

ОБРАЗАЦ 6

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
ФАКУЛТЕТА ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА У КРАГУЈЕВЦУ
И
ВЕЋУ ЗА ТЕХНИЧКО-ТЕХНОЛОШКЕ НАУКЕ
УНИВЕРЗИТЕТА У КРАГУЈЕВЦУ

На седници Већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу одржаној 24.12.2025. године (број одлуке: IV-04-752/17) одређени смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације под насловом: „Теоријска и експериментална анализа утицаја кочног система возила на безбедност друмског саобраћаја”, кандидата **Бојане Бошковић**, студента докторских академских студија Машинског инжењерства, за коју је именован ментор **др Наница Стојановић**, доцент.

На основу података којима располажемо достављамо следећи:

ИЗВЕШТАЈ
О ОЦЕНИ УРАЂЕНЕ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ

1. Подаци о докторској дисертацији
1.1. Наслов докторске дисертације:
Теоријска и експериментална анализа утицаја кочног система возила на безбедност друмског саобраћаја
1.2. Опис докторске дисертације (навести кратак садржај са назнаком броја страница, поглавља, слика, шема, графикона, једначина и референци) (до 500 карактера):
Докторска дисертација написана је на 175 страна и подељена у 11 поглавља и то:
1. Уводна разматрања,
2. Значај исправности кочног 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 кочног 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,
Литература,
Прилог А,

Прилог Б.

Докторска дисертација садржи 106 слика, 44 табеле (и 10 табела у прилогу), 19 једначина и 199 референци. Поглављима претходи резиме рада, на српском и енглеском језику, садржај рада и попис скраћеница и ознака, а на крају рада се налази биографија кандидата.

1.3. Опис предмета истраживања (до 500 карактера):

Предмет истраживања ове докторске дисертације је утврђивање ранга и карактера утицаја радних параметара кочења (брзине возила у тренутку активирања кочница, притиска у кочном систему и температуре елемента фриксионог пара) на успорење возила. Неисправност кочног система возила је значајан фактор безбедности друмског саобраћаја. Ефикасност процеса кочења зависи од момента кочења и трења које се јавља у контакту извршних елемената у систему кочења који директно утичу на брзину заустављања возила. Кинетичка енергија се при кочењу претвара у топлоту елемената кочног система (кочни диск и кочне плочице) и доводи до промене коефицијента трења и самим тим и до промене ефикасности процеса кочења. У докторској дисертацији је анализирана спрега између радних параметара кочења, начина одржавања возила и психо-физичких карактеристика возача.

1.4. Анализа испуњености полазних хипотеза:

Анализом приказаних резултата и изведених закључака, може се констатовати да су све хипотезе постављене у почетној фази истраживања, у пријави теме докторске дисертације, потврђене.

Хипотеза 1: *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).*

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

Хипотеза 2: *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.

Хипотеза 3: *Ставови возача који се односе на одржавање возила утичу на експлоатацију возила са неисправним кочним системом.*

Анкетирањем испитаника дошло се до закључка да ставови возача утичу да ли ће у саобраћају учествовати са возилом са неисправним кочним системом. 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.

Хипотеза 4: *На основу експериментално добијених резултата могуће је развити модел за предикцију успорења.*

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

1.5. Анализа примењених метода истраживања:

Методе које су коришћене за потребе ове докторске дисертације су: статистичке, анкетне и експерименталне. Статистичке методе су коришћене за анализу саобраћајних незгода у Републици Србији у којима се као утицајни фактор појављује неисправност кочног система, као и за анализу и обраду експерименталних резултата добијених мерењем на пробном столу за испитивање термичких напрезања диск кочница. Метода Тагучи је коришћена за оптимизацију експерименталних истраживања за утврђивање утицаја радних параметара процеса кочења на излазне величине. Метода анкете је реализована попуњавањем унапред припремљеног упитника. Возачи одабрани методом случајног узорка су били циљна група испитаника. Прикупљени одговори су статистички обрађени, анализирани и графички или табеларно приказани.

1.6. Анализа испуњености циља истраживања:

Сви циљеви дефинисани у пријави теме докторске дисертације су у потпуности испуњени.

- Урађена је критичка анализа тренутног стања из предметне области код нас и у свету.
- Одређен је ранг утицаја радних параметара кочења на: успорење, пут кочења и средње потпуно развијено успорење возила (енг. Mean Fully Developed Deceleration – MFDD) возила.
- Извршена 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 идентификована неисправност кочног система као један од утицајних фактора.
- Анализирани су ставови возача по питању неисправности кочног система возила.
- Развијен је модел за предикцију успорења возила.

1.7. Анализа добијених резултата истраживања и списак објављених научних радова кандидата из докторске дисертације (аутори, наслов рада, назив часописа, волумен, година објављивања, странице од-до, DOI број¹, категорија):

Током експлоатације моторних возила могу настати различите непредвиђене околности које могу довести до појаве саобраћајних незгода. У циљу очувања и унапређења безбедности саобраћаја, неопходно је да возило у свим условима експлоатације постигне адекватно успорење.

Исправност кочног система има изузетан значај са становишта безбедног учешћа возила у саобраћају. Анализом могућих отказа кочног система ствара се основа за његово унапређење и превенцију саобраћајних незгода. Истовремено, од пресудног је значаја да возач има потпуно поверење у техничку исправност возила, јер недостатак тог поверења може довести до наглих маневара који могу даље угрозити безбедност свих учесника у саобраћају.

Истраживање утицаја кочног система на безбедност саобраћаја може се спроводити применом различитих научних метода. У оквиру ове докторске дисертације коришћене су научно-истраживачке методе: прикупљања података (експеримент, мерење, испитивање, анализа садржаја), обраде података (статистичке методе и класификација) и анализе и тумачења података, синтезе и моделирања. Статистичка анализа је обухватила саобраћајне незгоде у којима је кочни систем идентификован као узрок. Подаци о ставовима и навикама возача

¹ Уколико публикација нема DOI број уписати ISSN и ISBN

прикупљени су анкетним испитивањем, док су експериментална истраживања реализована у лабораторијским условима, што је обезбедило контролисане услове и поновљивост мерења у односу на испитивања у реалним условима.

Анализом података о саобраћајним незгодама на територији Републике Србије у периоду од 2019. до 2023. године закључило се да путнички аутомобили имају доминантно учешће у укупном броју саобраћајних незгода, са више од 85%, без обзира на категорију последица. Код саобраћајних незгода са погинулим лицима, техничка неисправност је евидентирана у 6,2% случајева, при чему је у 24% тих незгода неисправност кочног система била узрок незгоде. Највећи број повреда учесника је у саобраћајним незгодама у којима су учествовали путнички аутомобили са приближно 73%.

У анкетном истраживању учествовало је укупно 486 испитаника. Међутим, анализа је обухватала 457 испитаника, услед неуједначених одговора на контролно питање. Резултати анкете показали су да је неисправност кочног система била узрок 15,6% саобраћајних незгода у којима су испитаници учествовали као возачи. Већина испитаника, њих 93,2%, сматра да неисправан кочни систем може значајно да допринесе тежини последица саобраћајних незгода. Према спроведеном анкетном истраживању, у последњих пет година, само 2% анкетираних возача који су учествовали у саобраћајним незгодама је било кажњено због техничке неисправности кочног система возила, што може указивати на недовољно ефикасну примену превентивних мера, које се односе на проверу техничке исправности возила.

Утицај ставова возача на појаву саобраћајних незгода анализиран је применом корелационих метода. Добијене вредности коефицијената корелације биле су релативно мале, али су показале висок степен статистичке значајности. Веза између значаја кочног система и безбедног учешћа у саобраћају оцењена је као умерена на основу Пирсоновог коефицијента, односно као слаба на основу Спирмановог коефицијента, али је у оба случаја статистички значајна.

Тестови спроведени у оквиру докторске дисертације кандидата Бојане Бошковић засновани су на постојећим методологијама, које су додатно проширене. Проширење испитивања реализовано је кроз иновацију постојећег система управљања пробним столом за испитивање диск кочница. Постојећи мерни мост је проширен модулом за ограничење максималног успорења.

Тест мерења са константном почетном брзином подразумевао је идентичну брзину возила у тренутку активирања кочница, док је притисак у кочном систему био вариран. Испитивања су спроведена за два случаја. У првом случају, модул за ограничење успорења возила није био активан док је у другом случају био активан. У случају када модул за ограничење успорења није био активан, повећање притиска доводило је до смањења времена и пута кочења, уз истовремени пораст MFDD-а и средњег успорења. При највећем притиску у кочној инсталацији забележене су вредности успорења које су биле веће од 1 g, што је неповољно са аспекта стабилности и безбедности возила. У другом случају када је модул за ограничење успорења био активан, вредности MFDD-а и средњег успорења биле су ниже, док су кочни путеви одговарали кочном путу из реалних услова експлоатације, са одступањем од 3,5%. Брзина возила у овом режиму имала је степенат пад услед периодичне деактивације кочног система, што је резултирало контролисаним порастом температуре кочних плочица, чиме је спречено да вредност успорења пређе критичну вредност.

Код проширеног теста са константним кочним притиском, брзина возила у тренутку активирања

кочница била је променљива. Са порастом брзине, сви анализирани параметри бележили су раст, осим у случају брзине од 70 km/h, где су забележене повољније вредности времена и пута кочења услед већих остварених успорења.

Проширени тест понављања обухватио је десет узастопних кочења до потпуног заустављања. У случају када модул за ограничење успорења возила није био активан забележене су вредности веће од 1 g, што може довести до губитка стабилности возила и повећања ризика од повреда возача и путника у возилу. Међутим, у случају када је модул за ограничење успорења возила био активиран, успорење је било контролисано и није достигло критичне вредности. Као и у претходном случају, са сваким наредним циклусом кочења, температуре су расле. Број деактивација кочног система, са порастом температуре, након 80 °C се смањује, док даљим растом температуре постоје разлике.

Порастом дефинисаног успорења смањују се време и пут кочења, такође и број деактивација кочног система се смањује у функцији максималног дозвољеног успорења.

Утицај радних параметара кочења на MFDD анализиран је коришћењем Тагучи методе и анализом варијансе (ANOVA). Највећи утицај имао је притисак у кочном систему возила (43,12%), затим брзина возила (34,30%), док је температура елемената фрикционог пара имала најмањи утицај (21,96%).

Модел за предикцију вредности успорења возила је развијен у програмском пакету MATLAB. Он је формиран коришћењем регресионих модела и обучен на подацима добијеним у проширеном тесту понављања. Грешка предикције била мања од 1,52%.

Добијени резултати су објављени у научним часописима:

- [1] **Bošković, B., Stojanović, N., Grujić, I., Babić, S.,** Experimental investigation of the influence of deceleration on brake elements temperature in order to improve traffic safety, Thermal science, Vol. 28, 2024, pp. 2881-2889, DOI [10.2298/TSCI230925286B](https://doi.org/10.2298/TSCI230925286B), M23 и
- [2] **Bošković, B., Stojanović, N., Grujić, I., Babić, S., Milosavljević, B.,** The influence of thermal stress of disc brakes on vehicle deceleration, Mobility & Vehicle Mechanics (MVM), Vol. 50, 2024, pp. 63-72, DOI [10.24874/mvm.2024.50.04.05](https://doi.org/10.24874/mvm.2024.50.04.05), M52.

1.8. Оцена да је урађена докторска дисертација резултат оригиналног научног рада кандидата у одговарајућој научној области и анализа извештаја о провери докторске дисертације на плагијаризам (до 1000 карактера):

Комисија сматра да докторска дисертација кандидата Бојане Бошковић, под називом "Теоријска и експериментална анализа утицаја кочног система возила на безбедност друмског саобраћаја", представља резултат оригиналног научно-истраживачког рада у актуелној научној области. Један од аспеката оригиналности докторске дисертације јесте провера на плагијаризам помоћу софтвера iThenticate, којом је идентификовао укупно 2% сличног текста. Поклапања се односе на:

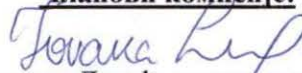
- идентификациону табелу докторске дисертације,
- делимично поклапање делова наслова, делова табела које се односе на процедуру испитивања (које заправо представљају надградњу већ постојеће процедуре истраживања),
- биографију кандидата,
- начин цитирања литературе и
- техничке термине и начин приказивања резултата који се често користе при анализи

података саобраћајних незгода и анкетног истраживања. Анализа доступне литературе је показала да не постоји слично истраживање.
1.9.Значај и допринос докторске дисертације са становишта актуелног стања у одређеној научној области:
Спроведеним истраживањем у оквиру докторске дисертације, доприноси аутора су: 1. Приказ тренутног стања из предметне области код нас и у свету. 2. Одређен је утицај радних параметара кочења на успорење, пут кочења и MFDD возила. 3. Уређена 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. 4. Анализирани су ставови возача у погледу исправности кочног система возила са аспекта безбедног учешћа у друмском саобраћају. 5. Анализирани су ставови возача по питању експлоатације неисправног кочног система возила. 6. Пробни сто за испитивање термичких напрезања је унапређен, омогућено је управљање максималним успорењем. 7. Тестови из ранијих истраживања су проширени и приказана је методологија истраживања на пробном столу у циљу анализе утицаја радних параметара на успорење симулираног возила. 8. Извршена је оптимизација вредности радних параметара кочења са циљем добијања безбедног/удобног успорења возила. 9. Идентификовани су радни параметри који највише утичу на успорења возила. 10. Креиран је модел за предикцију успорења возила.
1.10.Оцена испуњености услова за одбрану докторске дисертације у складу са студијским програмом, општим актом факултета и општим актом Универзитета (до 1000 карактера):
Докторска дисертација кандидата Бојане Бошковић, под називом "Теоријска и експериментална анализа утицаја кочног система возила на безбедност друмског саобраћаја" одговара теми дисертације одобрене одлуком број 01-1/4921-18 од 17.12.2024. године од стране Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу и одлуком Већа за техничко технолошке науке Универзитета у Крагујевцу, број IV-04-10/5 од 22.01.2025. године. Докторска дисертација, по квалитету, обиму, садржају и приказаним резултатима истраживања, у потпуности задовољава законске прописе и универзитетске норме прописане за израду докторске дисертације. Кандидат је показао да влада методологијом научно-истраживачког рада, од прегледа литературних извора, постављања хипотеза и циљева истраживања, осмишљавања и спровођења експерименталних истраживања, до анализе и дискусије резултата и развоја модела за предикцију успорења возила. Кандидат је користио стечено образовање и показао способност да сложеној проблематици приступи свеобухватно, у циљу добијања конкретних и применљивих резултата. С обзиром на актуелност проблематике која је обрађена у оквиру ове докторске дисертације и остварених резултата кандидата, чланови Комисије сматрају да кандидат Бојана Бошковић и поднета докторска дисертација испуњавају све услове који се у поступку оцене писаног дела докторске дисертације захтевају Законом о високом образовању, Статутом Универзитета у Крагујевцу и Статутом Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу.

2. ЗАКЉУЧАК

На основу анализе докторске дисертације и приложене документације Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације под насловом „Теоријска и експериментална анализа утицаја кочног система возила на безбедност друмског саобраћаја”, кандидата **Бојане Бошковић**, предлаже надлежним стручним органима да се докторска дисертација прихвати и да се одобри њена одбрана.

Чланови комисије:

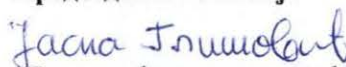


Др Јованка Лукић, редовни професор

Факултет инжењерских наука Универзитета у
Крагујевцу

Моторна возила, Друмски саобраћај

Председник комисије



Др Јасна Глишовић, редовни професор

Факултет инжењерских наука Универзитета у
Крагујевцу

Моторна возила и мотори

Члан комисије

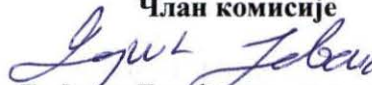


Др Данијела Милорадовић, редовни професор

Факултет инжењерских наука Универзитета у
Крагујевцу

Моторна возила и мотори

Члан комисије



Др Јован Дорић, редовни професор

Факултет техничких наука Универзитета у
Новом Саду

Моторна возила и мотори СУС

Члан комисије



Др Павле Питка, ванредни професор

Факултет техничких наука Универзитета у
Новом Саду

Организација и технологије транспортних
система

Члан комисије