

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
САОБРАЋАЈНИ ФАКУЛТЕТ
НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

На седници Наставно-научног већа Саобраћајног факултета Универзитета у Београду одржаној 18.04.2012. године донета је одлука (бр. 48/14) према којој смо именовани за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Ивана Ивковића, дипл. инж. саобраћаја под називом „ИСТРАЖИВАЊЕ ПЕРФОРМАНСИ АУТОБУСА СА ПОГОНОМ НА КОМПРИМОВАНИ ПРИРОДНИ ГАС СА СТАНОВИШТА БЕЗБЕДНОСТИ И УТИЦАЈА НА ЖИВОТНУ СРЕДИНУ“.

Комисија је прегледала докторску дисертацију и Наставно-научном већу Саобраћајног факултета подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. УВОД

Наслов и обим дисертације

Докторска дисертација кандидата Ивана Ивковића дипл. инж. саобраћаја., под насловом „Истраживање перформанси аутобуса са погоном на компримовани природни гас са становишта безбедности и утицаја на животну средину“ је написана латиницом, једнострано и укупног је обима 285 страна. Састоји се из 7 поглавља (193 стране), списка литературе (103 јединице - 9 страна), 6 прилога (66 страна) и биографије на једној страни. У оквиру рада дато је 93 слике, 68 табела (од којих 20 табела у прилогу), резиме на српском и енглеском језику, попис слика и табела.

Хронологија одобравања и израде дисертације

- 02.12.2011. Кандидат Иван Ивковић, дипл. инж. саобраћаја је поднео пријаву докторске дисертације Наставно-научном већу Саобраћајног факултета
- 08.12.2011. На седници Наставно-научног већа Саобраћајног факултета донета је одлука о формирању Комисије за оцену подобности кандидата и теме за израду докторске дисертације

- 15.12.2011. Кандидат Иван Ивковић, дипл. инж. саобраћаја је одбранио предлог истраживања у оквиру предложене докторске дисертације
- 15.12.2011. Комисија за оцену подобности кандидата и теме за израду докторске дисертације је поднела извештај Наставно-научном већу Саобраћајног факултета
- 18.01.2012. На седници Наставно-научног већа Саобраћајног факултета донета је одлука о прихватању позитивне оцене Комисије за оцену подобности кандидата и теме, и именовању ментора др Војкана Јовановића, редовног професора Саобраћајног факултета
- 26.03.2012. На седници Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду донета је одлука којом се даје сагласност на предлог теме докторске дисертације кандидата Ивана Ивковића, дипл. инж. саобраћаја
- 05.04.2012. Кандидат Иван Ивковић, дипл. инж. саобраћаја је поднео неукоричени примерак завршене докторске дисертације уз захтев Наставно-научном већу Саобраћајног факултета за почетак поступка за оцену и одбрану
- 18.04.2012. На седници Наставно-научног већа Саобраћајног факултета донета је одлука о формирању Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Ивана Ивковића, дипл. инж. саобраћаја

Место дисертације у одговарајућој научној области

Тема докторске дисертације припада научној области „Превентива и безбедност саобраћаја“ а ужој научној области „Друмска возила и динамика возила“ за коју је матичан Универзитет у Београду-Саобраћајни факултет.

Биографски подаци о кандидату

Иван Ивковић је рођен 14. децембра 1974. године у Смедереву, где је завршио основну и средњу школу. Саобраћајни факултет Универзитета у Београду уписао је као редован студент школске 1995/1996, Одсек за друмски и градски саобраћај и транспорт. Дипломски рад са насловом „Анализа система рада и пословања ГСП Београд на примеру погона „Земун“ са предлогом мера за побољшање“ одбранио је почетком 2001. године са оценом 10. Просечна оцена током студирања је 8,29. По одслужењу војног рока ангажован је на Саобраћајном факултету школске 2001/2002. године за реализацију часова вежби на предметима „Одржавање моторних возила“ и „Одржавање транспортних средстава“ у оквиру Катедре за техничку експлоатацију друмских транспортних средстава.

Од октобра 2002. године запослен је на Саобраћајном факултету у Београду на радном месту асистента-приправника на предмету „Моторна возила“, Катедре за

друмска возила и динамику возила. 2002. године уписао је на Саобраћајном факултету последипломске студије, група „Превентива и безбедност у друмском саобраћају и транспорту”. Положио је све испите предвиђене наставним планом и програмом на последипломским студијама са просечном оценом 9,57.

У периоду од школске 2003/2004. године до школске 2004/2005. године учествује поред реализације вежби на предмету „Моторна возила” и у реализацији часова вежби у оквиру предмета „Динамика возила” на истој катедри. Тренутно је на основним студијама ангажован за реализацију вежби на предметима „Моторна возила” (ДГСТ-транспорт и ДГСТ-безбедност друмског саобраћаја) и „Превозна средства” (ДГСТ-саобраћај). На мастер студијама ангажован је за држање вежби на предмету „Моторна возила - одабрана поглавља” (безбедност друмског саобраћаја).

Према Статуту Саобраћајног факултета и Правилнику докторских академских студија, школске 2008/2009. године, уписује се на докторске академске студије на Саобраћајном факултету у Београду.

Аутор је и коаутор 11 радова објављених у научно стручним часописима и саопштених на домаћим и међународним научним скуповима. Члан је ауторског тима на 10 студија и пројеката. Аутор је два помоћна уџбеника намењених студентима Саобраћајног факултета основних академских студија. Члан је уређивачког тима часописа „International Journal for Traffic and Transport Engineering“.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

Структура и садржај дисертације

Докторска дисертација садржи седам поглавља (1. Увод, 2. Савремени приступи истраживања перформанси аутобуса на алтернативни погон, 3. Структура аутобуса са погоном на компримовани природни гас, 4. Анализа стабилности аутобуса са погоном на компримовани природни гас - стабилност управљања, 5. Емисија штетних материја аутобуса са погоном на компримовани природни гас, 6. Истраживање утицаја аутобуса са погоном на компримовани природни гас на животну средину на путној мрежи Србије, 7. Закључак) у којима се дефинише проблем, разматрају досадашњи приступи у решавању формулисаних проблема, развијају и дају решења, односно дефинише се методолошки поступак за решавање проблема постављених у тези.

Дисертација садржи такође резиме и 6 прилога, списак коришћене литературе, биографију аутора, потписане изјаве о ауторству, о истовестности штампане и електронске верзије докторског рада и о коришћењу докторског рада. Текст дисертације прати 93 слика и 68 табела које приказују детаље о примењеним методама и моделима, као и остварене резултате истраживања.

Редослед материјала методолошки је дефинисан тако да се поштује логички след излагања. Према структури рада, примењеним научним методама и постигнутим резултатима, дисертација у потпуности задовољава критеријуме и стандарде предвиђене за овакву врсту научног рада.

Кратак приказ појединих поглавља

Прво поглавље представља уводни део дисертације у коме су на јасан и прегледан начин представљени мотиви истраживања са анализом значаја теме. Дефинисани су предмет и циљ истраживања.

У **другом поглављу** приказани су савремени приступи истраживања перформанси аутобуса на алтернативни погон. Дат је приказ развоја методологије за праћење и испитивање издувних гасова возила. Анализиране су предности и недостаци потенцијалних концепција аутобуса са алтернативним погоном. Извршена је систематизација критеријума вредновања. Дат је пример вредновања концепција аутобуса на алтернативни погон у нашим условима са анализом резултата. Разматрани су безбедносни аспекти примене компримованог природног гаса за погон аутобуса са становишта теорије кретања моторних возила и са становишта ризика од појаве ватре, ризика по здравље људи и околину, ризика од високог притиска.

У **трећем поглављу** дисертације дат је детаљан приказ структуре аутобуса са погоном на компримовани гас и гасне инсталације са основним елементима који је чине. Имајући у виду различите типове аутобуса и њихове функционалне карактеристике као и транспортне и друмске услове експлоатације, извршена је анализа могућег позиционирања гасне инсталације у склопу аутобуса. Као главним носиоцима додатне масе у односу на конвенционалне концепције аутобуса, посебна пажња посвећена је резервоарима за смештај гаса у компримованом стању на 200 бара. Детаљно су приказане сигурносно-безбедносне мере које се спроводе у поступку испитивања квалитета резервоара. Извршена је анализа утицаја додатне масе, која потиче од резервоара, на промену конструкционе карактеристике аутобуса, висину тежишта и положај тежишта према предњој односно задњој осовини.

У **четвртном поглављу**, на почетку, дат је теоретски део и дефиниције које се тичу области стабилности управљања возила. Дефинисани су кинематско динамички модели аутобуса са погоном на компримовани природни гас као хетерогеног тела од две концентрисане масе, за различите режиме кретања. Применом закона теорије кретања возила формиране су диференцијалне једначине кретања, на основу којих су дефинисане критичне брзине стабилног управљања аутобуса са погоном на компримовани природни гас. Извршена је анализа стабилности управљања аутобуса под дејством максималних уздужних и попречних сила у тангентној равни контакта пнеуматика и подлоге у граничним условима кретања и за широк спектар услова експлоатације, репрезентованих кроз различите услове приањања, различита оптерећења аутобуса, различитог положаја батерије са резервоарима за компримовани природни гас на крову аутобуса, промену

координата тежишта аутобуса тј. висине тежишта и растојање тежишта од предње и задње осовине. Целисходна анализа је спроведена за раванско кретање изузимајући микропрофил тла и осцилације возила имајући у виду да возач може утицати на промену кретања само у тангентној равни али је узета у обзир бочна еластичност точкова аутобуса.

У **петом поглављу** је дата анализа емисије издувних гасова аутобуса са погоном на природни гас. Приказани су релевантни фактори који утичу на обим и структуру емисије издувних гасова као што су: концепцијска решења система напајања гасом погонског агрегата аутобуса, услови експлоатације – "on board" мерења у реалним условима експлоатације или тестови за испитивање емисије аутобуса у лабораторијским условима, састав природног гаса, контрола односно третман издувних гасова оксидационим, тросмерним каталитичким конверторима и филтерима честичног загађења. Извршена је компаративна анализа емисије штетних материја аутобуса са погоном на природни гас и аутобуса са погоном на дизел гориво са смањеном количином сумпора ("clean diesel").

У **шестом поглављу** развијен је модел за одређивање и процену емисије издувних гасова аутобуса са погоном на компримовани природни гас на саобраћајној мрежи. За дефинисање и прогнозу транспортних захтева у оквиру модела коришћена је једна од најсавременијих и најефикаснијих апликација у области "Transtools". Транспортни захтеви су изражени у броју аутобуса по дану на свакој деоници креиране путне мреже али су у разматрање узети и транспортни захтеви за све категорије возила како би у анализу био укључен и међусобни утицај возила у саобраћајном току, што утиче на потрошњу горива а самим тим и на промену емисије издувних гасова. Саобраћајна мрежа је мултимодалног карактера што значи да на обим и расподелу саобраћајних токова по деоницама као и на крајње резултата функционисања модела утичу и други видови саобраћаја. Функционална зависност између брзине кретања возила и потрошње горива је полином другог степена и утврђена је применом НДМ алата и регресионом анализом, према типу терена и међународном индикатору неравности коловоза за сваку од категорију возила: путнички аутомобил, аутобус са погоном на дизел гориво, лака теретна возила, средња теретна возила, тешка теретна возила и транспортни састави. Утврђивање потрошње горива аутобуса са погоном на компримовани природни гас извршено је мерењем у реалним условима експлоатације на карактеристичним деоницама путне мреже. На основу ових резултата утврђена је вредност горивног еквивалента изражена односом потрошње природног гаса и потрошње дизел горива на 100 километара пређеног пута аутобуса. Одређени су јединични фактори емисије издувних гасова изражени у маси загађивача по маси сагорелог горива. Вредновање утицаја ових аутобуса на животну средину извршено је са становишта екстерних трошкова у саобраћају односно трошкова емисије издувних гасова.

У последњем, **седмом поглављу**, аутор је успешно сажео кључне резултате свог истраживања, указао на доприносе и могуће правце даљих истраживања.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

Савременост оригиналност и значај

Предмет истраживања ове докторске дисертације која је производ вишегодишњег бављења кандидата научно-истраживачким радом у области друмских возила и одрживих транспортних система, спада у веома актуелне области научно-истраживачког рада.

У дисертацији се истражује понашања на путу аутобуса са погоном на компримовани природни гас узевши у обзир специфичност конструкције, анализира се стабилност управљања за различите режиме кретања и широк спектар услова експлоатације у циљу побољшања његове безбедности. Оваква истраживања су актуелна и веома важна са становишта система безбедности саобраћаја и возила као једног од његових основних елемената.

Резултати истраживања који се тичу утврђивања утицаја аутобуса са погоном на компримовани природни гас на животну средину део су стратегија комплексног система одрживог развоја и у њему одрживог транспортног система. Примена ових стратегија је директно у функцији опредељења друштва ка очувању животне средине и бољем квалитету живота и у нашим условима би требало да доживе експанзију у будућности.

У току израде дисертације коришћене су савремене методе, технике и алати. Актуелност теме дисертације потврђена је и кроз објављивање резултата истраживања у часописима међународног и домаћег карактера и радовима саопштеним на међународним и домаћим скуповима.

Дисертација представља оригинално истраживање у решавању проблема оптимизације параметара безбедности аутобуса са погоном на компримовани природни гас и његовог утицаја на животну средину на макро нивоу. Значај резултата истраживања произилази из високог нивоа адаптивности и применљивости развијених модела и поступака оцене перформанси са становишта безбедности и утицаја на животну средину у односу на друге концепције аутобуса са алтернативним погоном али и у односу на друге категорије моторних возила. Такође евидентна је и могућност примене резултата у пракси у области пројектовања возила и стратешког доношења одлука при формирању одрживог транспортног система.

Осврт на референтну и коришћену литературу

У дисертацији је коришћена обимна литература, укупно 103 референци релевантних за предмет и циљеве истраживања. Аутор је у дисертацији правилно реферисао бројне научно-стручне радове, монографије, уџбенике и пројекте, и тиме показао висок ниво познавања резултата истраживања који покривају најважнију класичну и савремену литературу из предметне области.

Анализа примењених научних метода и њихова адекватност за спроведено истраживање

У оквиру докторске дисертације поред општих метода научних истраживања као што су индукција, дедукција, анализа, синтеза, компаративна анализа коришћене су методе аналитичке механике, методе мерења, симулационе технике, статистичке методе. Изабране методе су адекватне и у потпуности одговарају предмету и циљевима истраживања.

Оцена примењивости и верификације остварених резултата

Посебан значај рада кандидата огледа се у томе што је верификација резултата истраживања са становишта безбедности обављена на аутобусу домаћег произвођача који ће свакако моћи да користи и примени резултате овог рада. Развијени модел утицаја аутобуса са погоном на компримовани гас на животну средину верификован је и успешно примењен на макро нивоу на саобраћајној мрежи Републике Србије.

Оцена способности кандидата за самостални научни рад

На основу анализе садржаја докторске дисертације, верификације остварених резултата истраживања објављивањем у међународним и домаћим часописима и саопштавањем на скуповима у земљи и иностранству, Комисија сматра да је кандидат несумњиво доказао способност за самостални научно - истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

Приказ остварених научних доприноса

На основу прегледа докторске дисертације кандидата Ивана Ивковића дипл. инж. саобраћаја, сматрамо да је у њој остварен оригинални научни допринос. Најзначајнији научни доприноси огледају се кроз:

- дефинисање кинематско динамичких модела аутобуса са погоном на компримовани природни гас помоћу којих је могуће анализирати и предвидети понашање возила при кретању у различитим условима експлоатације
- дефинисање критичних брзина стабилног управљања као јединствених параметра безбедности аутобуса са погоном на компримовани природни гас у различитим условима експлоатације и за различите режиме кретања, према којима је могуће извршити анализу и оптимизацију положаја гасне инсталације у склопу аутобуса

- развој оригиналног модела за одређивање и процену емисије издувних гасова аутобуса са погоном на компримовани природни гас на саобраћајној мрежи како у тренутним транспортним и друмским условима тако и у будућем временском периоду
- дефинисање поступка вредновања утицаја аутобуса са погоном на компримовани природни гас са становишта екстерних трошкова у саобраћају и транспорту, тј. трошкова емисије издувних гасова
- висок степен прихватљивости, прилагодљивости а самим тим и применљивости резултата истраживања у односу на друга конструкцијско – концепцијске решења аутобуса и других категорија моторних возила са алтернативним погоном, увођењем одређених модификација, прилагођавања и калибрација

Критичка анализа резултата истраживања

Према полазним хипотезама, имајући у виду постављене циљеве и предмет истраживања, Комисија сматра да добијени резултати дају одговоре на сва важна питања и дилеме које су се наметнуле у току истраживања и да представљају оригиналан и савремен приступ истраживању перформанси аутобуса са погоном на природни гас са становишта безбедности и утицаја на животну средину.

Може се закључити да дефинисани кинематско динамички модели омогућују повећану сигурност предвиђања понашања аутобуса са погоном на компримовани природни гас током различитих режима кретања и за различите услове експлоатације што омогућава сагледавање утицаја гасне инсталације на параметре безбедности.

Применом метода симулационе технике у оквиру једног, у светским размерама, најефикаснијег и најсавременијег пакета (Transtools) за дефинисање транспортних захтева на саобраћајној мрежи, уз методе статистичке анализе, резултата експерименталних мерења, развијен је изузетно ефикасан модел за одређивање и процену утицаја аутобуса са погоном на компримовани природни гас на животну средину, што је показано и доказано на путној мрежи Републике Србије.

Очекивана примена резултата у пракси

Један део добијених резултата у оквиру докторске дисертације односи се на изналажење јединственог приступа у дефинисању и утврђивању показатеља безбедности аутобуса са погоном на компримовани природни гас узимајући у обзир специфичности конструкције овог аутобуса према конвенционалним решењима. Утврђивање функционалне зависности истих показатеља од конструкционих карактеристика аутобуса за широк спектар услова експлоатације, омогућује произвођачима аутобуса дефинисање будућих праваца деловања у фазама пројектовања, од фазе прототипа до фазе експлоатације, а све у циљу побољшања безбедности.

Добијени резултати који се тичу утврђивања и процене утицаја аутобуса са погоном на компримовани природни гас на животну средину имају практичну примену у поступку стратешког доношења одлука о развоју возних паркова у циљу стварања одрживог транспортног система на макро нивоу.

Верификовани научни доприноси

Верификација научних доприноса остварених у оквиру ове докторске дисертације реализована је објављивањем резултата истраживања у међународним и домаћим часописима и саопштавањем резултата истраживања на међународним и домаћим скуповима.

Такође, резултати дисертације су коришћени у реализацији активности на више научно истраживачких студија и пројеката од којих су поједини подржани од стране Министарства просвете и науке Републике Србије.

Рад у врхунском међународном часопису (M21)

- Petrović, J.; **Ivković, I.**; Vujačić, I.; Žeželj, S. 2009. Possibilities of Buses on Alternative Fuel in Public Urban Transport in Belgrade, *Technological and Economic Development of Economy* 15(1): 78-89 (IF₂₀₁₀=5,605).

Рад у међународном часопису (M23)

- **Ivković, I.**; Janjoš, Ž.; Žeželj, S.; Jovanović, V. 2011. Research into the costs of vehicle exhaust gases from the standpoint of using natural gas-powered buses, *African Journal of Business Management* 5(22): 9304-9321 (IF₂₀₀₉=0,105).

Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33)

- Petrović, J.; **Ivković, I.**; Vujačić, I.; Žeželj, S. 2008. Environmental and economic effects of natural gas and biodiesel buses in public urban transport-the case of Belgrade, in *Proceeding of the 7th International Conference "Environmental Engineering"*, Vilnius, 1020-1026.

Рад у часопису националног значаја (M52)

- Каплановић, С.; **Ивковић И.**; Петровић, Ј. 2009. Економски инструменти у функцији одрживог развоја друмског транспорта, *Научно-стручни часопис Истраживања и пројектовања за привреду* 7(25): 17-22.

Рад у научном часопису (M53)

- **Ивковић, И.**; Каплановић, С.; Жежељ, С. 2007. Вишекритеријумско рангирање конструкцијско-концепцијских решења аутобуса у циљу

стварања одрживог ЈМТП-а у Београду, *Научно-стручни часопис Истраживања и пројектовања за привреду* 5(15): 57-66.

- **Ивковић, И.**; Секулић, Д.; Жежељ, С. 2007. Анализа стабилности управљања аутобуса са погоном на природни гас, *Научно-стручни часопис Истраживања и пројектовања за привреду* 5(15): 17-32.
- Каплановић, С.; **Ивковић, И.**; Петровић, Ј. 2007. Порез на погонска горива у транспортном сектору-инструмент у функцији заштите животне средине, *Научно-стручни часопис Истраживања и пројектовања за привреду* 5(16): 39-46.
- **Ivković, I.**; Janjoš, Ž.; Žeželj, S. 2011. Steering Stability of a Bus Powered by Natural Gas While Braking, *International Journal for Traffic and Transport Engineering* 1(1): 10-27.

Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини (М63)

- **Ивковић, И.**; Жежељ, С. 2005. Еколошке и безбедносне карактеристике аутобуса са погоном на природни гас [CD], *симпозијум Истраживања и пројектовања за привреду, Београд*, 30 стр.
- **Ивковић, И.**; Жежељ, С. 2009. Перформансе аутобуског подсистема градског превоза путника са аспекта примене алтернативних погонских горива [CD], *XXXIV Научно-стручни скуп Одржавање машина и опреме, Будва*, 14 стр.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу свега изнетог, имајући у виду захтеве које су пред кандидата постављени у пријави теме, обим истраживања, примењене методе истраживања, сложеност проблематике, спроведена истраживања и резултате до којих је кандидат дошао, као и остварени научни допринос, Комисија једногласно закључује да је докторска дисертација кандидата Ивана Ивковића, дипл. инж. саобраћаја под насловом „Истраживање перформанси аутобуса са погоном на компримовани природни гас са становишта безбедности и утицаја на животну средину“ научни рад који је оригиналан, савремен и значајан.

Дисертације кандидата Ивана Ивковића, дипл. инж. саобраћаја, садржи у пракси применљив научни допринос и има све потребне елементе који задовољавају услове предвиђене Статутом Универзитета у Београду и Статутом Саобраћајног факултета, којима је дефинисан начин стицања научног степена доктора техничких наука.

Комисија предлаже Наставно-научном већу Саобраћајног факултета Универзитета у Београду да прихвати позитивну оцену докторске дисертације и одобри јавну одбрану.

У Београду,
25.04.2012. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

Др Војкан Д. Јовановић, редовни професор
Саобраћајног факултета у Београду

Др Срећко Жежел, редовни професор
Саобраћајног факултета у Београду

Др Градимир Данон, редовни професор
Шумарског факултета у Београду