга хипотеза да је неисправност кочног система возила у оквиру групе техничке неисправности возила један од значајних утицајних фактора за настанак саобраћајних незгода.

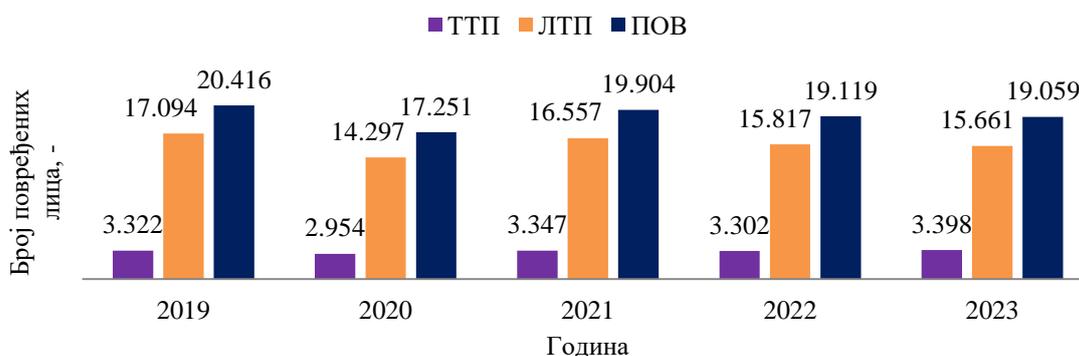
4.5.2 Анализа стања безбедности саобраћаја у Републици Србији у периоду од 2019. до 2023. године са аспекта последица

Важно је утврдити број лица која су учествовала у саобраћајним незгодама, како би се добио увид у последице које имају на учеснике саобраћајних незгода. Евидентирано је укупно 2.410 СН са ПОГ лицима, у којима је повредама подлегло 2.603 лица. Расподела ПОГ лица по годинама за разматрани период, у зависности од места где су преминула, приказана је на слици 4.14. Највећи број погинулих лица је био на месту где се догодила саобраћајна незгода, у разматраном периоду. Број лица која су подлегла повредама услед саобраћајне незгоде у року од месец дана, је други по реду. Најмањи је број лица који је живот изгубио на путу до болнице услед повреда које су настале у току СН.



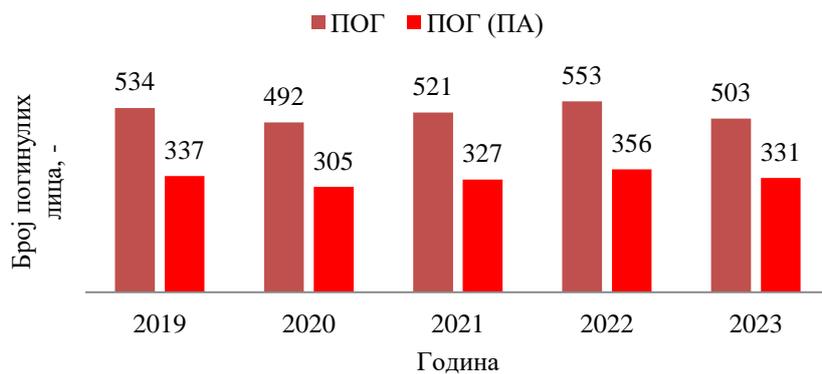
Слика 4.14 Број ПОГ лица у периоду од 2019. до 2023. године

Приказ укупног бројај ПОВ лица, по категоријама повреда, у периоду од 2019. до 2023. године приказан је сликом 4.15. Најмањи број ПОВ лица у СН евидентиран је 2020. године, након чега је забележен пораст броја ПОВ лица, до 2023. године где се бележи благи пад. Током свих пет година, значајније је већи број ЛТП које су евидентирани. Без обзира да ли је реч о ТТП или ЛТП лица, у односу на 2020. годину, бројеви су већи.



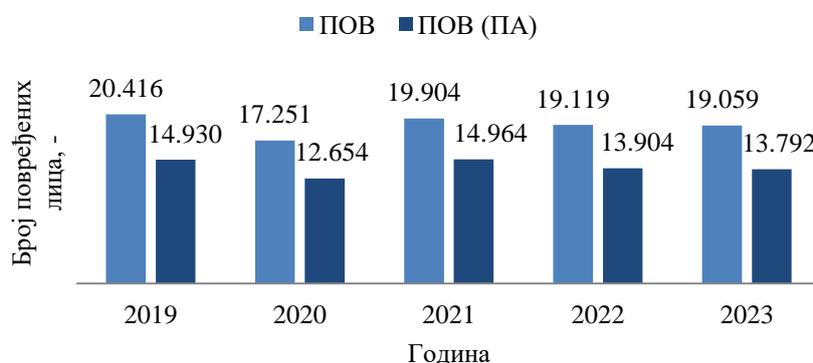
Слика 4.15 Укупан број ПОВ лица у СН у периоду од 2019. до 2023. године

Број лица која су погинула у ПА, у периоду од 2019. до 2023. године од укупног броја ПОГ лица заузимају 63,62%, док број ПОВ лица у ПА у укупном броју ПОВ лица имају учешће од 73,36%. Слика 4.16 даје упоредни приказ укупног броја ПОГ лица и лица која су ПОГ у ПА, у периоду од 2019. до 2023. године, по годинама. Може се уочити да је велики број ПОГ лица живот изгубио управо у ПА. Процентуално учешће ПОГ лица у ПА креће се између 61,99% (2020. година) и 65,81% (2023. година). Број ПОГ лица у ПА 2021. године је мањи у односу на 2019. Година 2022. је рекордна година у разматраном периоду када је највише људи изгубило живот. Наредна година 2023. је имала мањи број ПОГ лица у односу на почетну годину у разматраном периоду. Овај пад броја ПОГ и ПОГ (ПА) је добар са аспекта побољшања стања безбедности саобраћаја, као и подизања свести људи који учествују у саобраћају.



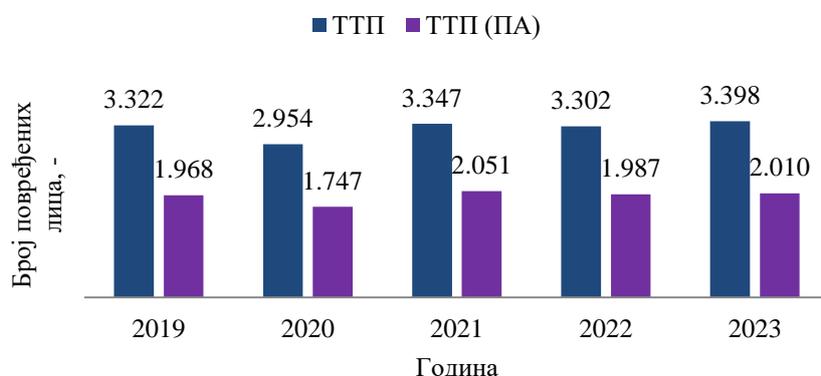
Слика 4.16 Упоредни приказ укупног броја ПОГ лица и лица која су ПОГ у ПА, у периоду од 2019. до 2023. године

Упоредни приказ за ПОВ лица (њихов укупан број), као и по категоријама (за ТТП лица и ЛТП лица), дат је на сликама 4.17, 4.18 и 4.19. Може се уочити, са слике 4.17, да је од укупног броја ПОВ лица, у просеку око 73% лица било повређено управо у ПА. Разлог томе јесте што су у највећем броју саобраћајних незгода учествовали ПА. Најмање повреда у СН је било 2020. године је ограничена мобилност људи у току пандемије. Оно што је битно за разматрани период јесте да је број ПОВ на крају (2023. година) био мањи него на почетку посматраног периода (2019. година).



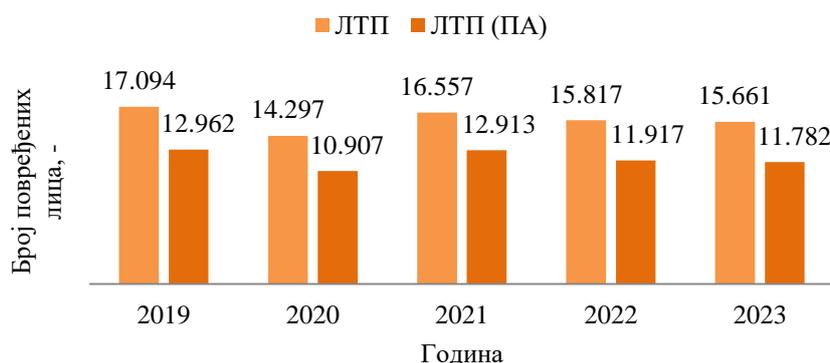
Слика 4.17 Упоредни приказ укупног броја ПОВ лица и лица која су ПОВ у ПА у периоду од 2019. до 2023. године

Сликом 4.18 приказан је упоредни приказ укупног броја ТТП лица и лица која су ТТП у ПА, у периоду од 2019. до 2023. године, по годинама. Лица која су имала ТТП у око 60% случајева била су управо лица која су се у тренутку СН налазила у ПА.



Слика 4.18 Упоредни приказ укупног броја ТТП лица и лица која су ТТП у ПА у периоду од 2019. до 2023. године

Поређење укупног броја ЛТП лица и лица која су ЛТП у ПА приказано је на слици 4.19 за период од 2019. до 2023. године. Број ЛТП лица која су била у ПА, у укупном броју ЛТП лица узимају учешће од 75,23% до чак 77,99%.

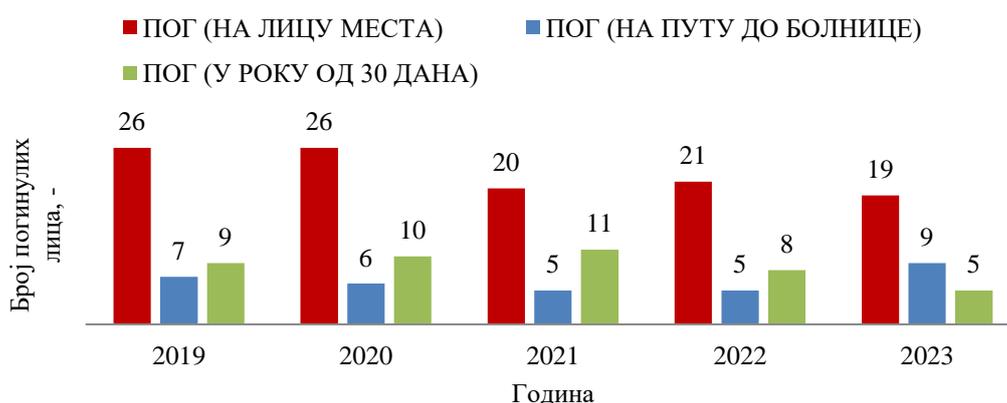


Слика 4.19 Упоредни приказ укупног броја ЛТП лица и лица која су ЛТП у ПА у периоду од 2019. до 2023. године

Без обзира на мањи број ПОГ и ПОВ (ТТП лица и ЛТП лица) у 2023. години у односу на 2019. годину, саме бројке показују да је стање у саобраћају алармантно. Приказани подаци указују на озбиљност проблема који се тиче учешћа ПА у саобраћајном току и њиховог утицаја на безбедност саобраћаја. Како би се постигао један од циљева Стратегије (Стратегија безбедности саобраћаја Републике Србије за период од 2023. до 2030. године са акционим планом од 2023. до 2025. године), а то је смањење броја ПОГ лица и ПОВ лица до 2030. године за 50%, морају се спровести мере које ће бити усмерене управо на ПА, јер они имају доминантан утицај (највеће учешће у СН) на последице СН, без обзира да ли се ради о ПОГ лицима или ПОВ лицима.

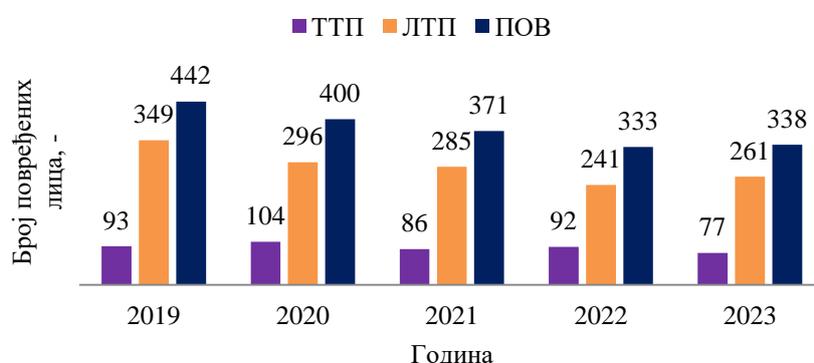
У периоду од 2019. до 2023. године, укупно је ПОГ 187 лица код којих је као један од утицајних фактора наведена техничка неисправност возила. Број ПОГ лица у посматраном периоду, приказан је сликом 4.20. Највећи број лица која су погинула на лицу места била су 2019. и 2020. године, након чега се бележи благи пад, са најмањом

вредношћу у 2023. години. Забележен је и пораст броја ПОГ у року од 30 дана од последица СН до 2020. године, након чега се може уочити пад. Број ПОГ на путу до болнице је готово исти за сваку годину, за посматрани период и најмањи је у односу на све посматране вредности ПОГ лица у СН, изузев за 2019. и 2023. годину. 2023. године се број ПОГ лица на путу до болнице, готово удвостручио у односу на 2021. и 2022. годину. Пораст броја погинулих је показатељ функционалности у систему збрињавања након настанка СН и може бити последица кашњења хитне помоћи, недовољне обучености, како возача тако и грађана у пружању прве помоћи и неусклађености између различитих надлежних служби (хитна помоћ, полиција и ватрогасци). Такође, може указивати и на тежину повреда, наиме, што су повреде теже, већа је вероватноћа да ће особа преминути на путу до болнице.



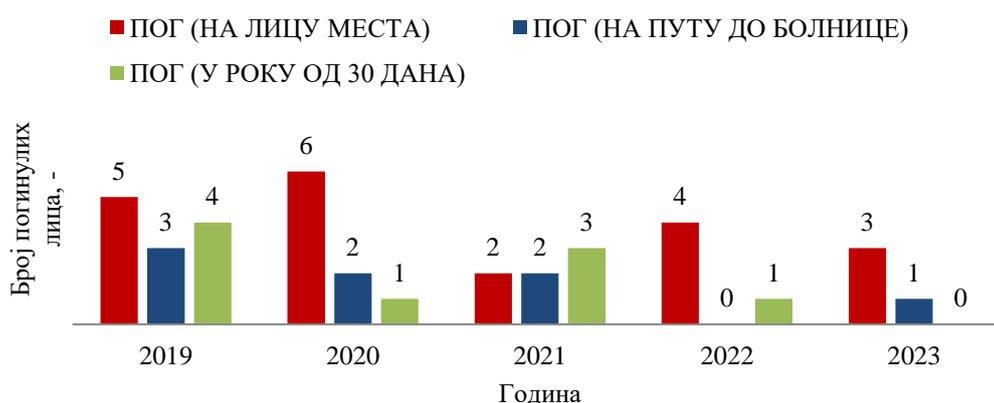
Слика 4.20 Број ПОГ лица у периоду од 2019. до 2023. године – техничка неисправност возила

Укупно је било 1.884 лица ПОВ у СН код којих је као један од утицајних фактора наведена техничка неисправност возила, за разматрани период од 2019. до 2023. године. Број ПОВ лица у СН где је утицајни фактор била техничка неисправност возила бележи пад све до 2023. године, слика 4.21. Такође, број ЛТП лица бележи пад све до 2023. године, након чега се може уочити њихов пораст у последњој години посматраног периода. Највећи број ТТП лица забележен је 2020. године, док је за остале године мањи, али по годинама варира.



Слика 4.21 Расподела броја ПОВ лица у периоду од 2019. до 2023. године – техничка неисправност возила

Приказ само лица која су ПОГ и ПОВ у СН, код којих је као један од утицајних фактора наведена неисправност система за кочење, у периоду од 2019. до 2023. године, је дат на слици 4.22. Може се уочити да је највећи број ПОГ лица на лицу места евидентиран 2020. године, да би тај број већ наредне године био троструко мањи. Затим наредне две године забележене су веће вредности броја ПОГ лица на лицу места. Број ПОГ лица на путу до болнице је био највећи 2019. године, да би следеће године број лица која су подлегла повредама у СН на путу до болнице био једнак 0. 2023. године, било је једно лице које је живот изгубило на путу до болнице услед последица СН, што је више у односу на претходну годину, а мање у односу на почетну годину разматраног периода. Број ПОГ у року од 30 дана има осцилирајући тренд, а у последњој години посматраног периода није било лица која су ПОГ у року од 30 дана.



Слика 4.22 Број лица ПОГ у СН у периоду од 2019. до 2023. године – неисправност кочног система

Резултати претходне анализе указују да неисправност кочног система као утицајни фактор има удео од чак 19,79%, што није за занемаривање. Из тог разлога треба промовисати редовно одржавање возила, као и кочног система. Такође, потребно је спроводити кампање које ће имати за циљ подизање свести корисника возила. На пример, Европа као најбезбеднији континент у саобраћају, константно ради на унапређењу законске регулативе. Доношењем и спровођењем различитих стратегија труди се да задржи своју водећу позицију. Узором на Европу, Република Србија је увела Стратегију (Службени гласник РС, бр. 84/2023) чији је циљ смањење укупног броја ПОГ и ТТП до 2030. године.

4.6 Јавни и саобраћајни ризик у Републици Србији у периоду од 2019. до 2023. године

Однос страдања учесника у саобраћају (годишњи број погинулих и/или повређених лица или настрадалих лица у саобраћајним незгодама,) у односу на број становника на неком подручју представља јавни ризик страдања у саобраћају. ЈР се одређује применом релације (4.6) (Пешић и сарадници, 2019):

$$JR = \frac{ПОГ}{Број\ становника} \cdot 1.000.000. \quad (4.6)$$

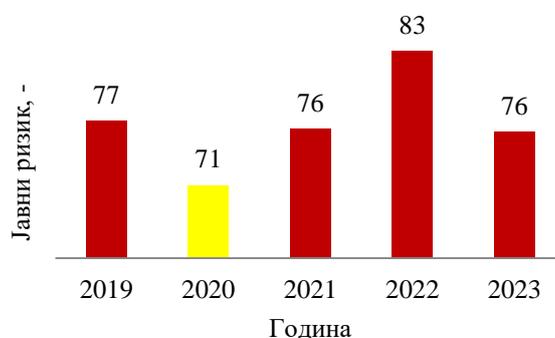
Јавни ризик погинулих лица је нешто што се најчешће рачуна, како би се могло извршити поређење, са нпр. другим земљама, јер се класификација повреда разликује од земље до земље. Како би се извршило адекватно поређење ЈР, најчешће се користи однос погинулих лица и броја становника. Након добијања вредности ЈР потребно је оценити безбедност саобраћаја на основу ЈР, па се мора одредити ниво ризика, према одређеним класама. Приказ класа индикатора безбедности саобраћаја за ЈР по којима ће се извршити опис нивоа ризика и рангирање, дат је табелом 4.3.

Врло низак ризик (ЈР до 25) обележава се светлозеленом бојом, што у ствари представља повољно стање безбедности саобраћаја при ком није потребно предузимати одређене мере, односно може указивати на то да су предузете мере имале ефекта. **Низак ниво ризика** (ЈР од 25 до 50) указује на то да ризик постоји, али да се налази у границама које су прихватљиве. Обележава се тамнозеленом бојом и могу се применити одређене мере за побољшање. **Средњи ниво ризика** (ЈР од 50 до 75) обележава се жутом бојом и може се рећи да је ово умерен ниво ризика, јер није достигнута критична вредност. Овде је обавезно потребно примењивати мере за побољшање. **Висок ниво ризика** (ЈР од 75 до 100) захтева хитне мере за побољшање и обележава се црвеном бојом. **Врло висок ниво ризика** (ЈР преко 100) обележен је црном бојом и указује на то да су достигнуте критичне вредности које захтевају хитне и ригидне мере.

Табела 4.3 Дефинисање боје класе индикатора безбедности саобраћаја ЈР (Агенција за безбедност саобраћаја, Статистике и анализе, Ризици, 2011)

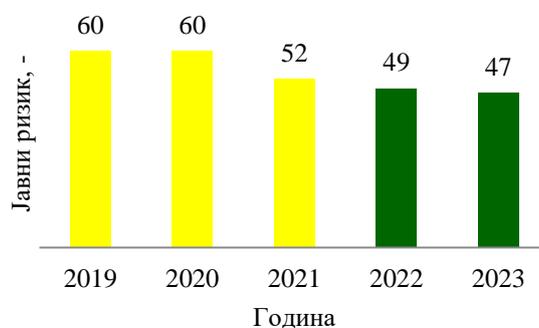
Редни број (ОЦЕНА БС)	Ниво ризика (опис)	Јавни ризик	
		Класа (интервал)	Ранг (боја)
1	врло низак	до 25	
2	низак	од 25 до 50	
3	средњи	од 50 до 75	
4	висок	од 75 до 100	
5	врло висок	преко 100	

Сликом 4.23 приказан је тренд ЈР ПОГ лица у СН у периоду од 2019. до 2023. године на територији Републике Србије. ЈР је једино средњег нивоа био 2020. године, док је за све остале године ниво ризика био висок.



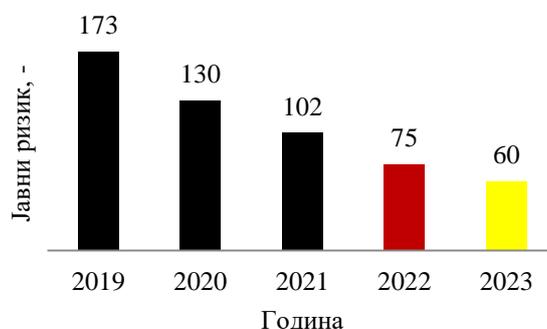
Слика 4.23 Тренд ЈР ПОГ лица у СН у периоду од 2019. до 2023. године

Вредности ЈР за ПОГ лица у СН у периоду од 2019. до 2023. године, на територији Републике Србије, код којих је као група утицајних фактора посматрана техничка неисправност возила, приказане су сликом 4.24. Средњи ниво ризика је био у периоду од 2019. до 2021. године, док је за 2022. и 2023. годину био низак. Међутим, иако је у последње две године низак ниво ризика, он се налази готово на граници са средњим нивоом ризика.



Слика 4.24 Тренд ЈР ПОГ лица у СН у периоду од 2019. до 2023. године – група утицајних фактора техничка неисправност

Тренд ЈР ПОГ лица у СН у периоду од 2019. до 2023. године, по годинама, на територији Републике Србије код којих је као један од утицајних фактора наведена неисправност система за кочење, приказан је на слици 4.25. У периоду од 2019. до 2021. године ЈР је био врло висок, док је у 2022. години био за ниво нижи и то висок ниво ризика. Последња година у посматраном периоду, 2023. година је била за још један ниво нижа у односу на 2022. годину – средњи ниво ЈР. Стање се са сваком наредном годином побољшало, али недовољно.



Слика 4.25 Тренд ЈР ПОГ лица у СН у периоду од 2019. до 2023. године – утицајни фактор неисправност система за кочење

Саобраћајни ризик (СР) представља однос броја погинулих и/или повређених и броја регистрованих моторних возила на територији која се посматра. Саобраћајни ризик се одређује применом релације (4.7) (Пешић и сарадници, 2019):

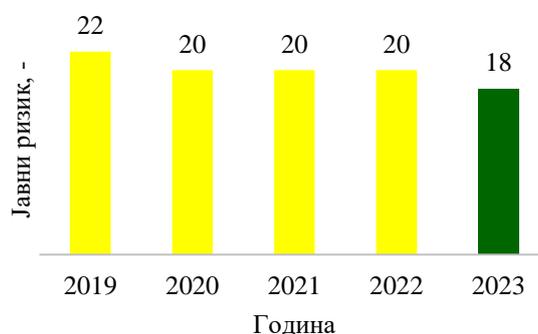
$$СР = \frac{ПОГ}{\text{Број регистрованих моторних возила}} \cdot 1.000.000. \quad (4.7)$$

Класификација и рангирање СР извршено је према класама, односно ранговима који су приказани у табели 4.4. Опис нивоа ризика је идентичан као код ЈР, обележени су истим бојама али се класе разликују, односно у интервалима у којима се свака од класе креће. Класе за СР су следеће: **врло низак ризик** (СР до 10), **низак ниво ризика** (СР од 10 до 20), **средњи ниво ризика** (СР од 20 до 30), **висок ниво ризика** (СР од 30 до 40) и **врло висок ниво ризика** (СР преко 40).

Табела 4.4 Дефинисање боје класе индикатора безбедности саобраћаја СР (Агенција за безбедност саобраћаја, Статистике и анализе, Ризици, 2011)

Редни број (ОЦЕНА БС)	Ниво ризика (опис)	Саобраћајни ризик	
		Класа (интервал)	Ранг (боја)
1	врло низак	до 10	светло зелено
2	низак	од 10 до 20	тамно зелено
3	средњи	од 20 до 30	жута
4	висок	од 30 до 40	црвена
5	врло висок	преко 40	црна

Тренд СР ПОГ лица у СН у периоду од 2019. до 2023. године, по годинама, на територији Републике Србије, је средњи у свим годинама, осим у 2023. када је низак, али се налази близу границе са средњим нивоом, слика 4.26. Ово указује да ситуација још увек није критична, али да је потребно донети одређене мере које ће бити усмерене на смањење броја погинулих лица у наредном периоду.

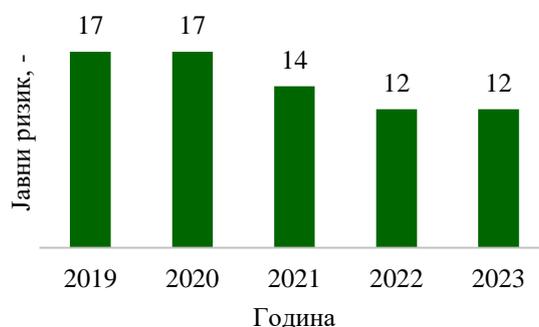


Слика 4.26 Тренд СР ПОГ лица у СН у периоду од 2019. до 2023. године

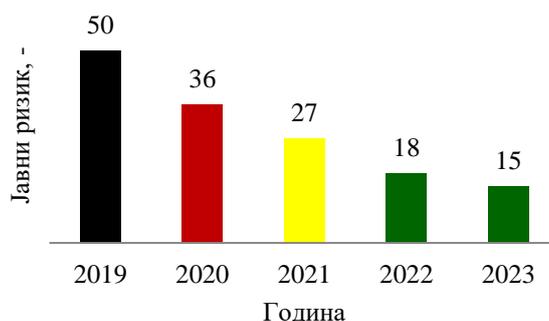
Посматрајући тренд СР ПОГ лица у СН у периоду од 2019. до 2023. године на територији Републике Србије за групу утицајних фактора техничке неисправности, ниво ризика је низак током посматраног периода, слика 4.27. Ово указује да постоји потреба за доношењем и спровођењем мера које ће се односити на техничку исправност возила (нпр. чешћа провера техничке исправности у циљу уочавања који то систем на возилу има највећи утицај на појаву техничке неисправности возила и да се на њега стави акценат, било кроз кампање или на линијама техничког прегледа).

Саобраћајни ризик ПОГ лица у СН у периоду од 2019. до 2023. године, по годинама, на територији Републике Србије код кога је као један од утицајних фактора евидентирана неисправност система за кочење има опадајући тренд, слика 4.28. Врло висок ниво ризика је евидентиран 2019. године, висок ниво ризика евидентиран је 2020. године, а средњи ниво ризика 2021. године. Током последње две године посматраног периода је

низак ниво ризика. На основу ових података може се закључити да је неисправност система за кочење на почетку периода била врло проблематична и 2019. године је достигла критичан ниво. Иако је у последње две године ниво ризика низак, потребно је донети мере које ће бити усмерене на систем за кочење, како би се наставио тренд пада и избегао сценарио који је претходио ниском нивоу ризика.



Слика 4.27 Тренд СР ПОГ лица у СН у периоду од 2019. до 2023. године – група утицајних фактора техничка неисправност



Слика 4.28 Тренд СР ПОГ лица у СН у периоду од 2019. до 2023. године – утицајни фактор неисправност система за кочење

Подаци о саобраћајним незгодама, лицима и возилима која су учествовала у саобраћајним незгодама, како је наведено (Агенција за безбедност саобраћаја Република Србија - Упутство за коришћење софтверске апликације, 2021), су подаци које доставља Министарство унутрашњих послова – Управа саобраћајне полиције. База се константно унапређује и Агенција за безбедност саобраћаја се труди да подаци који корисници добијају буду што реалнији, односно да одговарају оном што се заправо десило на путу и због чега. У наредном периоду би требало податке којима се база потхрањује узимати након окончања судског процеса, а не на месту незгоде, јер они могу да доведу до заблуде. Ово значи да подаци треба да буду интегрисани на крају судског процеса, где ће се након вештачења утврдити тачан узрок, односно утицајни фактори који су претходили настанку саобраћајне незгоде. Ово би продужило време потребно да се подаци интегришу у базу, јер судски процеси могу јако дуго трајати, али боље је сачекати тачне податке, него обрађивати оне који су делимично тачни или готово нетачни.

5. СТАВОВИ ВОЗАЧА У ПОГЛЕДУ ИСПРАВНОСТИ КОЧНОГ СИСТЕМА ВОЗИЛА СА АСПЕКТА БЕЗБЕДНОГ УЧЕШЋА У ДРУМСКОМ САОБРАЋАЈУ

Анкетно истраживање спада у ред најразвијенијих метода истраживања, које се користи у циљу директног прикупљања података од појединаца који су изабрани по одређеним јасним критеријумима. Узорак популације која се посматра, може омогућити да се добију закључци за које се може тврдити да важе за читаву популацију. Анкетна метода спада у квантитативне методе, које се заснивају на идеји да се друштвене појаве могу мерити или да се могу свести на квантитативна обележја.

Примена анкетног истраживања је почела масовно да се користи још 1920. године, када су вршена истраживања о ставовима и социјална истраживања о условима живота сиромашних у урбаним срединама. Међутим, сам почетак анкетних истраживања се везује за Чарлс Џејмс Бута (енгл. *Charles James Booth*) који је ову врсту истраживања спровео у Енглеској 1880-их година, а која се касније проширила и на друге земље. Успешна примена анкета је започета тачним предвиђањем америчких председничких избора 1936. године. Објављивање Џерзи Нејмановог (енгл. *Jerzy Neyman*) чланка из 1934. године „О два различита аспекта репрезентативне методе: методи стратификованог узорковања и методи сврсисходног одабира“ (Neuman, 1934), може се сматрати почетком тзв. модерног анкетног истраживања.

Модерно истраживање омогућује да се уз помоћ упитника (анкета) врши испитивање широког спектра субјективних и објективних тема, при чему се може обухватити широка популација. Обим оваквих истраживања је условио оснивање организација које су се бавила великим истраживањима. Комбинација узорковања, дизајн упитника и прикупљање података на широкој популацији била је прави изазов, па се из тог разлога ово сматра почетком модерног анкетног истраживања (Ornstein, 2013).

Прва лонгитудинална истраживања¹⁶ спровели су Пол Лазарсфелд (енгл. *Paul Lazarsfeld*) и Марџори Фиске (енгл. *Marjorie Fiske*) 1938. године, а које је публиковано у другом тому часописа (Lazarsfeld и Fiske, 1938). Током Другог светског рата, спроведено је истраживање које је предводио Елмо Вилсон (енгл. *Elmo Wilson*) у сарадњи са академским психологом Ренесис Ликерт (енгл. *Rensis Likert*). Монументалним истраживањем америчке војске је преко пола милиона војника анкетирано са више од 200 различитих упитника. Анкетна анализа постала је језик емпиријског друштвеног истраживања, поседујући сопствена правила за формирање основних појмова и њихово комбиновање у смислене пропозиције (Stouffer, 1949).

Андерс Кајер (енгл. *Anders Kaier*) је дефинисао да правилно одабран насумични узорак може тачно да представи било коју популацију, без обзира колика је њена разноликост и величина. До овог закључка је дошао испитивањем целокупне норвешке популације, употребом репрезентативне методе. Кајеров узорак норвешке популације је попут савременог вишестепеног узорка вероватноће, само што општине нису изабране насумично, већ наменски, на основу његовог познавања њихових карактеристика. Идеја је да се репрезентативни узорак сложене популације може добити коришћењем две или

¹⁶ Поновљена посматрања истих варијабли.

више фаза селекције – нпр. одабиром заједница, након тога улица унутар заједница, затим станова итд., све док је вероватноћа селекције у свакој фази позната.

Нејман је први успоставио критеријум за прецизну процену карактеристика популације. Када је реч о случајном узорку, интервал поверења представља опсег могућих вредности карактеристика популације са одређеном вероватноћом. Конвенционални интервал поверења од 95% (или било који други у зависности од жељених резултата) означава опсег вредности за који постоји 95% вероватноће да садржи стварни популациони параметар. Истраживања требају бити дизајнирана тако да се, пре него што се прикупе било какви подаци, очекивани интервал поузданости може израчунати из параметара дизајна узорка – структуре и величине узорка (осим малих узорака са ненормалним дистрибуцијама) и да не зависи од дистрибуције променљиве од интереса.

Много пре модерних истраживања, пописи становништва и социјална истраживања укључивали су опсежна питања о индивидуалним демографским карактеристикама и економском стању. Модерне анкете покривају много шири спектар тема, почевши од студија ставова, истраживања тржишта и изборних анкета и широког спектра истраживања о личном искуству и перцепцији живота. Субјективне теме могу довести до двосмислености и испитаници су склони пристрасности. Апстрактни концепти који су детаљнији могу да отежају одговор на питање, при чему повећавају грешку и могућност да се на одређено питање не добије одговор. У оваквим ситуацијама је неизбежно користити категорију одговора са границама („*слажем се*” у односу на „*потпуно се слажем*”).

5.1 Избор елемената анкетног истраживања

Анкетно истраживање представља сложен процес прикупљања података од стране појединаца, где се као излазне информације добијају ставови, мишљења и облици понашања испитаника. Приликом припреме анкетног истраживања потребно је прецизно дефинисати фазе кроз које је потребно проћи, како би се дошло до што квалитетнијих података. Фазе анкетног истраживања приказане су сликом 5.1.

Прва фаза анкетног истраживања је *концептуализација*, у којој је потребно прецизно дефинисати тему о којој је потребно прикупити податке, дефинисати концепте који ће бити примењени, дефинисати полазне хипотезе, и на самом крају ове фазе, операционализовати концепте како би се све апстрактне идеје превеле у питања која ће се налазити у упитнику. Питања морају бити пре свега једноставна, разумљива и са метријским карактеристикама (Јаничић, 2019).

Друга фаза анкетног истраживања је *склоп истраживања*, у којој је потребно детаљно дефинисати план целокупног истраживања и навести све специфичности поступака и техника, као и потенцијални проблеми који се могу јавити. Циљ истраживања у овој фази је од круцијалног значаја, јер се према њему дефинише карактер истраживања које може бити: дескриптивно, експлоративно или експанаторно. Још један задатак јесте одређивање начина на који ће бити прикупљани подаци, и то може бити: интервјуисањем лице-у-лице, путем упитника који се шаље путем имејла или поште или интервјуисање путем телефона.

Фазе анкетног истраживања	1. Концептуализација
	2. Склоп истраживања
	3. Инструментализација
	4. Планирање
	5. Узорковање
	6. Тренинг и обука
	7. Пилот истраживање
	8. Теренско истраживање
	9. Мониторинг
	10. Верификација
	11. Кодирање
	12. Процесуирање података
	13. Анализа података
	14. Извештавање

Слика 5.1 Фазе анкетног истраживања

Следећи корак у оквиру фазе склопа истраживања је утврђивање да ли ће истраживање бити *лонгитудинално* или *кроссекционо*. Лонгитудинална истраживања подразумевају прикупљање података од испитаника у серијама (континуитету), тј. ова истраживања се понављају у одређеним временским интервалима. Са друге стране, кроссекциона истраживања омогућавају да се подаци од испитаника узимају само једном, дакле она се могу представити као пресек стања у одређеном тренутку (анкета спроведена за потребе ове докторске дисертације).

Инструмент уз помоћ кога се спроводи анкетно истраживање је унапред формиран упитник (анкета), који служи за прикупљање податка у процесу узорковања. Формирање упитника се врши уз помоћ правилно формулисаних питања чији је циљ доћи до одговора који су од кључног значаја. Приликом формирања упитника, потребно је водити рачуна о следећем (Јаничић, 2019):

- ❶ Потребно је прецизно идентификовати шта желимо да сазнамо на дату тему, на која питања желимо да добијемо одговор, које хипотезе је потребно потврдити или оповргнути, које су потребне променљиве, као и којим статистичким анализама ће бити обрађени добијени подаци, а на основу којих треба да произађу одређени закључци.
- ❷ Процес анкетирања мора бити временски ограничен. Дуготрајно трајање овог процеса може да проузрокује смањење интересовања и губитак концентрације испитаника, што за последицу има невалидност добијених података. Како би се ово избегло, постоје правила да интервју лице-у-лице не би требало да траје дуже од 45 минута, док телефонски интервју треба бити ограничен на 20 минута. Потребно је обратити пажњу и на тзв. степен одбијања учествовања у анкетирању, јер на тај степен итекако утиче дужина упитника, па он не би смео бити дужи од осам страна. Трајање анкетирања се одражава и на процесирање података, које може бити отежано због великог броја података које је потребно

унети у одговарајући софтвер. Све претходно наведено за последицу има повећање цене истраживања.

- Типови питања у упитнику могу бити разнолики. На самом почетку потребно је идентификовати одређене демографске карактеристике испитаника (нпр. пол, степен образовања, занимање итд.) које морају ићи у континуитету. Наредна питања могу бити отвореног типа (где се испитанику оставља могућност да допише одговор). Главна предност отвореног типа питања јесте што не ограничавају испитаника на дефинисане одговоре, већ он може одговорити на начин који жели, при чему се може добити повратна информација која није претпостављана на почетку, а која може бити од великог значаја. Мана отвореног типа питања, јесте како извршити анализу таквих података, с обзиром да се ради о широком спектру одговора. Постоје два начина за решавање овог проблема. Први је увођење нових варијабли, док други подразумева да се социјална питања испитаника подвргну квалитативној анализи података. Са друге стране, питања затвореног типа подразумевају да се у упитнику налазе, унапред формирано, понуђени одговори. Оно што је предност отвореног типа је недостатак затвореног типа, и обрнуто. У овој фази, такође се врши скалирање одређених вредности, јер је основа идеја анкетног истраживања мерење друштвених појава. Постоји четири типа скала и то: номинална, ординална, интервална и рацио. Све скале представљају нумеричку репрезентацију класификованих атрибута по одређеном критеријуму. Номиналне скале су квалитативне и категоријске, а њихова главна карактеристика је то што између бројева који представљају атрибуте, није могуће утврдити било какав квантитативан однос. Ординална скала се користи за постављање варијабли у одређени смислени нумерички ранг који је поређан по хијерархији. Интервалним скалама се представљају једнаке разлике између нумеричких вредности. Рацио скале имају сва обележја као и интервалне, при чему је једина разлика постојање апсолутне нуле на рацио скали, тј. растојање између вредности има једнако значење у односу на апсолутну нулу. Поред овога постоје и скале учесталости, које представљају један специфичан тип рацио скала, које се најчешће користе у друштвеним наукама. Скале учесталости се базирају на фреквентности/учесталости одређеног догађаја или понашања и њихова главна карактеристика је то што не поседују јединице мерења.
- Формат питања може бити различит, у зависности од природе питања, компетенција испитаника и мерних карактеристика скале. Најчешће постоје питања где испитаник бира само један од понуђених одговора. Након овога, други формат који се највише користи током процеса анкетирања јесу тзв. питања у форми матрице. Питања у форми матрице се користе уколико постоји питање са већим бројем ставки, при чему су одговори често једнообразни. Форма матрице се користи и за семантички диференцијал, где испитивана особина има два пола, а испитаник се на понуђеној лествици опредељује за једну од вредности два пола.
- Правилно формулисање питања је један од кључних аспеката формирања анкете. Пре почетка формулисања питања, мора се одредити циљна група и на основу тога је потребно формулисати питања, која ће потенцијалном испитанику бити разумљива. Са тог аспекта, постоје компетентни и некомпетентни испитаници, где терминологија која се користи мора бити прилагођена компетенцијама испитаника. Том приликом се мора водити рачуна о питањима која су осетљиве природе (мимикрија), јер су испитаници склони да дају социјално пожељне одговоре. Питања морају бити формулисана тако да буду

кратка, јер што су питања дужа и садрже већи број фраза, повећава се ризик да испитаник не разуме питање. Такође, питања морају бити прецизно дефинисана и никако не смеју бити двосмислена, међутим постоје и питања на која није могуће дати један одговор. Овде је потребно бити посебно опрезан, јер се код питања код којих се може дати више одговора користе везничке дисјункције и конјункције – или/и. Ово може испитаника да доведе у заблуду, јер питање делује двосмислено. Пристрасност, односно сугестивна питања, су још један од потенцијалних проблема које је потребно избећи приликом формирања питања. Пристрасност се може јавити у облику пристрасности распореда, када се питања баве нпр. истом темом. Формулација питања никако не сме утицати на одговор испитаника. Мора се узети у обзир да одређен број испитаника нема став, па форсирање одговора није решење. Када је одговор нпр. *немам став*, та категорија се назива резидуали. Ову категорију никако не сме засенити питање у ком је јака аргументација која брани одређени став, јер оно у том случају постаје сугестивно, што за последицу има погрешне резултате.

- Структура упитника мора бити таква да садржи објашњење на првом месту, јер се у том случају постиже већи степен кооперативности испитаника и добијају се много искренији одговори. Сваки упитник, односно анкета треба да поседује три сета питања и то: питања за загревање (општег карактера да испитаника уведу у тему), субстанцијална питања (даје кључне одговоре којима се обезбеђује емпиријска евиденција за тестирање хипотеза) и демографска питања (која могу бити на почетку или на крају упитника).

Одређивање типа истраживања је од изузетног значаја приликом прикупљања података. Пре самог дефинисања типа истраживања, врши се припрема истраживања. Најзаступљенији тип анкетног истраживања (које се по начину обављања процеса може разликовати од интервјуисања) је теренско прикупљање података, које се даље може поделити на:

- интервјуисање лицем-у-лице,
- остављање упитника,
- слање упитника поштом,
- интернет истраживања и
- телефонска истраживања.

Најбољи начин прикупљања података свакако јесте анкетом лице-у-лице. Прикупљање података овом методом карактерише чињеница да анкетар позива или се састаје са испитаником и води интервју, односно чита питања и бележи одговоре. Анкета се може урадити тако да се одговори бележе на папиру или на рачунару. Питања која су снимљена на рачунару анкетар чита са екрана и уноси одговоре испитаника директно у рачунар, што омогућава аутоматско филтрирање, тј. у зависности од одређених одговора датих у ранијим деловима упитника, питања која се не односе на испитаника се аутоматски прескачу (Јаничић, 2019).

Постоје два начина спровођења анкета лицем-у-лице. Целокупна анкета која подразумева одабир узорка, регрутовање и обука анкетара, програмирање упитника и управљање временом, може се спровести интерно или се може ангажовати институт за истраживање. Када је број случајева релативно мали или кад је популација анкете ограничена на одређени регион, једино је могућа интерна имплементација. Када се врши анкета нпр. за сво становништво, једина опција је да се ангажује институт/агенција која се бави истраживањем, која може да користи анкетаре широм

земље. Предност ангажовања института/агенције за спровођење анкете у читавој земљи јесте управо што има анкетаре по целој земљи који ће извршити анкетирање. Истраживање на читавој популацији проузрокује да анкета лицем-у-лице буде изузетно скупа, док је у случају локалних анкета, интерна имплементација је јефтинија, али је не треба потцењивати јер она изискује огромне напоре укључене у унутрашњу имплементацију и потребно знање.

Анкета лицем-у-лице према литератури се сматра методом којом се могу постићи највеће стопе одговора. Међународна истраживања показују да, када се упореде стопе одговора постигнуте различитим начинима анкетирања, анкета лицем-у-лице је најбоља. Међутим, још увек није докучено да ли је узрок начин анкетирања и посао који анкетари обављају или је то начин на који се анкете обично спроводе у различитим начинима истраживања. Иако је ово најбољи метод, прате га и одређени недостаци. Све предности и недостаци који се могу јавити приликом прикупљања ставова методом лицем-у-лице, приказани су табелом 5.1.

Табела 5.1 Предности и недостаци методе лицем-у-лице (Јаничић, 2019)

Предности	Недостаци
Увек постоји контакт између анкетара и испитаника (респодента)	Потребан је велики број анкетара
Анкетар може пружити додатна објашњења уколико је то неопходно	Анкетари морају да буду добро обучени и да комуницирају на униформисан начин
Анкетар може дати своје личне импресије о понашању и ставовима испитаника приликом попуњавања упитника	Високи трошкови анкетирања
Може се допунити визуелним приказима одговора	Ризик да ће анкетар утицати на понашање испитаника
Подаци интервјуа се могу обогатити проценама анкетара о испитанику	Разлике између анкетара, или између начина на који они воде интервјуе, могу узроковати ову такозвану варијацију анкетара
Могу се водити дужи интервјуи него у случају других начина истраживања	Дужи период рада на терену у поређењу са другим начинима (неповољно када је реч о актуелној теми)

Питања морају бити формулисана тако да анкетар одмах добије одговоре. Уколико ово није случај, анкетар појашњењем може утицати на одговор испитаника. Испитаник не би требало да тражи објашњење питања пре него што на њега одговори. Како би се минимизовао утицај анкетара, потребно је стандардизовати анкету и адекватно обучити анкетаре. Препоруке су да анкетари не би требало да спроводе велики број анкета - препоручено је да број анкета спроведених по једном анкетару буде од 10 до максимално 50, у зависности од искуства и обуке анкетара, као и квалитета његовог рада у претходним истраживањима.

Приликом одговарања на осетљива питања и она која га могу инкриминисати, потребно је испитанику пружити осећај приватности. У овом случају, за поједине делове анкете испитаници сами попуњавају папирни упитник, односно анкетар предаје лаптоп/таблет испитанику, који чита питања са екрана рачунара и сам уноси одговоре. Алтернативно, код осетљивих питања може се користити и техника насумичног одговора.

Приликом попуњавања анкете испитаници могу бити неискрени. Проблем лажирања, односно делимичног лажирања анкете може се решити разним мерама. Анкете се могу проверити поновним контактирањем испитаника, подаци анкете се такође могу анализирати у циљу откривања упадљивих образаца итд. Када се анкета врши путем рачунара, аутоматски снимљена времена анкете за појединачне њене делове се могу проверавати. Уколико је неки сегмент анкете или анкета у целости завршена у временском року који је краћи од предвиђеног, може се претпоставити да на питања није адекватно одговорено, односно да је анкета лажирана. Још једна мера која се може спровести јесте снимање интервјуа у целости или делимично, иако то није уобичајена пракса, јер се као проблем јавља приватност и заштита личних података испитаника (Јаничић, 2019).

5.2 Креирање упитника

Циљ анкете јесте утврђивање ставова возача у погледу експлоатације неисправних возила. Упитник је формиран тако да се састоји из два дела, први део чине демографска питања, док други део чине тзв. главна питања која су формулисана у складу са циљевима анкете. Анкета се састоји од 32 питања. Након техничке припреме анкете, извршено је њено штампање. Пре почетка анкетања, урађено је пилот анкетање на узорку од 30 испитаника (возача), када су уочене одређене нејасноће које се тичу питања. Питање „*Колико имате возачког искуства?*“ испитаници су дефинисали као нејасно, па је преформулисано и сада гласи „*Колико година поседујете возачку дозволу?*“. Одређивање возачког искуства је врло комплексно, јер возач може поседовати возачку дозволу, а да нема никаквог возачког искуства. Још један проблем који се јавио код питања „*Колико често мењате кочне плочице/кочни диск на возилу?*“, а где су били понуђени одговори, јесте непостојање још једног понуђеног одговора. Већина испитаника је одговорила да то раде по препоруци механичара и тај одговор је додат. Када је завршено пилот тестирање, извршено је штампање 500 анкетних листића.

Анкетна истраживања се обављају на одређеном узорку. Узорак је, како је већ наведено, скуп чланова унапред одређене циљне популације – у овом случају возача. Колико је узорак репрезентативан одређује његова величина и начин бирања, па је томе потребно посветити велику пажњу. Минималан број потребног узорка је одређен на два начина. Уколико је позната вредност популације (возача), она се рачуна по релацији (3.1).

Интервал поузданости (z) одговара интервалу поверења који се жели достићи током истраживања, а за потребе овог истраживања изабрано је да буде ниво поверења 95% ниво поверења. Ово практично значи да се са 95% сигурности може тврдити да резултати узорка, на основу Гаусове (нормалне) расподеле налазе у оквиру овог интервала.

Стандардна девијација (σ) у статистици је апсолутна мера дисперзије у основном скупу. Она говори, колико у просеку елементи скупа одступају од аритметичке средине скупа, односно уз помоћ које се дефинише вероватноћа да ће се посматрани догађај појавити у одређеној популацији. Уколико не постоје информације о тачној пропорцији, најчешће се за вредност стандардне девијације користи 0,5 јер се на тај начин максимизује величина узорка, чиме се обезбеђује довољна величина и прецизност узорка. Са друге стране, $(1 - \sigma)$ представља вероватноћу да ће се догодити

супротан догађај од траженог (број људи у популацији који не поседују возачку дозволу), тачније њихов проценат у укупној популацији (Вукадиновић и Поповић, 2008; Пешић и сарадници, 2019).

Граница грешке (e) је максимална дозвољена грешка која се сме појавити током истраживања, у овом примеру то је грешка од 5%. Табелом 5.2 су дате вредности неопходне за одређивање минималне величине узорка.

Табела 5.2 Приказ величина које учествују у одређивању минималне величине узорка

Назив	Ознака	Јединица	Вредност
Интервал поузданости	z	-	1,96
Стандардна девијација	σ	-	0,5
Граница грешке	e	-	0,05
Величина циљне популације	N_{cp}	-	3.843.683 ¹⁷

Заменом вредности дате табелом 5.2 у релацију (3.1) може се прорачунати минимална величина узорка, као што је урађено релацијом (5.1):

$$S = \frac{1,96^2 \cdot 0,5 \cdot (1 - 0,5)}{0,05^2} = 384,12, \quad (5.1)$$

$$1 + \left(\frac{1,96^2 \cdot 0,5 \cdot (1 - 0,5)}{0,05^2 \cdot 3.843.683} \right)$$

коначно се добија

$$S \approx 384. \quad (5.2)$$

Често величина циљне популације није позната, па се минимална величина узорка може израчунати помоћу релације (3.2), као што је приказано релацијом (5.3):

$$n \geq \frac{1,96^2 \cdot 0,5 \cdot (1 - 0,5)}{0,05^2} = 384,16, \quad (5.3)$$

одакле се добија

$$n \geq 384. \quad (5.4)$$

Без обзира да ли се број возача узима у разматрање или не, уколико се жели постићи адекватан избор узорка, са грешком од 5%, број испитаника (возача) мора бити минимално 384.

¹⁷ Подаци о броју возача нису јавно доступни. Податак је добијен од стране Министарства унутрашњих послова.

5.3 Резултати и дискусија анкетног истраживања

Анкетно истраживање о ставовима возача о улози техничке исправности кочног система возила и његовог значаја на безбедно учешће возила у саобраћају спроведено је на 486 испитаника (методом случајног одабира), на територији Републике Србије. Међутим, анализа је обухватала 457 испитаника. Разлог мањег броја испитаника који су анализирани, јесте неуједначен одговор испитаника на контролна питања. Приказ анкетног листића дат је у Прилогу А. Анкета је спроведена методом лицем-у-лице. У наставку, биће приказани резултати који су произашли након извршене анкете.

Питање број 1 односило се на пол испитаника. У истраживању је учествовало 179 возача женског пола и 278 возача мушког пола. Такође, у оквиру анкете било је потребно да испитаник одговори на питање којој старосној групи припада (питање 2, Прилог А). Године су подељене у шест категорија и то:

1. 16-25,
2. 26-35,
3. 36-45,
4. 46-55
5. 56-65 и
6. 65+.

Од укупно 457 анкетираних возача, 190 возача припада првој категорији која се дефинише као „млади возачи“, 68 возача припада другој категорији, 64 возача припада трећој старосној категорији, 81 возач четвртој категорији, петој старосној категорији возача припада 36 испитаника и 18 возача припада шестој категорији, а која се назива „старији возачи“. Човек са годинама стиче одређено животно искуство услед различитих околности и приоритета, због чега другачије размишља у односу на млађу популацију. Према Члану 180 Закона о безбедности саобраћаја на путевима (2025) старосни услови за добијање возачке, односно пробне возачке дозволе су приказани сликом 5.2.

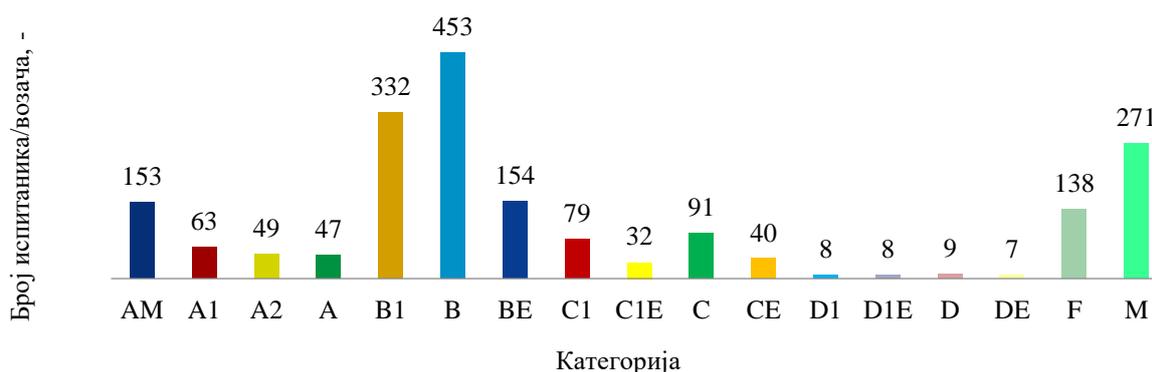


Слика 5.2 Услови за добијање возачке, односно пробне возачке дозволе

Ниво образовања има важну улогу у изградњи ставова, јер креира другачији начин размишљања и анализу информација. Од укупно 457 испитаника, 17 испитаника је са основним образовањем, 234 са средњим образовањем, 104 испитаника са вишим образовањем, 94 са високим образовањем и из категорије “остало” било је 8 испитаника.

Још једно битно питање јесте питање које гласи „Да ли сте власник возила?“. Ово питање је битно са аспекта размишљања у погледу одржавања возила. Такође, овим питањем је потребно утврдити да ли и возачи који нису власници возила размишљају исто као и возачи који су власници возила. Од укупног броја анкетираних возача, 126 возача нису власници возила.

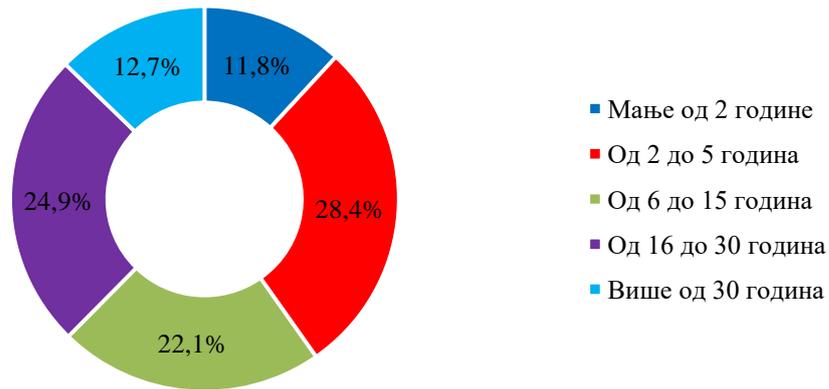
Наредно питање које гласи „Возачку дозволу поседујете за категорије:“, испитаник је требало да обележи само оне категорије које су му уписане на полеђини возачке дозволе. Одговори су приказани сликом 5.3. Разлог постојања овог питања јесте да се утврди које су то најчешће коришћене категорије, односно каква је структура возача. Ово омогућава да се на основу повезивања категорија са одговорима увиди да ли постоји потреба за планирањем додатне едукације, измене законске регулативе итд. Потребно је напоменути да по важећем Закону о безбедности саобраћаја на путевима (2025) возач једне категорије возила по аутоматизму добија могућност да управља возилима других категорија, што у периоду који је претходио није био случај.



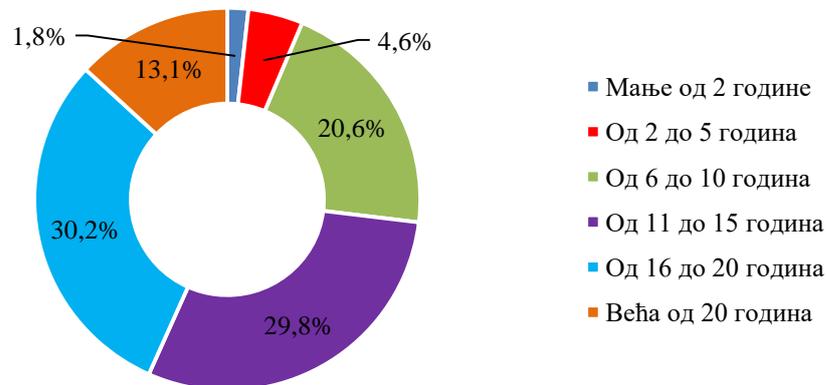
Слика 5.3 Расподела одговора на питање „Возачку дозволу поседујете за категорије:“

Очекивано је да што возач дуже поседује возачку дозволу, постоји већа могућност да је учествовао у саобраћајној незгоди. Дужина поседовања возачке дозволе може имати утицаја и на руковање, као и на одржавање возила, тј. возач са дугогодишњим искуством може боље примећивати техничке проблеме на возилу. Добијени одговори на питање „Колико година поседујете возачку дозволу?“, приказани су на слици 5.4. Највећи број испитаника има возачку дозволу у периоду од 2 до 5 година (28,5%), затим на другом месту је група испитаника која возачку дозволу има од 16 до 30 година, 24,9%.

Старост возила је један од битних параметра поузданости и исправности возила. За даљу анализу је од пресудног значаја да ли је исправност кчног система нарушена услед старости возила. Највећи број испитаника (око 30%) користи возила старости између 16 и 20 година, након тога чак 29,8% користи возила старости између 11 и 15 година, слика 5.5. Најмањи број испитаника користи возила чија старост не прелази 2 године, и то њих 1,8% од укупног број испитаника.

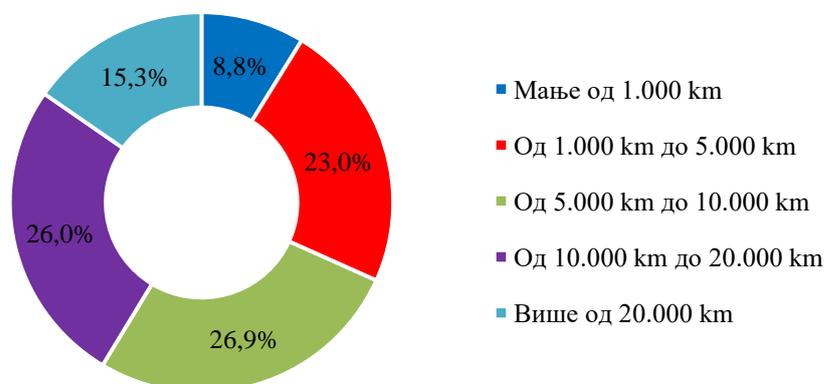


Слика 5.4 Расподела одговора на питање „Колико година поседујете возачку дозволу?“



Слика 5.5 Расподела одговора на питање „Колика је старост возила које користите?“

Уколико возач на годишњем нивоу возилом прелази већи број километара, веће су шансе да ће бити учесник саобраћајне незгоде. То је један од разлога зашто је постављено питање „Колико километара, као возач, пређете возилом на годишњем нивоу?“. Највећи број испитаника, њих 26,9% на годишњем нивоу прелази од 5.000 km до 10.000 km, док нешто мањи проценат испитаника, 26%, прелази од 10.000 km до 20.000 km на годишњем нивоу. Мање од 1.000 km на годишњем нивоу прелази 8,8% испитаника, слика 5.6.



Слика 5.6 Расподела одговора на питање „Колико километара пређете возилом на годишњем нивоу?“

Једно од наредних питања, а које је у уској вези са питањем „Колико километара, као возач, пређете на годишњем нивоу?“, јесте питање „Да ли сте као возач учествовали у саобраћајној незгоди?“. Од укупног броја анкетираних возача, 146 испитаника је одговорило да је учествовало у саобраћајној незгоди, односно 311 испитаника је одговорило да није учествовало у саобраћајној незгоди.

Колико је сваки од система/делова на возилу битан према мишљењу возача, зависи пре свега од његовог искуства као возача (колико година поседује возачку дозволу, као и колико километара пређе возилом на годишњем нивоу), поред тога зависи и од нивоа образовања и усмерења. У табели 5.3 су приказани ставови возача по питању система за кочење. Колико је заправо важан кочни систем возачима, приказано је у зависности од нивоа образовања, колико година поседују возачку дозволу и колико километара пређу на годишњем нивоу. Без обзира на ниво образовања испитаника, из сваке групе је преко 80% рекло да је кочни систем веома важан. Разочаравајућа чињеница је та да постоји мали проценат испитаника који сматрају да систем за кочење није важан са аспекта безбедности саобраћаја. Упркос малом проценту испитаника који овако размишља, ово представља забрињавајући податак из разлога што за нарушавање безбедности саобраћаја није потребан велики број учесника са оваквим ставом. Из става возача/испитаника који каже да кочни систем није важан, произилази закључак и да кочни систем на возилу не одржава по препорукама произвођача. На пример, један учесник са системом за кочење који није адекватно одржаван, а који уз то не функционише како треба може да проузрокује ланчани судар са више десетина жртава. Уколико би се посматрало са аспекта колико година поседују возачку дозволу, испитаници који возачку дозволу поседују између 2 и 5 године, њих 22,5% је рекло да је кочни систем веома важан, а 1,3% да није важан. Одавде следи закључак да испитаници из ове групе имају мало искуства, што доказује и временски период поседовања возачке дозволе. Посматрајући са аспекта колико километара пређу на годишњем нивоу, може се видети да како расте број километара на годишњем нивоу који испитаници пређу, расте и процентуални удео испитаника који сматрају да је кочни систем веома важан. Такође, и овде постоји једна чињеница која забрињава, а то је да постоји одређен проценат испитаника који сматрају да кочни систем није важан.

Табела 5.3 Ставови возача о важности система за кочење у зависности од образовања, возачког искуства и броја пређених километара на годишњем нивоу

Систем за кочење						
	Класа	Није важан	Мало важан	Неутралан	Важан	Веома важан
		%				
Ниво образовања	Основно	5,9	-	-	5,9	88,2
	Средње	2,1	1,3	2,6	6,4	87,6
	Више	4,8	1,9	2,9	7,7	82,7
	Високо	2,1		1,1	1,1	95,7
	Остало	-	-	-	-	100,0
Колико година поседује возачку дозволу	Мање од 2 године	1,9	-	3,7	5,6	88,9
	Од 2 до 5 година	4,6	3,1	3,8	9,2	79,2
	Од 6 до 15 година	2,0	1,0	2,0	5,0	90,1
	Од 16 до 30 година	2,6	-	0,9	3,5	93,0
	Више од 30 година	1,7	-	-	1,7	96,6

Табела 5.3 (наставак)

Систем за кочење						
	Класа	Није важан	Мало важан	Неутралан	Важан	Веома важан
		%				
Колико километара пређете возилом на годишњем нивоу?	Мање од 1.000 km	2,5	5,0	7,5	5,0	80,0
	Од 1.000 до 5.000 km	4,8	1,9	4,8	5,7	82,9
	Од 5.000 до 10.000 km	4,1	0,8	1,6	4,1	89,4
	Од 10.000 до 20.000 km	0,8	-	-	5,9	93,3
	Више од 20.000 km	1,4	-	-	7,1	91,4

Посматрањем једног од критеријума за оцену важности кочног система не може се увек створити јасна слика зашто су неки испитаници одговарали тако, као што је случај са испитаницима из групе више образовање и остало. У циљу проналажења узрочно-последичне везе, у табелама од 5.4 до 5.6 посматраће се заједно ниво образовања и колико година поседује возачку дозволу, ниво образовања и колико километара пређу на годишњем нивоу и колико година поседује возачку дозволу и колико километара пређу на годишњем нивоу. Може се рећи да је систем за кочење један је од кључних елемената безбедности саобраћаја, али перцепција и разумевање његове важности могу значајно варирати у зависности од нивоа образовања возача и његовог возачког искуства, односно година поседовања возачке дозволе.

Веза између нивоа образовања и година поседовања возачке дозволе на процену важности система за кочење, приказана је табелом 5.4. Посматрајући само групу испитаника са основним образовањем, без обзира на број година поседовања возачке дозволе, кочни систем су оценили као важан или веома важан за безбедност саобраћаја. Међутим, само је један испитаник одговорио да није важан, и он има више од 30 година возачку дозволу и основног је образовања. Ако се погледа одговор овог испитаника „*да ли је учествовао у саобраћајној незгоди*“, његов одговор је „не“, одакле произилази закључак да никада није имао никаквих проблема са возилом и зато је његов став такав. Код испитаника са средњим образовањем, већина је одговорила да је важан или веома важан. Међутим, има и оних који су рекли да није важан, а то су 2 испитаника који возачку дозволу имају од 2 до 5 година и 3 испитаника који возачку дозволу имају од 16 до 30 година. У случају са испитаницима који имају више образовање, такође је већина рекла да је важан или веома важан. Испитаници са вишим образовањем који су одговорили да није важан, припадају групи испитаника који поседују возачку дозволу до 2 године, од 2 до 5 године и од 6 до 15 година. Слично је и са испитаницима са високим образовањем. Сви испитаници из групе „остало“ су одговорили да је систем за кочење веома важан. На основу претходног, произилази закључак, да ниво знања и број година колико испитаник поседује возачку дозволу не утиче на свест колико је неки систем битан за безбедно учествовање у саобраћају. Што се тиче образовања, за будућа истраживања потребно је укључити које усмерење је испитаник завршио.

Табела 5.4 Важност система за кочење у зависности од нивоа образовања и година поседовања возачке дозволе

Ниво образовања	Колико година поседује возачку дозволу	Није важан	Мало важан	Неутралан	Важан	Веома важан
Основно	Мање од 2 године	-	-	-	-	1
	Од 2 до 5 година	-	-	-	-	2
	Од 6 до 15 година	-	-	-	1	1
	Од 16 до 30 година	-	-	-	-	4
	Више од 30 година	1	-	-	-	7
Средње	Мање од 2 године	-	-	2	3	29
	Од 2 до 5 година	2	3	2	7	48
	Од 6 до 15 година	-	-	1	2	41
	Од 16 до 30 година	3	-	1	2	57
	Више од 30 година	-	-	-	1	30
Више	Мање од 2 године	1	-	-	-	15
	Од 2 до 5 година	3	1	3	5	37
	Од 6 до 15 година	1	1	-	2	17
	Од 16 до 30 година	-	-	-	1	13
	Више од 30 година	-	-	-	-	4
Високо	Мање од 2 године	-	-	-	-	3
	Од 2 до 5 година	1	-	-	-	15
	Од 6 до 15 година	1	-	1	-	30
	Од 16 до 30 година	-	-	-	1	29
	Више од 30 година	-	-	-	-	13
Остало	Мање од 2 године	-	-	-	-	-
	Од 2 до 5 година	-	-	-	-	1
	Од 6 до 15 година	-	-	-	-	2
	Од 16 до 30 година	-	-	-	-	3
	Више од 30 година	-	-	-	-	2

Табела 5.5 приказује одговоре испитаника у вези важности система за кочење, у зависности од њиховог нивоа образовања и броја пређених километара на годишњем нивоу. Анализа показује да безбедност у саобраћају, конкретно значај система за кочење, испитаници високо вреднују у свим категоријама образовања, али да се степен важности значајно повећава са порастом броја пређених километара на годишњем нивоу. Највећи број одговора „*веома важан*“ дали су испитаници који годишње прелазе више од 10.000 km, јер практична знања стечена учествовањем у реалним саобраћајним ситуацијама доводе до боље свести о важности техничке исправности система за кочење, него што је то био случај са дужином поседовања возачке дозволе (табела 5.4). Испитаници са средњим образовањем, чине најбројнију групу (51,2%), и у оквиру ове групе може се уочити да чак 26,5% испитаника који прелазе од 10.000 km до 20.000 km годишње, систем за кочење оцењују као „*веома важан*“. Такође, у категорији од 5.000 km до 10.000 km и више од 20.000 km испитаници са средњим нивоом образовања, указују на исти ниво важности. Управо ове групе имају највиши степен свести о значају техничке исправности кочног система, што је резултат чешће употребе возила.

Испитаници са високим образовањем, такође у великом броју наводе „*веома важан*“ као одговор, нарочито у категоријама од 5.000 km до 10.000 km (33%) и од 10.000 km до 20.000 km (21,3%). Образованији испитаници свеснији су значаја система за кочење. С друге стране, код испитаника са основним образовањем, 94,1% одговора се односе на категорију „*веома важан*“ и „*важан*“, што значи да и испитаници са нижим формалним образовањем, препознају значај система за кочење. Испитаници са вишом школом углавном наводе „*важан*“ и „*веома важан*“ као одговор, нарочито у категоријама од 5.000 до 20.000 km. Овде се може закључити, као и код претходних група, да што се више километара пређе на годишњем нивоу, то је свест о важности кочног система већа. Категорија „*остало*“ има веома мали број испитаника, али и у овој групи сви одговори упућују на „*веома важан*“, што додатно потврђује свест о значају система за кочење. Из претходно наведеног може се закључити да је важност система за кочење препозната код свих група испитаника, без обзира на ниво образовања.

Табела 5.5 Важност система за кочење у зависности од нивоа образовања и броја пређених километара на годишњем нивоу

Ниво образовања	Колико километара пређете возилом на годишњем нивоу?	Није важан	Мало важан	Неутралан	Важан	Веома важан
Основно	Мање од 1.000 km	-	-	-	-	3
	Од 1.000 km до 5.000 km	-	-	-	-	1
	Од 5.000 km до 10.000 km	-	-	-	-	4
	Од 10.000 km до 20.000 km	-	-	-	-	4
	Више од 20.000 km	1	-	-	1	3
Средње	Мање од 1.000 km	-	2	3	-	19
	Од 1.000 km до 5.000 km	2	1	2	3	54
	Од 5.000 km до 10.000 km	2	-	1	5	41
	Од 10.000 km до 20.000 km	1	-	-	5	62
	Више од 20.000 km	-	-	-	2	29
Више	Мање од 1.000 km	1	-	-	2	4
	Од 1.000 km до 5.000 km	1	1	2	3	17
	Од 5.000 km до 10.000 km	3	1	1	-	31
	Од 10.000 km до 20.000 km	-	-	-	2	25
	Више од 20.000 km	-	-	-	1	9
Високо	Мање од 1.000 km	-	-	-	-	6
	Од 1.000 km до 5.000 km	2	-	1	-	14
	Од 5.000 km до 10.000 km	-	-	-	-	31
	Од 10.000 km до 20.000 km	-	-	-	-	20
	Више од 20.000 km	-	-	-	1	19
Остало	Мање од 1.000 km	-	-	-	-	-
	Од 1.000 km до 5.000 km	-	-	-	-	1
	Од 5.000 km до 10.000 km	-	-	-	-	3
	Од 10.000 km до 20.000 km	-	-	-	-	-
	Више од 20.000 km	-	-	-	-	4

Подаци приказани табелом 5.6 приказују важност система за кочење у зависности од дужине поседовања возачке дозволе и броја пређених километара на годишњем нивоу. На основу приказаних података може се закључити да већина испитаника, без обзира на возачко искуство или број пређених километара на годишњем нивоу, систем за кочење сматра веома важним. Уочава се да свест о значају овог система расте са годинама и већом пређеном километражом. Возачи који имају возачку дозволу мање од две године (почетници), а који прелазе више од 5.000 km годишње, систем за кочење оцењују као веома важан. Слична ситуација је и код возача који поседују возачку дозволу од 2 до 5 година, где су, поред оцене „*веома важан*” која преовладава, присутне и разнолике оцене у поређењу са осталим групама. Групе возача са средњим возачким искуством (од 6 до 15 и од 16 до 30 година) такође препознају значај кочног система и то највише возачи који годишње прелазе више од 10.000 km. Возачи са преко 30 година возачког искуства скоро једногласно су оценили систем за кочење као веома важан, без обзира на број пређених километара на годишњем нивоу. Када је реч о броју пређених километара на годишњем нивоу, возачи који прелазе мањи број километара на годишњем нивоу (до 1.000 km) чешће показују неутралност или не препознају значај кочног система, што може указивати на мање практичног искуства у вожњи. Насупрот томе, сви који прелазе више од 10.000 km, без обзира на дужину поседовања возачке дозволе, систем за кочење оцењују као веома важан. Ово показује да је практично искуство у вожњи важан фактор у формирању ставова о техничкој безбедности возила. Закључује се да постоји повезаност између искуства у вожњи и перцепције важности система за кочење. Возачи са више година возачког искуства и већим бројем пређених километара на годишњем нивоу показују већу свест о значају овог система, што упућује на потребу за едукацијом млађих и мање активних возача.

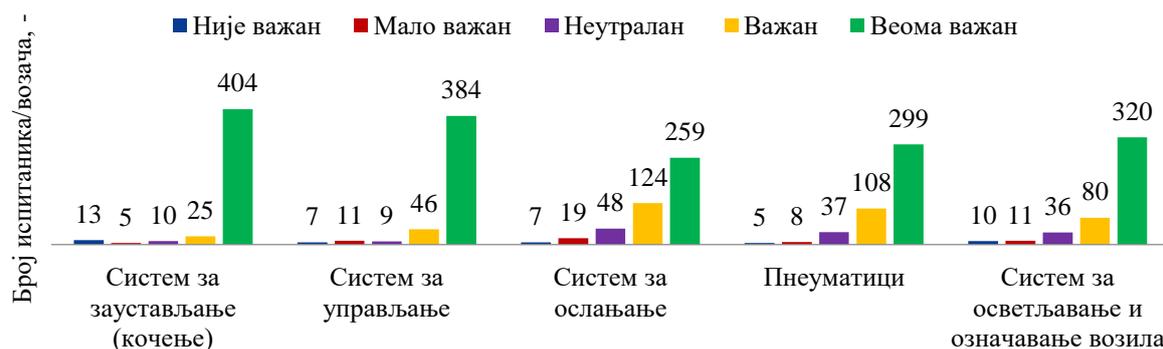
Табела 5.6 Важност система за кочење у зависности од дужине поседовања возачке дозволе и броја пређених километара на годишњем нивоу

Колико година поседује возачку дозволу	Колико километара пређете возилом на годишњем нивоу?	Није важан	Мало важан	Неутралан	Важан	Веома важан
Мање од 2 године	Мање од 1.000 km	-	-	2	-	9
	Од 1.000 km до 5.000 km	-	-	-	1	12
	Од 5.000 km до 10.000 km	1	-	-	1	16
	Од 10.000 km до 20.000 km	-	-	-	1	8
	Више од 20.000 km	-	-	-	-	3
Од 2 до 5 година	Мање од 1.000 km	-	2	-	1	4
	Од 1.000 km до 5.000 km	3	2	4	2	23
	Од 5.000 km до 10.000 km	2	1	-	4	35
	Од 10.000 km до 20.000 km	1	-	-	3	28
	Више од 20.000 km	-	-	-	2	13
Од 6 до 15 година	Мање од 1.000 km	1	-	-	1	10
	Од 1.000 km до 5.000 km	1	-	1	1	17
	Од 5.000 km до 10.000 km	-	1	1	-	20
	Од 10.000 km до 20.000 km	-	-	-	1	26
	Више од 20.000 km	-	-	-	2	18

Табела 5.6 (наставак)

Колико година поседује возачку дозволу	Колико километара пређете возилом на годишњем нивоу?	Није важан	Мало важан	Неутралан	Важан	Веома важан
Од 16 до 30 година	Мање од 1.000 km	-	-	1	-	4
	Од 1.000 km до 5.000 km	1	-	-	1	19
	Од 5.000 km до 10.000 km	2	-	-	-	26
	Од 10.000 km до 20.000 km	-	-	-	2	38
	Више од 20.000 km	-	-	-	1	19
Више од 30 година	Мање од 1.000 km	-	-	-	-	5
	Од 1.000 km до 5.000 km	-	-	-	1	16
	Од 5.000 km до 10.000 km	-	-	-	-	13
	Од 10.000 km до 20.000 km	-	-	-	-	11
	Више од 20.000 km	1	-	-	-	11

Анкета је обухватала и питања колико су важни и други системи на возилу, попут система еластичног ослањања, система за управљање итд. Међутим она неће бити детаљно разматрана у оквиру ове докторске дисертације, јер нису тема овог истраживања. Разлог постојања питања која се односе и на друге системе јесте да испитаник сам, на основу свог искуства и знања каже да ли је неки систем битан за безбедност саобраћаја или не, а не да му се наметне одговор да је кочни систем веома важан и зато само он стоји у оквиру анкете. Резиме свих одговора колико је одређени систем важан, приказан је сликом 5.7. Од свих наведених система, као најважнији, испитаници су навели систем за заустављање (кочење), затим за управљање, а као најмање важан означен је систем за еластично ослањање.



Системи за безбедно учешће у саобраћају

Слика 5.7 Расподела одговора на питање „Оцените колико је сваки од наведених система важан за безбедно учешће у саобраћају?“

Посматрајући само одговоре испитаника који су као возачи учествовали у саобраћајној незгоди (146 испитаника), 9 испитаника сматра да кочни систем никада не утиче на безбедно учешће у саобраћају, 4 испитаника су става да ретко утиче, а њих 16 сматра да утиче понекад. Поред система на возилу који су битни на безбедност саобраћаја, постоје и додатни фактори који такође утичу на безбедност саобраћаја, тако да је

наредно питање у анкети захтевало од испитаника да оцене колико сваки од наведених фактора утичу на безбедност саобраћаја, а фактори су:

- *вожња у уморном стању,*
- *вожња под дејством психоактивних супстанци,*
- *вожња под дејством алкохола,*
- *коришћење мобилних телефона током вожње,*
- *лоши временски услови,*
- *технички неисправна возила и*
- *стање коловоза.*

Како ће испитаник оценити ове факторе, такође зависи од возачког искуства и нивоа образовања. Поред тога зависи и од карактера човека, чиме се баве психолози, о чему у овој дисертацији неће бити речи. Оно што је занимљиво, и у вези је са овим истраживањем, јесте приказ како су испитаници одговорили не узимајући у обзир њихово искуство и ниво образовања. Други део анализе одговора на ово и питање које укључује и искуство и ниво образовања. Од укупног броја испитаника, 60% сматра да технички неисправна возила увек имају утицај на безбедно учешће у саобраћају, а 7,4% сматра да никако не утичу на безбедно учешће у саобраћају, слика 5.8. Испитаници сматрају да највећи утицај од наведених фактора, има вожња под дејством психоактивних супстанци и алкохола, а на трећем месту су технички неисправна возила.



Утицајни фактори на безбедност саобраћаја

Слика 5.8 Расподела одговора на питање „Оцените колико сваки од наведених фактора утиче на безбедно учешће у саобраћају?“

Техничка исправност возила представља један од кључних фактора безбедности саобраћаја. Уколико возило није технички исправно, односно уколико неки његов подсистем (систем за кочење, систем за управљање, пнеуматици итд.) није технички исправан, то може директно угрозити безбедност возача, путника и других учесника у саобраћају или пак нанети материјалну штету. У Републици Србији, законски је прописано (Закон о безбедности саобраћаја на путевима, 2025) да се на годишњем нивоу обављају редовни технички прегледи, како би се обезбедио минималан ниво безбедности возила (Vasiljević и сарадници, 2018). Међутим, поред законске обавезе, веома је важно и познавање ставова возача о значењу техничке исправности возила,

који често варирају у зависности од нивоа образовања, возачког искуства и тога колико километара пређу на годишњем нивоу (Muttart и сарадници, 2011). Анализа ставова возача о томе како техничка исправност, односно неисправност утиче на безбедност саобраћаја може допринети бољем разумевању потенцијалних проблема који се могу отклонити одређеним превентивним мерама које би биле усмерене управо ка њима. Управо из овог разлога као један од фактора који може имати утицаја на безбедност саобраћаја, наведена је техничка неисправност возила. Резултати анкете приказани табелом 5.7, представљају одговоре возача о утицају технички неисправних возила на безбедност саобраћаја у зависности од образовања, возачког искуства и броја пређених километара на годишњем нивоу. Испитаници су подељени у пет група у зависности од нивоа образовања. Сваку групу испитаника чине 100% испитаника, не посматра се као бројна вредност. Посматрајући из тог угла, највећи процентуални удео испитаника који су рекли да техничка неисправност увек утиче на безбедност саобраћаја спада у групу испитаника са основним образовањем. Забрињавајућа чињеница је та што је 14,4% испитаника са вишим образовањем одговорило да техничка неисправност никада не утиче на безбедност саобраћаја. Међутим, морају се узети у обзир усмерења која су завршили, јер нису сви возачи на пример саобраћајне/техничке струке. Као веома битан параметар „да ли техничка неисправност утиче на безбедност саобраћаја“ показало се искуство испитаника као возача, које се може посматрати кроз период поседовања возачке дозволе и пређених километара на годишњем нивоу.

Табела 5.7 Ставови возача о утицају технички неисправних возила на безбедност саобраћаја у зависности од образовања, возачког искуства и броја пређених километара на годишњем нивоу

Техничка неисправност возила						
	Класа	Никада	Ретко	Понекад	Често	Увек
		%				
Ниво образовања	Основно	-	5,9	11,8	5,9	76,5
	Средње	5,6	4,7	11,5	20,5	57,7
	Више	14,4	6,7	9,6	17,3	51,9
	Високо	6,4	2,1	7,4	11,7	72,3
	Остало	-	-	12,5	37,5	50,0
Колико година поседује возачку дозволу	Мање од 2 године	9,3	7,4	9,3	18,5	55,6
	2 - 5 година	13,8	7,7	15,4	16,9	46,2
	6 - 15 година	5,0	4,0	7,9	17,8	65,3
	16 - 30 година	4,4	0,9	7,9	21,1	65,8
	Више од 30 година	1,7	3,4	8,6	12,1	74,1
Колико километара пређете возилом на годишњем нивоу?	Мање од 1.000 km	10,0	10,0	10,0	7,5	62,5
	1.000 – 5.000 km	10,5	3,8	9,5	21,0	55,2
	5.000 – 10.000 km	8,9	5,7	9,8	17,9	57,7
	10.000 – 20.000 km	5,9	3,4	15,1	15,1	60,5
	Више од 20.000 km	1,4	2,9	4,3	22,9	68,6

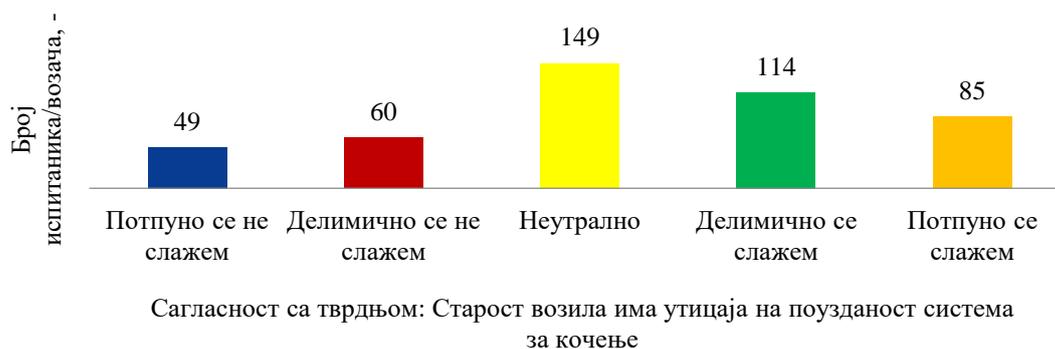
Младе и неискусне возаче потребно је додатно едуковати о важности одржавања возила. То се може урадити на неколико начина, прво кроз увођење додатних едукација при обуци возача, током којих би предавачи акценат ставили на практичне примере који би наглашавали важност редовног одржавања возила и обучили будуће возаче да

препознају потенцијалне техничке проблеме који се могу јавити код возила. Појачана и учестала контрола саобраћаја, која би обухватала проверу техничке исправности на лицу места, је нешто што би такође подигло свест возача када је техничка исправност возила у питању. За возаче код којих нису забележене неисправности, на пример у протеклих 5 година, потребно је увести одређене погодности приликом регистрације возила, као што су попусти.

Када се догоди саобраћајна незгода, увек постоји неки узрок/разлог због чега се и догодила. Кључно за ово истраживање јесте одговор на питање да ли је саобраћајна незгода била последица неисправности кочног система. Од укупно, 146 испитаника који су потврдно одговорили на питање „Да ли сте као возач учествовали у саобраћајној незгоди?“, 23 испитаника је одговорило да је узрок настанка саобраћајне незгоде била управо неисправност кочног система (15,6%). Такође, још једно питање у анкети, а које се није директно односило на испитаника, као возача, јесте питање које је гласило „Да ли је неко, кога познајете учествовао у саобраћајној незгоди, где је један од узрока био неисправан кочни систем?“. 33,2% испитаника је рекло да познаје.

Став возача, у овом случају испитаника, је један од битних параметара за анализу резултата, као и доношења закључака и одлуке шта урадити даље. Какав је став испитаника о неисправности кочног система на последице саобраћајне незгоде говори податак да 93,2% испитаника сматра да неисправност кочног система може утицати на величину последица саобраћајне незгоде.

Поред питања, анкета је садржала и једну тврдњу, где се од испитаника тражило да дефинише у којој мери се са њом слажу. Тврдња је гласила „Старост возила има утицаја на поузданост система за кочење“. Највећи део испитаника има неутралан став на ову тврдњу, међутим 24,9% испитаника се делимично слаже, док се 18,6% испитаника потпуно слаже да овом тврдњом. Занимљиво је да се 10,7%, односно 49 испитаника, не слаже са овом тврдњом (слика 5.9).



Слика 5.9 Расподела одговора на питање „Колико се слажете са следећом тврдњом: Старост возила има утицаја на поузданост система за кочење.“

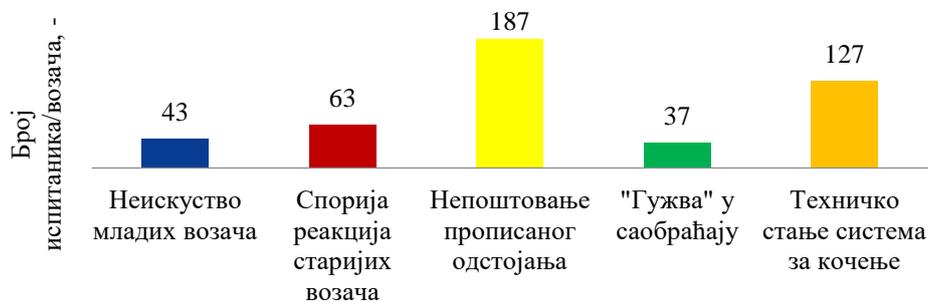
Контрола на путу од стране полиције је још једна мера за побољшање безбедности саобраћаја. Поред редовне контроле (на пример: везивање појаса, алкотест) коју полиција свакодневно спроводи на путу, она може, уколико сматра да возило које је зауставило није технички исправно, послати возило на ванредни технички преглед. На овај начин полиција утврђује исправност возила, као и самог кочног система. Даље након утврђивања, на пример неисправности кочног система, возач ће бити кажњен. На питање „Да ли сте у последњих пет година били кажњени због техничке

неисправности кочног система?“, 2% испитаника је потврдно одговорило на ово питање.

Зауставни пут је нешто што возачи често изједначавају са путем кочења. На питање „На дужину заустваног пута, по Вашем мишљењу, највише утиче“ испитаник је требало да заокружи један од понуђених одговора. Понуђени одговори су:

- *неискуство младих возача,*
- *спорија реакција старијих возача,*
- *непоштовање држања прописаног одстојања,*
- *"гужва" у саобраћају или*
- *техничко стање система за кочење.*

По мишљењу 27,8% испитаника, техничко стање система за кочење има утицај на зауставни пут, док је 40,9% испитаника рекло да непоштовање прописног одстојања утиче на дужину заустваног пута, слика 5.10.



На дужину пута, по мишљењу испитаника/возача највише утиче

Слика 5.10 Расподела одговора на питање „На дужину заустваног пута, по Вашем мишљењу, највише утиче:“

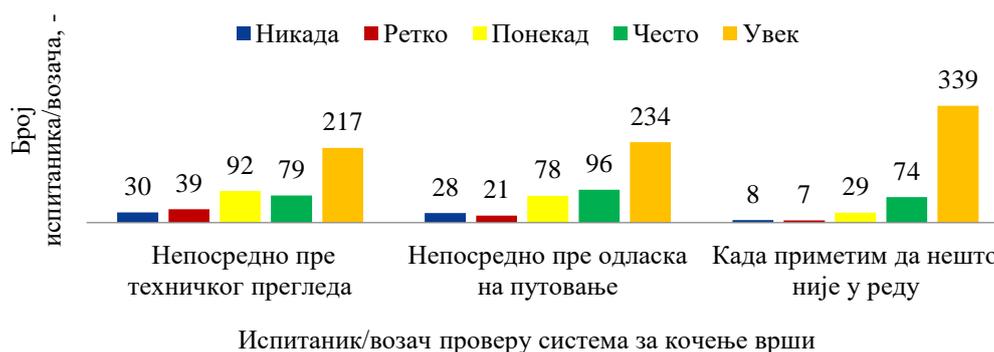
Део заустваног пута јесте пут кочења, који је у директној вези са оствареним успорењем. Технички преглед возила, према Правилнику о техничком прегледу возила (Службени гласник РС, бр. 62/2022) обухвата и преглед: уређаја за управљање, уређаја за зауствљање, система који омогућавају нормалну видљивост, за давање звучних знакова, за контролу и давање знакова, за одвођење и регулисање издувних гасова, за спајање вучног и прикључног возила, за кретање возила уназад, за ослањање, за кретање, за пренос снаге, као и погонског уређаја тј. мотора, електро-уређаја и инсталација, светлосних и светлосно-сигналних уређаја, опреме возила и делова возила од посебног значаја за безбедност саобраћаја. Технички преглед возила може бити редован, ванредан и контролни. Моторна возила у Републици Србији су у обавези да на редовни технички преглед иду једном годишње. Поред тога, битно је знати колико је возила враћено са техничког због неисправности кочног система. У анкети је постојало питање „Да ли сте некада били враћени са техничког прегледа због неисправности кочног система?“. На разматраном узорку, 74 испитаника, односно 16,2%, је враћено са техничког услед неисправности кочног система. Поред тога, да ли је потребно поштрити контролу кочног система на линијама техничког прегледа, потврдио је и већински део испитаника, који је износио 65,9%.

Одржавање возила је битно са аспекта поузданости и исправности. Да ли ће возач сам прегледати возило или ће то урадити друго лице, то највише зависи од знања које возач поседује. Највећи број испитаника (247) одговорио да за све провере одлазе у сервис,

док свега 28 испитаника све провере врши самостално. Међутим, било је и оних који основне провере врше сами, а у случају неког сложенијег проблема одлазе у сервис (182 испитаника).

Техничка исправност возила се проверава једном годишње на линијама техничког прегледа, при регистрацији возила. Међутим, без обзира на претходно речено, ипак је постављено и питање *“Да ли сматрате да је потребно проверавати техничку исправност возила у периоду од годину дана?”*. 439 испитаника је одговорило потврдно. Питање које је затим уследило јесте *„На који временски период проверавате исправност система за кочење?”*, при чему су испитаници могли да изаберу период мањи од шест месеци, једном у шест месеци, или једном годишње, како је то сада законски прописано у Републици Србији. Једном годишње техничку исправност возила проверава 55,1% испитаника, 34,1% једном у шест месеци, док 10,7% проверава исправност у периоду који је мањи од шест месеци.

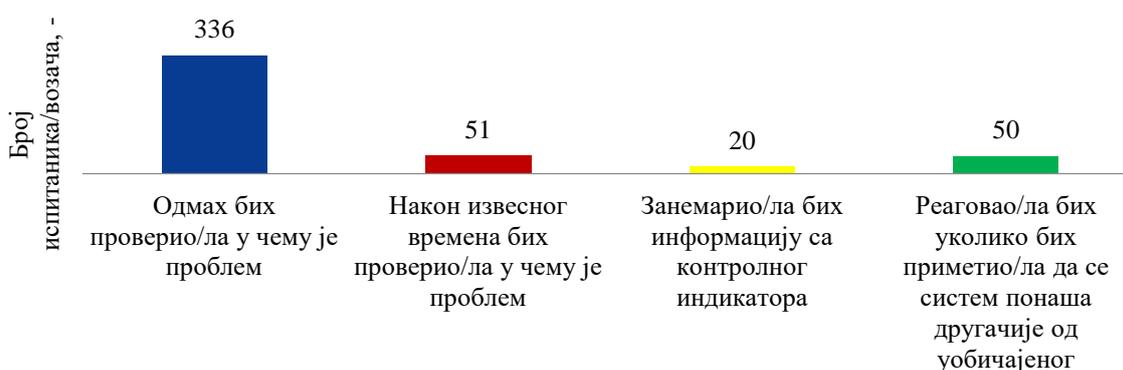
Начин размишљања и навике људи је јако битно знати, јер само онда када се зна како они мисле може се донекле утицати да промене начин свог размишљања. Понекад, не треба промовисати кроз кампање (шта је добро и како треба урадити), довољно је спровести анкету. Питања која чине саму анкету, натераће их да размишљају на ту тему и схватиће да ли је њихово размишљање до тада било погрешно. Из тог разлога, анкета је обухватала и питање које гласи: *„Проверу исправности система за кочење на Вашем возилу вршите: ...”*. Провера исправности система за кочење је јако битна, као и период, односно тренутак када се врши провера. Све ово указује на размишљање и навике испитаника – возача. Сликаом 5.11 приказано је да непосредно пре техничког прегледа, 69,4% испитаника увек врши проверу исправности система за кочење, док њих 20,1% понекад, а 6,6% испитаника то не чини никад. Непосредно пре одласка на путовање, 51,2% испитаника увек врши проверу система за кочење, 21% то чини често, а 17,1% то ради понекад. Међутим, оно што је забрињавајуће јесте да постоји група испитаника која и кад примети да нешто није у реду са кочним системом никада или ретко врше проверу.



Слика 5.11 Расподела одговора на питање *„Проверу исправности система за кочење на Вашем возилу вршите:“*

Возило је направљено тако да и људи који немају знања из области возила могу њиме безбедно управљати. Ово значи да се возило производи за широку масу. Данашња возила имају велики број уређаја и сензора који прате правилан рад свих система на возилу. У случају да дође до неправилности у раду неког од система или отказа, сигнализираће возачу на контролној табли или у облику неког симбола који ће указивати на неисправност тог система или кроз обавештење у облику текста.

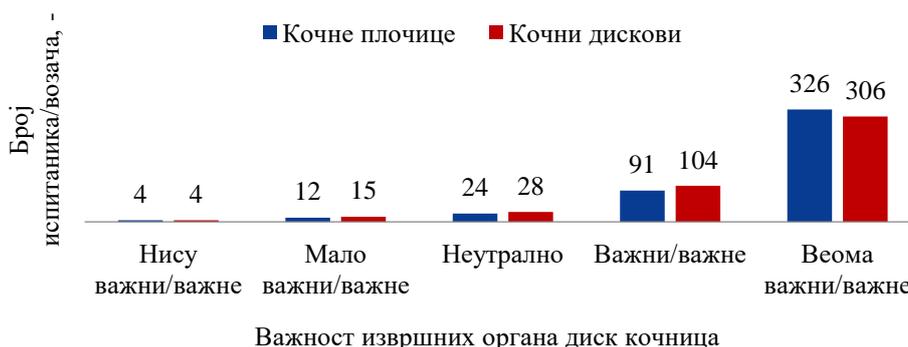
Међутим, колико год да постоје уређаји који ће указивати на неисправност неког система на возилу, постоји група људи која ће то обавештење игнорисати, што је и доказано овим питањем, слика 5.12. Информацију са контролног индикатора занемарило би њих 4,4%. Број испитаника који би одмах проверио у чему је проблем је 336, односно 73,5%. Постоји и једна група испитаника која би након извесног времена реаговала уколико би приметила да се систем понаша другачије од уобичајеног (21,1%). Овим је доказана трећа хипотеза да ставови возача који се односе на одржавање возила утичу на експлоатацију возила са неисправним кочним системом.



Реаговање у случају активације контролног индикатора система за кочење

Слика 5.12 Расподела одговора на питање „Уколико би Вам се активирао контролни индикатор на возилу који упозорава возача на проблем у систему за кочење: ...“

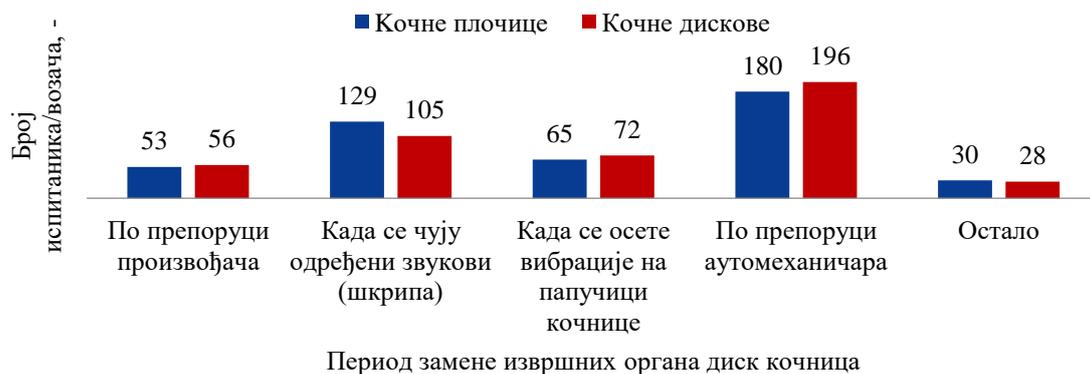
Поузданост било ког система зависи од исправности свих његових делова. Тако да и на поузданост кочног система велики утицај имају извршни органи. Аналогно томе, питање које је уследило и било део анкете, јесте да испитаник изврши оцену колико је важна исправност кочних плочица, као и кочних дискова. Ово су била два одвојена питања. На питање које се односило на кочне плочице, 326 испитаника је рекло да је веома важна исправност плочица, док је тај број нешто нижи за кочне дискове и он је износио 306, слика 5.13. Забрињавајући податак је да је један део испитаника одговорило другачије, односно да су мало или нису важне.



Слика 5.13 Расподела одговора на питање „Оцените колико је важна исправност кочних плочица у систему за кочење“

Питања која су даље уследила јесу питања која су се односила на период замене кочних плочица и кочних дискова, као и одабир истих. Период замене извршних органа кочног система може бити или по препоруци произвођача, аутомеханичара, када возач примети промене у раду самог система или сасвим нешто сасвим друго. Највећи број људи се ослања на препоруке аутомеханичара када је реч о периоду замене, затим на

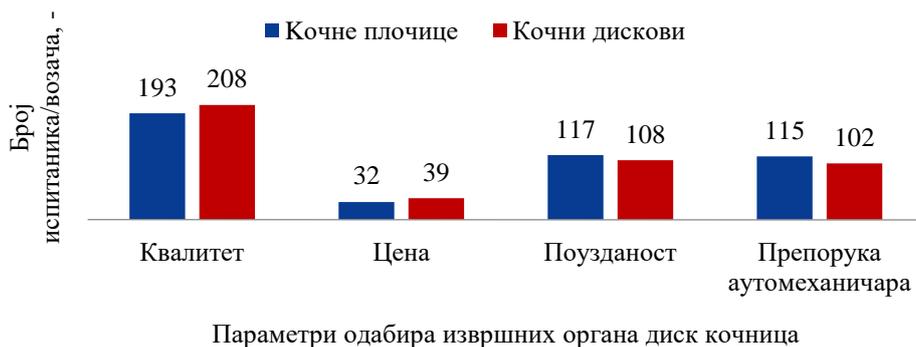
другом месту су одређени звукови који се јављају у току рада, а одмах иза њих следе вибрације које се могу осетити на педали кочнице (слика 5.14). На четвртном месту се налази препорука произвођача, а на петом је остало. Наравно, када се ради о препорукама произвођача, то је јако дискутабилно. Није исто када се возило највише експлоатише по аутопуту или по путевима са променљивим ограничењима. Оно што је битно за возача, јесте да се држи препорука произвођача или аутомеханичара, али када примети да нешто није у реду, одмах изврши проверу и, ако је потребно, да замени делове.



Слика 5.14 Расподела одговора на питање „*Колико често мењате кочне плочице/кочне дискове на возилу?*“

Сликом 5.15 приказани су резултати одговора на два анкетна питања, и то: „*Приликом одабира кочних плочица/кочних дискова, битан Вам је:...*“. Испитаници су могли да се изјасне који је критеријум по њима пресудан за одабир. Критеријуми који су били дати су: квалитет, цена, поузданост или препорука аутомеханичара. Поређење је направљено између два типа делова и то кочне плочице (плаво) и кочни дискови (црвено), као би се утврдило ком елементу придају већи значај. Испитаницима је квалитет најважнији фактор и када су у питању кочне плочице и када су у питању кочни дискови, али је дата мала предност кочним дисковима (208) у односу на кочне плочице (193). Цена је најмање важна у односу на остале наведене критеријуме, али ипак нешто битнија код кочних дискова, него код кочних плочица. Када је реч о поузданости, кочне плочице имају вишу оцену (117) у односу на дискове (108). Препорука аутомеханичара такође је веома важна, али возачи ће пре послушати савет аутомеханичара при одабиру кочних плочица, него кочних дискова. Резултати јасно показују да су квалитет и поузданост кључни фактори при избору кочних плочица, а најмање пажње се поклања цени. Такође, препорука стручњака игра значајну улогу, посебно код избора кочних плочица.

Данас, при замени кочних дискова постоји могућност обраде старих дискова, наравно ако дебљина контактне површине кочног диска остаје у прописаним границама и након обраде. Зато је уследило питање шта би испитаник урадио уколико би се јавила потребна за заменом кочних дискова - да ли би заменили дискове куповином нових, али скупљих, заменили дискове куповином нових, али јефтинијих, обрадили старе дискове или купили половне. Већина испитаника је на ово питање одговорила да им цена није важна, када је у питању замена дискова. Нове и скупље дискове би купило 68% испитаника, за нове али јефтиније дискове приликом замене би се одлучило 19% испитаника. Обраду старих дискова би урадило 85% испитаника, док би се за куповину половних дискова одлучило 4,4%.



Слика 5.15 Расподела одговора на питање „Приликом одабира кочних плочица, битан Вам је: ...“

5.4 Корелациона анализа

За утврђивање јачине везе између две посматране променљиве користи се коефицијент корелације. Корелациона анализа не пружа само информације о постојању и јачини везе, већ и о њеном смеру. Како би се описала повезаност променљивих, користе се варијанса, односно коваријанса. Варијанса описује варијабилност једне променљиве, док коваријанса описује како две променљиве варирају заједно. Коваријанса зависи од мерне скале и апсолутне вредности коваријансе, али се не може лако упоредити када су различита истраживања у питању. Како би се овај проблем превазишао, користи се Пирсонов (енгл. Pearson) коефицијент корелације. Пирсонов коефицијент корелације се користи када су подаци нормално распоређени и међу њима постоји линеарна зависност. Према (Вукадиновић и Поповић, 2004), Пирсонов коефицијент (r) се израчунава применом релације (5.5):

$$r = \pm \sqrt{\frac{\sum (y_r - \bar{y})^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (5.5)$$

где су:

y_r - одступање вредности од аритметичке средине,

y_i - одступање оригиналне вредности и

\bar{y} - аритметичка средина.

Међутим, када подаци нису линеарни, али је њихова веза монотона (опада или расте без промене смера) користи се Спирманов (енгл. Spearman) коефицијент корелације. Спирманов коефицијент (ρ) корелације се одређује применом релације (5.6) (Пајић, 2020):

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum D_R^2}{N_u (N_u^2 - 1)}, \quad (5.6)$$

где су:

D_R - разлика рангова за сваки пар резултата и

N_u - величина узорка.

Вредност коефицијента корелације (без обзира да ли је реч о Пирсоновом или Спирмановом коефицијенту корелације) се креће у распону од -1 до +1. Када је вредност корелације +1, то значи да све тачке леже на правој линији која има позитиван нагиб. У случају када је коефицијент корелације -1, тачке такође леже на правој линији, која сада има негативан нагиб. Када је коефицијент корелације једнак 0, то значи да између променљивих не постоји веза. Како се вредност коефицијента корелације приближава -1 или +1, то значи да веза између променљивих јача, односно када се приближава 0, веза слаби (Schober и сарадници, 2018).

У циљу бољег разумевања односа између ставова испитаника о утицају техничке исправности возила и важности кочног система за безбедност саобраћаја, спроведена је корелациона анализа. Применом Пирсоновог и Спирмановог коефицијента корелације испитивана је међусобна повезаност између више променљивих које обухватају како техничке, тако и перцептивне аспекте безбедности саобраћаја. Циљ ове анализе био је да се утврди да ли постоји статистичка значајна повезаност између ставова и искустава возача. Посебна пажња усмерена је на променљиве које се тичу оцене важности система за кочење, повезаност технички неисправних возила са безбедношћу саобраћаја, старости возила, искуства возача који су враћени са техничког прегледа услед неисправности система за кочење, улози визуелних индикатора неисправности система за кочење.

Корелације између појединих променљивих у овом истраживању су углавном слабе до умерене, по стандардима који се користе у техничко-технолошким наукама. Међутим, у складу са налазима у литератури за друштвене науке, где су такви односи очекивани због комплексности људског понашања и субјективности ставова, одређивање корелације између променљивих, односно њихово рангирање се врши на другачији начин. У овом делу истраживања ставова возача, по препоруци аутора (Cohen, 1988) , а коју је 2013. године усвојио (Field, 2013), биће коришћене вредности за интерпретацију величине ефекта (енгл. *effect size*) приказане табелом 5.8.

Табела 5.8. Тумачење вредности коефицијента корелације (Cohen, 1988; López-Martín и Ardura-Martínez, 2023)

Пирсон	Корелација	Спирман
< 0,09	Веома слаба	< 0,09
0,10 ÷ 0,29	Слаба	0,10 ÷ 0,19
0,30 ÷ 0,49	Умерена	0,20 ÷ 0,29
≥ 0,50	Јака	≥ 0,30

Критички осврт на тумачење ефеката у психологији и друштвеним наукама, дали су аутори (Funder и Ozer, 2019), који смернице из истраживања (Cohen, 1988) дефинишу као „строге“. Такође, наводи се да су вредности корелације од 0,10 до 0,30 често емпиријски подржане и теоријски релевантне и тврде да је статистичка значајност (p вредност) важна, али да се величина ефекта нпр. кроз коефицијенте корелације тумачи у зависности од контекста, а не да се ослања само на опште прагове дефинисане у истраживању (Cohen, 1988). Као пример наводе истраживање (Rosenthal, 1990) где је израчуната корелација од 0,03 између узимања аспирина након срчаног удара и превенције будућих срчаних удара, која је спречила 85 срчаних удара у узорку од 10.845 особа. Још један пример је ефекат коефицијента корелације 0,20 у области

образовања, здравља или социјалног понашања који у овим областима може бити практично врло важан. Аутори (Funder и Ozer, 2019), закључују да мањи ефекти не само да заслужују озбиљно разматрање, већ су и веродостојнији. Међутим, они не предлажу нове прагове који су фиксни, већ желе да нагласе да вредности корелације попут 0,20 или чак мање могу бити важне, уколико су статистички значајне и могу се применити у пракси.

Корелациона анализа је примењена у циљу утврђивања ставова возача (добијени путем анкете) који су у корелацији са системом за заустављање (кочење) и техничком неисправношћу возила. Како би се могла одредити корелација, понуђеним одговорима се додељује бројна вредност. Затим применом софтвера *IBM SPSS Statistics* су добијени коефицијенти корелације.

Уколико испитаници више цене важност кочног система, вероватније је да ће сматрати да технички неисправна возила представљају већу опасност по безбедност саобраћаја. Повезаност је умерена према табели 5.9 (Пирсонов коефицијент корелације је 0,345**), стабилна и статистички значајна (означена са две звездице), што значи да је статистички значајна на нивоу 0,01, што је врло поуздан резултат, табела 5.8. Такође, ниво значајности корелације се тестира у оба смера што је приказано у оквиру табеле 5.8 у колони *Sig. (2-tailed)*, а што заправо представља позитивна и негативна одступања од нуле (Hayes, 2025). Оно што је занимљиво јесте повезаност између ставова возача о значају кочног система и тога да ли су некада били враћени са техничког прегледа услед његове неисправности. Возачи који нису били враћени са техничког прегледа више препознају значај кочног система (према Пирсоновом коефицијенту -0,105*), ниво значајности овог резултата је 0,05. Ово показује да перцепција безбедности може бити резултат усвојених превентивних навика. Испитаници који сматрају да неисправна возила представљају претњу по безбедност саобраћаја, мање придају значај контролним индикаторима јер више верују у правовремене техничке прегледе него у касне визуелне сигнале, попут активирања контролних индикатора. Њихова повезаност је потврђена Пирсоновим коефицијентом -0,187** са аспекта система за кочење и коефицијентом корелације -0,232** са аспекта техничке неисправности, који су на истом нивоу (слаба веза), али су статистички значајни на нивоу 0,01. Возачи сматрају да је благовремена и редовна контрола возила ефикаснији и безбеднији приступ од ослањања на сигнале који представљају део корективног, односно касног реаговања на већ настао проблем.

Табела 5.9 Корелациона анализа (Пирсон) система за кочење и техничке неисправности возила са другим анкетним параметрима

Оцените колико је сваки од наведених система/фактора важан за безбедно учешће у саобраћају?	Систем за заустављање (кочење)			Технички неисправна возила		
	Пирсонова корелација	Sig. (2-tailed)	N	Пирсонова корелација	Sig. (2-tailed)	N
Оцените колико је сваки од наведених система важан за безбедно учешће у саобраћају? [Систем за заустављање (кочење)]	-	-	457	0,345**	0	457
Оцените колико сваки од наведених фактора утиче на безбедно учешће у саобраћају? [Технички неисправна возила]	0,345**	0	457	-	-	457

Табела 5.9 (наставак)

Оцените колико је сваки од наведених система/фактора важан за безбедно учешће у саобраћају?	Систем за заустављање (кочење)			Технички неисправна возила		
	Пирсонова корелација	Sig. (2-tailed)	N	Пирсонова корелација	Sig. (2-tailed)	N
Да ли сматрате да неисправност кочног система може да допринесе повећању последица саобраћајне незгоде?	0,007	0,889	457	-0,089	0,057	457
Колико се слажете са следећом тврдњом: Старост возила има утицаја на поузданост система за кочење.	0,07	0,137	457	-0,006	0,904	457
Да ли сте некада били враћени са техничког прегледа због неисправности кочног система?	-0,105*	0,024	457	-0,065	0,164	457
На дужину пута кочења, по Вашем мишљењу, највише утиче:	-0,072	0,126	457	-0,024	0,605	457
На који временски период проверавате исправност система за кочење?	-0,064	0,174	457	-0,079	0,093	457
Уколико би Вам се активирао контролни индикатор на возилу који упозорава возача на проблем у систему за кочење:	-0,187**	0	457	-0,232**	0	457
Да ли је један од узрок настанка саобраћајне незгоде била неисправност кочног система?	0,009	0,842	457	0,037	0,428	457
**. Корелација је значајна на нивоу од 0,01 (двострана).						
*. Корелација је значајна на нивоу од 0,05 (двострана).						

Према Спирмановој скали, која се користи када подаци нису нормално распоређени, приказана је монотона веза. Иако нешто слабија него код Пирсона, повезаност код Спирмана (кофицијент корелације 0,286**, табела 5.10), је и даље умерена (на граници да пређе у јаку везу) и поуздана, што потврђује налаз из прве анализе да што више испитаници цене важност кочног система, вероватније је да ће сматрати да експлоатација технички неисправних возила представља ризик по безбедност саобраћаја. Пошто обе методе указују на сличан ниво повезаности, може се тврдити да постоји умерена статистички значајна веза између процене важности кочног система и свести о утицају техничке неисправности на безбедност саобраћаја. Возачи који сматрају да је кочни систем веома важан за безбедност, истовремено препознају и да технички неисправна возила представљају ризик, што потврђује постојање повезаности између перцепције и разумевања ризика у пракси. Испитаници који технички неисправна возила виде као опасност у оквиру безбедности саобраћаја, више се ослањају на редовне техничке прегледе, него на визуелне сигнале попут активирања контролних индикатора, те им придају мањи значај, према коефицијенту корелације - 0,195**, који показује слабу везу, али статистички значајну везу, када је систем за кочење у питању. Уколико се посматра веза између контролног индикатора и технички неисправних возила, она је умерена (кофицијент корелације -0,267**), али статистички значај је на нивоу 0,01. Овим је и према Пирсону и према Спирману потврђено да возачи сматрају да је благовремена и редовна контрола возила ефикаснији и безбеднији приступ од ослањања на сигнале који су део касног (корективног) реаговања на већ настао проблем.

Табела 5.10 Корелациона анализа (Спирман) система за кочење и техничке неисправности возила са другим анкетним параметрима

Оцените колико је сваки од наведених система/фактора важан за безбедно учешће у саобраћају?	Систем за заустављање (кочење)			Технички неисправна возила		
	Спирманова корелација	Sig. (2-tailed)	N	Спирманова корелација	Sig. (2-tailed)	N
Оцените колико је сваки од наведених система важан за безбедно учешће у саобраћају? [Систем за заустављање (кочење)]	-	-	457	0,286**	0	457
Оцените колико сваки од наведених фактора утиче на безбедно учешће у саобраћају? [Технички неисправна возила]	0,286**	0	457	-	-	457
Да ли сматрате да неисправност кочног система може да допринесе повећању последица саобраћајне незгоде?	-0,034	0,469	457	-0,068	0,148	457
Колико се слажете са следећом тврдњом: Старост возила има утицаја на поузданост система за кочење.	0,054	0,249	457	0,046	0,329	457
Да ли сте некада били враћени са техничког прегледа због неисправности кочног система?	-0,089	0,056	457	-0,084	0,072	457
На дужину пута кочења, по Вашем мишљењу, највише утиче:	-0,083	0,076	457	-0,045	0,334	457
На који временски период проверавате исправност система за кочење?	-0,024	0,615	457	-0,023	0,628	457
Уколико би Вам се активирао контролни индикатор на возилу који упозорава возача на проблем у систему за кочење:	-0,195**	0	457	-0,267**	0	457
Да ли је један од узрок настанка саобраћајне незгоде била неисправност кочног система?	-0,006	0,899	457	-0,002	0,967	457
**. Корелација је значајна на нивоу од 0,01 (двострана).						
*. Корелација је значајна на нивоу од 0,05 (двострана).						

6. ПРИКАЗ И АНАЛИЗА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ДОБИЈЕНИХ РЕЗУЛТАТА

Приказ и анализа експериментално добијених резултата биће дате у оквиру овог поглавља, а којима ће бити утврђено који од параметара кочења има највећи, односно најмањи утицај на успорење, пут кочења и *MFDD*-а.

6.1 Приказ и дискусија резултата спроведених експерименталних испитивања

Процес кочења, симулиран је након убрзавања до жељене брзине и спроведен је за све тестове: проширени тест са константном почетном брзином, проширени тест са константним кочним притиском и проширени тест понављања када је модул за ограничавање максималног успорења активан и када није. Поред ових побројаних тестова извршени су и тестови испитивања у зависности од максималног граничног успорења. Кочни дискови и кочне плочице које су коришћене приликом испитивања су нове, које су пре почетка испитивања уходане.

6.1.1 Проширени тест са константном почетном брзином

Проширени тест са константном почетном брзином (ТКПБ) представља праћење: разлике¹⁸ температуре на наилазном делу спољашње кочне плочице (у даљем тексту кочне плочице), јер је на том месту температура највећа, времена кочења, пута кочења, успорења и потпуног развијеног средњег успорења (*MFDD*), при чему је вариран притисак у кочној инсталацији. Брзина у тренутку активирања кочнице износила је 100 km/h и симулирано је интензивно кочење до потпуног заустављања (брзина је 0 km/h). Све је ово је спроведено за процес кочења када модул за ограничење максималне вредности успорења није био активан. Резултати тестова приказани су у табели 6.1.

Табела 6.1 Резултати теста ТКПБ

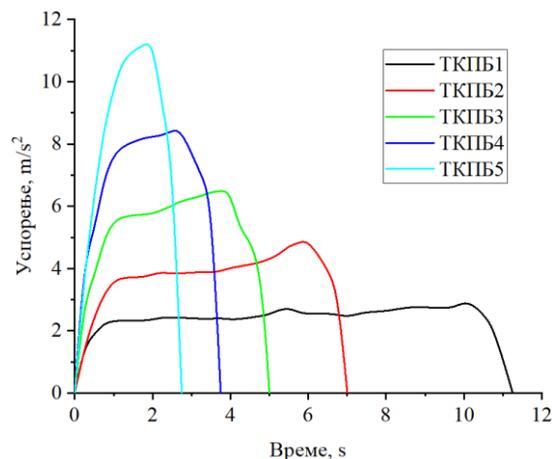
Тест	p_h , МПа	t_k , s	S_k , m	$MFDD$, m/s ²	d_{avg} , m/s ²	ΔT , °C
ТКПБ1	1	11,25	167,05	2,34	2,35	4,86
ТКПБ2	2	7,25	112,03	3,42	3,51	2,95
ТКПБ3	3	5,00	75,75	5,16	4,88	2,44
ТКПБ4	4	3,70	55,57	6,92	6,20	2,17
ТКПБ5	5	2,93	46,44	8,44	7,13	1,50

Пораст притиска у кочној инсталацији од 1 МПа до 5 МПа условио је скраћење пута кочења за 3,6 пута, као и времена кочења (Bošković и сарадници, 2024a). Такође, може се уочити и пораст *MFDD*-а са 2,34 m/s² на 8,44 m/s² и средње вредности успорења са 2,35 m/s² на 7,13 m/s². Одступање *MFDD*-а у односу на средњу вредност успорења је врло мало на почетку (за први тест испитивања када је кочни притисак био 1 МПа), да би на самом крају (за последњи тест испитивања, када је кочни притисак био 5 МПа) одступање било веће. Разлог је тај што се потпуно развијено успорење посматра у фази

¹⁸ Разлика температуре представља разлику на крају процеса кочења и у тренутку активирања кочнице.

када нема значајних промена силе кочења, односно успорење је скоро константно током посматраног временског интервала. Највећи пораст температуре референтне кочне плочице је за најмању вредност притиска у кочној инсталацији и износио је 4,86 °C. Ово је последица потребног времена да се заустави симулирано возило (што је дуже време кочења, дуже је деловање силе трење, па је самим тим и пораст температуре већи). На основу овога, може се закључити да је најповољнија вредност притиска у хидрауличкој инсталацији 5 МПа, јер су при том притиску *MFDD* и средња вредност успорења највећи, пут кочења најкраћи, а пораст температуре најмањи. Из претходно наведеног се може извести закључак, да са повећањем притиска у кочној инсталацији пут кочења је краћи. Посматрајући вредности *MFDD*-а, као и средњу вредност успорења, са порастом притиска поменуте величине су порасле. Ово је добро са аспекта безбедности саобраћаја, јер доводи до смањења пута кочења. Међутим, повећање вредности успорења може бити неповољно са аспекта удобности путника. Такође, неповољно утиче и на стабилност возила.

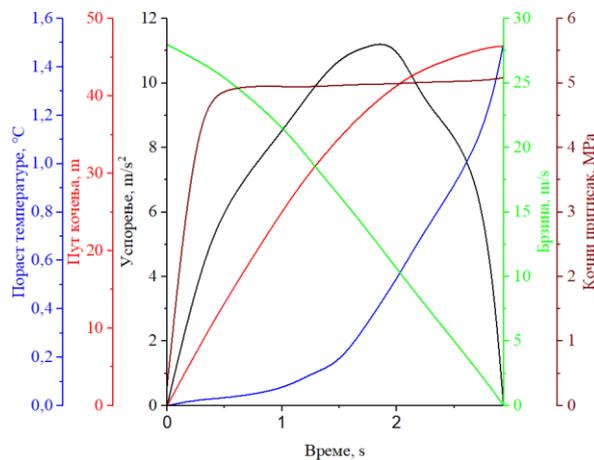
Понашање успорења од теста до теста се разликује, слика 6.1. Што је већа вредност кочног притиска, део криве која представља пораст успорења је стрмија. Међутим, пораст успорења при притиску од 1 МПа и 2 МПа, имају исти нагиб. Једина разлика између ова два притиска је што успорење за 2 МПа наставља и даље да расте, у односу на тест када је кочни притисак био 1 МПа. Исто понашање успорења се види и за вредности притиска 4 МПа и 5 МПа. Пораст успорења за вредност притиска од 3 МПа је између њих. Посматрајући криву успорење за тест ТКПБ1, када достигне своју максималну вредност, успорења је готово константно током целог трајања процеса кочења. При овом тесту, вредност успорења је најмања, што за последицу има дужи пут кочења. Са повећањем притиска у кочној инсталацији повећава се и сила кочења, а успорење достиже веће вредности и брже расте. Највеће успорење постигнуто је за тест ТКПБ5, где возило веома брзо достиже максималну вредност успорења од око 11 m/s². Такође, при тесту ТКПБ5 пут кочења је најкраћи.



Слика 6.1 Упоредни приказ успорења за тестове ТКПБ1-ТКПБ5

Сликом 6.2 дат је дијаграмски приказ резултата теста ТКПБ5, који се показао као најповољнији, јер обезбеђује најефикасније и најбрже кочење са најкраћим путем кочења и највећом вредношћу успорења. Ово обезбеђује безбедније кочење и добру термичку стабилност (за случај када постоје више узастопних кочења при оваквим условима рада), који су кључни фактори за оптималан рад кочница у реалним условима. Када модул за ограничење успорења није активан, пад брзине се може поделити у два сегмента. Први сегмент заправо представља спорији пад брзине, што је

последича пораста притиска у кочној инсталацији. Када се достигне максимални притисак у кочној инсталацији, брзина има већи пад и од тог тренутка брзина има готово линеаран пад. Тако да се на дијаграму може уочити „колено“, које заправо означава прелазну фазу у промени пада брзине.



Слика 6.2 Дијаграмски приказ резултата теста ТКПБ5

Други случај испитивања је извршен при истим условима испитивања, само што је у овом случају био активан модул за ограничење максималног успорења. Модул за ограничење максималног успорења деактивира кочни систем када успорење достигне вредност $5,75 \text{ m/s}^2$. Резултати тестова ТКПБ_{М3ОМУ} приказани су табелом 6.2.

Табела 6.2 Резултати тестова ТКПБ_{М3ОМУ}

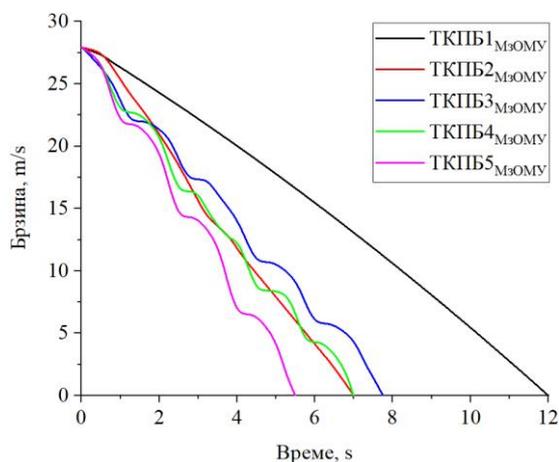
Тест	p_h , МПа	t_k , s	S_k , m	$MFDD$, m/s^2	d_{avg} , m/s^2	Број деактивација кочног система, -	ΔT , $^\circ\text{C}$
ТКПБ1 _{М3ОМУ}	1	12,00	182,85	2,13	2,27	0	6,38
ТКПБ2 _{М3ОМУ}	2	7,00	100,05	3,92	3,76	1	4,33
ТКПБ3 _{М3ОМУ}	3	7,75	110,86	3,55	3,24	4	3,55
ТКПБ4 _{М3ОМУ}	4	6,99	98,68	3,97	3,67	5	5,10
ТКПБ5 _{М3ОМУ}	5	5,50	81,10	4,85	4,59	3	5,55

Највећа вредност успорења је била током теста ТКПБ5_{М3ОМУ} и износила је $4,59 \text{ m/s}^2$ и тада је забележен најкраћи пут кочења $81,10 \text{ m}$. При највећој вредности притиска у кочној инсталацији, евидентирана је и максимална вредност $MFDD$ -а. Највећи пораст температуре је забележен за најмању вредност притиска у кочној инсталацији. Са порастом притиска у кочној инсталацији, време и пут кочења су се смањивали. Међутим, у случају теста ТКПБ2_{М3ОМУ}, пут и време кочења су били мањи у односу на тест ТКПБ3_{М3ОМУ}, а разлог томе треба тражити у броју деактивација кочног система, као и у оствареном $MFDD$ -у и успорењу. Уколико се посматра колико пута је модул деактивирао кочни систем, види се да са порастом притиска, кочни систем се више пута деактивирао, осим за случај када је кочни притисак био 5 МПа . Разлог мањег броја деактивација јесте брже постизање задатог кочног притиска, односно остварено успорење је било највеће у односу на преостала четири притиска.

Поредећи пут кочења возила када модул није активан и када је активан, у случају када је активан, пут кочења је дужи. Поређењем са доступним резултатима других

истраживача показује одступање од само 3,5%. У овом истраживању је пут кочења за брзину од 100 km/h био 81,1 m, док у истраживању (Gunawan, 2012) је био 84 m.

Задатак модула за ограничење успорења јесте да омогући постизање максималног могућег успорења возила и спречи његово прекорачење, чиме се обезбеђује стабилност и управљивост током процеса кочења. На основу дијаграма (слика 6.3), на коме су приказани резултати пет тестова (ТКПБ1_{МЗОМУ} до ТКПБ5_{МЗОМУ}), се види да са порастом притиска у кочној инсталацији долази до бржег заустављања возила. Оно што је карактеристично за тест ТКПБ1_{МЗОМУ} јесте да модул није ниједном деактивирао кочни систем и зато је пад брзине готово линеаран. Разлог зашто модул није ниједном деактивирао кочни систем, је то што успорење током читавог процеса кочења није достигло вредност која је задата пре почетка мерења. Поред тога, занимљиво је то што је време кочења у току теста ТКПБ2_{МЗОМУ} и ТКПБ4_{МЗОМУ} било приближно исто. Ово је последица тога што се кочни систем деактивирао пет пута током теста ТКПБ4_{МЗОМУ}, док у случају теста ТКПБ2_{МЗОМУ}, само једном. Посматрајући тестове од ТКПБ3_{МЗОМУ} до ТКПБ5_{МЗОМУ}, најкраће време заустављања је било у случају теста ТКПБ5_{МЗОМУ}, и тада је био најмањи број деактивација кочног система.

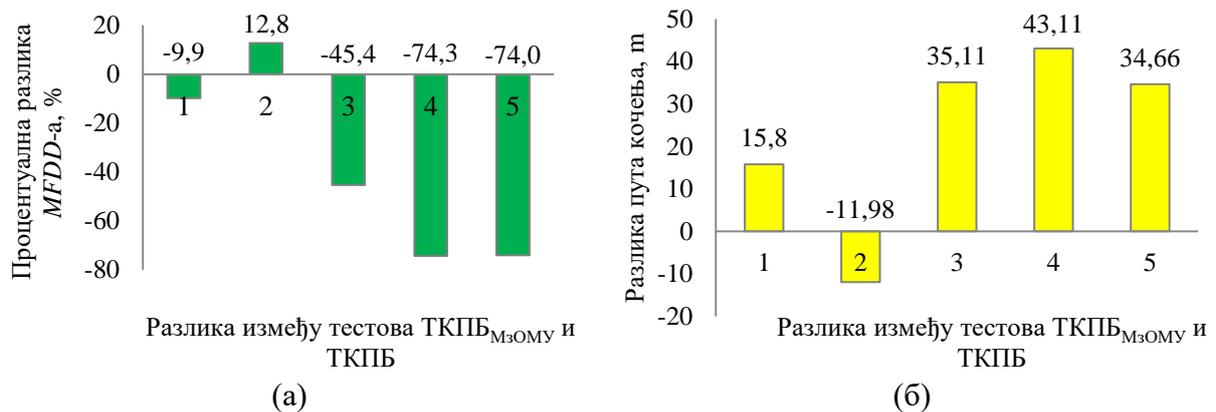


Слика 6.3 Пад брзине у зависности од примењеног теста (ТКПБ1_{МЗОМУ} -ТКПБ5_{МЗОМУ})

У случајевима када модул за ограничење успорења није активан (тестови ТКПБ1–ТКПБ5) и када због радних параметара вредност успорења током процеса кочења не достигне задату вредност (ТКПБ1_{МЗОМУ}), пад брзине је готово линеаран. Лоша страна када модул није активан јесте што вредности успорења могу да достигну јако велике вредности које подлога не може да пренесе и тада може доћи до акцидентне ситуације. Међутим, добра страна када је модул активан јесте што вредности успорења не могу да достигну критичне вредности и пут кочења је реалан. Када се каже реалан, то значи да се добијају исте вредности као и за возило које поседује ABS. У суштини, за возила са ABS-ом се каже да „пут кочења постоји“ (Mungra, 2008). У случају непостојања ABS-а, вредности успорења достижу јако велике вредности.

Како би се добила јаснија слика о томе како модул за ограничење успорења утиче на *MFDD* и пут кочења, извршено је поређење при различитим притисцима у кочној инсталацији. Упоређивањем вредности *MFDD*-а (приказани табелама 6.1 и 6.2) за тестове од ТКПБ1 до ТКПБ5 са вредностима добијеним за тестове од ТКПБ1_{МЗОМУ} до ТКПБ5_{МЗОМУ}, добијена је процентуална разлика *MFDD*-а, слика 6.4(а). На исти начин су упоређене и вредности пута кочења, и добијена је њихова процентуална разлика, слика 6.4(б). При притиску од 2 МПа у кочној инсталацији, када је модул активан, постижу се

боље перформансе, јер долази до повећања *MFDD*-а и скраћења пута кочења, што указује на ефикасније и безбедније кочење. Међутим, када је у кочној инсталацији притисак био већи од 3 МРа, веће су вредности *MFDD*-а када модул није активан, што указује на стабилнији процес кочења. Међутим, ограничењем максималног успорења у тим ситуацијама, смањује се вредности *MFDD*-а, али је обезбеђена управљивост возила, што за последицу има дужи пут кочења. Пут кочења, иако је дужи, не мора нужно да угрожава безбедност, јер је обезбеђена управљивост, односно могућност контролисања возила, при чему је вожња безбеднија и комфорнија.



Слика 6.4 Разлика (а) *MFDD*-а (б) и пута кочења између тестова ТКПБ и ТКПБ_{M3OMU}

6.1.2 Проширени тест са константним кочним притиском

Проширени тест са константним кочним притиском (ТКП) представља испитивање које се врши за различите брзине возила у тренутку активирања кочнице за симулирање процеса кочења до потпуног заустављања (крајња брзина је 0 km/h). Брзина у тренутку активирања кочнице је од изузетног значаја за безбедност саобраћаја, јер директно утиче на кинетичку енергију возила (кинетичка енергија возила расте са квадратом брзине), што значи да је потребно обезбедити већу силу кочења како би се исто возило зауставило. Поред овога, време кочења, као и пут кочења су дужи, при чему последице могу бити теже, због велике количине енергије. Ово је била полазна тачка да се тест са константним кочним притиском спроведе за два случаја. Први случај је исти као и при испитивању које је извршено у истраживању Стојановић (2021), где су варирале почетне брзине, док је други случај испитивања спроведен готово за исте услове, само што је постојао још и модул који ограничава максималну вредност успорења током процеса кочења која не сме да се прекорачи. Модул би деактивирао кочни систем када би вредност успорења била $5,75 \text{ m/s}^2$, као и у претходним случајевима. Притисак у кочној инсталацији износио је 5 МРа. Параметри кочења у зависности од почетне брзине кретања возила при константном кочном притиску од 5 МРа, без активног модула за ограничење максималног успорења приказани су табелом 6.3.

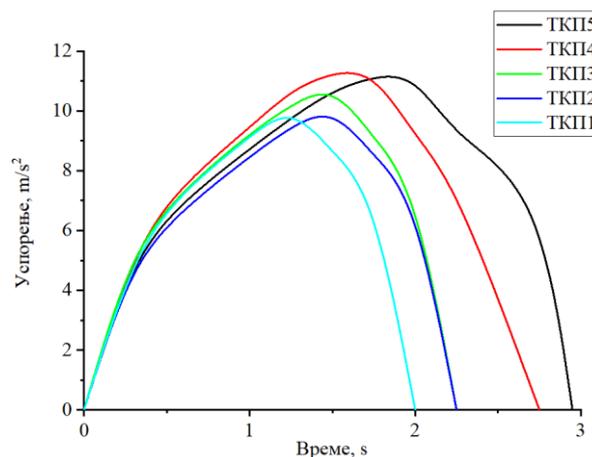
Пораст почетне брзине условио је пораст времена потребног за потпуно заустављање возила. Аналогно томе и пут кочења је 2,4 пута дужи за брзину од 100 km/h у односу на случај када се симулирано возило кретало брзином од 60 km/h. Такође, са порастом почетне брзине јавио се и пораст температуре кочне плочице и то за $1,50 \text{ }^\circ\text{C}$ за брзину од 100 km/h, што је уједно и највећи пораст температуре (Вошковић и сарадници, 2024b). Пораст *MFDD*-а прати пораст почетне брзине, међутим *MFDD* је сличан за брзине 60 km/h и 70 km/h, односно за брзине 80 km/h, 90 km/h и 100 km/h, где је највећи и износио је $8,48 \text{ m/s}^2$. Просечна вредност успорења, такође расте са порастом брзине од

које се започиње процес кочења. Дијаграмски приказ успорења за тестове ТКП1-ТКП5 дат је на слици 6.5.

Табела 6.3 Резултати теста ТКП

Тест	v_0 , km/h	t_k , s	S_k , m	$MFDD$, m/s ²	d_{avg} , m/s ²	T_{max} , °C
ТКП1	60	1,96	19,04	7,47	5,81	0,31
ТКП2	70	2,30	25,45	7,64	6,03	0,34
ТКП3	80	2,40	30,15	8,45	6,50	0,64
ТКП4	90	2,62	37,03	8,45	7,10	0,95
ТКП5	100	2,95	46,23	8,48	7,18	1,50

Посматрајући дијаграм са слике 6.5 запажа се да је облик криве која описује успорење за сваки од тестова исти. Разлике које се јављају су време трајања процеса кочења и максимална вредност успорења. Међутим, без обзира о ком тесту да се ради, у сваком тесту вредност успорења премашује вредност $1 \cdot g$. Ово је добро са аспекта брзог заустављања, али не и са аспекта стабилности возила. Ипак, велика успорења не значе и сигурније заустављање. Ове вредности су добијене у лабораторијским условима на пробном столу. Шта би се десило да се овако велике вредности добијају у реалним условима, код реалних возила? Због великих вредности успорења, стабилност и управљивост возила би биле нарушене.



Слика 6.5 Упоредни приказ успорења за тестове ТКП1-ТКП5

Други случај теста са константним кочним притиском извршен је под истим условима као и тестови ТКП, с тим што је приликом овог испитивања модул за ограничење успорења био активан. Модул за ограничење успорења је деактивирао кочни систем када успорење достигне вредност од $5,75 \text{ m/s}^2$. Резултати кочења у зависности од почетне брзине кретања симулираног возила при константном кочном притиску од 5 МРа, приказани су табелом 6.4.

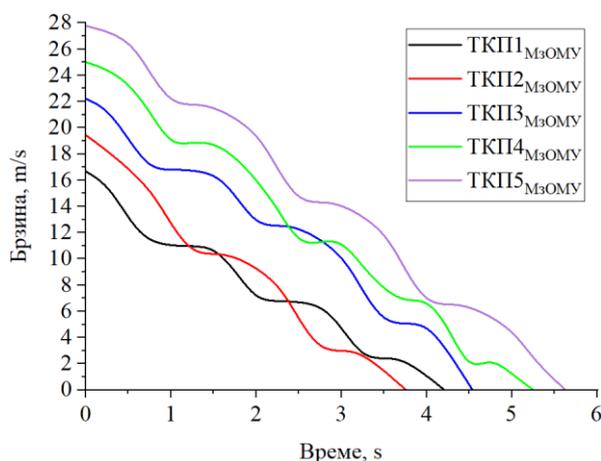
Са порастом брзине, време потребно за потпуно заустављање возила се продужава, а самим тим и пут кочења. Највећа вредност $MFDD$ -а постиже се при максималној посматраној брзини од 100 km/h, када је и највећи пораст температуре кочне плочице од $5,55 \text{ }^\circ\text{C}$. Са порастом почетне брзине, средња вредност успорења расте, осим за брзину од 90 km/h, где се јавља њен благи пад у односу на брзину од 80 km/h. Посматрано са ергономског аспекта, вредности успорења ($MFDD$ и средња вредност

успорења) када је модул активан, у односу на исте услове без активног модула, налазе се у границама удобног успорења. Међутим, када се ово посматра са аспекта безбедности, иако је постигнута стабилизација и минимализација вредности успорења, долази до продужења пута кочења, али се омогућује управљивост током процеса кочења.

Табела 6.4 Резултати теста ТКП_{М3ОМУ}

Тест	v_0 , km/h	t_k , s	S_k , m	$MFDD$, m/s ²	d_{avg} , m/s ²	Број деактивација кочног система, -	ΔT , °C
ТКП1 _{М3ОМУ}	60	4,21	32,64	4,26	3,49	3	1,61
ТКП2 _{М3ОМУ}	70	3,76	34,42	5,59	4,06	2	1,73
ТКП3 _{М3ОМУ}	80	4,54	54,78	4,51	4,19	3	2,60
ТКП4 _{М3ОМУ}	90	5,55	66,24	4,78	4,13	4	4,80
ТКП5 _{М3ОМУ}	100	5,63	81,04	4,85	4,58	3	5,55

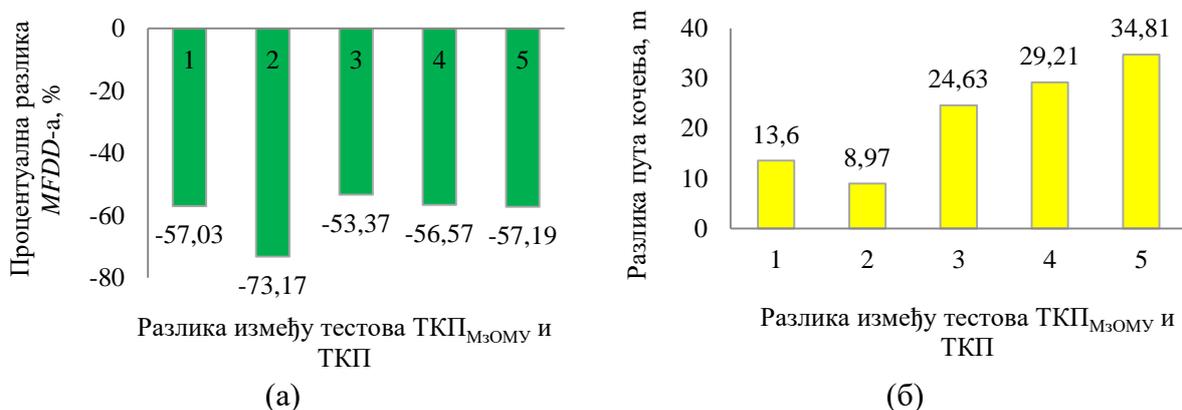
Сликом 6.6, приказана је промена брзине када је модул активан, за различите вредности брзина у тренутку активирања кочнице. Највећи број деактивација кочног система који је забележен је управо код теста ТКП4_{М3ОМУ}, при чему тада није забележено најдуже време кочења. Најмањи број деактивација кочног система био је два пута, код теста ТКП2_{М3ОМУ}, код кога је $MFDD$ било највеће, односно постигнуто је најефикасније кочење. На основу табеле 6.4 и слике 6.6 може се закључити да је време кочења било краће код случаја када је почетна брзина симулираног возила била 70 km/h, у односу на случај када се симулирано возило кретало брзином 60 km/h. Разлог краћег времена, јесте управо број деактивација кочног система, као и оствареног $MFDD$ -а и успорења.



Слика 6.6 Пад брзине у зависности од примењеног теста (ТКП1_{М3ОМУ} - ТКП5_{М3ОМУ})

Резултати добијени за пет тестова (ТКП1 – ТКП5), приказани табелом 6.3, симулирају кочење са различитим брзинама у тренутку активирања система за кочење, без активног модула. Када ове резултате упоредимо са оним у табели 6.4, где су приказани резултати за тестове са активним модулом (ТКП1_{М3ОМУ} – ТКП5_{М3ОМУ}), добијене су процентуалне разлике између $MFDD$ -а, слика 6.7(а), и разлике у путевима кочења, слика 6.7(б). У свим тестовима где модул није био активан, вредности $MFDD$ -а су биле веће, а пут кочења краћи у односу на исте посматране вредности за други случај испитивања (модул је био активан). Конкретно, код теста ТКП4, $MFDD$ је за 56,6% мањи када је модул активан, а пут кочења је за 29,2 m, дужи. Међутим, ово не значи

бољу ефикасност, јер се безбедност смањује због губитка контроле. Иако је пут кочења за први случај (модул није активан) био мањи, то је посебно опасно при већим почетним брзинама, јер краћи пут кочења у комбинацији са већим вредностима ефективне вредности успорења, може довести до проклизавања и нарушавања стабилности. Када је модул активан, *MFDD* је мање, док је пут кочења дужи. Међутим, постигнута је значајно већа управљивост и стабилност, односно контрола над возилом, која је кључна за безбедност, поготово при већим брзинама, од 90 km/h или 100 km/h.



Слика 6.7 Разлика (а) *MFDD*-а (б) и пута кочења између тестова ТКП и ТКП_{М3ОМУ}

6.1.3 Проширени тест понављања

Проширени тест понављања (ТП) представља десет узастопних циклуса понављања залетања до постизања задате брзине и затим потпуно заустављање, из којих се може утврдити како се анализирани вредности понашају. Све ово биће извршено за два случаја. Први случај када модул за ограничење максималне вредности успорења није активан, док је у другом случају модул активан, и ограничена је вредност успорења на $5,75 \text{ m/s}^2$.

У оквиру експерименталног испитивања, вариране су почетне брзине возила и износиле су 60 km/h, 70 km/h, 80 km/h, 90 km/h и 100 km/h, јер те вредности представљају уобичајене режиме кретања возила у реалним саобраћајним условима. Ове брзине значајно утичу на вредност успорења, дужину пута кочења и промену температуре, односно генерисање топлоте и користе се приликом пројектовања саобраћајница. Управо зато су ове брзине важне за анализе које се тичу безбедности саобраћаја, ефикасности кочења и доношења техничких и законодавних мера у области друмског саобраћаја

Први спроведени тест је ТП1. Табелом 6.5 приказани су резултати кочења за почетну брзину симулираног возила 60 km/h при константном кочном притиску од 5 МРа. У наредним циклусима, температура кочне плочице је у константном порасту, табела 6.5. Пут кочења је био најкраћи током последњег (десетог) циклуса, где је температура била највећа и износила је $89,80 \text{ }^\circ\text{C}$. Током десетог циклуса вредност *MFDD*-а је била највећа и износила је $11,34 \text{ m/s}^2$, а време кочења 1,4 s, па је и средња вредност успорења била највећа и износила је $7,06 \text{ m/s}^2$.

Параметри кочења за почетну брзину возила 70 km/h при константном кочном притиску од 5 МРа, при чему модул за ограничење успорења није активан, дати су табелом 6.6. Најдужи пут кочења остварен је током четвртог циклуса и износио је

22,75 m, а максимална температура у том тренутку је износила 61,11 °C. Највећа вредност *MFDD*-а достигнута је током седмог циклуса и износила је 11,84 m/s², при температури од 87,70 °C, и том приликом пут кочења био је најкраћи, 16,43 m, а средња вредност успорења 7,64 m/s². Аутори (Tonguc и сарадници, 2018) су у свом истраживању при истој почетној брзини од 70 km/h, при чему систем против блокирања точкова није био активиран, добили вредности успорења 0,9 g и класификовали га као опасно. Потребно је напоменути да је овде извршено лабораторијско испитивање и да је ово успорење које точак, тачније пнеуматик, треба да оствари узимајући у обзир подлогу. Разлика у температури од првог до последњег циклуса износи 80 °C, а максимална остварена температура је 107,71 °C.

Табела 6.5 Резултати теста ТП1

Тест	Циклус	t_k , s	S_k , m	<i>MFDD</i> , m/s ²	d_{avg} , m/s ²	T_{max} , °C
ТП1	I	2,00	19,92	7,24	5,44	26,58
	II	1,75	15,34	9,36	5,67	35,83
	III	1,95	18,89	7,54	5,67	44,06
	IV	1,75	17,55	8,04	6,34	52,69
	V	1,75	15,86	8,98	5,64	59,81
	VI	1,50	14,14	10,04	6,47	66,69
	VII	1,75	15,39	9,31	5,62	73,27
	VIII	1,45	12,80	11,19	6,82	78,98
	IX	1,75	17,07	8,43	5,91	84,66
	X	1,40	12,58	11,34	7,06	89,80

Табела 6.6 Резултати теста ТП2

Тест	Циклус	t_k , s	S_k , m	<i>MFDD</i> , m/s ²	d_{avg} , m/s ²	T_{max} , °C
ТП2	I	2,20	22,10	8,65	6,08	27,74
	II	1,95	22,65	8,34	6,37	39,21
	III	1,95	21,75	8,85	6,76	50,59
	IV	2,00	22,75	8,52	6,65	61,11
	V	1,85	19,66	9,78	6,87	70,54
	VI	1,57	16,47	11,75	7,25	79,53
	VII	1,53	16,43	11,84	7,64	87,70
	VIII	1,70	19,62	9,85	7,06	94,39
	IX	1,68	19,25	10,05	7,20	101,59
	X	1,70	20,20	9,64	7,12	107,71

Табелом 6.7 приказани су параметри кочења за почетну брзину возила 80 km/h са константним кочном притиском у кочној инсталацији од 5 МРа, при чему модул није активан. Највећа достигнута температура кочне плочице била је током последњег циклуса и износила је 125,11 °C. Највеће средње потпуно развијено успорење, као и максимално средње успорење, развијени су током деветог циклуса. Температура кочне плочице након деветог кочења била је 117,67 °C. Пут кочења је такође био најкраћи у деветом циклусу и износио 18,30 m, а најдужи пут кочења био је током другог циклуса (28,63 m).

Табела 6.7 Резултати теста ТПЗ

Тест	Циклус	t_k , s	S_k , m	$MFDD$, m/s^2	d_{avg} , m/s^2	T_{max} , °C
ТПЗ	I	2,28	28,37	8,80	6,53	29,12
	II	2,20	28,63	8,81	7,14	43,95
	III	2,05	24,52	10,28	7,47	57,70
	IV	1,90	22,22	11,35	7,54	70,89
	V	1,92	25,78	9,79	7,63	82,28
	VI	1,90	22,41	11,34	7,58	92,83
	VII	1,90	25,14	10,06	8,09	102,17
	VIII	1,80	23,94	10,51	8,31	109,47
	IX	1,50	18,30	13,70	8,82	117,67
	X	1,60	19,42	13,03	8,09	125,11

Током четвртог мерења где су праћени параметри кочења за почетну брзину возила од 90 km/h, без активног модула за ограничење максималног успорења, при константном притиску у кочној инсталацији (5 МПа). Најдужи пут кочења био је током трећег циклуса, а најкраћи током деветог циклуса. Током деветог циклуса забележена је максимална вредност $MFDD$ -а, 13,52 m/s^2 , као и средња вредност успорења 8,46 m/s^2 , иако није највећа, близу је границе приањања. Температура кочница сваким наредним циклусом је све већа, а максимална температура кочне плочице забележена је након десетог кочења и износила је 138,79 °C. Резултати теста ТП4 без активног модула, приказани су табелом 6.8.

Табела 6.8 Резултати теста ТП4

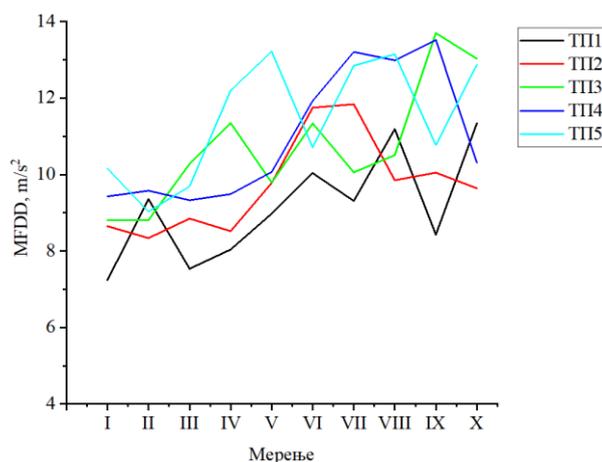
Тест	Циклус	t_k , s	S_k , m	$MFDD$, m/s^2	d_{avg} , m/s^2	T_{max} , °C
ТП4	I	2,58	33,96	9,43	7,01	28,41
	II	2,50	33,27	9,58	7,24	47,60
	III	2,40	34,11	9,33	7,40	64,28
	IV	2,28	33,49	9,49	8,38	78,83
	V	2,15	31,79	10,07	8,34	91,40
	VI	2,00	26,62	11,93	8,04	102,89
	VII	1,80	24,01	13,21	8,91	113,58
	VIII	1,82	24,74	12,99	8,93	123,38
	IX	1,72	23,68	13,52	8,46	131,81
	X	2,09	30,90	10,31	8,72	138,79

Пето мерење је спроведено тако што је процес кочења започет када је почетна брзина симулираног возила била 100 km/h, без активног модула за ограничење максималног успорења, а притисак у кочној инсталацији износио је 5 МПа. Најкраћи пут кочења евидентиран је током петог циклуса и износио је 29,43 m. Током петог циклуса, се може уочити да је највећа вредност $MFDD$ -а и то 13,22 m/s^2 . Ова вредност прелази препоручену вредност. Иако је вредност $MFDD$ -а мања него за ТКП4 и даље постоји проблем са ергономског аспекта. Максимална забележена температура кочне плочице је 160,30 °C, табела 6.9.

Табела 6.9 Резултати теста ТП5

Тест	Циклус	t_k , s	S_k , m	$MFDD$, m/s^2	d_{avg} , m/s^2	T_{max} , °C
ТП5	I	2,62	38,19	10,16	7,88	29,90
	II	2,75	43,18	9,03	7,49	52,44
	III	2,52	40,27	9,69	8,79	72,18
	IV	2,17	32,27	12,20	8,80	87,30
	V	1,99	29,43	13,22	8,90	104,21
	VI	2,21	36,60	10,71	8,90	119,13
	VII	2,05	30,23	12,85	8,67	131,41
	VIII	1,98	29,52	13,15	8,94	142,31
	IX	2,25	36,36	10,77	8,57	151,21
	X	2,03	30,25	12,87	8,70	160,30

Вредности $MFDD$ -а током десет циклуса мерења за пет различитих тестова кочења, приказане су сликом 6.8. Уочава се да са порастом почетне брзине расте и вредност $MFDD$ -а. При мањим почетним брзинама, тренд је такође осцилирајући, али не са наглим пиковима. Уколико се посматрају сви тестови, тренд $MFDD$ -а се на почетку благо повећава, али се вредности у средњим и каснијим циклусима нагло повећавају, а током десетог циклуса опадају, осим за тест ТП5. Велике вредности $MFDD$ -а указују на повећану ефикасност процеса кочења, чак и при високим вредностима температуре, јер температура расте са повећањем броја циклуса кочења. Како се почетна брзина повећава, вредности $MFDD$ -а расту, при чему код почетних брзина преко 80 km/h достиже и вредности изнад 13 m/s^2 . Иако то указује на високу ефикасност кочења, такве вредности могу довести до прекомерног оптерећења кочног система, губитка приањања и нестабилности возила. Тестови ТП4 и ТП5, који обухватају највеће брзине, имају нешто уједначеније вредности, али и даље прилично велике, што значи да је систем у тим условима ефикасан, али потенцијално нестабилан. Овакав образац указује да, иако систем остварује велике силе кочења, стабилност је нарушена.



Слика 6.8 Упоредни приказ $MFDD$ -а за тестове ТП1 до ТП5

Наредни тестови који су извршени су тестови где је модул за ограничење максималног успорења био активан. Сви тестови су извршени за исте услове као и претходних пет, с тим што је једина разлика управо у постојању модула који ограничава максимално успорење које симулирано возило не сме да прекорачи у току процеса испитивања.

Исход ових тестова јесте утицај модула на време кочења, пут кочења, *MFDD*, средње успорење и остварене температуре на крају сваког циклуса.

Први тест који је спроведен јесте тест ТП1_{М3ОМУ}, код кога су посматране вредности током процеса кочења за почетну брзину 60 km/h при константном кочном притиску од 5 МПа. Резултати овог теста приказани су у табели 6.10. Најкраћи пут кочења забележен је током последњег (десетог) поновљеног циклуса кочења, током кога су и *MFDD* и средња вредност успорења највеће, а модул за ограничење максималног успорења је два пута деактивирао кочни систем. У току овог теста може се запазити да је вредност *MFDD*-а у неким циклусима већа од дефинисане. Разлог томе јесте што и када се кочни систем деактивира, потребно је да прође одређено време да притисак у кочној инсталацији падне. Такође, током десетог циклуса забележена је максимална температура која је износила 97,82 °С, али време кочења није било најкраће. Ова температура је такође одговорна за остварену вредност *MFDD*-а. Изводи се закључак да се најкраће време кочења остварује у случају када модул за ограничење максималног успорења најмање пута деактивира кочни систем. Најмањи број деактивација кочног система забележен је током другог циклуса, модул је једанпут деактивирао кочни систем. Највећи број активација модула је био током петог и седмог циклуса и тада је забележено по три деактивације кочног система.

Табела 6.10 Резултати теста ТП1_{М3ОМУ}

Тест	Циклус	t_k , s	S_k , m	<i>MFDD</i> , m/s ²	d_{avg} , m/s ²	Број деактивација кочног система, -	ΔT , °С
ТП1 _{М3ОМУ}	I	3,50	29,21	4,93	3,93	2	28,93
	II	2,75	24,03	5,92	4,10	1	38,39
	III	3,00	29,02	4,99	3,79	2	48,44
	IV	3,50	28,04	5,27	3,98	2	58,33
	V	3,40	28,28	5,04	3,71	3	66,24
	VI	3,00	26,29	5,38	3,80	2	74,27
	VII	3,50	30,67	4,62	3,69	3	80,03
	VIII	2,96	23,75	5,90	4,46	2	86,12
	IX	3,15	28,71	4,86	4,11	2	90,94
	X	2,91	22,28	6,36	4,47	2	97,82

При почетној брзини од 70 km/h и притиску од 5 МПа у кочној инсталацији, максимална температура кочне плочице на крају испитивања износила је 116,05 °С, табела 6.11. Најкраће време кочења евидентирано је током шестог циклуса понављања, када је температура била 86,41 °С, где је вредност *MFDD*-а била 5,83 m/s², што је и највећа забележена вредност уколико се посматрају сви циклуси при тесту ТП2_{М3ОМУ}. Кочни систем се највише пута деактивирао током осмог циклуса, док је највећа вредност успорења забележена у току десетог циклуса.

Резултати теста ТП3_{М3ОМУ} (табела 6.12) показују да је највећа вредност *MFDD*-а измерена у четвртном циклусу и износила је 6,52 m/s². Најмања вредност пута кочења била је током седмог циклуса и она је износила 38,20 m, при максималној вредности средњег успорења и минималној вредности времена кочења, где је модул два пута деактивирао кочни систем. У свим циклусима модул је био активан, али број деактивација кочног система се разликује од циклуса до циклуса. Највећи број деактивација кочног система је био четири, током првог и другог циклуса, а најмањи

број деактивација, током четвртог, седмог и десетог циклуса. Ефикасност кочења се мења са променом температуре, при чему већа термичка напрезања код узастопних кочења у каснијим циклусима, не доводе нужно до смањења успорења, већ чак могу указивати и на стабилност процеса кочења. Највећа температура измерена је у последњем мерењу и износила је 127,53 °C.

Табела 6.11 Резултати теста ТП2_{М3ОМУ}

Тест	Циклус	t_k , s	S_k , m	$MFDD$, m/s ²	d_{avg} , m/s ²	Број деактивација кочног система, -	ΔT , °C
ТП2 _{М3ОМУ}	I	4,21	40,02	4,78	4,14	3	30,26
	II	4,32	45,75	4,22	3,75	3	44,38
	III	4,42	42,44	4,45	3,91	3	56,86
	IV	4,12	44,01	4,29	4,06	3	67,83
	V	4,14	40,38	4,78	4,01	3	79,00
	VI	3,19	33,46	5,83	4,37	2	86,41
	VII	4,16	39,58	4,96	4,11	3	97,24
	VIII	4,44	41,00	4,75	4,56	4	105,31
	IX	3,66	34,69	5,49	4,32	3	109,61
	X	3,22	35,82	5,43	4,62	2	116,05

Табела 6.12 Резултати теста ТП3_{М3ОМУ}

Тест	Циклус	t_k , s	S_k , m	$MFDD$, m/s ²	d_{avg} , m/s ²	Број деактивација кочног система, -	ΔT , °C
ТП3 _{М3ОМУ}	I	4,93	50,29	4,91	4,06	4	34,04
	II	4,71	47,56	5,20	4,22	4	50,24
	III	4,50	51,91	4,76	4,21	3	63,98
	IV	3,51	38,90	6,52	4,76	2	76,65
	V	4,00	47,31	5,22	4,39	3	88,29
	VI	4,06	47,07	5,33	4,49	3	99,00
	VII	3,25	38,20	6,46	5,00	2	106,76
	VIII	4,74	52,43	4,71	4,25	3	115,77
	IX	4,59	45,16	5,56	4,17	3	121,22
	X	3,50	41,54	5,94	4,66	2	127,53

Резултати теста ТП4_{М3ОМУ} приказани су табелом 6.13, при чему је модул за ограничење максималног успорења у сваком циклусу деактивирао кочни систем, али различит број пута. Може се закључити да систем пружа ефикасну контролу приликом кочења. Вредности $MFDD$ -а крећу се од 4,48 m/s² до 5,93 m/s², што указује на стабилан и ефикасан процес кочења са значајним степеном успорења. Такође, просечне вредности успорења током кочења налазе се у прихватљивим границама, што потврђује стабилност система. Максимална температура расте са сваком наредним циклусом, што је очекивано због загревања фриксионих елемената који су у контакту услед поновљених тестова без принудног хлађења (кочни диск и кочне плочице се налазе у мирној средини). Температура кочне плочице достиже свој максимум у последњем циклусу и износи 137,27 °C. Модул за ограничење максималног успорења доприноси одржању перформанси система за кочење, чак и при порасту температуре кочне плочице.

Табела 6.13 Резултати теста ТП4_{МзОМУ}

Тест	Циклус	t_k , s	S_k , m	$MFDD$, m/s ²	d_{avg} , m/s ²	Број деактивација кочног система, -	ΔT , °C
ТП4 _{МзОМУ}	I	5,25	64,00	4,97	4,07	4	33,20
	II	5,27	69,83	4,48	4,26	4	50,07
	III	5,21	62,87	4,98	4,36	4	68,97
	IV	4,50	58,27	5,36	4,28	3	81,67
	V	4,75	59,10	5,43	4,53	3	98,43
	VI	5,25	60,29	5,18	4,35	4	107,32
	VII	4,36	53,33	5,86	4,62	3	116,05
	VIII	5,16	64,39	4,85	4,42	4	124,26
	IX	4,25	52,73	5,93	4,98	3	130,75
	X	4,50	62,65	5,00	4,52	3	137,27

Резултати теста ТП5_{МзОМУ} који је спроведен при почетној брзини од 100 km/h, кочном притиску од 5 МРа и активним модулом који ограничава максималну вредност успорења на 5,75 m/s², приказани су табелом 6.14. Највеће вредности средњег успорења и $MFDD$ -а, и најмањи пут кочења могу се уочити у седмом циклусу, где је температура кочне плочице износи 125,23 °C, а модул је најмање пута деактивирао кочни систем и то два пута. Највећи број деактивација кочног система и током овога теста забележен је за циклусе чије време кочења прелази 5 s, односно за пут кочења преко 70 m. Температура расте са порастом броја циклуса, да би на крају мерења била 154,15 °C.

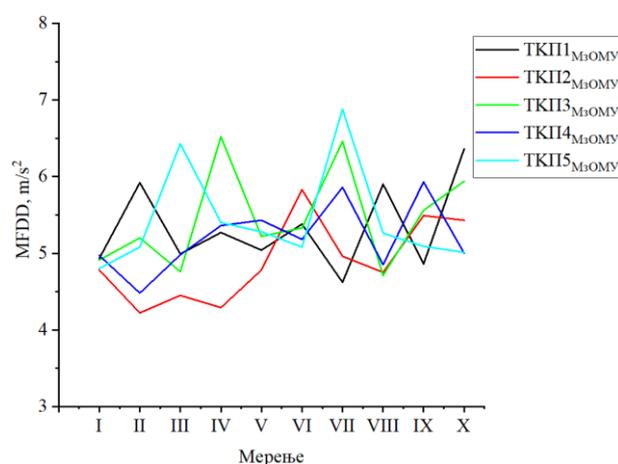
Табела 6.14 Резултати теста ТП5_{МзОМУ}

Тест	Циклус	t_k , s	S_k , m	$MFDD$, m/s ²	d_{avg} , m/s ²	Број деактивација кочног система, -	ΔT , °C
ТП5 _{МзОМУ}	I	5,75	80,46	4,80	4,36	4	32,36
	II	5,50	76,07	5,08	4,45	4	54,19
	III	4,50	60,48	6,43	4,82	3	74,82
	IV	5,00	72,04	5,40	4,68	4	90,92
	V	5,50	73,09	5,28	4,43	4	101,74
	VI	5,25	76,15	5,08	4,78	4	116,16
	VII	3,92	56,08	6,88	5,50	2	125,23
	VIII	4,61	73,44	5,26	5,12	3	134,51
	IX	5,69	75,68	5,09	4,22	4	143,95
	X	5,25	76,97	5,01	4,75	4	154,15

Кључни параметри који одређују ефикасност кочења: време кочења, пут кочења, $MFDD$, просечна вредност успорења и максимална температура диск кочница, су упоредно анализирани за тестове ТП1_{МзОМУ}, ТП2_{МзОМУ}, ТП3_{МзОМУ}, ТП4_{МзОМУ} и ТП5_{МзОМУ}. Како број узастопних кочења расте, максимална температура кочница стално расте, што указује на акумулацију топлоте. Истовремено, вредност $MFDD$ -а (која представља ефикасност успорења), је највећа где је број деактивација кочног система најмањи, јер деактивација кочног система директно утиче на време кочења, а не на пораст броја циклуса (слика 6.9). Просечна вредност успорења, са друге стране, не зависи од броја деактивације кочног система при мањим вредностима почетних

брзина (60 km/h и 70 km/h), док је код већих брзина са којих је започет процес кочења, ситуација обрнута. Наиме, при већим брзинама, средња вредност успорења је највећа, иако је број деактивација кочног система најмањи.

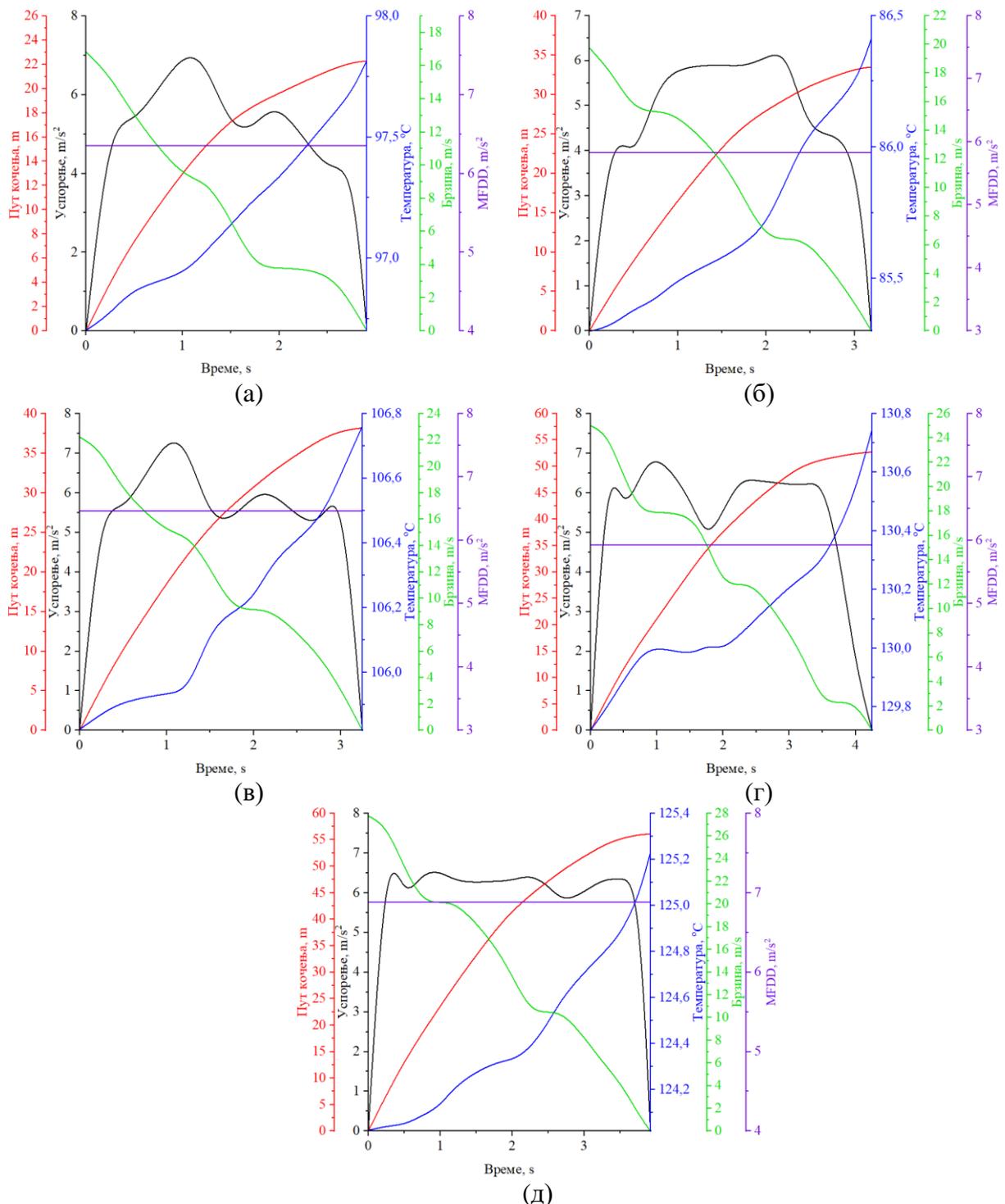
Према Члану 30 Правилника о подели моторних и прикључних возила и техничким условима за возила у саобраћају на путевима (Службени гласник РС, бр. 53/2025), возила врсте М2, М3, N2, N3, O3 и O4, а која су први пут регистрована у Републици Србији након 1. марта 2011. године, као део обавезне опреме, морају поседовати систем против блокирања тачкова. Када се у процес кочења укључи систем против блокирања тачкова, уз помоћ њега се могу контролисати и успорење и $MFDD$. Одржавањем ова два параметра у одређеним границама, може се постићи да и код узастопних кочења, температура диск кочница не прелази $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ и на тај начин се спречава прегревање кочница које би изазвало слабљење кочнице (тзв. „fade” ефекат). Примењени модул који ограничава максималну вредност успорења доприноси да пораст температуре буде мањи у односу на исте услове када модул није активан, а при том се постиже кочење које ће бити ефикасније и стабилније, посебно при већим почетним брзинама.



Слика 6.9 Упоредни приказ $MFDD$ -а за тестове ТП1_{СПБТ} - ТП5_{СПБТ}

Анализом података добијених током карактеристичних циклуса (код којих је вредност $MFDD$ -а највећа) узастопних кочења у серији од десет кочења, на слици 6.10 може се уочити да управо ови циклуси представљају најбољу ефикасност кочења у оквиру сваког теста, јер је ефективно успорење оно успорење где је $MFDD$ највеће. Ово је веома важно, јер реалне саобраћајне ситуације попут наглог кочења на низбрдицама, интензивног кочења у градским условима или приликом избегавања судара, захтевају ефикасан систем за кочење, чак и у условима преоптерећења. Кочна плочица почиње да губи ефикасност изнад $180\text{ }^{\circ}\text{C}$, док је критична вредност температуре услед које долази до драстичног пада кочног коефицијента $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Bellini и сарадници, 2024). Ово се мора узети у обзир иако се вредности температуре кочне плочице у карактеристичним циклусима не могу окарактерисати као критично високе, јер се крећу од $86,41\text{ }^{\circ}\text{C}$ у другом тесту (ТП2_{M3OMU}), слика 6.10(б), до $130,75\text{ }^{\circ}\text{C}$ у четвртном тесту (ТП4_{M3OMU}), слика 6.10(г). Треба напоменути да су ове вредности измерене на дубини од 2 mm од контактне површине кочне плочице, док на самој контактної површини могу бити више за $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Може се закључити да су вредности које се добијају у карактеристичним случајевима у границама где је ефикасност кочења највећа. Вредност температуре која се јавља у сваком од карактеристичних циклуса не угрожава рад кочница у том тренутку, али има значајну улогу у променама осталих параметара, посебно пута кочења и успорења при сваком наредном кочењу. Пораст пута кочења

прати раст температуре. У реалним условима, као што су саобраћајне гужве у градовима, овакво продужење пута кочења може апстрактну опасност да претвори у конкретну опасност.



Слика 6.10 Зависност температуре, пута кочења, *MFDD*-а и успорења током карактеристичних циклуса за тестове (а) ТП1 МЗОМУ, (б) ТП2 МЗОМУ, (в) ТП3 МЗОМУ, (г) ТП4 МЗОМУ и (д) ТП5 МЗОМУ

Пад ефикасности кочења видљив је и кроз *MFDD*. Овај параметар, који представља просечно успорење током најинтензивнијег дела кочења, у тесту ТП2МЗОМУ износио је

5,83 m/s², а у тесту ТП5_{МЗОМУ} 6,88 m/s², односно креће се управо у овим границама јер су ово минимална и максимална забележена вредност *MFDD*-а. Средња вредност успорења током кочења такође је минимална у тесту ТП2_{МЗОМУ}, односно максимална у тесту ТП5_{МЗОМУ}, слика 6.10(д). Међутим, како се брзина са које почиње процес кочења повећава, појављују се осцилације које се уочавају у успорењу које су настале као последица деактивације кочног система, који се у сваком карактеристичном циклусу деактивирао два пута, слика 6.10(а), (б), (в) и (д), осим у тесту ТП4_{МЗОМУ} где се деактивирао три пута (број степеника код криве која представља пад брзине), слика 6.10(г). Ово значи да стабилност возила није нарушена и да се кочни систем не налази у зони динамичког рада. Уочени трендови пораста температуре, продужење пута кочења, осцилације *MFDD*-а и промена успорења, током карактеристичних циклуса, представљају ране индикаторе термичког оптерећења и потенцијалног губитка ефикасности у каснијим циклусима поновљеног кочења. Управо зато, карактеристични циклус треба посматрати као граничну тачку у анализи поузданости система за кочење, када су у питању узастопна кочења. Пораст почетне брзине са које се врши кочење возила узрок је опадања перформанси услед пораста температуре, што значајно може имати утицај на безбедност саобраћаја. Зато је ограничење максималне вредности успорења веома значајно.

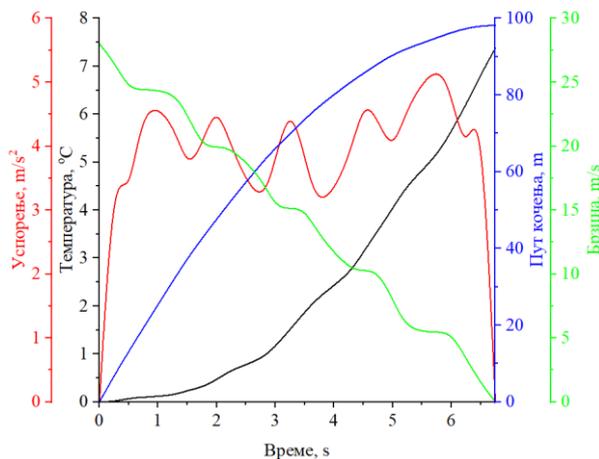
6.1.4 Тестови испитивања у зависности од максималног граничног успорења

Ограничењем максималне вредности успорења код возила има вишеструке бенефите. Модул за ограничење успорења омогућава контролисано кочење које обезбеђује управљање возилом током процеса кочења, спречавање проклизавања и побољшање стабилност возила. Међутим, поставља се питање, која је то гранична вредност успорења која може обезбедити најповољније вредности успорења и пута кочења и да ли је могуће активацијом модула смањити пут кочења. Сprovedено је пет тестова са различитим вредностима успорења, а добијени резултати приказани су табелом 6.15.

Табела 6.15 Параметри кочења за брзину у тренутку активирања кочнице 100 km/h при константном кочном притиску од 5 МРа, модул деактивира кочни систем при различитим вредностима успорења

Тест	d_z , m/s ²	t_k , s	S_k , m	$MFDD$, m/s ²	d_{avg} , m/s ²	Број деактивација кочног система, -	ΔT , °C
ТИЗМГУ1	2	6,75	98,18	4,00	3,78	5	7,38
ТИЗМГУ2	3	6,52	93,89	4,15	3,70	5	6,81
ТИЗМГУ3	4	6,48	93,61	4,15	3,72	5	6,88
ТИЗМГУ4	5	5,03	81,12	4,77	4,29	3	4,43
ТИЗМГУ5	6	4,94	73,95	5,30	4,37	3	4,78

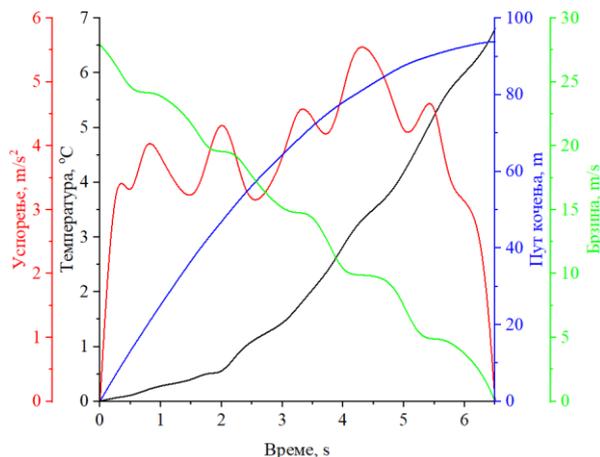
Тест ТИЗМГУ1 представља тест који је спроведен под условима дефинисаним у оквиру поглавља 3.3.2.4, табелом 3.5. Слика 6.11 приказано је успорење, пораст температуре, пут кочења и пад брзине, када је вредност граничног успорења била 2 m/s². Задато гранично успорење је јако мало и у процесу кочења успорење врло брзо достиже задату вредност, што за последицу има честу деактивацију кочног система. Током овог теста, модул је пет пута деактивирао кочни систем. Из тог разлога, овај тест се сматра најдинамичнијим тестом.



Слика 6.11 Промена температуре, успорења и пута кочења у функцији времена – тест ТИЗМГУ1

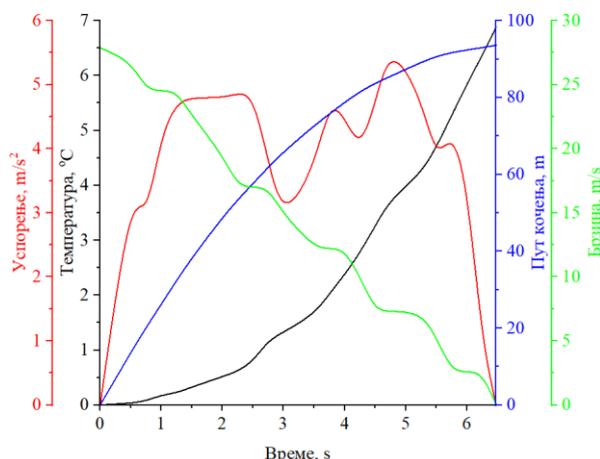
Приликом експерименталног мерења у случају када је модул активан, брзина има степенаст пад. Тај степенаст пад брзине може се приписати деактивацији кочног система, односно паду кочног притиска у кочној инсталацији. У случају када програм који управља пробним столом забележи успорење које је веће од унетог, деактивира кочни систем, услед чега симулирано возило наставља да се креће брзином која је била у тренутку деактивације кочног система. Затим, када модул забележи пад успорења, односно вредност која је нижа од унете, поново активира кочни систем. Пут кочења приликом овог теста износио је 98,18 m, а пораст температуре је био највећи у односу на остала мерења и износио 7,38 °C (табела 6.15). Карактеристично за овај тест, када се посматра пораст температуре, јесте да има степенаст пораст. Може се уочити да током процеса, када је кочни систем активиран, има блажи пораст у односу на случај када је модул деактивирао кочни систем. Разлог оваквог пораста температуре треба тражити у месту постављања давача температуре. Како је већ раније речено, давачи су постављени на дубини од 2 mm од контактне површине и потребно је време да се температура пренесе до места где је давач постављен. Пут кочења је најдужи, посматрано у односу на остале тестове, што није добро са аспекта безбедности саобраћаја. Продужење пута кочења је врло опасно, јер директно смањује могућност возила да се заустави на време у критичним ситуацијама. Што је пут кочења дужи, то је већа вероватноћа да ће доћи до судара, посебно у условима повећаног обима саобраћаја, непредвидивих препрека или изненадног успоравања других учесника у саобраћају.

Тест ТИЗМГУ2, спроведен је за почетну брзину од 100 km/h, при притиску од 5 MPa у кочној инсталацији, док је гранична вредност успорења била 3 m/s². Сликама 6.12 приказане су вредности пораста температуре, успорења и пута кочења. Вредности оствареног успорења и у овом случају имају осцилације које су последица деактивирања кочног система при достизању дефинисаног успорења. Међутим, време кочења и пут кочења скраћени су у односу на вредности добијене у току теста ТИЗМГУ1. Ово указује на ефикаснији режим кочења уз мање термичко напрезање, јер је пораст температуре мањи у односу на претходни тест. Степенести пад брзине, последица је деактивирања кочног система који се деактивирао пет пута. Како је у овом тесту успорење било ограничено на 3 m/s², према дијаграму са слике 6.12 види се да вредности успорења премашују ову дефинисану вредност. Узрок је то што и када се деактивира кочни систем, притисак у кочном систему не може тако брзо да падне и зато успорење наставља још да расте.



Слика 6.12 Промена температуре, успорења и пута кочења у функцији времена – тест ТИЗМГУ2

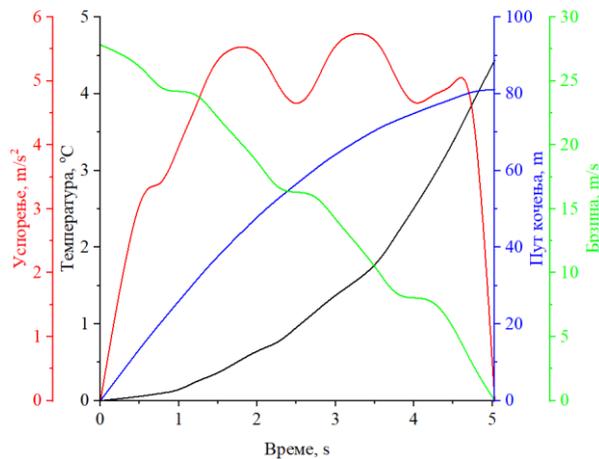
Тест ТИЗМГУ3 спроведен је за почетне услове дефинисане табелом 3.5. Могу се уочити веће варијације успорења у другој половини процеса кочења, док је почетак процеса кочења мирнији (слика 6.13). Занимљиво је да је пораст температуре већи у овом тесту у односу на тест ТИЗМГУ2. Међутим, ограничењем максималне вредности успорења на 3 m/s^2 и 4 m/s^2 , поред сличног пораста температуре, добијају се и сличне вредности пута кочења, док су вредности *MFDD*-а исте. Једино што се разликује јесу средње вредности успорења, које је током теста ТИЗМГУ3 мање у односу на добијене вредности у ТИЗМГУ2. Степенасти пад брзине, последица је деактивирања кочног система, као и у претходним случајевима, а овог пута се кочни систем деактивирао пет пута.



Слика 6.13 Промена температуре, успорења и пута кочења у функцији времена – тест ТИЗМГУ3

Током теста ТИЗМГУ4 (слика 6.14) успорење је било ограничено на 5 m/s^2 , при почетној брзини од 100 km/h и притиску у кочној инсталацији од 5 MPa . Процес кочења је знатно краћи у односу на претходна три теста. Успорење је и даље осцилаторно, али су осцилације мање. Осцилације које се јављају су последица деактивације кочног система (кочница се деактивирала три пута). Током теста ТИЗМГУ4 је забележен најнижи температурни пораст у поређењу са претходним дијаграмима, што указује на минимално термичко оптерећење кочног система. У пракси, то значи да не постоји ризик од прегревања, смањења трења или отказа система кочења, односно појаве тзв. слабљења кочнице. Овако стабилно термичко понашање је пожељно, нарочито у честим, свакодневним условима вожње. Пут кочења је најкраћи до сада забележен у

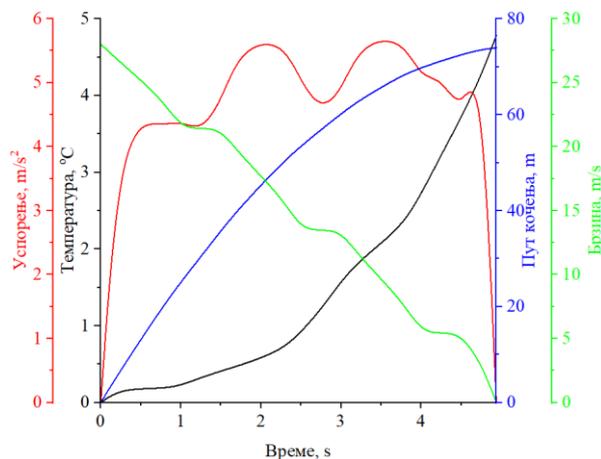
овој групи испитивања, што је добро са становишта безбедности, јер оставља више простора за реакцију у сложеним саобраћајним ситуацијама.



Слика 6.14 Промена температуре, успорења и пута кочења у функцији времена – тест ТИЗМГУ4

У последњем спроведеном тесту ТИЗМГУ5 (слика 6.15), гранично успорење износило је 6 m/s^2 . Пут кочења био је $73,9 \text{ m}$, време потребно за заустављање је 5 s и ова два параметра су најповољнија када се посматрају сви тестови са граничним успорењем. Ово је веома важно у ситуацијама када је заустављање потребно постићи у само неколико секунди, односно на ограниченом зауставном путу. Пораст температуре је нешто већи у односу на тест ТИЗМГУ4 и *MFDD* је веће, што значи да је боља искоришћеност ефективног успорења. Најважнија карактеристика овог дијаграма је интензивно успорење, уз умерен пораст температуре и релативно кратак пут кочења, што успорење чини веома стабилним. Успорење показује одређене осцилације, али не као што је био случај код тестова ТИЗМГУ1, ТИЗМГУ2 или ТИЗМГУ3. Те осцилације су резултат деактивације кочног система који се деактивирао три пута. Деактивација кочног система у пракси би значило да не може доћи до блокирања точкова и губитка стабилности. Пут кочења је $73,95 \text{ m}$, што је у складу са очекиваним резултатима при интензивном кочењу са већих почетних брзина. Ово је позитиван безбедносни индикатор, јер омогућава возачу да избегне препреку, или пак смањи последице евентуалног судара уколико до њега ипак дође. Температурни пораст је релативно низак, што значи да не може доћи до ефекта слабљења кочнице при узастопним кочењима. Тест ТИЗМГУ5 се може искористити као модел идеалног кочења у смислу безбедности, јер је кочење снажно, ефикасно, стабилно и без термичког преоптерећења у случају поновљеног кочења. Овакво понашање треба да буде циљ у дизајну савремених возила, посебно у контексту активне безбедности. Овим је заправо потврђено да је потребно ограничити максималну вредност успорења на 6 m/s^2 јер је тада пут кочења најкраћи, а температурни опсег најповољнији.

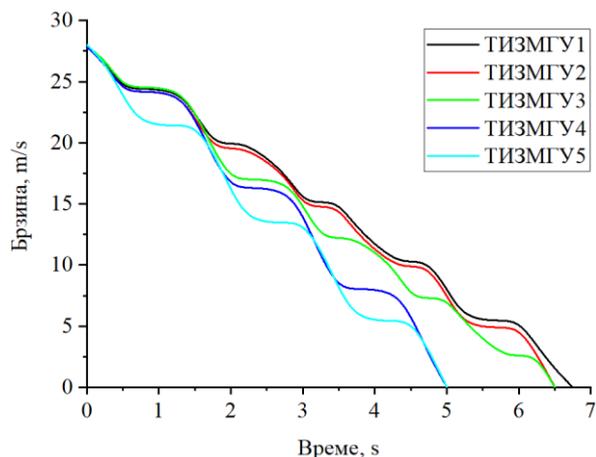
Карактеристике успорења нису само од изузетне важности за пројектовање возила, односно његових ергономских карактеристика, већ се користе и за пројектовање трака за спора возила, пројектовање раскрсница, за моделирање емисије издувних гасова возила, моделирања буке саобраћајног тока, као и саобраћајног тока генерално, потрошње горива, удобности итд. Ефикасан систем за кочење подразумева познавање фактора који имају директан утицај на његову ефикасност, а то су успорење и *MFDD*. Ефикасно кочење које се може предвидети значајно смањује ризик од настанка опасне ситуације, што директно повећава безбедност свих учесника у саобраћају.



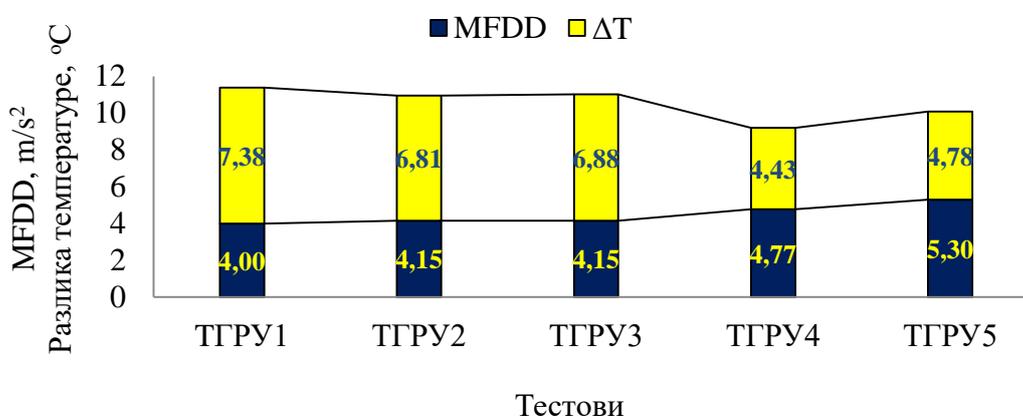
Слика 6.15 Промена температуре, успорења и пута кочења у функцији времена – тест ТИЗМГУ5

Тестови са различитим унапред дефинисаним вредностима граничног успорења (вредност успорења при којој долази до деактивације кочног система) су спроведени како би се испитало да ли и у којој мери гранична вредност утиче на понашање возила током процеса кочења. Циљ истраживања био је да се утврди да ли ниже вредности граничног успорења могу довести до раније деактивације кочног система и како таква деактивација утиче на ефикасност кочења. Упоредивањем свих вредности пада брзине (за тестове од ТИЗМГУ1 до ТИЗМГУ5), долази се до закључка да се кочни систем при мањим вредностима максималног успорења деактивира више пута (слика 6.16). За тестове ТИЗМГУ1, ТИЗМГУ2 и ТИЗМГУ3, код којих је максимална вредност успорења ограничена на 2 m/s^2 , 3 m/s^2 и 4 m/s^2 , респективно, модул за ограничење успорења је пет пута деактивирао кочни систем. Повећањем вредности максималног успорења, добија се скраћење времена кочења, а самим тим и смањени број деактивација кочног система, који је код тестова са 5 m/s^2 (ТИЗМГУ4), односно 6 m/s^2 (ТИЗМГУ5) био три. Правилно одабрана гранична вредност максималног успорења има значајан утицај на тачност и функционалност овог система. Уколико је граница успорења при којој се кочни систем деактивира превише ниска, долази до већег броја деактивације кочног система и пре него што се јави потреба за тим, што доводи до смањења ефикасности кочења и могућег збуњивања возача, као и нарушавања удобности. Са друге стране, уколико је граница превише висока, може доћи до појаве блокирања точкова пре него што се кочни систем деактивира, што може нарушити безбедност. Зато је неопходно прецизно дефинисати границу деактивације кочног система у складу са динамичким карактеристикама возила, условима на путу и циљевима система активне безбедности.

Уколико се посматра утицај пораста температуре кочних плочица на вредност *MFDD*-а, на слици 6.17 се може учити да пораст температуре има утицај на *MFDD*. Смањење пораста температуре доводи до повећања *MFDD*-а. Перформансе система за кочење могу бити нарушене јер може доћи до смањења коефицијента трења услед загревања (у случају поновљеног кочења), што доводи до смањене ефикасности кочног система. Мањи пораст температуре, са друге стране, утиче на то да се вредности *MFDD*-а повећају, што значи да је ефективно успорење у том случају веће, односно постиже се ефикасније функционисање система за кочење.



Слика 6.16 Упоредни приказ успорења за тестове ТИЗМГУ1-ТИЗМГУ5



Слика 6.17 Утицај температуре на MFDD

6.2 Анализа утицаја радних параметара на излазне величине применом Тагучи методе

Кочни систем је најзначајнији систем на возилу са аспекта безбедности, чији је задатак да успори, потпуно заустави или задржи возило у стању мировања, под различитим околностима. Годинама уназад инжењери покушавају да уз помоћ различитих, како експерименталних, тако и нумеричких метода, одреде који све радни параметри утичу на процес кочења, као и који је међу њима најутицајнији. Како би се одредила њихова зависност, данас се користе различите методе. Метода која се највише користи за одређивање зависности радних параметара, када је реч о кочницама је Тагучи метода. Тагучи методом се дефинише веза између улазних и излазних параметара, која помаже у оптимизацији параметара излаза, односно одзива. На овај начин број потребних експеримената је смањен (Kharate и сарадници, 2018).

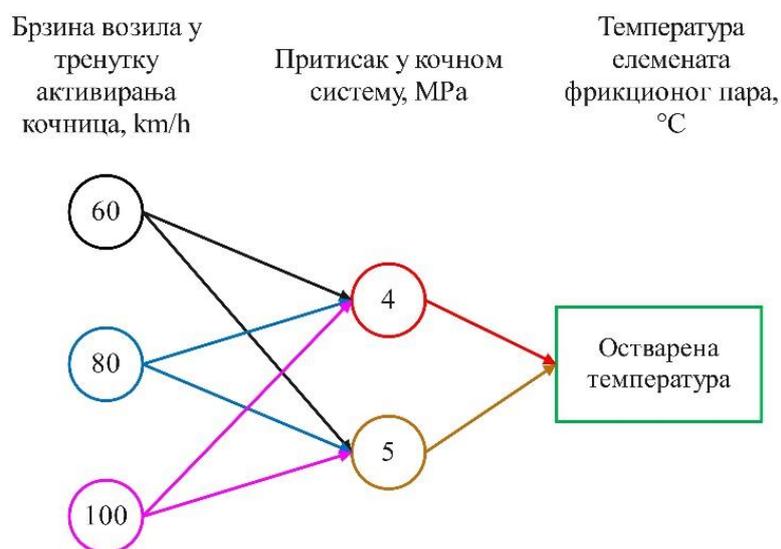
Спроведена су различита истраживања код којих је коришћена Тагучи метода за утврђивање утицаја различитих радних параметара на систем за кочење. Аутори (Kalharure и Khairnar, 2021) су Тагучи методом испитивали утицај оптерећења, брзине клизања и пречника контактне површине на брзину хабања кочних плочица. У истраживању (Vasiljević и сарадници, 2023) применом Тагучи методе дефинисан је утицај различитих параметара на концентрације честица PM_{2,5} и PM₁₀ за различите кочне плочице. Такође, аутори (Stojanović и сарадници, 2022) су истраживали како

различити параметри кочног диска (број ребара, густина, Јангов модул и Поасонов коефицијент) утичу на стварање буке кочница. Коришћењем Тагучи методе знатно је смањен број мерења, дефинисани су фактори који имају утицаја на излаз, смањено је време реализације експеримента, као и трошкови.

6.2.1 Креирање модела

Креирање модела започиње одабиром који су то фактори улазни, а који су излазни. Како су у овој докторској дисертацији радни параметри: брзина возила у тренутку активирања кочница, притисак у кочном систему и температура елемената фриксионог пара, они су заправо улазни параметри. Даље, у циљу доказивање прве хипотезе, односно да је тренд промене средњег потпуног развијеног успорења у директној вези са радним параметрима, произилази да је средње потпуно развијено успорење излаз. Тагучи методом неће бити осмишљен експеримент, већ ће се резултати добијени током проширеног теста понављања (први случај) примењивати, али за брзине 60 km/h, 80 km/h и 100 km/h. Поред тога, извршиће се још један случај лабораторијског мерења, само за случај када је кочни притисак 4 МПа. Све ово је извршено за десет узастопних циклуса кочења, при чему су прве две и последње две вредности одбачене јер не дају реалну слику. Прва два циклуса су одбачена јер су кочнице хладне, док се насупрот томе код последња два циклуса јавља прегревање кочница.

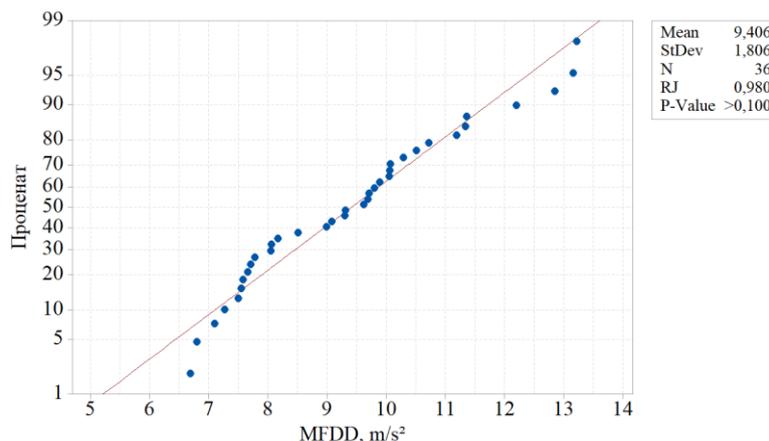
План експеримента је приказан сликом 6.18. Како се брзина возила у тренутку активирања кочница и притисак у кочном систему могу контролисати, њима су додељене конкретне вредности. Температура се не може контролисати, већ се узима она која је остварена на почетку процеса кочења. Разлог томе је што, у Лабораторији за моторна возила на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, инфраструктура лабораторије не дозвољава контролисање температуре у просторији где је пробни сто, као и могућности пробног стола. Међутим, ово се не може сматрати неким недостатком, јер се у реалним условима експлоатације температура такође не може контролисати. Из тог разлога, може се рећи да овакав тип мерења у потпуности одговара реалним режимима експлоатације. Ово је разлог зашто на слици 6.18 стоји „остварена температура“.



Слика 6.18 План експеримента

6.2.2 Доказивање нулте хипотезе

Како би се могао одредити ранг улазних параметара, као и процентуални удео сваког од параметара, први корак јесте доказивање нулте хипотезе. Нулта хипотеза у ствари представља приказ да ли излазни параметри леже дуж одређене линије, са што мањим одступањем. Доказивање нулте хипотезе се врши одређивањем p -вредности која дефинише вероватноћу да је резултат неког истраживања случајан (Мајумдер и Махешварарпа, 2023). Нулта хипотеза може да буде доказана да је тачна (p -вредност мора бити већа од 0,05), у супротном ако се нулта хипотеза не докаже као тачна добијени резултати истраживања се одбацују и не може се вршити анализа тих добијених података. Провера нулте хипотезе вршена је помоћу *Ryan-Joiner* теста који је сличан *Shapiro-Wilk* тесту. На добијеном графику (слика 6.19) вероватноће p -вредност је већа од 0,100, стога се нулта хипотеза не одбацује, јер је $p > 0,05$.



Слика 6.19 Тест нормалности

6.2.3 Рангирање улазних параметара

Применом Тагучи методе, у оквиру програма *MINITAB*, извршено је рангирање улазних параметара на ефективну вредност успорења (*MFDD*). Одређивање ранга улазних параметара је врло важно јер помаже приликом дизајна, односно приликом оптимизације система за кочење да се препозна који то параметар има највећи утицај на ефективну вредност успорења.

Највећи утицај на вредност *MFDD*-а има притисак у кочној инсталацији, на другом месту се налази брзина у тренутку активирања кочнице и на крају температура кочница, табела 6.16.

Табела 6.16. Рангирање утицаја улазних параметара на *MFDD*

Улазни параметри	Ранг утицајности
Брзина возила у тренутку активирања кочнице	2
Притисак у кочној инсталацији	1
Температура кочница	3

6.2.4 Анализа варијансе

Анализа варијансе (енгл. *Analysis of Variance*) служи за одређивање колики процентуални утицај има сваки од улазних параметара на излазни параметар. У циљу

одређивања процентуалног удела сваког од параметара, анализа се врши за ниво поузданости од 95%, односно за ниво значајности од 5%.

Највећи процентуални утицај на вредност *MFDD*-а има притисак у кочној инсталацији 42,67%. Брзина у тренутку активације кочног система има утицај од 34,30%, док температура елемената фриксионог пара има утицај од 21,96%. Анализом *F*-вредности, наглашава се значај параметра који има на одзив, односно на излазни параметар. *F*-вредност такође служи за анализирање утицаја фактора. Израчуната *F*-вредност за изабрани ниво значајности и према броју степена слободе, упоређује се са вредностима из табеле (Dodge, 2008) и уз помоћ ње се може утврдити да ли фактор има статистички значајан утицај на излаз. Фактор утиче на излаз уколико је *F*-вредност већа од вредности из табеле. Одређивање процентуалног утицаја сваког члана посебно врши се помоћу збира квадрата. Табелом 6.19 приказани су сви добијени резултати ANOVA анализом *MFDD*-а. Значај расте са повећањем *F*-вредности, тако да се долази до истог закључка, а то је да притисак има највећи утицај на вредност *MFDD*-а, затим брзина у тренутку активације кочног система и на последњем месту температура.

Табела 6.19 Резултати добијени ANOVA анализом *MFDD*-а

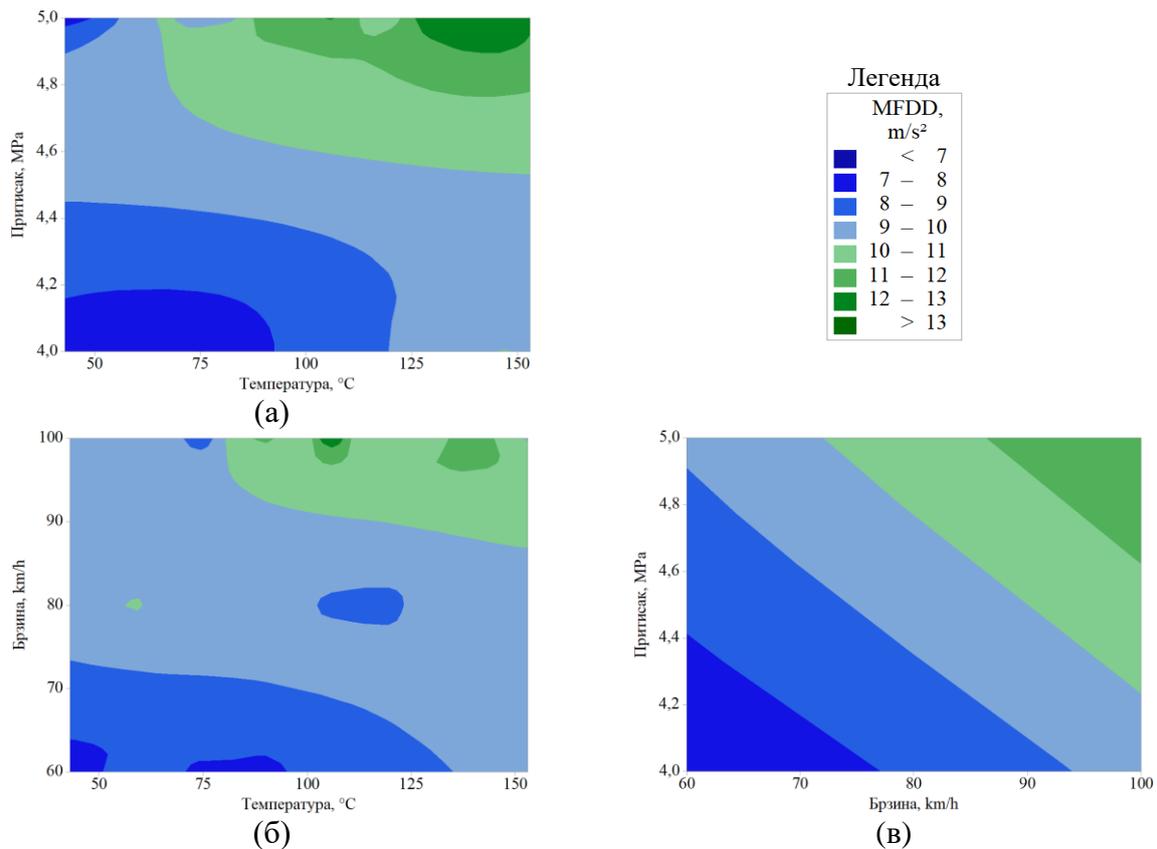
	Број степени слободе	Збир квадрата	Процентуално учешће, %	Прилагођени збир квадрата	Прилагођена средња вредност квадрата	<i>F</i> -вредност	<i>P</i> -вредност
Брзина	2	32,5700	34,30	3,1100	1,5550	8,05	0,062
Притисак	1	40,9438	43,12	9,0547	9,0547	46,87	0,006
Температура	29	20,8506	21,96	20,8506	0,7190	3,72	0,153
Грешка	3	0,5795	0,61	0,5795	0,1932		
Укупно	35	94,9439	100,00				

6.2.5 Анализа утицаја брзине возила у тренутку активирања кочнице, притиска у кочном систему и температуре елемената фриксионог пара на вредност успорења

Приказ резултата ефективног успорења возила у зависности од разматраних фактора, дат је сликом 6.20. Ефективно успорење (*MFDD*) приказано је у облику мапа. Мапама је приказана зависност *MFDD*-а од температуре и притиска у кочном систему, слика 6.20(а), брзине у тренутку активације кочног система и температуре, слика 6.20(б), и притиска у кочној инсталацији и брзине у тренутку активације кочног система возила, слика 6.20(в).

Вредност *MFDD*-а расте са порастом температуре и притиска у кочној инсталацији, слика 6.20(а). Вредност ефективног успорења је најмања при нижим температурама и високим вредностима притиска у кочној инсталацији. Утицај температуре на почетку процеса кочења и брзине у тренутку активације кочног система, директно зависи од њихових вредности. Што су вредности веће и *MFDD* је веће, односно што су мање и *MFDD* је мање, слика 6.20(б). Карактеристично је и да при средњим вредностима почетне брзине и температуре (почетна брзина око 80 km/h и температурни опсег од 110 °C и 125 °C), долази до пада *MFDD*-а. Ово указује да при поменутиим вредностима

могу да се јаве потенцијалне нестабилности процеса кочења. Сликаом 6.20(в) представљена је зависност $MFDD$ -а од притиска у кочном систему и брзине у тренутку активације кочног система. Вредности ефективног успорења расту са порастом притиска и порастом брзине са које се започиње процес кочења, где се уочава да су највеће вредности $MFDD$ -а управо при највећим вредностима притиска у кочној инсталацији и највећој почетној брзини. На овој начин остварена је максимална вредност $MFDD$ -а, међутим, његове високе вредности могу нарушити стабилност процеса кочења. Са друге стране, систем даје оптималне перформансе само у екстремним условима, док при нижим вредностима (нпр. нижа вредност брзине која је карактеристична за реалне услове експлоатације или недовољна обученост возача почетника који није педалу кочнице притиснуо до краја), ефикасност кочења може бити недовољна, чиме се директно угрожава безбедност свих ученика у саобраћају.



Слика 6.20 Дијаграмски приказ зависности ефективног успорења ($MFDD$) од: (а) температуре и притиска у кочном систему, (б) брзине у тренутку активације кочног система и температуре и (в) притиска у кочној инсталацији и брзине у тренутку активације кочног система

Анализом добијених резултата представљених у овом поглављу, може се недвосмислено потврдити валидност прве постављене хипотезе да постоји директна веза између тренда промене средњег потпуно развијеног успорења и радних параметара кочења, као што су: брзина возила у тренутку активирања кочног система, притисак у кочном систему и температура.

7. РАЗВОЈ МОДЕЛА ЗА ПРЕДИКЦИЈУ УСПОРЕЊА ВОЗИЛА

У оквиру овог поглавља биће развијен модел за предикцију успорења возила, за различите вредности брзина у тренутку активирања кочног система. Основни циљ модела је да предвиди динамичко понашање возила током процеса кочења. Модел ће у обзир узети радне параметре који утичу на успорење и то: време кочења, брзину у тренутку активирања кочног система, притисак у кочном систему и температуру диск кочнице.

7.1 Примена машинског учења у развоју модела за предвиђање

Прилагођавање и дедуктивно закључивање су две важне карактеристике интелигентног понашања. Прилагођавање се постиже учењем на основу претходних искустава и применом тих искустава у будућности, која ће за резултат имати повољан исход, односно спречити одређене непожељне последице. На овај начин функционише човеков мозак. Научници су то имплементирали у рачунар и назвали вештачком интелигенцијом, која је релативно нов концепт.

Свако учење почиње са доступном литературом и искуством других, а у овом случају то би биле базе са подацима. Приликом примене вештачке интелигенције то су подаци који се називају подаци за обуку, односно тренинг подаци. Тестирање наученог знања, доводи до бољих излазних резултата. Један од предложених начина јесте да се трећина или неки мањи проценат података издвоји за тестирање, а да се на преосталом узорку врши тренирање.

Машинско учење данас има широку примену, како у друштвеним, тако и у техничким наукама, јер омогућава предикцију будућих стања одређених система или процеса, а тачност предвиђених вредности је од кључног значаја за примену развијеног модела у функцији експлоатације система (Ћировић, 2012). Динамички радни услови који су карактеристични за рад кочница на возилу су нешто што је потребно испратити у процесу кочења, а машинско учење је идеалан алат за то.

Припрема података, изградња модела, валидација података, тестирање модела и на самом крају, примена модела су кораци који су карактеристични за процес машинског учења. Ови кораци се понављају. Понављање се прекида када се дође до модела који има задовољавајуће карактеристике. Након тога се тај модел тестира и уколико даје одговарајуће резултате, модел се може користити у предикцији променљиве која се посматра. Дакле, машинско учење (као и било који други вид учења) је итеративни процес, који се понавља онолико пута колико је потребно да се дође до жељених резултата (Јанковић и сарадници, 2019).

Машинско учење се може користити за предикцију модела емисије кочења за вожњу на путу (Wei и сарадници, 2022), предикцију хабања кочних плочица (Vasiljević и сарадници, 2021), предикцију отказа на кочници (Sivagurunathan и сарадници, 2024), као и предикцију времена одзива кочног система код возила које поседује систем против блокирања кочница (Gunjate и Khot, 2024). Машинско учење је коришћено и у предвиђању успорења возила (Min и сарадници, 2019). Аутори (Jun и сарадници, 2025) су истраживали адекватан облик понашања успорења, при чему је праћен стил вожње

возача. Подаци који су добијени пречишћени су кроз модел који детектује аномалије и потврђен је на тестовима у реалној возњи. Подаци су показали да су перформансе кочења сличне онима које су возачи стварно остварили током возње. Ово је значајно повећало удобност приликом кочења, али и безбедност током возње.

Одређивање *MFDD*-а је врло важно приликом експертизе саобраћајних незгода. Сложено понашање возила током судара може знатно да отежа одређивање *MFDD*-а. Аутори (Nagori и сарадници, 2023) су користили три алгорита машинског учења, односно вештачке неуронске мреже, уклапање интерполационе криве и Гаусову процесну регресију како би се извршила процена вредности *MFDD*-а и зауставног пута. Алгоритми су обучени на скупу података који је добијен експерименталним путем, а предвиђене и стварне вредности су упоређене. Улазне величине су биле брзина и сила на педали кочнице, а излазне величине биле су *MFDD* и зауставни пут. Добијени резултати су показали да се алгоритам регресије Гаусовог процеса показао као најбољи, јер је стопа грешке за *MFDD* у просеку била око 0,12% и 0,27% за зауставни пут.

Машинско учење све већу примену налази у области саобраћаја, где се може користити за предвиђање успорења возила. Прецизним моделима који прате брзину возила, притисак у кочном систему, температуру диск кочница могуће је предвидети успорење возила. Ове информације могу бити од користи за унапређивање системима за помоћ возачу и аутономних возила, уколико се појаве ризичне саобраћајне ситуације, попут наглих кочења или препрека које нису јасно уочљиве. Вероватноћа настанка саобраћајних незгода би на овај начин била смањена, при чему би се повећала ефикасност саобраћајног тока и унапредила безбедност свих учесника у саобраћају.

7.2 Експериментални подаци

Предикција успорења је један од елемената у анализи и пројектовању возила. Алгоритми предвиђања успорења омогућавају развој напредних система који помажу возачу. Благовремено реаговање ће за последицу имати унапређење безбедности саобраћаја, јер може смањити број саобраћајних незгода, али и оптимизовати потрошњу горива. Стога је вршено експериментално истраживање како би се добили подаци о тренутном успорењу¹⁹ возила при различитим режимима, а на основу њега је вршена предикција тренутног успорења.

Подаци који су коришћени су узети за десет узастопних мерења, за све брзине (60 km/h, 70 km/h, 80 km/h, 90 km/h и 100 km/h). За тренирање је коришћено девет од десет циклуса, а једно (прво мерење) је коришћено за тестирање. Апликација *Regression Learner* садржи две опције за поделу података на обуку и тренирање: унакрсну валидацију (енгл. *cross-validation*) и задржавање (енгл. *holdout*). Унакрсна валидација, податке дели у одређен број група који корисник одабере, док задржавање податке насумично дели у две групе (Siirtola и Röning, 2020). У оквиру овог истраживања коришћена је петострука унакрсна валидација.

Коришћењем првог мерења за тестирање, могуће је извршити прелиминарну проверу генерализационе способности модела, тако што се врши симулација реалне ситуације у којој модел мора да врши прецизну предикцију, када је непознати случај у питању.

¹⁹ Тренутно успорење представља вредност успорења у сваком тренутку у току процеса кочења све док се возило не заустави.

Приступ где се тренира модел на девет процеса кочења, након чега се врши предикција тренутног успорења за први процес кочења представља унакрсну валидацију код које је изостављен један тест (енгл. *Leave-one-out-cross-validation - LOOCV*). На овај начин се могу добити поуздани предиктивни модели, чак и када су у питању релативно мали узорци (Geroldinger и сарадници, 2023). Овај приступ омогућава да модел препозна што више карактеристика система (девет мерења је коришћено за тренирање), а њихово тестирање је обављено на независном узорку (прво мерење).

Због великог обима података употребљених у процесу тренирања (692 скупа података са активним модулом за ограничење успорења и 356 скупа података без активног модула), њихово детаљно приказивање није укључено у оквиру овог поглавља, Прилогом Б дати су резултати тестова и предикције успорења. За потребе тестирања примењени су исти параметри, као и у фази тренирања како би се остварила могућност поређења.

7.3 Методологија развоја модела

У оквиру овог дела поглавља биће дефинисани модели за предикацију тренутног успорења уз помоћ апликације којом се врши обучавање модела (енгл. *Regression Learner*) у оквиру софтверског пакета *MATLAB*, која врши обуку регресионих модела за предвиђање података (Smith, 2017). Ова апликација има опцију за аутоматизовану обуку (тренинг) за тражење најбољег типа регресионог модела (модели линеарне регресије, стабла регресије, модели регресије Гаусовог процеса, машине за подршку векторима, ефикасни обучени модели линеарне регресије, модели апроксимације језгра и регресиони модели неуронске мреже). Расположиви регресиони модели приказани су табелом 7.1.

Табела 7.1. Регресиони модели

Модел	
1	Tree (Fine tree)
2.1	Linear Regression (Linear)
2.2	Linear Regression (Interaction Linear)
2.3	Linear Regression (Robust Linear)
2.4	Linear Regression (Stepwise Linear)
2.5	Tree (Fine tree)
2.6	Tree (Medium tree)
2.7	Tree (Coarse tree)
2.8	SVM (Linear SVM)
2.9	SVM (Quadratic SVM)
2.10	SVM (Cubic SVM)
2.11	SVM (Fine Gaussian SVM)
2.12	SVM (Medium Gaussian SVM)
2.13	SVM (Coarse Gaussian SVM)
2.14	Efficient Linear (Efficient Linear Least Square)
2.15	Efficient Linear (Efficient Linear SVM)
2.16	Ensemble (Boosted Trees)
2.17	Ensemble (Bagged Trees)
2.18	Gaussian Process Regression (Squared Exponential GPR)
2.19	Gaussian Process Regression (Matern 5/2 GPR)

Табела 7.1. (наставак)

2.20	Gaussian Process Regression (Exponential GPR)
2.21	Gaussian Process Regression (Rational Quadratic GPR)
2.22	Neural Network (Narrow Neural Network)
2.23	Neural Network (Medium Neural Network)
2.24	Neural Network (Wide Neural Network)
2.25	Neural Network (Bilayered Neural Network)
2.26	Neural Network (Trilayered Neural Network)
2.27	Kernel (SVM Kernel)
2.28	Kernel (Least Squares Regression Kernel)

Надгледано машинско учење значи да су вредностима улаза дате и одговарајуће вредности излаза, како би се дефинисао њихов однос. На основу добијеног односа се за неке будуће улазе врши предвиђање њихових излаза. Улази и излази су најчешће дати у векторском облику. Вектори вредности променљивих које се могу срести и под називом атрибуту (енгл. *features*) најчешће је дефинисан као „ x “, док је циљна променљива (енгл. *target variable*) обележена као „ y “.

Научници су постављали хипотезе о односима различитих величина на основу запажања, а затим тестирали предвиђања која су произашла из тих хипотеза у пракси. Машинско учење, с друге стране, користи рачунаре за откривање веза између улазних и излазних параметара, чиме се значајно убрзава овај процес. Различитим методама се идентификују функције које најбоље описују односе између променљивих, а те функције се називају модели. Број модела је бесконачан, али је потребно нагласити да је готово немогуће пронаћи модел који идеално описује зависности које важе између променљивих. Од модела се захтева да добро генерализује тј. да ретко прави грешке (Николић и Зечевић, 2019).

Приликом креирања модела, прво је потребно одабрати податке за валидацију. Други корак представља избор опције регресионог модела. Следећи корак је тренирање модела. Приступ перформансама регресионог модела је последњи корак. Апликација предлаже најбољи модел (углавном онај са најмањом вредношћу MSE (енгл. *Mean Square Error* - средња квадратна грешка)). Међутим, тај предложени модел не мора увек најбоље описивати зависности улазних и излазних величина, због чега је потребно обратити пажњу и на друге моделе уколико онај који је једини предложен није задовољавајући. На самом крају, када је извршен избор модела, врши се извоз података модела за предикцију, који су добијени одређеним регресионим моделом. Дијаграм на слици 7.1 приказује ток рада за обуку модела регресије у апликацији *Regression Learner*.



Слика 7.1 Ток рада за обуку модела регресије у апликацији *Regression Learner*

7.4 Резултати и дискусија

Атрибути који су коришћени су: брзина возила у тренутку активирања кочнице, притисак у кочној инсталацији и температура елемената фриксионог пара, а циљна променљива је успорење које се добија у току процеса кочења у сваком тренутку. Тренутно успорење је успорење које возило има у одређеном тренутку времена током процеса кочења. Модел за предикцију заправо предвиђа промену успорења у току процеса заустављања симулираног возила, затим се на основу предвиђеног успорења одређује средње успорење. Разлог приказа средњег успорења је тај што се при експертизи саобраћајних незгода користе средње вредности успорења. Добијена средња вредност успорења применом неуронских мрежа се рачунају на исти начин као и средња вредност која је добијана на основу експерименталних података. Затим ове две средње вредности се упоређују и добија се одступање између стварне и предвиђене вредности успорења. Упоређивањем предвиђених средњих вредности успорења са експериментално добијеним вредностима (Прилог Б), уочава се њихово добро поклапање. Степен поклапања предвиђене средње вредности успорења и експериментално добијене вредности је значајан, без обзира да ли је модул за ограничење успорења био активан или не, а максимална релативна грешка која се јавља је 1,52%.

Табелом 7.2 дат је упоредни приказ вредности средњег успорења које је предвиђено и експериментално добијено, као и њихова релативна грешка, за различите брзине у тренутку активирања кочнице. Подаци су подељени у две групе података, са и без активирања модула за ограничење успорења. Када модул за ограничење успорења није активиран при мањим брзина (60 km/h и 70 km/h) поклапање је потпуно, док се при брзинама 80 km/h, 90 km/h и 100 km/h, јавља одступање. Када је модул за ограничење успорења активиран при брзинама од 70 km/h и 100 km/h одступање готово да не постоји, док је код осталих вредности посматраних брзина свега 1,52%.

Табела 7.2 Упоредни приказ предвиђених вредности средњег успорења и експериментално добијених вредности успорења возила

Брзина	Модул активан			Модул није активан		
	d_{avg} , m/s ²			d_{avg} , m/s ²		
	Експеримент	Предвиђено	Грешка, %	Експеримент	Предвиђено	Грешка, %
60 km/h	3,93	3,88	1,27	5,44	5,46	-0,37
70 km/h	4,14	4,12	0,48	6,08	6,10	-0,33
80 km/h	4,06	4,01	1,23	6,53	6,62	-1,38
90 km/h	4,07	4,04	0,74	7,01	6,91	1,43
100 km/h	4,36	4,38	-0,46	7,88	7,76	1,52

Уопштено посматрано, предикциони модели имају исту тачност и када је модул активан и када није, при различитим вредностима брзина од којих се започиње процес кочења. Модели који су најзаступљенији су неуронске мреже и то при мањим брзинама (60 km/h и 70 km/h) и стабла одлучивања при већим вредностима брзина у тренутку активирања система за кочење (80 km/h, 90 km/h и 100 km/h), табела 7.3.

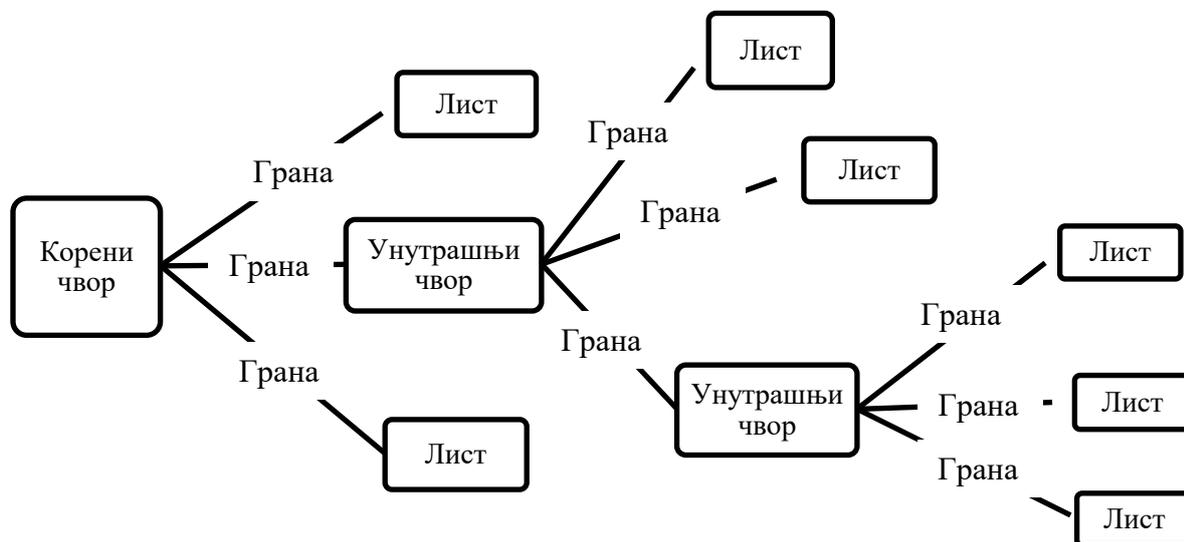
Од укупно 29 регресионих модела (табела 7.1) који су коришћени, зарад бољег разумевања, биће објашњени само они модели који су се показали као најпоузданији у

оквиру овог истраживања. Ови модели су пружали тачне и стабилне резултате при различитим почетним условима.

Табела 7.3 Модели који најбоље предвиђају средњу вредност успорења возила

Брзина	МОДЕЛ	
	Модул активан	Модул није активан
60 km/h	Neural Network (Trilayered Neural Network)	Neural Network (Bilayered Neural Network)
70 km/h	Neural Network (Trilayered Neural Network)	Neural Network (Medium Neural Network)
80 km/h	Tree (Fine tree)	Neural Network (Medium Neural Network)
90 km/h	Ensemble (Boosted Trees)	Ensemble (Boosted Trees)
100 km/h	Tree (Fine tree)	Tree (Medium tree)

Регресиони модел средњег нивоа сложености, односно дубине (енгл. *Medium tree*) се базира на тзв. стаблима одлучивања (енгл. *Decision tree*). Стабло одлучивања функционише на начин на који човек доноси одлуке. Наиме, оно се састоји из кореног чвора (енгл. *Root node*), унутрашњих чворова (енгл. *Internal nodes*), грана (енгл. *Branches*) и листова (енгл. *Leaf nodes*). Корен, који је највиши чвор у стаблу одлуке, представља тест, грана представља резултат тог теста, а лист представља одлуку, односно предвиђање (Patel и Прајарати, 2018), слика 7.2. Регресиони модел средњег нивоа сложености представља идеалну равнотежу прецизности и једноставности, за које је карактеристичан лимитиран број чворова како би се избегло претренирање.



Слика 7.2. Елементи стабла одлучивања

Регресиони модел најмањег нивоа сложености (енгл. *Coarse tree*) има мали број чворова, па је самим тим и „најплићи“, односно најједноставнији од свих модела стабала одлучивања (енгл. *Fine tree*, *Medium tree* и *Coarse tree*). Максималан број чворова има регресиони модел највишег нивоа сложености (енгл. *Fine tree*). Овај модел

има 100 чворова што га чини најдубљим, односно најсложенијим. Регресиони модел средњег нивоа сложености (енгл. *Medium tree*) има 20 чворова (Asante-Okyere и сарадници, 2022). Тачност обуке се смањује са смањењем броја чворова. Мањи број чворова поједностављује читав процес, што омогућава брзо предвиђање, лако тумачење и смањује вероватноћу од претрениравања података којима се обучава (Smith, 2017).

Пошто је стабло одлучивања једноставан модел, постоје и појачана стабла одлучивања (енгл. *Ensemble - Boosted Trees*). Ово практично значи да се прави више стабала одлучивања једно за другим, где свако ново стабло учи грешке које су се догодиле код претходног стабла и исправља их. На крају се добија комбиновани скуп података, односно много бољи модел у односу на онај генерисан једним стаблом. На овај начин обезбеђено је повећање тачности, поготово код података који су разнолики (Chao и сарадници, 2023).

Неуронске мреже су постигле велики напредак откако су званично представљене 1943. године. Због своје широке примене и огромног истраживачког и развојног потенцијала, ова технологија привлачи све више научних радника у истраживању неуронских мрежа. Неуронска мрежа има од неколико десетина до стотина, хиљада или чак милиона вештачких неурона (назване јединице) распоређених у низ слојева, од којих се сваки повезује са слојевима са обе стране. Неке од њих, познате као улазне јединице, дизајниране су да примају различите облике информација које ће мрежа покушати да сазна, препозна или на други начин обради. Друге јединице се налазе на супротној страни мреже и сигнализирају како реагује на информације које је научила - оне су познате као излазне јединице. Између улазних и излазних јединица налази се један или више слојева скривених јединица, које заједно чине већину вештачког мозга (Islam и сарадници 2019). На пример, двослојна неуронска мрежа (енгл. *Bilayered Neural Network*) се, како јој име каже, састоји од два слоја, улазног и излазног слоја. Неуронске мреже са три слоја (енгл. *Trilayered Neural Network*) се састоје од три слоја и то улазног, скривеног и излазног слоја. Разлика између двослојне и трослојне мреже је заправо та што трослојна неуронска мрежа може да научи сложене обрасце, док двослојна, пошто се састоји из улаза и излаза може да решава просте проблеме, односно линеарне односе. Неуронска мрежа средње сложености (енгл. *Medium Neural Network*) има више скривених слојева, али ни превише ни премало. Ово значи да није превише једноставна, да није у могућности да препозна одређене сложене обрасце, али нема ни превише слојева код којих може доћи до претренирања.

Технологија неуронских мрежа је суштинска компонента развоја вештачке интелигенције (Pan и сарадници, 2024). Вештачке неуронске мреже, како наводе аутори (Ćirović и сарадници, 2012) су обећавајуће поље истраживања у предвиђању перформанси кочења. На овај начин се остварују значајне уштеде у погледу трошкова и времена у поређењу са класичним аналитичким моделима. У овом истраживању то је и потврђено.

Без обзира који је модел у питању, одређивање грешке између стварних и предвиђених вредности је важно, јер омогућава процену тачности, односно поузданости модела. Анализом грешке, односно посматрањем средње квадратне грешке (енгл. *Mean Squared Error – MSE*), корена средње квадратне грешке (енгл. *Root Mean Squared Error – RMSE*), средње апсолутне грешке (енгл. *Mean Absolute Error – MAE*) и коефицијента детерминације, R^2 , добија се процена тачности примењеног модела и дефинишу се ограничења.

Анализом добијених резултата (табела 7.4) за случај када је модул за ограничење успорења активан, уочава се да квалитет предикције зависи од брзине од које је започет процес кочења. Модел показује стабилне и задовољавајуће перформансе у опсегу од 80 km/h до 100 km/h, јер поседује ниске вредности грешака и висок коефицијент детерминације. Када се резултати MSE, RMSE, MAE и R² упореде са релативним грешкама (табела 7.2) може се закључити да модел, иако поседује локална одступања при појединим вредностима брзина, врши добру предикцију тренутног успорења, посебно при већим вредностима брзина.

Табела 7.4 Метрика грешке – активан модул

Брзина	MSE	RMSE	MAE	R ²
60 km/h	1,9548	1,3981	0,91481	0,53
70 km/h	3,3332	1,8257	1,2200	0,29
80 km/h	1,0455	1,0225	0,77204	0,75
90 km/h	0,92107	0,75972	0,75877	0,75
100 km/h	0,99910	0,99955	0,73913	0,75

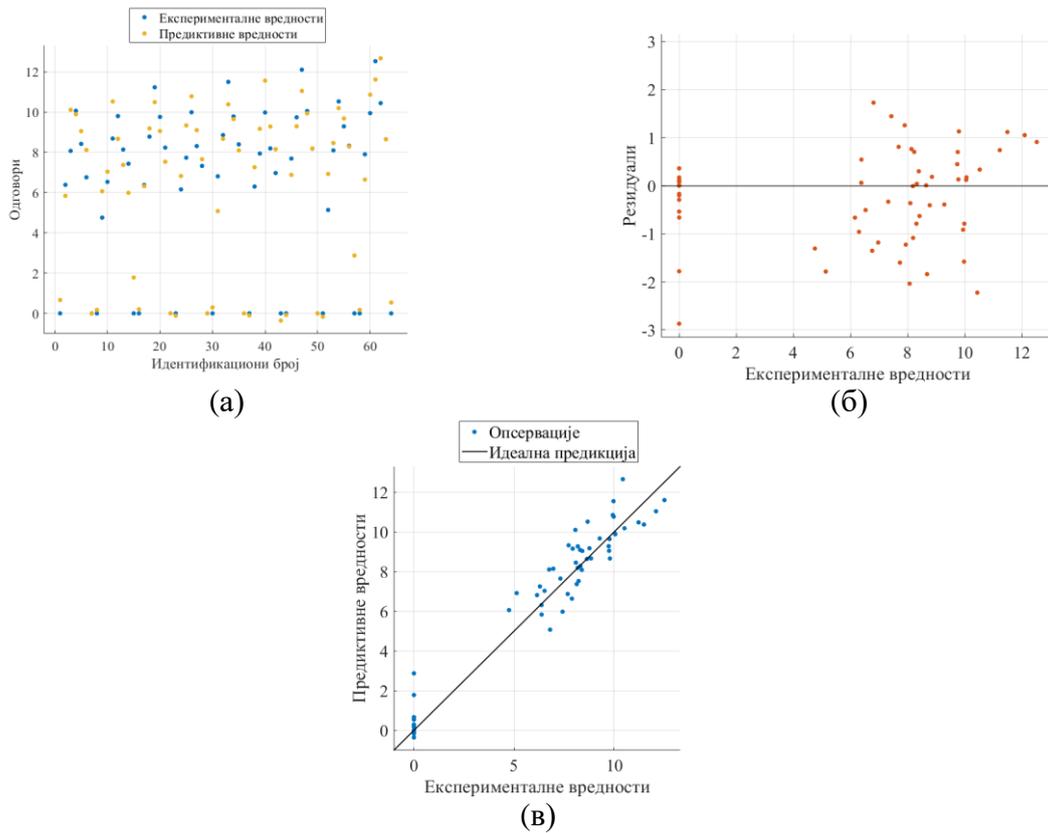
Посматрајући грешке када модул за ограничење успорења није активан (табела 7.5), модели најбоље врше предикцију при мањим брзинама (до 80 km/h), где су грешке минималне, а коефицијент детерминације близу 1. Модел је поузданији за ниже вредности брзина возила, док се тачност смањује са порастом брзине у тренутку активирања кочнице. Поређењем са релативном грешком (табела 7.2) може се видети да се резултати подударају и да локална одступања предвиђених од стварних вредности прате релативна одступања која расту са порастом брзине у тренутку активирања кочнице.

Табела 7.5 Метрика грешке – без активног модула

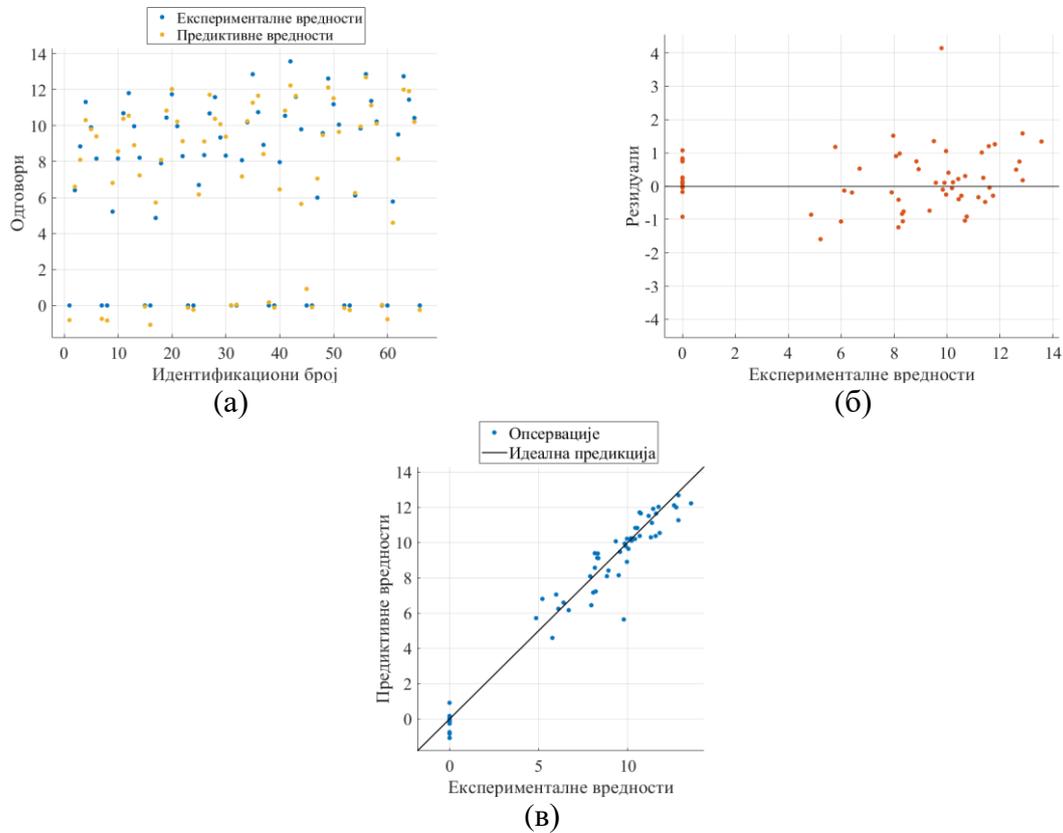
Брзина	MSE	RMSE	MAE	R ²
60 km/h	0,94184	0,97049	0,72232	0,95
70 km/h	0,79980	0,89431	0,63852	0,96
80 km/h	1,6401	1,2806	0,89681	0,94
90 km/h	3,6260	1,9042	1,3135	0,87
100 km/h	8,6812	2,9464	2,3272	0,69

Графички приказ омогућава дубљу анализу перформанси предиктивних модела. Сликама од 7.3 до 7.7 су приказани паритетни дијаграм (поређење стварних и предиктивних вредности успорења), резидуални дијаграм (анализа грешака модела регресије) и облик модела (утицај улаза на излаз – сложеност модела) за тестове ТП1-ТП5. Такође, сликама од 7.8 до 7.12 су приказани паритетни дијаграм, резидуални дијаграм и облик модела за тестове ТКП1_{МзОМУ} - ТКП5_{МзОМУ}.

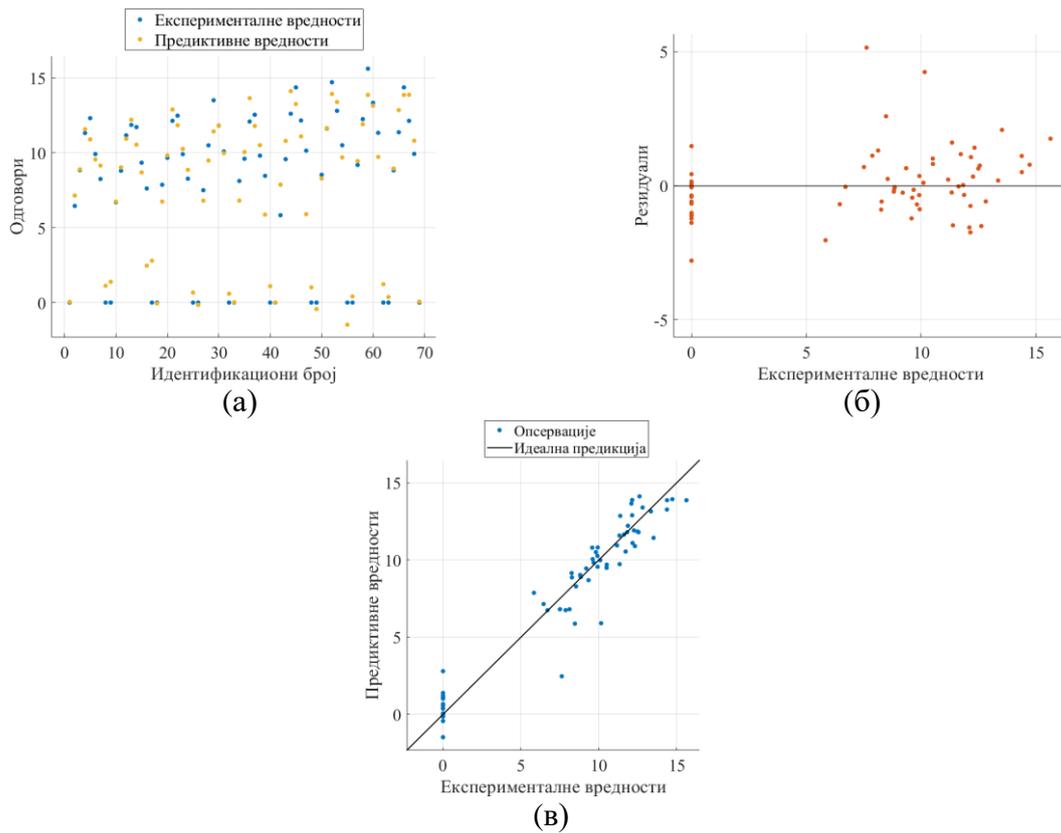
Када се посматра успорење током процеса кочења (не само његова средња вредност), уочава се да је предикција боља при мањим почетним брзинама, док са порастом почетне брзине расте и појава грешке. Тачке близу дијагонале и насумични резидуали близу нуле показују да је избор модела адекватан, за мање почетне брзине, без обзира да ли је модул за ограничење успорења активиран или не. Са повећањем брзине у моменту активирања кочнице, резидуали и одступања стварних од предвиђених вредности тренутног успорења расту, што може бити последица повећања температуре.



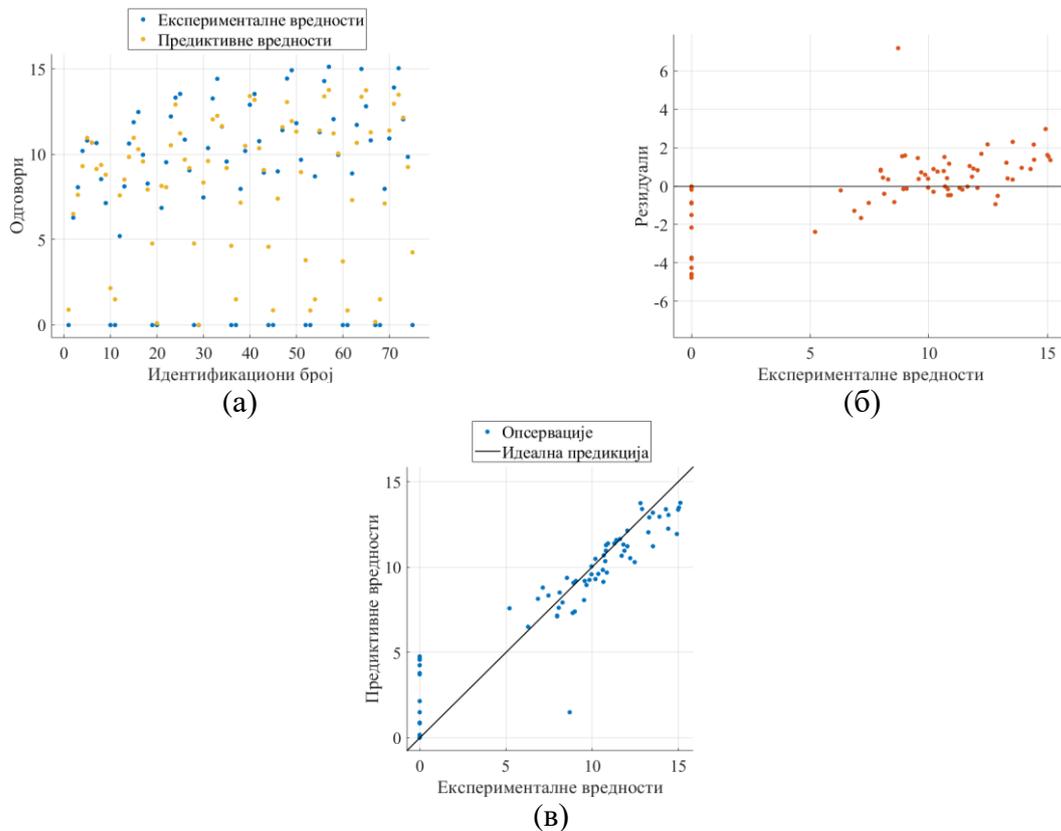
Слика 7.3 Графички приказ теста ТП1 (а) паритетни дијаграм, (б) резидуални дијаграм и (в) приказ облика модела



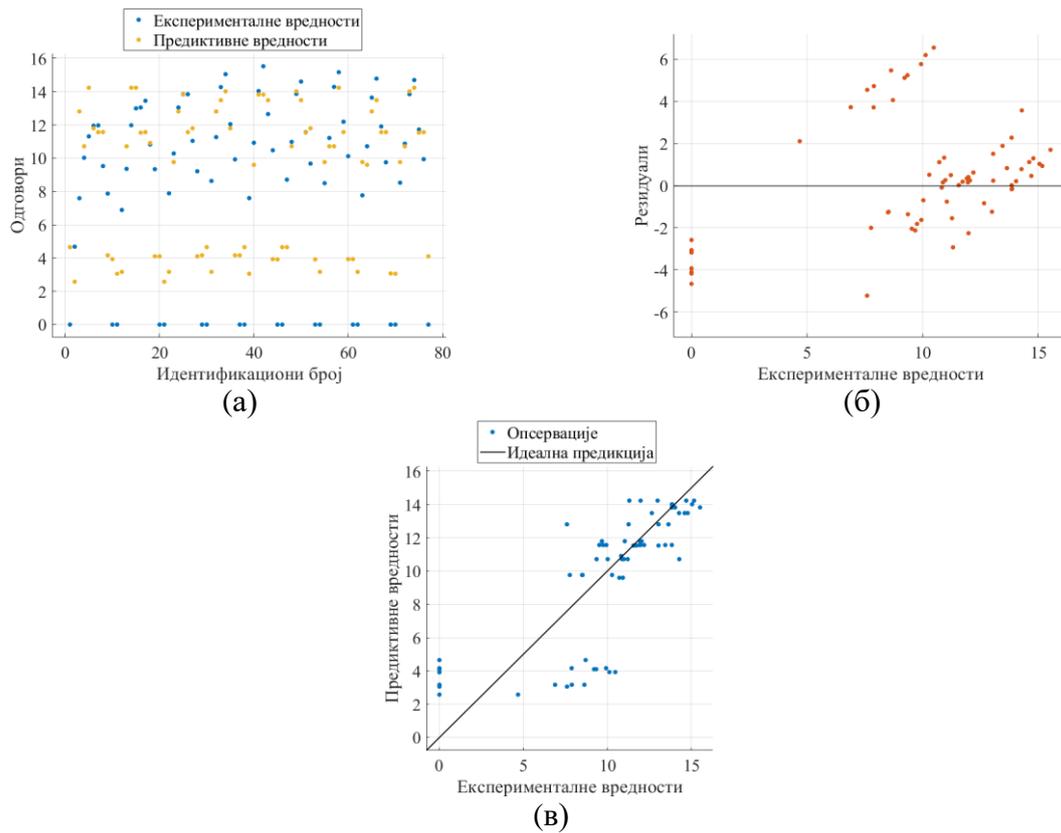
Слика 7.4 Графички приказ теста ТП2 (а) паритетни дијаграм, (б) резидуални дијаграм и (в) приказ облика модела



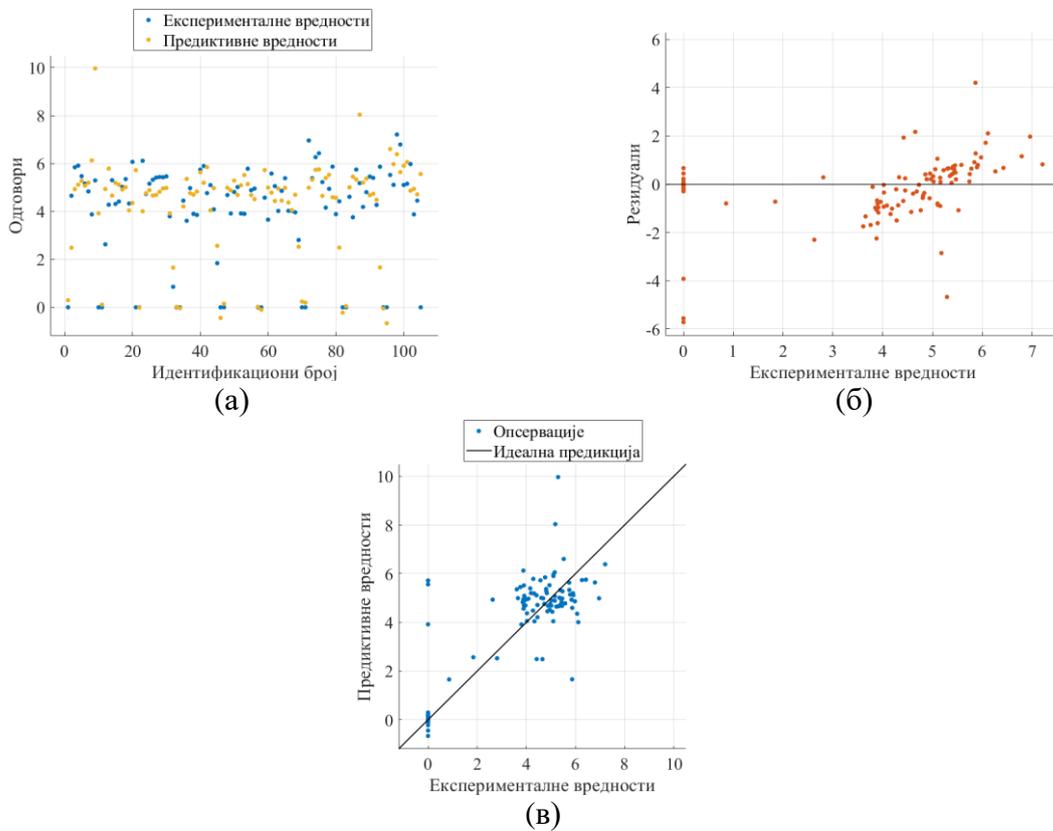
Слика 7.5 Графички приказ теста ТП3 (а) паритетни дијаграм, (б) резидуални дијаграм и (в) приказ облика модела



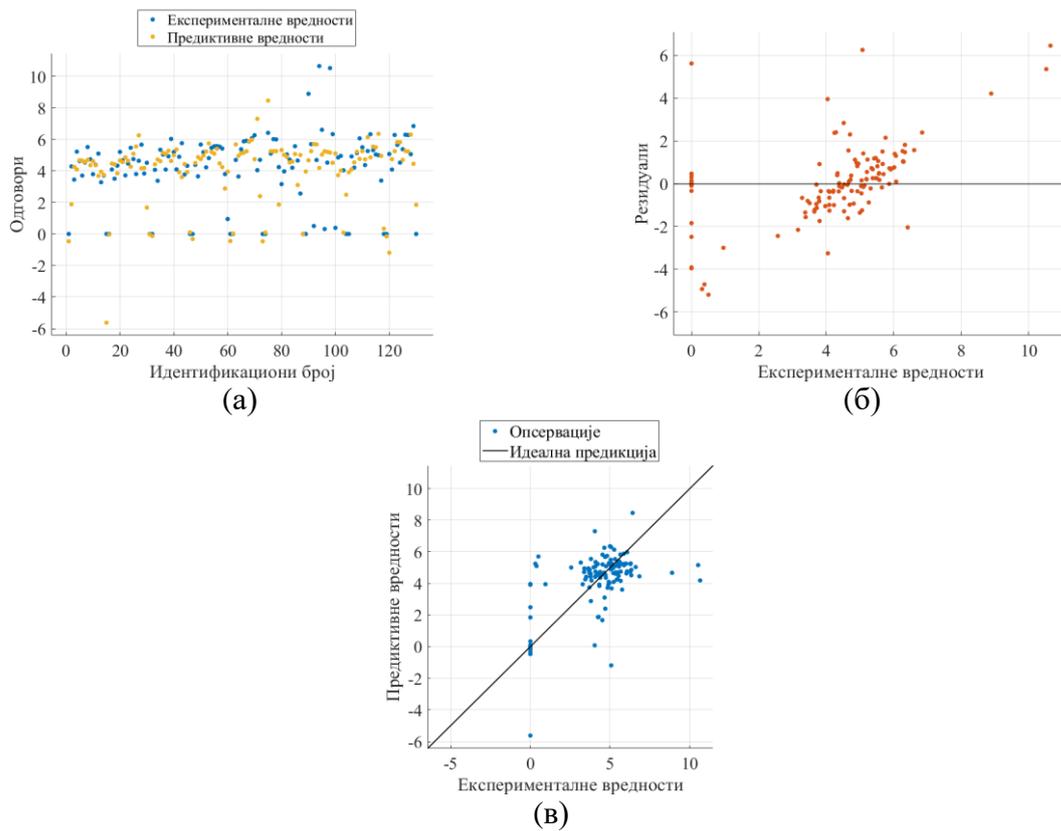
Слика 7.6 Графички приказ теста ТП4 (а) паритетни дијаграм, (б) резидуални дијаграм и (в) приказ облика модела



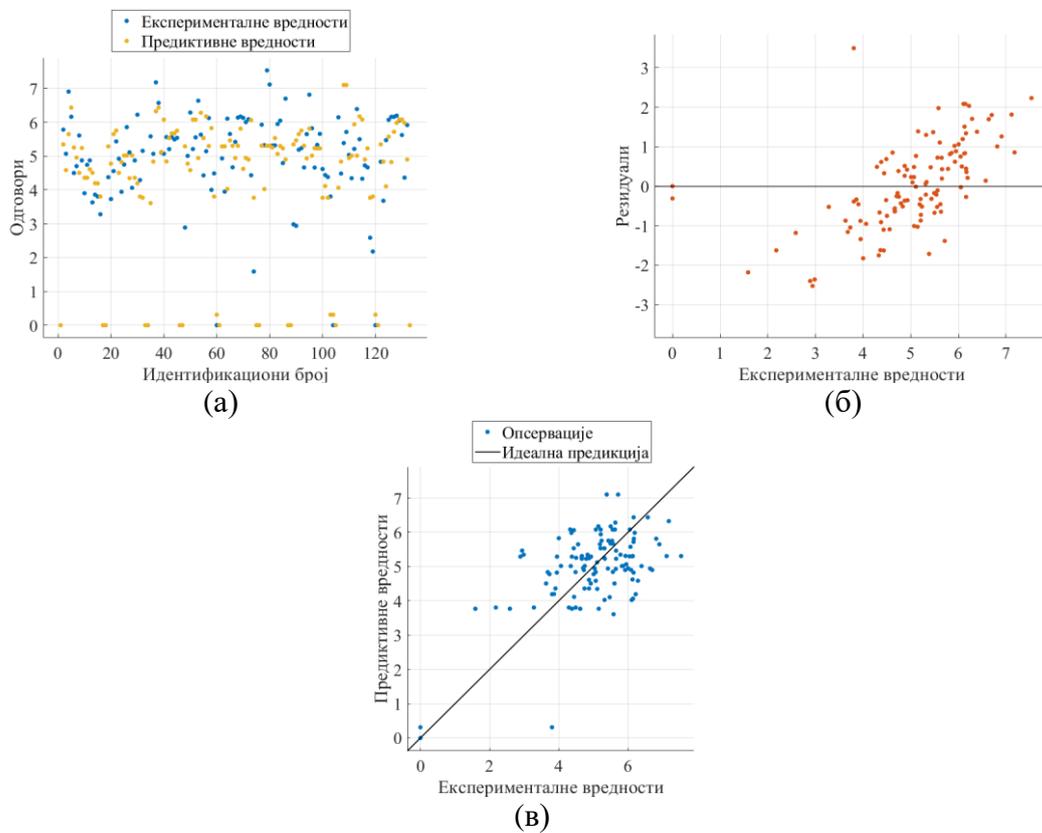
Слика 7.7 Графички приказ теста TP5 (а) паритетни дијаграм, (б) резидуални дијаграм и (в) приказ облика модела



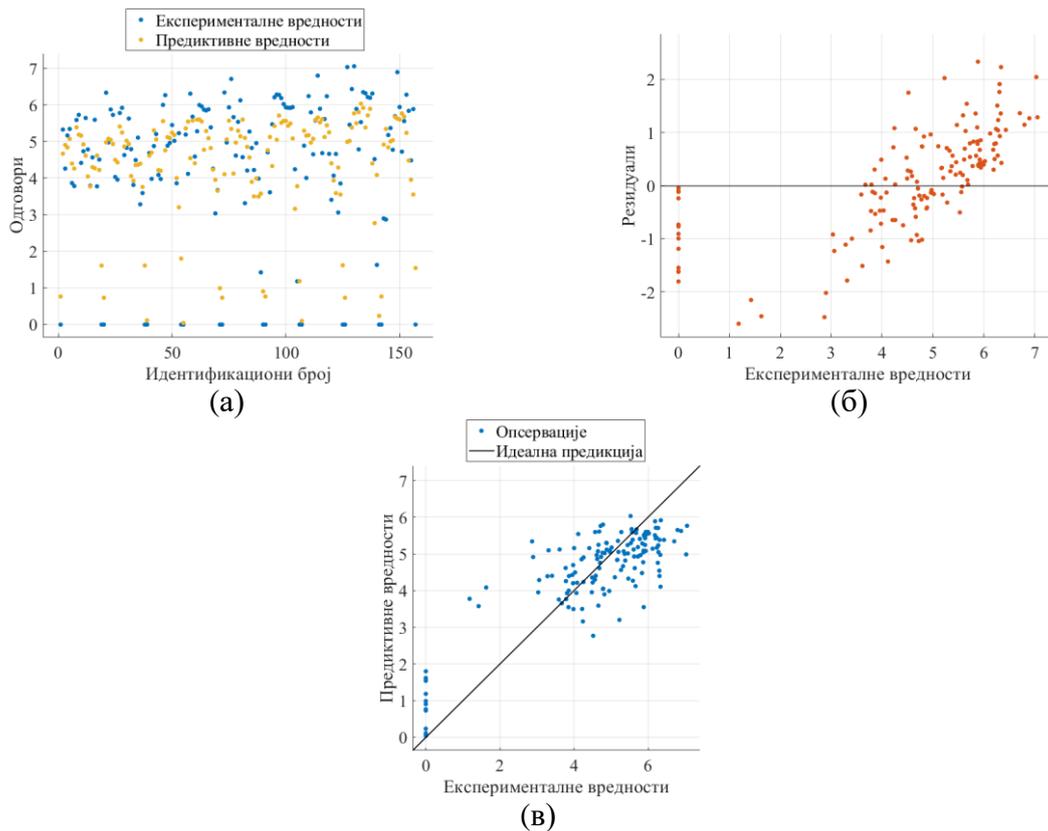
Слика 7.8 Графички приказ теста ТКП1_{М3ОМУ} (а) паритетни дијаграм, (б) резидуални дијаграм и (в) приказ облика модела



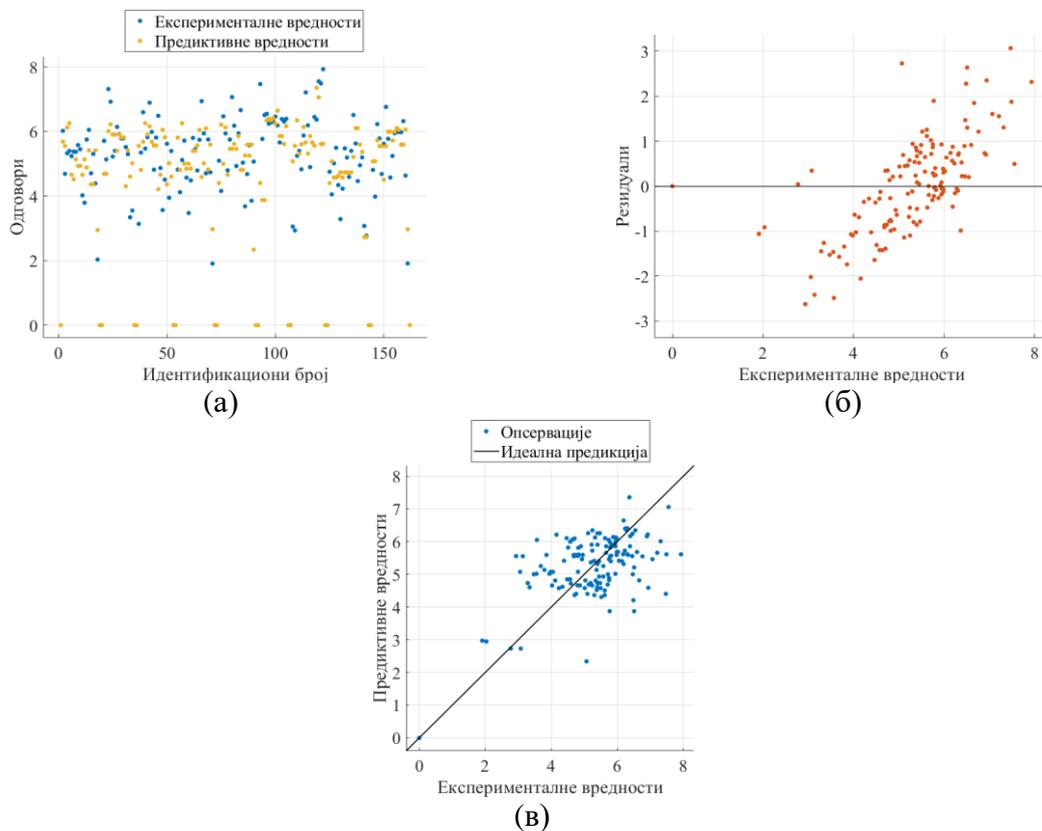
Слика 7.9 Графички приказ теста ТКП2_{М3ОМУ} (а) паритетни дијаграм, (б) резидуални дијаграм и (в) приказ облика модела



Слика 7.10 Графички приказ теста ТКП3_{М3ОМУ} (а) паритетни дијаграм, (б) резидуални дијаграм и (в) приказ облика модела



Слика 7.11 Графички приказ теста ТКП4_{М3ОМУ} (а) паритетни дијаграм, (б) резидуални дијаграм и (в) приказ облика модела



Слика 7.12 Графички приказ теста ТКП5_{М3ОМУ} (а) паритетни дијаграм, (б) резидуални дијаграм и (в) приказ облика модела

Уколико се посматра како активирање модула за ограничење успорења утиче на предикцију тренутног успорења, уочава се да су при активирању модула модели стабилнији, што је посебно изражено при мањим брзинама у тренутку активације система за кочење (до 70 km/h). Када су у питању брзине веће од 70 km/h, примењивост и допринос тачности модела опадају.

На основу експериментално добијених тренутних вредности успорења, могуће је развити модел за предикцију тренутног успорења, чиме је потврђена и четврта хипотеза. Овај модел се може користити за оптимизацију кочног система код возила. На основу експерименталних података о успорењу у сваком тренутку возила, уз помоћ предложених модела, могуће је извршити прорачун времена које је потребно возилу да се заустави, при различитим брзинама када је вршено активирање система за кочење. Овакви модели су кључни за унапређење система помоћи возачу, као што је аутоматско кочење у случају опасности, што директно доприноси већој безбедности како возила, тако и свих ученика у саобраћају.

8. ЗАКЉУЧАК

Кочни систем мора да обезбеди поуздан рад, брз и ефикасан одзив, као и постепено смањивање брзине, било да се ради о прилагођавању условима пута или заустављању, а све то је дефинисано и Правилником о подели моторних и прикључних возила и техничким условима за возила у саобраћају на путевима (Службени гласник 53/2025). Такође, од кочног система се очекује да у акцидентним ситуацијама има минималан пут кочења како не би проузроковао саобраћајну незгоду.

Током експлоатације возила може доћи до непредвиђених ситуација, а које даље могу допринети појави саобраћајне незгоде. У циљу очувања безбедности саобраћаја, неопходно је да у било којим условима, возило постигне адекватно успорење. Успорење возила расте са повећањем коефицијента трења у контакту диск кочница. Коефицијент трења на почетку процеса кочења расте са порастом температуре, до неких 180 °C, а са даљим порастом температуре коефицијент трења опада.

Систем за кочење је један од најважнијих фактора безбедности возила у циљу постизања што већег успорења и минималног пута кочења. Како би у сваком тренутку обезбедио максимално успорење, кочни систем мора бити исправан. Поред исправности возила на величину успорења утиче и брзина кретања возила, систем против блокирања точкова, положај терета, карактеристике коловоза, стање пнеуматика итд.

Поред средњег успорења возила, у литератури и пракси се користи и средње потпуно развијено успорење – *MFDD*. Вредност *MFDD* је веома битна за експертизу саобраћајних незгода. Фактори који утичу на вредност *MFDD* су готово исти као они који утичу и на вредност успорења, као што су: температура диск кочница, примењене компоненте, коловоз и положај терета.

Исправност кочног система је веома битна са аспекта безбедности саобраћаја. На основу могућих отказа у кочном систему може се унапредити сам систем и спречити саобраћајна незгода. Поред тога, битно је да корисник возила у сваком тренутку има потпуно поверење у своје возило како не би начинио неки изненадни маневар и угрозио своју безбедност, као и безбедност других учесника.

Истраживање утицаја кочног система на безбедност саобраћаја може се спровести на различите начине. У оквиру овог истраживања, методе које су примењене су статистичке методе, анкетне методе и експерименталне методе. Први вид истраживања који је извршен, јесте статистичка анализа саобраћајних незгода, где је један од фактора који је допринео појави саобраћајне незгоде кочни систем. Други вид истраживања, који је такође извршен у оквиру овог истраживања је анкетно истраживање. Анкетно истраживање омогућује истраживачу да се упозна са ставовима и навикама возача. Трећи вид истраживања је истраживања које је спроведено у лабораторијским условима. Лабораторијска истраживања су безбеднија, у односу на путна испитања, а поред тога, мерења се могу поновити при истим условима, што је код путних испитивања готово немогуће.

Показатељи безбедности саобраћаја највише помажу законодавцима за разумевање ефеката политике која се спроводи, јер је њихов задатак да пруже повратне

информације о спровођењу законских прописа, наравно уколико се извештаји са показатељима безбедности саобраћаја формирају редовно. Спроведеном анализом безбедности саобраћаја на територији Републике Србије у периоду од 2019. до 2023. године, закључено је да без обзира да ли се ради о СН са ПОГ лицима, ПОВ лицима или СН са МШ, ПА имају велики удео у укупном броју СН и то преко 85%. Уколико се посматрају СН са ПОГ лицима, као најзначајније за безбедност саобраћаја, у укупном броју СН са ПОГ лицима, 6,2% чине СН код којих је као један од утицајних фактора наведена техничка неисправност. Код чак 24% СН са ПОГ лицима евидентирано је да је неисправност система за заустављање (кочење) била наведена као утицајни фактор за настанак СН, када се посматра техничка неисправност возила. Највећи број повреда учесника у саобраћајним незгодама забележен у ПА, око 73%.

База коју је формирала Агенција за безбедност саобраћаја је бесплатна и јавно доступна. Она се константно унапређује и потхрањује новим подацима. Предлог јесте да се у наредном периоду подаци којима се база потхрањује узимају након окончања судског процеса, а не на месту незгоде (како се то тренутно чини), јер они могу да доведу у заблуду. Подаци треба да буду интегрисани на крају судског процеса, где ће се након вештачења утврдити тачан узрок, односно утицајни фактори на настанак саобраћајне незгоде. Ово би продужило време потребно да се подаци интегришу у базу, јер судски процеси имају своје трајање, али би подаци били веродостојнији.

У анкети је учествовало 486 испитаника, међутим, анализа је обухватила 457 испитаника. Разлог мањег броја испитаника јесте неједначен одговор испитаника на контролно питање. Анкетним истраживањем дошло се до сазнања да је за испитанике неисправан кочни систем био узрок 15,6% саобраћајних незгода у којима су испитаници били у својству возача. Испитаници који су учествовали у саобраћајним незгодама су става да кочни систем може да допринесе повећању последица саобраћајне незгоде и потврдно је одговорило њих 93,2%.

У последњих пет година 2% возача који су учествовали у саобраћајним незгодама је било кажњено због техничке неисправности система за кочење, према спроведеном анкетном истраживању. Ово може указивати на неадекватно спровођење превентивних мера које се односе на проверу техничке исправности моторних возила.

Како то ставови возача могу да утичу на појаву саобраћајне незгоде је приказано применом корелације. Генерално гледано, вредности коефицијената корелације су биле мале, али су имале велики статистички значај, тако да се могу у потпуности прихватити. Важност система за кочење на безбедно учешће у саобраћају и неисправност је према вредностима Пирсоновог коефицијента – умерена, а према вредностима Спирмановог коефицијента – слаба. Међутим, у оба случаја резултати показују високу статистичку значајност. Готово исти резултати су и за случај активације контролног индикатора на безбедно учешће у саобраћају (систем за кочење), као и за учествовање неисправних возила у саобраћају.

Успешан експеримент захтева добру припрему, као и процедуру спровођења самог експеримента. Тестови испитивања који су извршени у оквиру ове докторске дисертације су произашли из већ постојећих тестова, с тим што су проширени. Новина у овој докторској дисертацији је постојање модула за ограничење максималног успорења.

Проширени тест са константном почетном брзином је испитивање где је брзина у тренутку активирања кочница била иста за све тестове, а притисак у кочном систему је вариран. У оквиру овог теста, постојала су два случаја испитивања: први случај је испитивање без активног модула за ограничење успорења и други случај је испитивање када је модул активан. У првом случају, са порастом притиска у кочној инсталацији, време кочења и пут кочења се смањују, док *MFDD* и средње успорење расту са порастом притиска. Пораст температуре са сваким наредним тестом, односно са порастом притиска, је мањи, што је резултат бржег заустављања возила. Оно што је карактеристично за случај, када је кочни притисак био 5 МПа, је да је вредност успорења прелазила вредност од 1 g, што није добро са аспекта стабилности и безбедности возила. У другом случају испитивања, где је успорење ограничено, вредности *MFDD*-а и средњег успорења су биле ниже у односу на први случај. Оно што је битно за други случај испитивања је да вредности пута кочења одговарају реалним, односно оним које се добијају у стварним условима експлоатације (одступање је 3,5%). Поред величина које су праћене за први случај испитивања, овде је праћен и број деактивација кочног система. Модул је сваки пут деактивирао кочни систем када би успорење прешло задату вредност. Са порастом притиска у кочној инсталацији, број пута колико се деактивирао кочни систем је растао, осим за последњи тест, када је кочни притисак био 5 МПа. Разлог мањег броја деактивација је брже достизање вредности успорења које је дефинисано на почетку мерења, као и брже заустављање возила.

У случају када је модул активан, брзина има степенаст пад. Степенаст пад је последица деактивације кочног система. Док притисак у кочном систему расте, расте и успорење, а брзина пада. Даљим порастом успорења, остварено успорење је веће или једнако успорењу које је дефинисано на почетку мерења. Када модул „препозна“ да је вредност успорења већа или једнака успорењу које је дефинисано, кочни систем се деактивира, а симулирано возило наставља да се креће брзином коју је имало у тренутку деактивације кочног система и тада је брзина константна. Модул константно прати успорење симулираног возила и када успорење падне испод вредности која је дефинисана поново се активира кочни систем и све се циклично понавља док се возило не заустави. Последица оваквог пада брзине је степенаст раст температуре кочне плочице. Међутим, добра страна оваквог управљања возилом током процеса кочења је та што вредности успорења неће ући у критичну зону, а што би за последицу имало нарушавање безбедности.

Проширени тест са константним кочним притиском је тест где је брзина у тренутку активирања кочница била иста за све тестове, а параметар који је вариран је притисак у кочној инсталацији. Као и код претходног теста, постојала су два случаја испитивања: без и са активним модулом. У првом случају, са порастом брзине сви посматрани параметри (време и пут кочења, *MFDD*, средње успорење и пораст температуре) су забележили пораст. Исто важи и за други случај испитивања, осим када је брзина у тренутку активирања кочнице била 70 km/h. При брзини од 70 km/h, време и пут кочења су били нижи, што је последица већих остварених успорења и мањег броја деактивација кочног система у односу на случај испитивања када је брзина у тренутку активирања била 60 km/h.

У случају проширеног теста понављања, реализовано је по десет узастопних кочења до потпуног заустављања. Испитивање је извршено за различите брзине у тренутку активирања кочница, док је кочни притисак при свим тестовима био исти. Такође, и у

овом проширеном тесту понављања су постојала два случаја испитивања, када модул није био активан и када је био активан. Посматрајући сваки случај одвојено, види се да са сваким наредним циклусом, расту и температуре.

Први случај проширеног теста понављања у ствари представља тестове где успорење није ограничено. У току теста ТП1, највеће вредности успорења се остварују у задњем циклусу кочења када је и температура кочница највећа. Разлог је то што кочнице при овој температури имају највећу ефикасност. Такође, у последњем циклусу је забележено и најкраће време кочења, као и пут кочења. Током проширеног теста понављања, вредности успорења су прелазиле вредности успорења од 1·g, а што је лоше са аспекта стабилности возила. Вредности успорења које су добијене при оваквим условима испитивања су велика, што за последицу може имати повреде возача и путника у возилу. Поред тога, како су вредности успорења велика и сама подлога не би могла да пренесе успорење које возило може да постигне и дошло би до проклизавања точкава и нарушавања безбедности саобраћаја.

Други случај проширеног теста понављања је случај када је модул за ограничење успорења активан. Како је модул активан, вредност успорења које возило не сме да прекорачи је дефинисана. Међутим, иако је успорење ограничено, дешавало се у неким тренуцима да остварено успорење прекорачи дефинисану вредност, што је последица спорог пада притиска у хидрауличкој кочној инсталацији. Без обзира на то, ни у једном тренутку вредности успорења нису прекорачиле вредности успорења које би у реалним условима експлоатације могле за последицу да имају појаву акцидентне ситуације. Као и у претходном случају, са сваким наредним циклусом кочења, температуре су све више. Ако се посматра број деактивација кочног система, са порастом температуре, након 80 °C, бележи се пад броја деактивација кочног система, док са даљим растом температуре постоје варијације.

Тестови испитивања у зависности од максималног граничног успорења су тестови где су брзина у тренутку активирања кочнице и притисак у кочном систему исти за свих пет тестова, а једина променљива је успорење. Са порастом успорења, пут кочења и време кочења се смањује. Такође, пораст температуре кочне плочице бележи пад. Наравно да са порастом дефинисаног успорења, остварено успорење и *MFDD* расте, док број деактивација кочног система бележи пад. На основу извршеног испитивања, долази се до закључка да је кочење ефикасније у случају највеће дефинисане вредности успорења.

Одређивање утицаја радних параметара кочења (брзина возила у тренутку активирања кочница, притиска у кочном систему и температуре елемената фриксионог пара) на вредност *MFDD*-а је извршено применом Тагучи методе. Рангирањем параметара, дошло се до закључка да највећи утицај има притисак у кочној инсталацији, затим брзина у тренутку активирања кочнице, а најмање утицајан параметар је температура елемената фриксионог пара. Даље, применом ANOVA-е је одређен процентуални утицај сваког од параметара. Притисак у кочном систему на вредност *MFDD* утиче са 43,12%, затим брзина у тренутку активирања кочнице са 34,30% и температура елемента фриксионог пара са 21,96%.

Данас, зарад бржег добијања резултата, прибегава се креирању модела за предикцију вредности успорења. Тако је и овде, након лабораторијских истраживања, креиран модел за предикцију који се може користити при будућим истраживањима. Модел је

креиран у програму MATLAB. За креирање модела за предикцију коришћени су регресиони модели, а подаци који су коришћени за креирање модела су резултати који су добијени током проширеног теста понављања. Резултати који су добијени од другог до десетог циклуса кочења су коришћени за тренирање, а први циклус за тестирање. Примењено је по 29 регресионих модела за сваки од случаја испитивања. На крају креирања модела за предикцију, узети су само они који су дали најбоље резултате и вредност грешке није прелазила 1,52%.

8.1 Допринос истраживања

Спроведеним истраживањем у оквиру докторске дисертације, доприноси аутора су:

- Приказ тренутног стања из предметне области код нас и у свету.
- Одређен је утицај радних параметара кочења на успорење, пут кочења и *MFDD* возила.
- Приказана је анализа саобраћајних незгода у периоду од пет година (од 2019. до 2023. године) на територији Републике Србије у којима су учествовала возила код којих је као један од утицајних фактора наведена неисправност кочног система.
- Приказани су ставови возача у погледу исправности кочног система возила са аспекта безбедног учешћа у друмском саобраћају.
- Анализирани су ставови возача по питању експлоатације неисправног кочног система возила.
- Пробни сто за испитивање термичких напрезања је унапређен, омогућено је управљање максималним успорењем.
- Тестови из ранијих истраживања су проширени и приказана је методологија истраживања на пробном столу у циљу анализе радних параметара на успорење симулираног возила.
- Проналажење оптималних вредности радних параметара кочења са циљем добијања безбедног/удобног успорења возила.
- Идентификовани су радни параметри који највише утичу на успорења возила.
- Креиран је модел за предикцију успорења возила.

8.2 Доказ постављених хипотеза

Хипотезе овог истраживања су произашле на основу прегледа доступне литературе и недостатака који су у њима присутни. На основу тога постављене су четири хипотезе, а које су у самом истраживању и потврђене.

Тренд промене средњег потпуно развијеног успорења возила је у директној вези са радним параметрима кочења (брзином возила у тренутку активирања кочница, притиском у кочном систему и температуром елемената фрикционог пара).

У зависности од брзине у тренутку активирања кочница, притиска у кочном систему и температура елемената фрикционог пара зависиће и тренд промене средњег потпуног развијеног успорења. Са порастом брзине у тренутку активирања кочница, као и при порасту притиска у кочном систему, вредност средњег потпуног развијеног успорења расте. У случају пораста температуре елемената фрикционог пара до око 90 °C, вредност потпуног развијеног успорења расте, а затим са даљим растом температуре долази до варијација у оствареној вредности средњег потпуног развијеног успорења.

Неисправност кочног система возила у оквиру групе техничке неисправности возила један је од значајних утицајних фактора на настанак саобраћајних незгода.

Експлоатација возила са неисправним кочним системом може допринети настанку саобраћајне незгоде. Посматрајући само саобраћајне незгоде где су учествовала технички неисправна возила, забележено је да од укупног броја возила, 24% броја чине она са неисправним кочним системом, што није занемарљиво.

Ставови возача који се односе на одржавање возила утичу на експлоатацију возила са неисправним кочним системом.

Анкетирањем се дошло до закључка да ставови возача утичу да ли ће у саобраћају учествовати са возилом код кога је кочни систем неисправан. У случају да је активирана сигнална лампица која указује на неки проблем код кочног система, њих 21,1% би након извесног времена реаговало или ако би се систем понашао другачије од уобичајеног. Такође, постоји и група испитаника (4,4%) која би то упозорење занемарила.

На основу експериментално добијених резултата могуће је развити модел за предикцију успорења.

На основу експериментално добијених резултата је успешно креиран модел за предикцију средњег успорења. Применом добијених модела за предикцију успорења, одступања између измерене и предвиђене вредности не прелази 1,52%.

8.3 Будућа истраживања

Будућа истраживања треба усмерити ка испитивању понашања фрикционог пара израђеног од других материјала. Поред тога, у обзир треба узети и промену масе возила, односно оптерећења по точку. Такође, како је анализом резултата утврђено да пробни сто има и своје недостатке треба их отклонити. Недостатак који се јавио у случају када је модул за ограничење успорења активан, јесте спор пад притиска у кочној инсталацији и то је био разлог што је остварено успорење у неким случајевима мерења било веће од дефинисаног. Како би се то у будућности избегло, потребно је уградити систем који ће у тренутку достизања дефинисаног успорења допринети јако брзом паду притиска у хидрауличкој кочној инсталацији и на овај начин би се избегло велико одступање оствареног успорења од дефинисаног.

ЛИТЕРАТУРА

Страна литература

- Abbasi, R. (2018). Design of machine tool for motor cycle floating disc brakes, Project report, Sabanci Universitesi, İstanbul.
- Abdulhafedh, A. (2017). Road crash prediction models: different statistical modeling approaches, *Journal of Transportation Technologies*, 7, 190-205.
- Adanu, E.K., Dzinyela, R., Okafor, S., Jones, S. (2024). Injury-severity analysis of crashes involving defective vehicles and accounting for the underlying socioeconomic mediators, *Heliyon*, 10, 26944.
- Akay A., Giannini, O., Massi, F., Sestieri, A. (2009). Disc brake squeal characterization through simplified test rigs, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 23(8), 2590-2607.
- Aly, A.A., Zeidan, El-Sh., Hamed, A., Salem, F. (2011). An antilock-braking systems (abs) control: a technical review, *Intelligent Control and Automation*, 2, 186-195.
- Anselma, P.G., Patil, S.P., Belingardi, S.G. (2019). Rapid optimal design of a light vehicle hydraulic brake system, *SAE Technical Papers*, 2019-01-083.
- Asante-Okyere, S., Shen, C., Osei, H. (2022). Enhanced machine learning tree classifiers for lithology identification using Bayesian optimization, *Applied Computing and Geosciences*, 16, 100100.
- Aswan, Y., Srihari, P.V., Prasad, S. (2018). Development of a Computer Aided Performance Prediction Model for Hydraulic Brake System, *International Journal of Engineering Research in Mechanical and Civil Engineering (IJERMCE)*, 3(5), 127-133.
- Bagnoli, F., Dolce, F., Bernabei, M. (2009). Thermal fatigue cracks of fire fighting vehicles gray iron brake discs, *Engineering Failure Analysis*, 16(1), 152–163.
- Balvedi, A.M., Gerges, S.N.Y. (2008). Squeal noise in disc brakes and the influence of damping on the system dynamic stability, *Acta Acustica united with Acustica*, 94(2), 254–264.
- Barik, N., Abdul, S., Khadari, R. (2020). Analysis of disc brake, *International Conference on Design, Automation, and Control (ICDAC 2020)*, 1123, 1-6.
- Bayan, F., Cornetto, A., Dunn, A., Sauer, E. (2010). Brake timing measurements for a tractor semitrailer under emergency braking, *International Journal of Commercial Vehicles*, 2009-01-2918.
- Bellini, C., Cocco V. D., Iacoviello D., Iacoviello F. (2024). Temperature influence on brake pad friction coefficient modelisation, *Materials*, 17, 189.
- Bener, A., Hussain, S.J., Al-Malki, M.A., Shotar, M.M., Al-Said, M.F., Jadaan, K.S. (2010). Road traffic fatalities in Qatar, Jordan and the UAE: estimates using regression analysis and the relationship with economic growth, *Eastern Mediterranean Health Journal*, 16(3), 318-323.
- Blau, P.J., McLaughlin, J.C. (2003). Effects of water films and sliding speed on the frictional behavior of truck disc brake materials, *Tribology International*, 36(10), 709-715.

- Bokare, S., Maurya, A. (2017). Acceleration-deceleration behaviour of various vehicle types, *World Conference on Transport Research*, 4737-4753.
- Bošković, B., Stojanović, N., Grujić, I., Babić, S. (2024a). Experimental investigation of the influence of deceleration on brake elements temperature in order to improve traffic safety, *Thermal science*, 28 (4), 2881-2889.
- Bošković, B., Stojanović, N., Grujić, I., Babić, S., Milosavljević, B. (2024b). The influence of thermal stress of disc brakes on vehicle deceleration, *Mobility & Vehicle Mechanics (MVM)*, 50(4), 63-72.
- Bryant, D., Fieldhouse, J., Crampton, A., Talbot C., Layfield J. (2008). Thermal brake judder investigations using a high speed dynamometer, *SAE Technical Paper*, 2008- 01-0818, 2008.
- Butler, J. (2022). How to track down a brake fluid leak, *BuyBrakes*. Интернет адреса: https://www.buybrakes.com/help/track-down-brake-fluid-leak/?srsltid=AfmBOopdTwnbiO_cWKHuGC7Qz7nsRCnENBeun-rI9Tia7LHmaYOKnOZ, (приступљено 19.05.2025.).
- Cai, B., Di, Q. (2023). Different forecasting model comparison for near future crash prediction, *Applied Sciences*, 13(2), 1-21.
- CARE. (2018). Road accidents database. Интернет адреса: https://road-safety.transport.ec.europa.eu/european-road-safety-observatory/statistics-and-analysis-archive/about-care_en, (приступљено 10.02.2025.).
- Carlowitza, S., Madiganb, R., Goodridgeb, C., Hilzc, J., Marbergerd, C., Alta, P., Schulza, M., Osswalta, S., Engelnc, A., Meratb, N. (2024). Balancing comfort: deceleration rate and environmental impact at crosswalks and intersections in automated driving, Интернет адреса: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=5063808, (приступљено 23.06.2025.).
- Chao, C., Wu, D., Huang, J., Yuan, Y., Zhang, H.T., Peng, R., Shi, Z. (2023). BoostTree and BoostForest for Ensemble Learning, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 45(7), 8110-8126.
- CITA, International Motor Vehicle Inspection Committee (2018). Brake testing in periodic technical inspection - Recommendation N° 8, CITA/ WG1-09-2017-110.
- Cochran, W.G. (1977). *Sampling Techniques*, 3rd edition, John Wiley & Sons, New York, ISBN 0-471-16240-X.
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*, 2nd edition, Hillsdale, New York, ISBN 0-8058-0283-5.
- Commandeur, J., Bijleveld, F., Bergel-Hayat, R., Antoniou, C., Yannis, G., Papadimitriou, E. (2011). On statistical interference in time series analysis of the evolution of road safety, *Accident Analysis & Prevention*, 60, 424-434.
- Ćirović, V., Aleksendrić, D., Mladenović, D. (2012). Braking torque control using recurrent neural networks, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part D Journal of Automobile Engineering*, 226(6), 1-13.
- Darma, Y. (2017). A time series analysis of road traffic fatalities in Malaysia - PhD thesis, Faculty of engineering University of Malaya Kuala Lumpur, Kuala Lumpur.

- Das, S., Dutta, A., Geedipally, S.R. (2019). Applying Bayesian data mining to measure the effect of vehicular defects on crash severity, *Journal of Transportation Safety & Security*, 13, 605-621.
- Davis, C.L., Krousgrill, C.M., Sadeghi, F. (2002). Effect of temperature on thermoelastic instability in thin disks, *Journal of Tribology*, 124(3), 429–437.
- Deretić, N., Stanimirović, D., Awadh, M.A., Vujanović, N., Djukić, A. (2022). SARIMA modelling approach for forecasting of traffic accidents, *Sustainability* 2022, 14, 1-18.
- Dhanamjayulu, C., Chalamalasetti, G. S., Bharath, S. G., Hussain, B. D., Arunkumar, G., Venugopal, P. (2019). Brake Failure detection and emergency braking system, *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, 9(2), 297-301.
- Dodge, Y. (2008) *The concise encyclopedia of statistics*, Springer, Heidelberg. ISBN 978-0-387-31742-7.
- Dufrénoy, P., Weichert, D. (2003). A thermomechanical model for the analysis of disc brake fracture mechanism, *Journal of Thermal Stresses*, 26(8), 815–828.
- Eggleston, E. (2000). An investigation into frictional surface interactions and their effect on brake judder - PhD thesis, Sheffield Hallam University, Sheffield.
- EL-Tayeb, N.S.M., Liew K.W. (2009). On the dry and wet sliding performance of potentially new frictional brake pad materials for automotive industry, *Wear*, 266(1-2), 275-287.
- Fambro, D., Fitzpatrick, K., Koppa, R. (1997). Report 400 – Determination of stopping sight distances, Texas Transportation Institute, College Station.
- Field, A. (2013) *Discovering statistics using IBM SPSS statistics*, 4th edition, Sage, London. ISBN 978-1-4462-4917-8.
- Fitch, G., Blanco, M., Morgan, J., Wharton, A. (2010). Driver braking performance to surprise and expected events, *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 54(24), 2076-2080.
- Fu, C., Sayed, T. (2021). Comparison of threshold determination methods for the deceleration rate to avoid a crash (DRAC)-based crash estimation, *Accident Analysis and Prevention*, 153, 106051.
- Fu, Z., Suo, B., Yun, R., Lu, Y., Wang, H., Qi, S., Jiang, S., Lu, Y., Matejka, V. (2012). Development of eco-friendly brake friction composites containing flax fibers, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 31(10), 681-689.
- Funder, D.C., Ozer, D.J. (2019). Evaluating effect size in psychological research: Sense and nonsense, *Advances in Methods and Practices in Psychological Science*, 2(2), 156–168.
- Gao, C., Huang, J.M., Lin, X.Z., Tang, X.S.C. (2007). Stress analysis of thermal fatigue fracture of brake disks based on thermomechanical coupling, *Journal of Tribology*, 129(3), 536-543.
- García-León, R., Flórez-Solano, E., Suárez-Quñones, A. (2019). Brake discs: A technological review from its analysis and assessment, *Informador Técnico*, 83(2), 191-208.
- Geroldinger A., Lusa, L., Nold, M., Heinze, G. (2023). Leave-one-out cross-validation, penalization, and differential bias of some prediction model performance measures—a simulation study, *Diagnostic and Prognostic Research*, 7(9), 1-11.

- Getahun, K.A. (2021). Time series modeling of road traffic accidents in Amhara Region, *Getahun of Big Data*, 8(102), 1-15.
- Girdhar, P., Rajput, B.S., Ramchiary, B., P. Sethupathi, B., Chandradass, J. (2021). Design and analysis of brake discs to improve performance in fade condition, *3rd International Conference on "Advancements in Aeromechanical Materials for Manufacturing"*, 2317, 040005.
- Gnap, J., Jagelčák, J., Marienka, P., Frančák, M., Kostrzewski, M. (2021). Application of MEMS sensors for evaluation of the dynamics for cargo securing on road vehicles, *Sensors*, 21, 1-31.
- Gogola, M., Ondruš, J., Kubalák, S., Turiak, P. (2022). Comparison of braking properties of selected vehicle with different methods, *The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji*, 95(1), 5-17.
- Gorzelańczyk, P, Kliszewski, Ł., Piątkowski, P. (2023). Analysis of the impact of the technical condition of vehicles on road safety, *The Archives of Automotive Engineering*, 100, 62-74.
- Gošić, A., Stefanović, S., Mladenović, S. (2022). Statistical analysis of road safety in the Republic of Serbia, *KNOWLEDGE - International Journal*, 49(3), 543-549.
- Greibe, P. (2008). Determination of braking distance and driver behaviour based on braking trials, *Proceedings of the 87th Transportation Research Board Annual Meeting Washington*, 01090440.
- Grochowicz, J. Agudelo, C., Li, S., Abendroth, H., Wollenweber, K.H., Reich, A. (2014). Influence of test procedure on friction behavior and its repeatability in dynamometer brake performance testing, *SAE International Journal of Passenger Vehicle Systems*, 7, 1345-1360.
- Grochowicz, J., Wollenweber, K.H., Agudelo, C., Abendroth, H. (2010). Brake dynamometer test variability—analysis of root causes, *SAE Technical Paper*, 2010-01-1697, 1-34.
- Gunawan, F.E. (2012). Two-vehicle dynamics of the car-following models on realistic driving condition, *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 12(2), 67-75.
- Gunjate, S.S., Khot, S.A. (2024). Prediction of automotive response using supervised machine learning in antilock braking systems and comparison with different models for improved vehicle safety, *Engineering Research Express*, 6, 045250, 1-17.
- Haq, M.T., Ampadu, V.M.K., Ksaibati, K. (2023). An investigation of brake failure related crashes and injury severity on mountainous roadways in Wyoming, *Journal of Safety Research*, 84, 7-17.
- Hay, A. (2025) Two-Tailed Test: Definition, Examples, and Importance in Statistics, *Investopedia*. Интернет адреса <https://www.investopedia.com/terms/t/two-tailed-test.asp> (приступљено 02.09.2025.)
- Herring, J.M. (1967). Mechanism of brake fade in organic brake linings, *Society of Automotive Engineers*, 670146.
- Hiller, M.B. (2006). Correlation between parameters of the tribosystem and automotive disc brake squeal - PhD thesis, University of Paderborn, Paderborn.

- Huertas-Leyva, Savino, G., Baldanzini, N., Pierini, M. (2023). Does ABS ensure good performance in emergency braking for less skilled motorcyclists?, *Accident Analysis & Prevention*, 190, 107148
- Institute of Transportational Engineers. (1992). *Traffic engineering handbook*, Prentice-Hall, Michigan. ISBN 978-0139267918.
- Islam, M., Chen, G., Jin, Sh. (2019). An overview of neural network, *American Journal of Neural Networks and Applications*, 5(1), 7-11.
- Jacobsson, H. (2003). Aspects of disc brake judder, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 217(6), 419-430.
- Jomnonkwao, S., Utra, S., Ratanavar, V. (2020). Forecasting road traffic deaths in thailand: applications of time-series, curve estimation, multiple linear regression, and path analysis models, *Sustainability*, 12, 1-17.
- Jun, Y., Kim, M., Lee, K., Woo, S. (2025). Development of deep learning-based algorithm for extracting abnormal deceleration patterns, *World Electric Vehicle Journal*, 16(37), 1-11.
- Junwei, L., Jian, W. (2010). Study of the antilock braking system with electric brake force distribution, *Applied Mechanics and Materials*, 29-32, 1985-1990.
- Kalhapure, V., Khairnar, H.P. (2021). Taguchi method optimization of operating parameters for automotive disc brake pad wear, *Applied Engineering Letters*, 6(2), 47-53.
- Kao, T.K., Richmond J.W., Douarre A.(2000). Brake disc hot spotting and thermal judder: an experimental and finite element study, *International Journal of Vehicle Design*, 23(3), 276-296.
- Kaunitz, L. (2022). Severity Prediction and Time-Series Analysis of Vehicle Accidents Using Statistical Models - Thesis , University of California, Los Angeles.
- Khapre, Sh., Metkar, R. (2021). A review paper on drum brake, *Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, 18(3), 4851.
- Kharate, N., Pawar, R., Deshmukh, R.R. (2018). Performance optimisation of disc brake system using Taguchi approach, *International Journal of Vehicle Safety*, 10(3/4), 253-260.
- Khasawneh, M.A., Al-Omari, A.A., Ganam, B. (2022). Forecasting traffic accidents in developing countries using time series analysis, *Jordan Journal of Civil Engineering*, 16(1), 54-70.
- Khasnabis, S., Hwa Lyoo, S. (1989). Use of time series analysis to forecast truck accidents, *Transportation research record*, 1249, 30-36.
- Kim, D.J., Lee, Y.M., Park, J.S., Seok, C.S.(2008). Thermal stress analysis for a disk brake of railway vehicles with consideration of the pressure distribution on a frictional surface, *Materials Science and Engineering* , 483-484.
- Kinkaid, N.M., O'Reilly, O.M., Papadopoulos, P. (2003). Automotive disc brake squeal, *Journal of Sound and Vibration*, 267(1),105–166.
- Koetnuyom, S., Brooks, S., Barton, D.C. (2002). The development of a material model for cast iron that can be used for brake system analysis, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 216(5), 349-362.

- Kolla, E., Ondruš, J., Gogola, M., Šarić, Ž. (2020). Braking characteristics of the specified modern electric vehicle during intensive braking, *Advances in Science and Technology Research*, 14 (3), 125-134.
- Kudarauskas, N. (2007). Analysis of emergency braking of a vehicle, *Transport*, 22(3), 154-159.
- Kumbhar, N., Patil, S., Sawant, S. (2017). A comparative study on automotive brake testing standards, *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*, 98(4), 527-531.
- Lazarsfeld, P., Fiske, M. (1938). The “panel” as a new tool for measuring opinion, *Public Opinion Quarterly*, 2 (4), 596-612.
- Liao, Z.C., Bai, X.F., Li, Y., Deng, X.C., Sun, J. (2020). Design, modeling, and verification of a test bench for braking simulation of 1/4 vehicle, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 234, 1425–1441.
- Lindberg, E.(2011). Vehicle disc brake roughness noise: experimental study of the interior noise and vibro-acoustic modelling of suspension systems - PhD thesis, KTH, Stockholm.
- Liu, X., Ma, Ch., Jiang, Y., Zhang, L., Xue, Y. (2021). Research on anti-lock braking system of electro-mechanical braking vehicle based on feature extraction, *Journal of Physics: Conference Series*, 1982, 012001.
- López-Martín, E., Ardura-Martínez, D. (2023). The effect size in scientific publication, *Educación XX1*, 26(1), 9-17
- Mackin, T.J., Noe, S.C., Ball, K.J., Bedell, B.C. (2002). Thermal cracking in disc brakes, *Engineering Failure Analysis*, 9(1), 63-76.
- Majumder, S., Maheshwarappa, H.M. (2023). Interpretation of p-value: The Correct Way!, *Indian Journal of Respiratory Care*, 12(1), 1-2
- Mathworks. (2025). Choose classifier options, *MATLAB Help Center*. Интернет адреса: <https://www.mathworks.com/help/stats/choose-a-classifier.html>, (приступљено 03.05.2025.).
- Maurya, A., Bokare, P.S. (2012). Study of deceleration behaviour of different vehicle types, *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, 2(3), 253-270.
- Mayank, Vishwakarma, P., Mudassir, M, Maurya, M.K. (2022). Hydraulic braking system, *JETIR*, 9(6), e217-221.
- Merbilhaa, M. (2023). 4 abril, *Patreone*. Интернет адреса: <https://www.patreon.com/posts/4-abril-81012711>, (приступљено 07.02.2025.).
- Mićić, S., Vujadinović, R., Amidžić, G., Damjanović, M., Matović, B. (2022). Accident Frequency Prediction Model for Flat Rural Roads in Serbia, *Sustainability*, 14, 1-14.
- Min, K., Sim, G., Ahn, S., Sunwoo, M., Jo, K. (2019). Vehicle Deceleration Prediction Model to Reflect Individual Driver Characteristics by Online Parameter Learning for Autonomous Regenerative Braking of Electric Vehicles, *Sensors*, 19(19), 1-24.
- Munro, B. (2022). Here’s how.....why!, *Ferriscars*. Интернет адреса: <https://ferriscars.com/tag/scaglietti/>, (приступљено 15.04.2025.).
- Muttart, J., Fisher, D., Kauderer, C., Bartlett, W., Peck, L., Guderian, S., Ton, L., Muttart, M. (2011). Influence of riding experience on glance behavior, brake response time and deceleration rates by drivers and motorcyclists, *PROCEEDINGS of the Sixth*

- International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design*, 461-468.
- Mohammed, A.A., Ambak, K., Mosa, A.M., Syamsunur, D. (2019.) A Review of the traffic accidents and related practices worldwide, *The Open Transportation Journal*, 13, 65-83.
- Mohan, K., Pugazhendhi, G. (2017). Accidents avoiding system indicator due to brake failure, *Asian Journal of Applied Science and Technology (AJAST)*, 1(6), 3-7.
- Mulahusejnović, R. (2021). Primjena dijagnostičkih metoda kod vještačenja tehničke ispravnosti motornih vozila, *Internacionalni univerzitet, NIR*, 18/202, 51-66.
- Murray, W. (2008). Anti-lock Braking Systems (ABS), *Journal of the Australasian College of Road Safety*, 19(3), 18-20.
- Mustafić, I. (2016). Uređaj za mjerenje tačke ključanja kočione tečnosti – primjena, *Statistička analiza podataka o obavljenim tehničkim pregledima u periodu 1.7. - 30.9.2016. godine i stručne teme*, Stručni bilten broj 36, 36-42.
- Mutangi, K. (2015). Time series analysis of road traffic accidents in zimbabwe, *International Journal of Statistics and Applications*, 5(4), 141-149.
- Nagori, P., Deharkar, R., Fuse, K., Rahaman, S.F. (2023). Comparative analysis of machine learning algorithms in predicting the mean fully developed deceleration and stopping distance in electric vehicles, *Journal of Aeronautical and Automotive Engineering (JAAE)*, 10(1), 1-4.
- Nagurnas, S., Mitunevicius, V., Unarski, J.U., Wach, W. (2007). Evaluation of veracity of car braking parameters used for the analysis of road accidents, *TRANSPORT*, 22(4), 307-311.
- Nanga, S. (2019). Time series analysis of road accidents in Ghana. *Finance & Management Engineering Journal of Africa*, 1(4), 25-33.
- Newton, I. (1687). *The Mathematical Principles of Natural Philosophy*.
- Neyman, J. (1934). On the two different aspects of the representative method: the method of stratified sampling and the method of purposive selection, *Journal of the Royal Statistical Society*, 97, 558-606.
- Nikoyo brake. (2025). Disc Brake System, *Nikoyo brake*. Интернет адреса: <https://www.nikoyobrake.com/> (приступљено 30.05.2025.).
- Obari, D. (2024). What is brake fade and what causes it?, *Slashgear*. Интернет адреса: <https://www.slashgear.com/1511360/brake-fade-explained-what-causes-it/>, (приступљено 13.05.2025.).
- Ondruš, J., Hockicko, P. (2015). Braking deceleration measurement using the video analysis of motions by SW tracker, *Transport and Telecommunication*, 2015, 16 (2), 127–137.
- Ornstein M. (2013). *A companion to survey research*, SAGE Publications LTD, London, ISBN 978-1-4462-0909-7.
- Owen, C. (2010). *Automotive Brake Systems, Classroom Manual, Today's Technician, Delmar Cengage Learning*, Delmar Cengage Learning, ISBN 978-1435486577.
- Ozelim, L., Zephaniah, S., Adanu, E. K., Smith R. (2016). Factors in differential safety performance across different income levels, *17th International Conference Road Safety on Five Continents (RS5C 2016)*, 1-28.

- Pan, Y. (2024). Different types of neural networks and applications: evidence from feedforward, convolutional and recurrent neural networks, *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 85, 247-255.
- Panier, S., Dufrénoy, P., Brunel, J.F., Weichert, D. (2005). Progressive waviness distortion: A new approach of hot spotting in disc brakes, *Journal of Thermal Stresses*, 28(1), 47–62.
- Papinniemi, A., Lai, J.C.S., Zhao, J., Loader, L. (2002). Brake squeal: A literature review, *Applied Acoustics*, 63(4), 391-400.
- Parvareh, M., Karimi, A., Rezaei, S., Woldemichael, A., Nili, S., Nouri, B., Nasab, N.E. (2018). Assessment and prediction of road accident injuries trend using time-series models in Kurdistan, *Burns & Trauma*, 6(9), 1-8.
- Patel, H., Prajapati, P. (2018). Study and Analysis of Decision Tree Based Classification Algorithms, *International Journal of Computer Sciences and Engineering*, 6(10), 74-78.
- Pecolta, S., Błażejewska, A., Gierulaa, K., Królikowskia, T. (2021) Investigation of Anti-Lock Braking System failures using wavelet analysis, *Procedia Computer Science*, 192, 3262–3271.
- Podoprigora, N., Dobromirov V., Pushkarev, A., Lozhkin, V. (2017). Methods of assessing the influence of operational factors on brake system efficiency in investigating traffic accidents, *Transportation Research Procedia*, 20, 516-522.
- Pomoni, M., Plati, C., Kane, M.- Loizos, A. (2022). Polishing behaviour of asphalt surface course containing recycled materials, *International Journal of Transportation Science and Technology*, 11, 711-725.
- Professional motor mechanic. (2022). Brake judder: Everything you need to know, *Professional motor mechanic*. Интернет адреса: <https://pmmonline.co.uk/article/brake-judder-everything-you-need-to-know/>, (приступљено 11.06.2025.).
- Pustavrh, J., Hočevár, M., Podržaj, P., Trajkovski, A. (2023). Comparative study of a hydraulic, pneumatic and electric linear actuator system, *Research Square*, 13, 1-21.
- Putra, M.R.A., Tjahjana, D.D. D. P. (2020). Fractures on braking component and relations to land-based transportation accident, *Procedia Structural Integrity*, 27, 147-154.
- Ramos, D.G., Gauchía, A., Boada, B., Díaz, V. (2010). New procedure to estimate the brake warping in a roller tester, *International Journal of Automotive Technology*, 11, 691-699.
- Rashid, A., Strömberg, N.(2013). Sequential simulation of thermal stresses in disc brakes for repeated braking, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 227(8), 919–929.
- Rashid, A. (2014). Overview of Disc Brakes and Related Phenomena - a review, *International Journal of Vehicle Noise and Vibration*, 10(4), 257-301.
- Reif, K. (2014). *Brakes, Brake Control and Driver Assistance Systems Function, Regulation and Components*, Springer, Heidelberg. ISBN 978-3-658-03978-3.
- Rhee, S.K. (1974). Friction properties of a phenolic resin filled with iron and graphite - sensitivity to load, speed and temperature, *Wear*, 28(2), 277-281.
- Rosenthal, R. (1990). How are we doing in soft psychology?, *American Psychologist*, 45, 775-777.

- Sadegh, J. (2019). Time Series Forecasting For Road Accidents in UK. Интернет адреса: <https://towardsdatascience.com/time-series-forecasting-for-road-accidents-in-uk-f940e5970988>, (приступљено 22.04.2025.).
- Samarins, V. (2023). ABS sensor: how it works, common problems, repair costs. Интернет адреса: <https://www.samarins.com/glossary/abs-sensor.html>. (приступљено 18.04.2025.).
- Samson, A.O., Adewale, L.A. (2020). Traffic crashes prediction of states in Nigeria using time series analysis, *Global Journal of Engineering and Technology Advances*, 3(1), 15-26.
- Santos-Cuadros, S., Page del Pozo, Á., Álvarez-Caldas, C., San Román García, J.L. (2024). Kinematic analysis of an unrestrained passenger in an autonomous vehicle during emergency braking. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 12, 1270181.
- Satapathy, B.K., Bijwe, J. (2004). Performance of friction materials based on variation in nature of organic fibres: Part I. Fade and recovery behaviour, *Wear*, 257(5-6), 573-584.
- Sawczuk, W., Jüngst, M., Ulbrich, D., Kowalczyk, J. (2021). Modeling the Depth of Surface Cracks in Brake Disc, *Materials*, 14, 1-18.
- Schober, P., Boer, C., Schwarte, L.A. (2018). Correlation Coefficients: Appropriate Use and Interpretation, *Anesthesia & Analgesia*, 126(5), 1763-1768.
- Shiza, N., Kumar, A. S. (2023). A Study on control strategies utilized for performance enhancement of antilock braking system, *Materials*, 80, 128-133.
- Siirtola, P., Röning, J. (2020). Comparison of regression and classification models for user-independent and personal stress detection, *Sensors*, 20, 1-12.
- Sivagurunathan, V., Naveen, V., Jegadeeshwaran R., Sugumaran V. (2024). Brake fault diagnosis using a voting ensemble of machine learning classifiers, *Results in Engineering*, 23, 102857.
- Skrucany, T., Synák, F., Semanova, S. (2018). Influence of the braking system that is contrary to legislation on braking characteristics of passenger car, *Transport technic and technology*, 14(1), 1-5.
- Skrucany, T., Vrábek, J., Kažimír, P. (2020). The influence of the cargo weight and its position on the braking characteristics of light commercial vehicles, *De Gruyter*, 10, 154-165.
- Smart J. (2024). Anti-lock Braking System (ABS) problems?. Интернет адреса: <https://www.mobil.com/en/lubricants/for-personal-vehicles/auto-care/vehicle-maintenance/anti-lock-braking-system-abs-problems>, (приступљено 12.02.2025.).
- Smith, J. (2017) *Machine learning with Matlab. Supervised learning and regression*. CreateSpace Independent Publishing Platform, Scotts Valley. ISBN 978-1545349632.
- Staff, A. (1990). *A policy on geometric design of highways and streets*, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington. ISBN 978-1560510017.
- Stojanovic, N., Glisovic, J., Grujic, I., Narayan, S., Vasiljevic S., Boskovic, B. (2018). Experimental and numerical modal analysis of brake squeal noise, *Mobility & Vehicle Mechanics*, 44(4), 73-85.

- Stojanovic, N., Nouby M. Ghazaly, N., Grujic, I., Doric J. (2022) Determination of noise caused by ventilated brake disc with respect to the rib shape and material properties using Taguchi method, *Transactions of FAMENA*, 46(4), 19-30.
- Stouffer, S.A., Suchman, E.A., Devinney, L.C., Star, S.A., Williams, R.M. (1949). *The American soldier: Adjustment during army life. (Studies in social psychology in World War II)*, Princeton University Press, New Jersey.
- Sumit, K., Ross, V., Ruiter, R., Polders, E., Wets, G., Brijs, K. (2022). An exploration of characteristics and time series forecast of fatal road crashes in Manipal, India, *Sustainability*, 14, 1-19.
- Synák, F., Jakubovičová, L., Klačko, M. (2022). Impact of the choice of available brake discs and brake pads at different prices on selected vehicle features, *Applied Sciences*, 12(14), 7325.
- Technical Service Bulletin. (2013). Интернет адреса: <https://static.nhtsa.gov/odi/tsbs/2013/MC-10226464-9999.pdf>, (приступљено 27.05.2025.).
- Tonguc, G., Hakkı Akçay I., Gurbuz, H. (2018). Improvement of the visual warning system for various driving and road conditions in road transportation, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 232(2), 175-187.
- Tretsiak, D. (2011). Experimental investigation of the brake system's efficiency for commercial vehicles equipped with disc brakes, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part D Journal of Automobile Engineering*, 226(6), 725-739.
- TÜV Kraftfahrt GmbH Institute of Traffic Safety - Department Safety Research and Development (2002). Cita research study programme on electronically controlled systems on vehicles - Testing of existing AntiLock Braking systems (ABS), Report 02 - 946 EL 00.
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR), & International Science Council (ISC). (2025). UNDRR–ISC Hazard Information Profiles – 2025 Update: TL0405 Road Traffic Accident United Nations Office for Disaster Risk Reduction; International Science Council. Интернет адреса: <https://www.undrr.org/terms/hips/TL0405>, (приступљено 23.07.2025.).
- Vasiljević, S., Glišović, J., Stojanović, N., Grujić, I. (2021). Application of neural networks in predictions of brake wear particulate matter emission. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part D Journal of Automobile Engineering*, 236(7), 1579-1594.
- Vasiljević, S., Glišović, J., Lukić, J., Miloradović, D., Stanojević, M., Đorđević, M. (2023). Analysis of parameters influencing the formation of particles during the braking process: experimental approach, *Atmosphere*, 14, 1618.
- Vasiljević, S., Stojanović, N., Grujić, I., Bošković, B., Mladenović, M. (2018). Measurement of vehicle brake coefficient as vehicle maintenance parameter on technical inspection lines, *7th International Congress Motor Vehicles & Motors 2018*, 523-529.
- Versand, K. (2025). Backenbremse, *Quagga-illustrations*. Интернет адреса: <https://www.quagga-illustrations.de/produkt/h0018602/>, (приступљено 19.05.2025.).
- Vilaça, M., Silva, N., Coelho, M. (2017). Statistical Analysis of the Occurrence and Severity of Crashes Involving Vulnerable Road Users, *20th EURO Working Group on*

Transportation Meeting, EWGT 2017, Budapest, Hungary, Transportation Research Procedia, 27, 1113-1120.

- Vipin, N., Rahul, T. (2021). Road traffic accident mortality analysis based on time of occurrence: Evidence from Kerala, India, *Clinical Epidemiology and Global Health*, 11, 1-8.
- Vrábel, J., Jagelčák, J., Rievaj, V., Caban, J. (2014). The quality of the brake components and its impact on the basic parameters of braking, *International scientific journal "Machines. Technologies. Materials."*, 8(6), 6-8.
- Wagner U., Hochlenert, D., Hagedorn, P. (2007). Minimal models for disk brake squeal, *Journal of Sound and Vibration*, 302(3), 527-539.
- Wahlström, J., Leonardi, M., Tu, M., Lyu, Y., Perricone, G., Gialanella, S., Olofsson, U. (2020). A study of the effect of brake pad scorching on tribology and airborne particle emissions, *Atmosphere*, 11(488), 1-13.
- Wei, N., Men, Z., Ren, C., Jia, Z., Zhang, Y., Jin, J., Chang, J., Lv, Z., Guo, D., Yang, Z., Guo, J., Wu, L., Peng, J., Wang, T., Du, Z., Zhang, Q., Mao, H. (2022). Applying machine learning to construct braking emission model for real-world road driving, *Environment International*, 166, 107386.
- WHO. (2023). Road traffic injuries. Интернет адреса: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>, (приступљено 10.03.2025.).
- World Disasters Report, International Federation of Red Cross and Crescent Societies, Oxford University Press Inc., New York, 1998.
- Xu, Z. (2017). Talking about the automobile braking system, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 274, 1-5.
- Yiğit, H., Köylü, H., Eken, S. (2022). Estimation of road surface type from brake pressure pulses of ABS, *Expert Systems with Applications*, 212, 118726.
- Younes, M.B. (2023). Drivers at stop signs in a connected, vehicle environment, *Future Internet*, 15(7), 238.
- Yuan, T., Liu, R., Zhao, X., Yu, Q., Zhu, X., Wang, S. (2022). Analysis of normal stopping behavior of drivers at urban intersections in China, *Journal of Advanced Transportation*, 2022(1), 1-17.

Домаћа литература

- Агенција за безбедност саобраћаја Република Србија (2018). Статистички извештај о стању безбедности саобраћаја у Републици Србији у 2019. години, https://www.abs.gov.rs/static/uploads/14460_izvestaj-o-stanju-bezbednosti-saobracaja-u-republici-srbiji-u-2019.-godini.pdf, (приступљено 19.01.2025.).
- Агенција за безбедност саобраћаја, Статистике и анализе, Ризици. Интернет адреса: <https://www.abs.gov.rs/rsc/rizici>, (приступљено 19.01.2025.).
- Бодоло, И., Радовановић, С., Гиула, К. (2023). Успоравање ПМВ у реалним условима (2), *Инжењерска Канцеларија за Анализу и Реконструкцију Незгода у друмском Саобраћају*. Интернет адреса: https://www.vestacenja.co.rs/docs/Usporavanje_pmv.doc, (приступљено 19.05.2025.).

- Бодоло, Т., Адам, А. (2024). Вештачење на утврђивању техничке неисправности возила као узрока саобраћајне незгоде, *Центар за вештачење и процене*. Интернет адреса: https://www.vestacenja.co.rs/docs/vestacenje_na_utvrdjivanju_tehnicke_neispravnosti_vozila.pdf, (приступљено 19.05.2025.).
- Вукадиновић, С., Поповић Ј. (2008). *Математичка статистика*, Саобраћајни факултет, Београд, ISBN 978-86-7395-165-2.
- Галић, П. (2015). Утврђивање утицаја техничке неисправности возила на настанак саобраћајне незгоде и оцену одговорности, *XIV симпозијум Вештачење саобраћајних незгода и преваре у осигурању*, 278-285.
- Глишовић, Ј., Лукић, Ј. (2021). *Мобилни системи*, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, ISBN 978-86-6335-084-7.
- Глишовић, Ј., Радоњић, Р. (2002). Оцена својстава добош кочница за моторна возила, Истраживање и развој машинских елемената и система, *ИРМЕС 2002*, 769-774.
- Дедовић, В., Божанић, В. Божовић, М. (2021). Испитивање параметара возила у зависности од техничког прегледа, *Техника – саобраћај*, 68, 352-357.
- Јаничић, Б. (2019). *Основе анкетних истраживања*, Филозофски Факултет, Нови Сад, ISBN 978-86-6065-533-4.
- Јанковић, С., Кукић, К., Узелац, А., Мараш, В. (2019). Предикција саобраћаја у локалној рачунарској мрежи применом надгледаног машинског учења, *XXXVII Симпозијум о новим технологијама у поштанском и телекомуникационом саобраћају – PosTel 2019*, 183-192.
- Крстић, Ж. (2006). Упознавање са планирањем експеримената, *Фестивал квалитета 2006*, 33. Национална конференција о квалитету, 1-4.
- Кукић, Д., Симић, М., Цветиновић, Ј., Ковачевић, М., Петровић, Д., Мартиновић, Н., Нојковић, Д., Станисављевић, Ђ., Јованов, Д., Красић, П., Тучић, М., Максимовић, В., Дробњак, Ј. (2021). Интегрисана база података о обележјима безбедности саобраћаја - Упутство за коришћење софтверске апликације.
- Липовац, К. (2008). *Безбедност саобраћаја*, Јавно предузеће Службени лист СРЈ, Београд, ISBN 978-86-355-0747-7.
- Лукић, Ј. (2011). Комплексна удобност возила, Машински факултет, Крагујевац, ISBN 978-86-86663-71-9.
- Микулић, Д. (2020). Моторна возила - Теорија кретања и конструкција, Велеучилиште Велика Горица, Велика Горица, ISBN 978-953-7716-89-9.
- Николић, М., Зечевић, А. (2019). Машинско учење, Математички факултет, Београд. Интернет адреса: <https://ml.matf.bg.ac.rs/readings/ml.pdf>, (приступљено 19.05.2025.).
- Пајић, Д. (2020) *Примена техника визуализације у базичној статистици*, Филозофски факултет, Нови Сад, ISBN 978-86-6065-582-2.
- Пешић, Д., Антић, Б., Липовац, К. (2019). *Безбедност саобраћаја: Методе и анализе*, Саобраћајни факултет, Београд, ISBN 978-86-7395-404-2.
- Републички завод за статистику. (2025). Процена становништва, по старости и полу (почетак, средина и крај године), *Републички завод за статистику*. Интернет

адреса: <https://data.stat.gov.rs/Home/Result/18010403?languageCode=sr-Cyrl>,
(приступљено 19.05.2025.).

Службени гласник РС, бр. 24/2024, Правилник о подели моторних и прикључних возила и техничким условима за возила у саобраћају на путевима.

Службени гласник РС, бр. 84/2023, Стратегија безбедности саобраћаја Републике Србије за период од 2023 до 2030. године са акционим планом за 2023. до 2025. године.

Службени гласник РС, бр. 19/2025, Закон о безбедности саобраћаја на путевима.

Стојановић, Н. (2021). Идентификација термичких напрезања диск кочице за различите радне параметре кочења - докторска дисертација, Факултет инжењерских наука, Крагујевац.

Стојановић, Н. (2025). *Саобраћај и окружење*, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, ISBN 978-86-6335-154-7.

Ђировић, В. (2012). Истраживање могућности примене вештачке интелигенције у предвиђању перформанси кочног система моторних возила - докторска дисертација, Машински факултет, Београд.

Фајгељ, С. (2004). *Методe истраживања понашања*, Центар за примењену психологију, Београд, ISBN 978-86-89377-42-2.

ПРИЛОГ А

Ставови возача о улози техничке исправности кочног система возила и његовог значаја на безбедно учешће возила у саобраћају (Анкета је анонимна!)

Циљ овог истраживања је утврђивање ставова возача о значају техничке исправности кочног система и његовог утицаја на безбедност саобраћаја у Републици Србији. Истраживање ће се користити искључиво у научно-истраживачке сврхе.

- Пол**
 Мушки Женски
- Године старости**
 16 – 25 26 – 35 36 – 45 46 – 55 56 – 65 65 +
- Који је Ваш ниво образовања?**
 Основно Средње Више Високо Остало
- Да ли сте власник возила?**
 Да Не
- Возачку дозволу поседујете за категорије:**
 AM A1 A2 A B1 B BE C1 C1E
 C CE D1 D1E D DE F M
- Колико година поседујете возачку дозволу?**
 Мање од 2 год. 2 – 5 год. 6 – 15 год. 16 – 30 год. > 30 год.
- Колика је старост возила које користите?**
 < 2 год. 3 – 5 год. 6 – 10 год. 11 – 15 год. 16 – 20 год. > 20 год.
- Колико километара пређете возилом на годишњем нивоу?**
 Мање од 1.000 km 1.000 – 5.000 km 5.000 – 10.000 km 10.000 – 20.000 km Више од 20.000 km
- Оцените колико је сваки од наведених система важан за безбедно учешће у саобраћају?**

	Није важан	Мало важан	Неутралан	Важан	Веома важан
Систем за заустављање (кочење)	<input type="checkbox"/>				
Систем за управљање	<input type="checkbox"/>				
Систем за ослањање	<input type="checkbox"/>				
Пнеуматици	<input type="checkbox"/>				
Систем за осветљавање и означавање возила	<input type="checkbox"/>				

10. Оцените колико сваки од наведених фактора утиче на безбедно учешће у саобраћају?

	Никада	Ретко	Понекад	Често	Увек
Вожња у уморном стању	<input type="checkbox"/>				
Вожња под дејством психоактивних супстанци	<input type="checkbox"/>				
Вожња под дејством алкохола	<input type="checkbox"/>				
Коришћење мобилних телефона током вожње	<input type="checkbox"/>				
Лоши временски услови	<input type="checkbox"/>				
Технички неисправна возила	<input type="checkbox"/>				
Стање коловоза	<input type="checkbox"/>				

- Да ли сте као возач учествовали у саобраћајној незгоди?**
 Да Не
- Да ли је један од узрок настанка саобраћајне незгоде била неисправност кочног система?**
 Да Не
- Да ли је неко кога познајете учествовао у саобраћајној незгоди, где је један од узрока био неисправан кочни систем?**
 Да Не
- Да ли сматрате да неисправност кочног система може да допринесе повећању последица саобраћајне незгоде?**
 Да Не
- Колико се слажете са следећом тврдњом: Старост возила има утицаја на поузданост система за кочење.**
 Потпуно се не слажем Делимично се не слажем Неутрално Делимично се слажем Потпуно се слажем

16. Да ли сте у последњих пет година били кажњени због техничке неисправности система за кочење?

Да Не

17. На дужину зауставног пута, по Вашем мишљењу, највише утиче:

Неискуство младих возача Спорија реакција старијих возача Непоштовање држања прописаног одстојања "Гужва" у саобраћају Техничко стање система за кочење

18. Да ли сте некада били враћени са техничког прегледа због неисправности кочног система?

Да Не

19. Да ли контролу система за кочење на линији техничког прегледа треба поштриити?

Да Не

20. На који начин одржавате своје возило?

Основне провере радим сам/а док за сложеније проблеме одлазим у сервис За све провере одлазим у сервис Све провере вршим сам/а

21. Да ли сматрате да је потребно проверавати техничку исправност возила у периоду од годину дана?

Да Не

22. На који временски период проверавате исправност система за кочење?

Мањи од шест месеци Једном у шест месеци Једном годишње

23. Проверу исправности система за кочење на Вашем возилу вршите:

	Никад	Ретко	Понекад	Често	Увек
Непосредно пре техничког прегледа	<input type="checkbox"/>				
Непосредно пре одласка на путовање	<input type="checkbox"/>				
Када приметим да нешто није у реду	<input type="checkbox"/>				

24. Уколико би Вам се активирао контролни индикатор на возилу који упозорава возача на проблем у систему за кочење:

Одмах бих проверио/ла у чему је проблем Након извесног времена бих проверио/ла у чему је проблем Занемарио/ла бих информацију са контролног индикатора Реаговао/ла бих уколико бих приметно/ла да се систем понаша другачије од уобичајеног

25. Оцените колико је важна исправност кочних плочица у систему за кочење.

Није важна Мало важна Неутрално Важна Веома важна

26. Колико често мењате кочне плочице на возилу?

По препоруци произвођача Када се чују одређени звукови (шкрипа) Када се осете вибрације на палучици кочнице По препоруци аутомеханичара Остало

27. Приликом одабира кочних плочица, битан Вам је:

Квалитет Цена Поузданост Препорука аутомеханичара

28. Оцените колико је важна исправност дискова у систему за кочење.

Није важна Мало важна Неутрално Важна Веома важна

29. Колико често мењате кочне дискове на возилу?

По препоруци произвођача Када се чују одређени звукови (шкрипа) Када се осете вибрације на палучици кочнице По препоруци аутомеханичара Остало

30. Приликом одабира кочних дискова, битан Вам је:

Квалитет Цена Поузданост Препорука аутомеханичара

31. У случају потребне замене кочних дискова, Ви бисте:

Заменили дискове куповином нових, али скупљих Заменили дискове куповином нових, али јефтинијих Обрадили старе дискове Заменили дискове куповином половних

32. Да ли сте у последњих пет година платили казну зато што сте управљали возилом које је имало неисправан систем за кочење? *контролно питање

Да Не

Хвала Вам што сте учествовали у анкети!

ПРИЛОГ Б

Табела Б.1. Вредности теста ТП1

Време, s	Брзина, m/s	Притисак, МРа	Температура, °C	Стварно успорење, m/s ²	Предвиђено успорење, m/s ²
0,00	16,67	5,00	27,51	0,00	0,00
0,25	15,63	5,00	27,52	6,05	6,47
0,50	12,93	5,00	27,81	4,61	4,81
0,75	10,61	5,00	27,71	5,39	5,84
1,25	10,50	5,00	27,74	5,45	5,65
1,50	10,46	5,00	27,76	4,41	5,06
1,75	8,56	5,00	27,90	3,52	4,55
2,00	6,26	5,00	27,99	3,92	4,61
2,25	6,16	5,00	28,16	4,59	4,54
2,50	6,09	5,00	28,30	4,52	4,25
3,00	4,05	5,00	28,51	3,55	3,50
3,25	1,48	5,00	28,67	5,09	1,20
3,50	0,00	5,00	28,93	0,00	0,00
Средња вредност				3,93	3,88

Табела Б.2. Вредности теста ТП2

Време, s	Брзина, m/s	Притисак, МРа	Температура, °C	Стварно успорење, m/s ²	Предвиђено успорење, m/s ²
0,00	19,44	5,00	28,11	0,00	0,00
0,25	18,19	5,00	28,13	6,15	4,28
0,50	15,42	5,00	28,14	4,68	4,85
0,75	13,11	5,00	28,27	5,51	4,80
1,25	13,04	5,00	28,35	5,63	4,57
1,50	12,95	5,00	28,38	4,60	4,45
1,75	10,96	5,00	28,39	3,70	4,23
2,00	8,52	5,00	28,54	4,42	5,24
2,25	8,45	5,00	28,67	5,36	5,14
2,75	8,41	5,00	28,84	4,62	4,94
3,00	6,50	5,00	29,01	3,68	4,74
3,25	3,98	5,00	29,21	4,53	4,46
3,50	3,90	5,00	29,46	5,42	4,76
3,75	3,82	5,00	29,72	3,65	4,90
4,00	1,68	5,00	30,00	4,24	4,57
4,21	0,00	5,00	30,26	0,00	0,00
Средња вредност				4,14	4,12

Табела Б.3. Вредности теста ТПЗ

Време, s	Брзина, m/s	Притисак, MPa	Температура, °C	Стварно успорење, m/s ²	Предвиђено успорење, m/s ²
0,00	22,22	5,00	30,01	0,00	0,00
0,25	21,03	5,00	30,12	6,24	5,56
0,50	18,12	5,00	30,10	4,75	4,98
0,75	15,78	5,00	30,21	5,56	4,98
1,00	15,72	5,00	30,31	5,48	5,76
1,50	15,63	5,00	30,40	4,29	4,92
1,75	13,64	5,00	30,54	3,60	4,92
2,00	11,74	5,00	30,68	4,50	4,92
2,25	11,35	5,00	30,94	4,96	4,92
2,50	11,07	5,00	31,20	4,02	4,92
2,75	9,00	5,00	31,49	4,16	4,35
3,25	6,74	5,00	31,79	5,62	4,35
3,50	6,32	5,00	32,12	5,71	4,35
3,75	4,11	5,00	32,47	4,66	4,16
4,00	2,00	5,00	32,87	4,61	3,05
4,25	1,54	5,00	33,24	3,56	3,05
4,75	1,28	5,00	33,65	1,33	3,05
4,93	0,00	5,00	34,04	0,00	0,00
Средња вредност				4,06	4,01

Табела Б.4. Вредности теста ТП4

Време, s	Брзина, m/s	Притисак, MPa	Температура, °C	Стварно успорење, m/s ²	Предвиђено успорење, m/s ²
0,00	25,00	5,00	29,10	0,00	0,00
0,25	23,87	5,00	29,11	6,06	4,98
0,50	21,13	5,00	29,16	4,63	4,29
0,75	18,88	5,00	29,20	5,45	4,79
1,00	18,80	5,00	29,22	5,57	5,18
1,50	18,67	5,00	29,33	4,56	4,17
1,75	16,69	5,00	29,41	3,69	4,14
2,00	14,27	5,00	29,60	4,25	5,24
2,25	14,20	5,00	29,71	4,83	5,24
2,50	14,13	5,00	30,03	4,87	5,20
3,00	11,14	5,00	30,24	4,92	4,59
3,25	9,13	5,00	30,56	4,93	4,86
3,50	6,64	5,00	30,87	5,09	4,86
3,75	6,54	5,00	31,18	4,98	4,33
4,00	6,48	5,00	31,55	3,85	3,75
4,25	4,56	5,00	31,95	3,60	4,61
4,75	1,98	5,00	32,34	3,53	3,40
5,00	1,60	5,00	32,78	2,43	3,18
5,25	0,00	5,00	33,20	0,00	0,00
Средња вредност				4,07	4,04

Табела Б.5. Вредности теста ТП5

Време, s	Брзина, m/s	Притисак, MPa	Температура, °C	Стварно успорење, m/s ²	Предвиђено успорење, m/s ²
0,00	27,78	5,00	27,91	0,00	0,00
0,50	26,55	5,00	28,15	5,47	4,79
0,75	23,91	5,00	28,11	4,28	4,79
1,00	21,70	5,00	28,10	4,87	5,22
1,25	21,62	5,00	28,03	4,92	5,22
1,50	21,50	5,00	28,20	4,83	5,22
2,00	18,82	5,00	28,26	4,94	5,22
2,25	16,68	5,00	28,07	4,93	5,22
2,50	14,18	5,00	28,73	5,23	5,22
2,75	14,10	5,00	28,77	5,19	5,22
3,00	14,02	5,00	29,01	3,87	5,22
3,25	11,89	5,00	29,25	3,87	5,10
3,75	9,42	5,00	29,58	5,78	5,10
4,00	9,31	5,00	29,92	5,90	5,10
4,25	6,84	5,00	30,29	4,59	5,10
4,50	4,36	5,00	30,64	4,94	5,10
4,75	4,30	5,00	31,04	5,60	5,10
5,25	4,23	5,00	31,46	3,63	2,80
5,50	2,04	5,00	31,92	4,29	2,80
5,75	0,00	5,00	32,36	0,00	0,00
Средња вредност				4,36	4,38

Табела Б.6. Вредности теста ТП_{МЗОМУ}

Време, s	Брзина, m/s	Притисак, MPa	Температура, °C	Стварно успорење, m/s ²	Предвиђено успорење, m/s ²
0,00	16,67	5,00	26,39	0,00	0,00
0,50	15,61	5,00	26,40	5,53	5,85
0,75	13,19	5,00	26,42	7,55	6,34
1,00	10,43	5,00	26,45	9,64	8,50
1,25	7,81	5,00	26,49	8,39	8,64
1,50	5,22	5,00	26,52	6,95	8,91
2,00	0,00	5,00	26,58	0,00	0,00
Средња вредност				5,44	5,46

Табела Б.7. Вредности теста ТП2_{МзОМУ}

Време, s	Брзина, m/s	Притисак, МРа	Температура, °C	Стварно успорење, m/s ²	Предвиђено успорење, m/s ²
0,00	19,44	5,00	27,27	0,00	0,00
0,25	18,25	5,00	27,32	6,04	2,95
0,50	15,66	5,00	27,37	7,38	8,67
0,75	13,08	5,00	27,55	9,16	10,53
1,00	10,77	5,00	27,40	9,47	11,43
1,50	6,45	5,00	27,39	9,23	7,74
1,75	4,16	5,00	27,53	7,27	6,56
2,00	1,78	5,00	27,59	6,18	7,05
2,20	0,00	5,00	27,74	0,00	0,00
Средња вредност				6,08	6,10

Табела Б.8. Вредности теста ТП3_{МзОМУ}

Време, s	Брзина, m/s	Притисак, МРа	Температура, °C	Стварно успорење, m/s ²	Предвиђено успорење, m/s ²
0,00	22,22	5,00	28,63	0,00	0,00
0,25	21,40	5,00	28,66	5,34	5,20
0,50	19,14	5,00	28,59	7,20	7,06
1,00	14,06	5,00	28,64	9,25	11,02
1,25	11,62	5,00	28,71	10,11	10,42
1,50	9,06	5,00	28,77	10,63	9,55
1,75	6,49	5,00	28,74	8,63	8,67
2,00	3,70	5,00	28,96	7,63	7,68
2,28	0,00	5,00	29,12	0,00	0,00
Средња вредност				6,53	6,62

Табела Б.9. Вредности теста ТП4_{МзОМУ}

Време, s	Брзина, m/s	Притисак, МРа	Температура, °C	Стварно успорење, m/s ²	Предвиђено успорење, m/s ²
0,00	25,00	5,00	27,50	0,00	0
0,25	24,20	5,00	27,54	6,37	5,88
0,50	21,25	5,00	27,57	7,91	7,57
0,75	18,68	5,00	27,59	9,96	9,50
1,00	16,13	5,00	27,61	10,39	10,55
1,50	11,03	5,00	27,68	10,23	10,14
1,75	8,47	5,00	27,75	10,22	8,85
2,00	5,90	5,00	27,94	8,18	8,61
2,25	3,36	5,00	28,04	6,81	8,04
2,58	0,00	5,00	28,41	0,00	0
Средња вредност				7,01	6,91

Табела Б.10. Вредности теста ТП5_{МЗОМУ}

Време, s	Брзина, m/s	Притисак, MPa	Температура, °C	Стварно успорење, m/s²	Предвиђено успорење, m/s²
0,00	27,78	5,00	28,45	0,00	0
0,25	26,52	5,00	28,48	6,62	1,68
0,50	23,61	5,00	28,53	8,41	9,52
0,75	20,84	5,00	28,55	10,63	9,52
1,00	18,06	5,00	28,58	11,15	13,58
1,50	12,52	5,00	28,63	11,10	13,58
1,75	9,75	5,00	28,76	11,10	13,58
2,00	6,97	5,00	29,05	11,17	10,88
2,25	4,20	5,00	29,24	8,96	10,88
2,50	1,42	5,00	29,58	7,52	2,20
2,62	0,00	5,00	29,90	0,00	0
Средња вредност				7,88	7,76

Биографија аутора

Бојана М. Бошковић рођена је 20. маја 1992. године у Краљеву. Техничку школу у Трстенику завршила је 2011. године. Исте године уписала је Високу техничку школу струковних студија у Трстенику и завршила са просечном оценом 9,27. Завршни рад под називом „Анализа безбедности друмског саобраћаја са аспекта активне безбедности возила“ одбранила је под менторством проф. др Миломира Мијатовића.

Основне академске студије на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу на студијском програму Машинско инжењерство – модул: Друмски саобраћај уписала је 2014. године и завршила са просечном оценом 9,25. Дипломски рад под називом „Експлоатација друмских возила у условима екстремних амбијенталних температура“ одбранила је под менторством проф. др Божидара Крстића.

Мастер студије Машинско инжењерство – модул: Друмски саобраћај уписала је 2016. године, и завршила са просечном оценом 9,67. Мастер рад под називом „Преносне функције тела возача“ одбранила је под менторством проф. др Јованке Лукић.

Докторске академске студије на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу, уписала је школске 2019/2020. године на смеру Машинско инжењерство - модул Моторна возила и мотори СУС. Положила је све испите на докторским студијама са просечном оценом 9 (девет).

Током основних и мастер академских студија била је стипендиста Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије и Фонда за младе таленте општине Трстеник. Као аутор и коаутор објавила је 22 научна и стручна рада.

Од 2018. године запослена је на Високој техничкој машинској школи струковних студија у Трстенику (сада Академија струковних студија Шумадија – Одсек Трстеник), за ужу научну област Технологије саобраћаја.

ИЗЈАВА АУТОРА О ОРИГИНАЛНОСТИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Изјављујем да докторска дисертација под насловом:

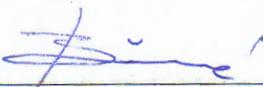
ТЕОРИЈСКА И ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА АНАЛИЗА УТИЦАЈА КОЧНОГ СИСТЕМА ВОЗИЛА НА БЕЗБЕДНОСТ ДРУМСКОГ САОБРАЋАЈА

представља *оригинално ауторско дело* настало као резултат *сопственог истраживачког рада*.

Овом Изјавом такође потврђујем:

- да сам *једини аутор* наведене докторске дисертације,
- да у наведеној докторској дисертацији *нисам извршио/ла повреду* ауторског нити другог права интелектуалне својине других лица,

У Крагујевцу, 8.10.2025. године,



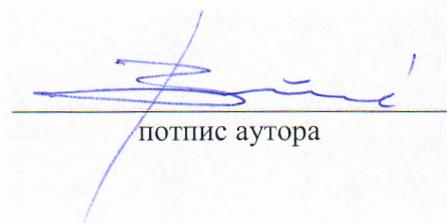
потпис аутора

**ИЗЈАВА АУТОРА О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНЕ И ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ
ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ**

Изјављујем да су штампана и електронска верзија докторске дисертације под насловом:

ТЕОРИЈСКА И ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА АНАЛИЗА УТИЦАЈА КОЧНОГ СИСТЕМА
ВОЗИЛА НА БЕЗБЕДНОСТ ДРУМСКОГ САОБРАЋАЈА истоветне.

У Крагујевцу, 8.10.2025. године,



потпис аутора

ИЗЈАВА АУТОРА О ИСКОРИШЋАВАЊУ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Ја, Бојана Бошковић,

дозвољавам

не дозвољавам

Универзитетској библиотеци у Крагујевцу да начини два трајна умножена примерка у електронској форми докторске дисертације под насловом:

ТЕОРИЈСКА И ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА АНАЛИЗА УТИЦАЈА КОЧНОГ СИСТЕМА ВОЗИЛА НА БЕЗБЕДНОСТ ДРУМСКОГ САОБРАЋАЈА

и то у целини, као и да по један примерак тако умножене докторске дисертације учини трајно доступним јавности путем дигиталног репозиторијума Универзитета у Крагујевцу и централног репозиторијума надлежног министарства, тако да припадници јавности могу начинити трајне умножене примерке у електронској форми наведене докторске дисертације путем *преузимања*.

Овом Изјавом такође

дозвољавам

не дозвољавам¹

¹ Уколико аутор изабере да не дозволи припадницима јавности да тако доступну докторску дисертацију користе под условима утврђеним једном од *Creative Commons* лиценци, то не искључује право припадника јавности да наведену докторску дисертацију користе у складу са одредбама Закона о ауторском и сродним правима.

припадницима јавности да тако доступну докторску дисертацију користе под условима утврђеним једном од следећих *Creative Commons* лиценци:

- 1) Ауторство
- 2) Ауторство - делити под истим условима
- 3) Ауторство - без прерада
- 4) Ауторство - некомерцијално
- 5) Ауторство - некомерцијално - делити под истим условима
- 6) Ауторство - некомерцијално - без прерада²

У Крагујевцу, 8.10.2025. године,



потпис аутора

² Молимо ауторе који су изабрали да дозволе припадницима јавности да тако доступну докторску дисертацију користе под условима утврђеним једном од *Creative Commons* лиценци да заокруже једну од понуђених лиценци. Детаљан садржај наведених лиценци доступан је на: <http://creativecommons.org.rs/>