

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ - САОБРАЋАЈНИ ФАКУЛТЕТ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Сањина Милинковића

Одлуком Наставно-научног већа Универзитета у Београду - Саобраћајног факултета 169/3 бр. од 19.3.2013. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Сањина Милинковића под насловом

„МЕТОДОЛОГИЈА ЗА УТВРЂИВАЊЕ ОПТИМАЛНОГ РЕШЕЊА РАСПУТНИЦЕ“

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

На основу предатих захтева кандидата Сањина Милинковића и донетих одлука од Универзитета у Београду - Саобраћајног факултета, хронологија одобравања и израде дисертације је следећа:

- 26.12.2007. Кандидат Сањин Милинковић, дипл. инж. саобраћаја, магистрирао је на Универзитета у Београду - Саобраћајном факултету.
- 2.7.2012. Кандидат Мр Сањин Милинковић, дипл. инж. саобраћаја, поднео је пријаву теме докторске дисертације Наставно-научном већу Саобраћајног факултета, уз захтев да се спроведе поступак за оцену подобности кандидата и предложене теме и за ментора предложио др Катарину Вукадиновић, редовног професора Универзитета у Београду - Саобраћајног факултета.
- 12.9.2012. На седници Наставно-научног већа Саобраћајног факултета донета је одлука о формирању Комисије за оцену подобности кандидата и теме за израду докторске дисертације.
- 26.9.2012. Комисија за оцену подобности кандидата и теме за израду докторске дисертације поднела је позитиван извештај Наставно-научном већу Саобраћајног факултета.
- 10.10.2012. На седници Наставно-научног већа Саобраћајног факултета донета је одлука о прихватању позитивне оцене Комисије за оцену подобности кандидата и теме и о предлогу да за ментора буде именована др Катарина Вукадиновић, редовни професор Саобраћајног факултета.

- 22.10.2012. На седници Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду донета је одлука којом се даје сагласност на предлог теме докторске дисертације кандидата Мр Сањина Милинковића, дипл. инж. саобраћаја и на именовање ментора др Катарине Вукадиновић, редовног професора Саобраћајног факултета.
- 1.3.2013. Кандидат Мр Сањин Милинковић, дипл. инж. саобраћаја, поднео је неукоричени примерак завршене докторске дисертације уз захтев Наставно-научном већу Саобраћајног факултета за почетак поступка за оцену и одбрану докторске дисертације.
- 13.3.2013. На седници Наставно-научног већа Саобраћајног факултета донета је одлука о формирању Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Мр Сањина Милинковића, дипл. инж. саобраћаја.

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација припада научној области техничко-технолошких наука, подручје Саобраћај, ужој научној области Експлоатација, безбедност, моделирање и планирање железничког саобраћаја, за коју је Универзитет у Београду - Саобраћајни факултет матичан.

Ментор, др Катарина Вукадиновић, дипл. инж. саобраћаја, редовни професор Саобраћајног факултета, бави се научно истраживачким радом из области примене операционих истраживања и рачунарске интелигенције у саобраћају и транспорту. У досадашњем раду, др Катарина Вукадиновић објавила је 80 научних и стручних радова, од чега је 7 радова објављено у међународним научним часописима са "SCI" листе. Коаутор је једног поглавља у међународној монографији, 4 рада у домаћим часописима, 4 рада објављена у зборницима радова међународних научних скупова и 20 радова објављених у зборницима радова домаћих научних скупова. Коаутор је једне међународне научне монографије. Коаутор је две домаће монографије и једног помоћног уџбеника. Учествовала је у изради 35 студија и пројеката.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Сањин М. Милинковић рођен је 1972. године у Београду, где је завршио основну школу и средњу школу. Дипломирао је на Саобраћајном факултету 2001. године на Одсеку за железнички саобраћај и транспорт са просечном оценом у току студија 8,03, где је одбранио и дипломски рад под називом “Утицај безбедносних параметара на пропусну моћ распутнице `Г` Београдског железничког чвора” са оценом 10.

Последипломске студије на Универзитету у Београду - Саобраћајном факултету, смер `Управљање развојем и технолошким процесима на железници` уписао је 2001. године. У јулу 2003. године завршио је стручну праксу и положио стручни испит у ЖТП-у Београд као саобраћајни инжењер на радном месту водећи технолог-приправник у Секцији за СТП Београд. Магистрирао је 2007. године на Универзитету у Београду - Саобраћајном факултету са темом „Моделирање саобраћајних процеса у сложеним системима са распутницом”. Магистарски рад је добио годишњу Награду Привредне коморе Београда за најбољи магистарски рад.

Запослен је на Универзитету у Београду-Саобраћајном факултету као асистент и у настави је ангажован на извођењу вежби на предметима „Технологија железничког саобраћаја“, „Планирање и експлоатација железничког саобраћаја“, „Примена

математичких метода у железничком саобраћају“, „Моделирање у железничком саобраћају“ и „Регулисање употребе кола“. Активно се служи енглеским језиком. Као аутор или коаутор објавио је четири рада у међународним часописима са SCI листе (са IF), четири рада у домаћим часописима, као и 47 радова и саопштења на домаћим и међународним научним скуповима и конференцијама. Као члан ауторског тима учествовао је у изради 23 научно-истраживачких и стручних студија и пројеката.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Сањина Милинковића написана је у складу са „Упутством за обликовање докторске дисертације“ које је 14.12.2011. године усвојио Сенат Универзитета у Београду у оквиру „Упутства за формирање репозиторијума докторских дисертација“. Дисертација се састоји од девет поглавља са укупно 61 слика, 14 табела и седам Прилога, укупног обима од 170 страна. На почетку дисертације дат је резиме на српском и енглеском језику са кључним речима, а затим садржај и листа слика и табела. Докторска дисертација састоји се од 9 поглавља, датих на 145 страна, под следећим називима:

1. Увод
2. Распутнице
3. Симулације у железничком саобраћају
4. Теорија Петријевих мрежа и њихова примена у симулационом моделирању
5. Моделирање кашњења возова
6. Симулациони модел Петријевих мрежа саобраћаја возова
7. Примена Петријевих мрежа за моделирање одабране распутнице
8. Резултати и анализа резултата
9. Закључак

Након закључка дат је списак литературе који садржи 65 библиографских јединица које су коришћене у изради дисертације. У наставку, кроз седам прилога на 12 страна, детаљније се описују наводи из основног дела дисертације и дате су шеме распутнице на којој је примењен модел Петријевих мрежа. На крају, дата је биографија аутора и потписане изјаве о ауторству, истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и о коришћењу докторског рада.

Према структури рада, примењеним научним методама и постигнутим резултатима, дисертација у потпуности задовољава критеријуме и стандарде предвиђене за овакву врсту научног рада.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Дисертација је организована у девет поглавља.

Прво поглавље је уводно. Представљен је појам распутнице и указано је на последице које системи распутнице могу да изазову у саобраћају возова. Представљен је повод за избор наведене теме као и мотиви истраживања. Указано је на потребу да се при моделирању сложених система распутнице мора узети у обзир и кашњење возова. Након детаљне анализе постојеће литературе и модела који су примењивани на решавање сличних проблема, предлаже се примена симулационог моделирања, као ефикасног алата за моделирање и анализу система са распутницом. Предложени

приступ симулационог моделирања заснива се на теорији Петријевих мрежа (Petri Nets).

Друго поглавље описује системе распутнице. Дати су описи и шематски прикази разних инфраструктурних решења распутница на једноколосечним и двоколосечним пругама. Указано је на последице које различита решења распутница могу да изазову код организације саобраћаја возова.

У **трећем поглављу** приказане су основе теорије моделирања, као и могућности, поделе и начини моделирања система. Разматра се основни концепт симулације, начини симулације система, врсте симулационих модела, време у симулационим моделима као и предности и недостаци симулационог моделирања. Анализиране су основе постојећих симулационих програмских пакета који се користе за симулацију саобраћаја возова. Дефинишу се карактеристике и могућности које би симулациони модел распутнице морао да има.

Четврто поглавље дисертације посвећено је теорији Петријевих мрежа. Дате су дефиниције Петријевих мрежа и Петријевих мрежа високог нивоа (High-Level Petri Nets - HLPN). Приказане су особине Петријевих мрежа и њихове предности у моделирању сложених дискретних конкурентних система. Посебно су представљене обојене, временске и фази Петријеве мреже.

У **петом поглављу** приказани су резултати истраживања кашњења возова и предложени су модели за прогнозу кашњења возова који су засновани на методама рачунарске интелигенције. Истраживања кашњења возова спроведена су на две станице у београдском железничком чвору у периоду од јануара 2010. до јуна 2012. године. Дефинисана су три модела кашњења возова која би се примењивали у зависности од расположивих података о кретању возова у систему у претходном периоду. Када постоје статистички подаци о кашњењу возова, предлаже се модел заснован на вештачким неуронским мрежама и модел заснован на адаптивним неуро-фази системима. За случај када нису познати подаци о претходном понашању система, предложен је фази логички модел у којем су уграђена знања и искуства експерата (отправника возова и диспечера) о кашњењу возова. Резултати добијени применом модела рачунарске интелигенције упоређени су са резултатима добијеним моделом вишеструке линеарне регресије. Статистичка упоредна анализа показала је да су модели рачунарске интелигенције дали боље резултате. Непараметерски тестови су показали да нема основа одбацити хипотезу да се резултати модела рачунарске интелигенције слажу са емпиријским подацима.

Симулациони модел Петријевих мрежа саобраћаја возова представљен је у **шестом поглављу**. У концепту израде модела Петријевих мрежа предложено је да се *токенима* представљају возови, а да се *местима* представљају одсеци система распутнице. Због потребе да се дефинишу различите категорије возова, користи се обојена Петријева мрежа, односно могућност у HLPN да се токени дефинишу по бојама, тј. по карактеристикама. Предложено је да се за приступ моделирању система одабере израда модула који представљају различите типове изолованих одсека у моделу система распутнице. На тај начин, омогућава се примена модела за симулирање железничких система који су засновани на концепту праћења кретања возова преко заузетости одсека возовима. Израда модела заснива се на повезивању унапред дефинисаних модула – подсистема Петријевих мрежа, у формације којима се представља план одсека дела железничке мреже која се моделира и повезивање

ентитета који представљају места где се складиште подаци о систему. Приказани су начин повезивања модула у моделу, као и дефинисање процесора да би се моделирало кретање возова. У моделу су дефинисане функције, типови и процесори, као и подсистеми којима се дефинишу различити типови одсека и услови за остварење прелаза. Након повезивања модула и ентитета, модел се комплетира дефинисањем база података из којих се у току симулације преузимају улазни подаци о систему, као и база излазних података у које се уписују вредности обојених токена и складишта који се прикупљају током извршења симулације. Дат је и приказ начина дефинисања типова, функција, система-модула и процесора у којима се дефинишу услови прелаза токена/возова. За потребе прорачуна примарних кашњења возова користе се предложени модели засновани на методама рачунарске интелигенције. Примарно кашњење возова прорачунава се у улазном модулу где су фази Петријевом мрежом представљени претходно дефинисани модели кашњења. Анимација модела остварена је помоћу приказа кретања токена кроз модел (кроз систем модула) и праћења заузетости одсека преко показивача стања складишта. Уз то, резултати се у току извршења симулације убацују у базу података, где се ти подаци могу лако филтрирати, статистички обрадити и графички презентовати. Развијен је и поступак генерисања графикана реализованог саобраћаја возова. Помоћу анимације стања заузетости колосека и графичког приказа кретања воза (графикон вожње возова по одсечима модела) могуће је извршити валидацију и верификацију модела распутнице.

У **седмом поглављу** приказана је примена дефинисаног модела Петријевих мрежа на примеру одабране распутнице у београдском железничком чвору. Распутница „Г“ налази се на двоколосечној прузи између станица Раковица, Београд Центар, Топчидер и Карађорђево Парк. Улазни подаци за израду модела су: ред вожње возова, подаци о дужинама и распореду одсека, положаји сигнала и брзине кретања различитих категорија возова и тд. Модел Петријевих мрежа распутнице „Г“ израђен је повезивањем модула одсека у складу са планом одсека система распутнице. Након тога, дефинисана је база излазних података, прозор за анимацију заузетости одсека и макрои за цртање графикана саобраћаја возова.

У **осмом поглављу** представљени су резултати модела. Резултати су представљени за два примера примене модела, код оперативног (тактичког) и стратешког планирања система распутнице. Код примене у оперативном планирању, модел може да се користи за добијање података о кретању возова, настанку секундарних кашњења, као и заузетости и искоришћењу одсека. Као пример примене у стратешком одлучивању, модел је израђен за три различите варијанте инфраструктурног решења распутнице. Добијени резултати су упоређени и на основу њих предложено је оптимално инфраструктурно решење распутнице у функцији прогнозираног броја возова у систему.

У последњем **деветом поглављу** дата су закључна разматрања у складу са добијеним резултатима модела. Закључци су дати у форми општих и посебних закључака и односе се на предложену примену Петријевих мрежа у симулационом моделирању сложених система саобраћаја возова. На крају, дате су смернице које се односе на даља истраживања у овој области.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Основни циљ дисертације је развој симулационог модела саобраћаја возова који би се применио и на системе распутница. У току израде дисертације коришћене су савремене методе, технике и алати. У дисертацији је развијен оригинални симулациони модел заснован на теорији Петријевих мрежа. У дефинисању модула симулационог модела коришћене су Петријеве мреже високог нивоа које имају својства: обојене, временске, хијерархијске и фази Петријеве мреже. Један од модула који се користи за прорачун примарног кашњења возова израђен је помоћу фази Петријеве мреже, а на основу претходно дефинисаног модела заснованог на рачунарској интелигенцији (методе неуронских мрежа, адаптивни неуро-фази системи или фази логика). Примена комбинације Петријевих мрежа и метода рачунарске интелигенције омогућила је израду модела који на ефикасан и прецизан начин симулира сложене системе саобраћаја возова. Савременост и актуелност дисертације потврђена је објављивањем резултата модела у међународном часопису и радовима саопштеним на међународним и домаћим скуповима. Поред тога, литература коришћена у дисертацији додатно указује на савременост и актуелност истраживане области.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Списак литературе садржи 65 библиографских јединица које су коришћене у изради дисертације. Литература је релевантна за предмет и циљеве истраживања. Кандидат је у дисертацији правилно реферисао бројне научно-стручне радове, монографије, уџбенике и студије и показао је висок ниво познавања резултата истраживања у најважнијој класичној и савременој литератури из предметне области.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У оквиру докторске дисертације, поред општих метода истраживања коришћене су методе симулационог моделирања, методе рачунарске интелигенције и статистичке методе. Изабране методе су адекватне и у потпуности одговарају предмету и циљевима истраживања.

3.4. Применљивост остварених резултата

Предложени модел Петријевих мрежа за симулацију саобраћаја возова дефинисан је на принципу модуларности. То подразумева израду модула за сваки тип одсека у систему. На тај начин, у зависности од симулираног система дефинишу се различити модули у различитим нивоима хијерархије модела. Повезивањем модула по плану одсека система израђује се симулациони модел. Модел се лако може изградити и прилагодити за системе распутница, станица, или других сличних сложених система саобраћаја возова. У току истраживања и развоја, модел Петријевих мрежа примењен је за моделирање различитих система саобраћаја возова (распутнице и станице) и за различите услове слеђења возова. Резултати модела Петријевих мрежа могу се користити у оперативном планирању саобраћаја као систем за подршку одлучивања диспечера возова, или у стратешком планирању у истраживању утицаја различитих инфраструктурних, технолошких и техничких решења на кретање возова у систему.

Модел за прорачун примарног кашњења возова могу се користити у комбинацији са моделом Петријевијих мрежа, али и независно, при изради реда вожње, или као део неког другог модела за симулацију саобраћаја возова.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

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

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

На основу прегледа докторске дисертације кандидата Мр Сањина Милинковића, дипл. инж. саобраћаја, Комисија сматра да су у њој остварени следећи оригинални научни доприноси:

- Дефинисана је методологија за утврђивање оптималног решења система распутнице. Моделирање система распутнице Петријевим мрежама високог нивоа (обојене, хијерархијске, временске, стохастичке и фази Петријеве мреже), омогућава експериментисање различитим улазним подацима (инфраструктурна решења распутнице, начин организације слеђења возова, редови вожње возова и број возова по правцима, услови експлоатације са фиксним и случајним временима наилазака возова, при различитим инфраструктурним капацитетима итд.).
- Развијен је оригинални симулациони модел Петријевих мрежа распутнице који омогућава добијање релевантних показатеља рада система распутнице (као што су квалитет опслуге изражен кашњењем возова у моделу, пропусна моћ при задатом квалитету опслуге итд.).
- Развијен је модел Петријевих мрежа који користећи модуларни приступ омогућава симулацију различитих сложених система саобраћаја возова. Због особина Петријевих мрежа које омогућавају организацију модела у различитим нивоима хијерархија, модели се могу лако адаптирати за различита инфраструктурна, технолошка или техничка решења. Такође, уз додатне измене и дефинисање нових модула могућа је израда модела саобраћаја возова у различитим сложеним системима и за различите услове и правила саобраћаја возова.
- Дефинисан је модел прорачуна примарног кашњења возова. Модели кашњења возова користе се као улази подаци у посебном модулу фази Петријеве мреже. За прорачун кашњења возова развијено је неколико модела у зависности од доступних података о кашњењу возова. Када не постоје статистички подаци о кашњењу, користи се модел заснован на фази логици. Ако су доступни подаци о кашњењу возова у претходном периоду, користи се модел неуронске мреже или адаптивни неуро-фази модел.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Оригинални симулациони модел заснован на теорији Петријевих мрежа, представља савремен и ефикасан приступ симулацији саобраћаја возова. Примена Петријевих мрежа високог нивоа омогућава израду модела у којима су дефинисана сва правила

саобраћаја возова, као и сви неопходни улазни подаци. Резултати добијени симулацијом представљени су анимацијом, графички и табеларно што олакшава различите анализе понашања система. Модели прорачуна примарног кашњења возова омогућавају да се у оквиру симулационог модела сагледа утицај кашњења возова на друге возове и да се анализирају места и возови у систему који изазивају настанак секундарних кашњења возова.

Имајући у виду постављене циљеве и предмет истраживања, Комисија сматра да представљени модели и резултати представљају оригиналан и савремен приступ симулацији сложених система саобраћаја возова на распутници.

4.3. Верификација научних доприноса

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

Поред тога, резултати дисертације су коришћени у реализацији активности научно истраживачких пројеката подржаних од стране Министарства просвете и науке Републике Србије (ев. бр. 15025 и 36012).

Верификација научног доприноса дисертације остварена је објављивањем следећих радова:

Категорија M22:

1. **Milinković, S.**, Marković, M., Vesković, S., Ivić, M., Pavlović, N. (2013). A fuzzy Petri net model to estimate train delays. *Simulation Modelling Practice and Theory*, Vol. 33, pp. 144-157., (**IF₂₀₁₁=0.969**), (ISSN 1569-190X).

Категорија M33 и M63:

1. **Milinković, S.**, Vukadinović, K., Vesković, S. (2012). Model Petrijevih mreža za simulaciju saobraćaja vozova. *SYMOPIS 2012*, 25.-28. septembar, Tara, Srbija.
2. **Milinković, S.**, Ivić, M., Vesković, S., Marković, M., Pavlović, N. (2012). Simulation Analysis of the Railway Junction Track Layout. *EURO-ŽEL 2012*, 05 - 06.06.2012. Žilina, Slovak Republic.
3. **Milinković, S.**, Veskovic, S., Markovic, M. (2012). Application of Soft Computing Techniques in Modeling Train Delays. *TRB 2012 - Transportation Research Board 91st Annual Meeting*, January 22-26 2012 Washington, D.C., USA.
4. **Milinković, S.**, Marković, M., Vesković, S., Ivić, M., Pavlović, N. (2011). A Petri net based simulation model of a railway junction system. *RailRome 2011- 4th International Seminar on Railway Operations Modelling and Analysis*, 16. - 18.02.2011., Rome, Italy.
5. **Milinković, S.**, Marković, M., Vesković, S., Ivić, M., Pavlović, N. (2010). A Fuzzy Petri Net model for estimation of train delays. *EUROSIM 2010*, September 6-10 Prague, Czech Republic.
6. **Milinković, S.**, Vesković, S., Marković, M., Ivić, M., Pavlović, N. (2010). Simulation model of a railway junction based on Petri Nets and fuzzy logic. *WCTR 2010 - 12th World Conference on Transport Research Society*, 11-15 July, Lisbon, Portugal.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Имајући у виду квалитет истраживања, сложеност проблема и значај резултата који су приказани, Комисија сматра да докторска дисертација кандидата Мр Сањина Милинковића, дипл. инж. саобраћаја, представља вредан научни допринос у области планирања и моделирања железничког саобраћаја.

Комисија сматра да је докторска дисертација кандидата Мр Сањина Милинковића оригиналан, савремен и значајан научни рад, који доказује потпуну научно-истраживачку зрелост Кандидата и представља у пракси примењив научни допринос. Дисертација има све потребне елементе који задовољавају услове предвиђене Статутом Универзитета у Београду и Статутом Саобраћајног факултета за стицања научног звања Доктора техничких наука.

Комисија предлаже Наставно-научном већу Саобраћајног факултета да се докторска дисертација под називом „МЕТОДОЛОГИЈА ЗА УТВРЂИВАЊЕ ОПТИМАЛНОГ РЕШЕЊА РАСПУТНИЦЕ“ кандидата Мр Сањина Милинковића, дипл. инж. саобраћаја, прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, односно да се одобри јавна одбрана.

У Београду
1.4.2013. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

Проф. др Катарина Вукадиновић, редовни професор,
Универзитет у Београду - Саобраћајни факултет - ментор

Проф. др Славко Весковић, ванредни професор,
Универзитет у Београду - Саобраћајни факултет

Доц. др Гордан Стојић, доцент,
Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука