

**НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ  
ГРАЂЕВИНСКОГ ФАКУЛТЕТА  
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ**

ПРЕДМЕТ: Извештај о урађеној докторској дисертацији кандидата мр Милана Мирковића дипл. инж. грађ.

Одлуком Наставно-научног већа Грађевинског факултета Универзитета у Београду бр. 671/10-10 од 25.03.2016. именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата мр Милана Мирковића, дипл. грађ. инж., под насловом:

**"ОПТИМИЗАЦИЈА РАСПОЛОЖИВОСТИ СИСТЕМА ЗА ПРОИЗВОДЊУ И  
УГРАЂИВАЊЕ БИТУМЕНОМ ВЕЗАНИХ МАТЕРИЈАЛА"**

После прегледа достављене дисертације, Комисија подноси Наставно-научном већу Грађевинског факултета следећи

**ИЗВЕШТАЈ**

**1 УВОД**

**1.1 Хронологија одобравања и израде дисертације**

Кандидат мр Милан Мирковић, дипл. грађ. инж., поднео је 23.11.2010. молбу Наставно-научном већу Грађевинског факултета Универзитета у Београду за одобрење израде докторске дисертације под насловом „Оптимизација расположивости система за производњу и уграђивање битуменом везаних материјала”. Одлуком Наставно-научног већа бр. 671/2 од 01.12.2010. именована је Комисија за пријем теме докторске дисертације у саставу:

- Проф. др Бранислав Ивковић, дипл. инж. грађ.
- Проф. др Милан Тривунић, дипл. инж. грађ. /Факултет техничких наука - Нови Сад и
- Доц. др Горан Младеновић, дипл. инж. грађ.

Комисија је поднела извештај који је прихваћен на седници Наставно-научног већа 23.12.2010. број 671/4 од 28. 12. 2010. За менторе су именовани Проф. др Бранислав Ивковић дипл. инж. грађ. и Доц. Горан Младеновић дипл. инж. грађ. Веће научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду дало је сагласност за израду ове докторске дисертације 28.04.2011. број 671/7 - 10 од 09. 05. 2011.

Кандидат је предао завршену дисертацију Студентској служби Грађевинског факултета 02.03.2016. На седници одржаној 24.03.2016. Наставно-научно веће Грађевинског факултета именовало је Комисију за оцену и одбрану докторске дисертације у саставу:

- др Бранислав Ивковић, дипл. инж. грађ., редовни професор Грађевинског факултета у Београду,
- др Милан Тривунић, дипл. инж. грађ., редовни професор Факултета техничких наука у Новом Саду и
- др Горан Младеновић, дипл. инж. грађ., ванредни професор Грађевинског факултета

## 1.2 Научна област дисертације

Тема дисертације припада научној области Менаџмента и технологије грађења, односно ужој научној области Управљања грађевинским машинама и постројењима.

## 1.3 Биографија кандидата

Мр Милан Мирковић, дипл. грађ. инж., рођен је 05.06.1963. године у Книну. Основну школу завршио је 1977. године у Старчеву. Прва два разреда средње школе за заједничко средње васпитање и образовање „Паја Маргановић” завршио је 1979. године у Панчеву. Трећи и четврти разред средњег усмереног образовања завршио је у средњој грађевинској школи „ 25. мај” у Панчеву 1981. године и стекао образовање за квалификованог зидара-фасадера и техничара високоградње. Уписао је Грађевински факултет у Суботици, Универзитета у Новом Саду школске 1982/83. године. Студије је завршио 1989. године. Дипломски рад је одбранио из предмета „Бетонски мостови” под називом „Друмски мост закошен за 30° преко задате осовине, распона 14.38 м<sup>1</sup> и укупне ширине 10 м<sup>1</sup> , конструкције пуне плоче” са оценом 10 (десет) и стекао стручни назив дипломираног грађевинског инжењера конструктивног смера.

Последипломске студије уписује 1997. године на Грађевинском факултету Универзитета у Београду. Након одслушаних последипломских студија, положио је све испите предвиђене наставним планом и програмом факултета са просечном оценом 10 (десет). Стекао је академски назив магистара наука 2008. године, одбранивши магистарску тезу под називом „Модел стратешког избора грађевинских машина на извођењу радова рехабилитације и реконструкције коловоза”.

По завршетку редовних студија, од 1990. до 2010. године радио је у предузећу "Војводина пут-Зрењанин" у Зрењанину на следећим радним местима:

- Пословођа на уграђивању асфалтних материјала (1990 - 1991),
- Инжењер на градилишту ( 1991 - 1992),
- Руководилац пројекта (1992 - 1997),
- Главни инжењер предузећа (1997 - 1999),
- Технички директор (1999 - 2001) и
- Генерални директор (2001 - 2010)

Током наведеног двадесетогодишњег искуства уочено је постепено напредовање у техно-менаџерском смислу које се између осталог огледа кроз:

- положени стручни испит за вршење послова техничких руководилица, надзорног и техничког особља и палиоца мина при извођењу рударских радова и експлоатацији минералних сировина.(Покрајински секретаријат за привреду, уверење број 152 - 778/91 од 25.12.1991. године).
- положени стручни испит за вршење послова израде пројектно - техничке документације, изградње и стручног надзора над изградњом инвестиционих објеката. (Покрајински секретаријат за привреду, уверење број 152 - 245/92 од 24.11.1991. године).
- управљање на 53 пројекта у фазама припреме и грађења (одговорни руководилица радова), од којих се издвајају:
  - изградња обилазног пута око Зрењанина, 1992,1998. година,
  - реконструкција магистралног пута М - 24, деоница: Меленци - Зрењанин, 1993. година,
  - изградња ауто пута Е - 75, деоница: Државна граница - Фекетић, 1997. година,
  - реконструкција 11 градских саобраћајница у Зрењанину, 2006, 2007. година,

- реконструкција магистралног путног правца М - 7, деоница: Зрењанин - Житиште ( 102 + 800.00 до 109 + 829.23 км), 2009. година и
- изградња ауто пута Е - 75, деоница: 93 + 000.00 до 98 + 000.00, 2010. година.
- учествовање на 44 пројекта у фазама припреме и грађења, од којих се издвајају:
  - изградња ауто пута Е - 75, деоница: Државна граница - Фекетић, 1991. година,
  - рехабилитација коловоза магистралног пута М - 24, деоница: Перлез - Чента, 1991. година,
  - рехабилитација коловоза магистралног пута М - 3, деоница: Н. Бечеј - Н. Милошево, 1995. година,
  - реконструкција полетно слетне стазе аеродрома "Београд", 1996. година и
  - рехабилитација коловоза регионалног пута Р - 110, Перлез - Фаркаждин, 2003. година.
- одговорни пројектант на 15 главних пројеката од којих се издвајају:
  - идејни и главни пројекат локалног пута L - 4, Хетин - Рајић, Л = 12 км, 1995. година,
  - допуна главног пројекта појачаног одржавања пута Р - 123/1, деоница Бегејци - Житиште, од км 2+024.08 до км 6+457.72, 2004. година,
  - пројекат паркинга и платоа у општој болници "Ђорђе Јоановић" у Зрењанину, 2005. година,
  - идејни и главни пројекат рехабилитације коловоза улице Сава Ковачевић у Српској Црњи, 2005. година,
  - пројекат изградње саобраћајнице у улици Панонска у Зрењанину, 2006. година.
- стручни надзор на пројектима:
  - рехабилитације и реконструкције коловоза у улицама Месне Заједнице Старчево, 2003. и 2007. године.
- вођење тима на успостављању система менаџмента (QHSE) у акционарском друштву према захтевима стандарда ISO 9001:2000, ISO 14000 i OHSAS 18001. Делокруг сертификације: „Пројектовање, изградња, реконструкција и одржавање саобраћајних објеката нискоградње. Производња и продаја асфалта и бетона“. 2003. година,
- вођење тима на успостављању информационог система на нивоу целог акционарског друштва. 2004. година,
- награда Регионалне Привредне Коморе Зрењанин за успешно пословање, значајно упошљавање капацитета и запошљавање радника, инвестициона улагања у нове технологије и за увођење система квалитета, 2002. година,
- награда Привредне Коморе Републике Србије за 2003. годину за постигнуте резултате у развоју и унапређењу привреде Републике Србије.

У периоду 2011. до 2013. године обављао је послове извршног директора у компанији " Millennium Team" из Београда кроз координирање радова на више пројеката, од којих се издвајају:

- пречистач отпадних вода у насељу Руменка код Новог Сада,
- пречистач отпадних вода у Врбасу,
- грађевински радови на постављању оптичких каблова у зони аутопутне петље Нови сад,
- постављање телеметријских каблова за Београдски водовод и канализацију у насељу Лесковац код Београда,
- гасификација општине Смедерево,
- изградња кишне канализације у кругу фабрике Фијат у Крагујевцу,

- изградња канализације у насељу Плави Хоризонти у условима високих нивоа подземних вода и
- укрштање гасовода високог притиска са ДТД каналом у општини Оџаци.
- стручни надзор на пројектима:
  - изградња Црпне станице за отпадне воде " CENTAR" у Зрењанину, 2014.

У периоду 2013. до 2016. године обавља послове техничког директора у компанији " Југокоп - Подриње" из Шабца кроз организацију и координирање радова на више пројеката, а пре свега радове везане за одбрану од поплава.

Због великог оперативног искуства у управљању пројектима у фази пројектовања, припреме и извођења, кандидат је носилац лиценци инжењерске коморе из више области грађевинарства: 310, 410, 312, 412, 413, 314, 414, 315 и 415.

Кандидат је рецензент из области Менаџмента и технологије грађења за два часописа са SCI листе:

- Tehnički vijesnik, ISSN, 1330 - 3651, UDK: 62(05)=163.42=111, DOI: 10.17559/TV, IF = 0,579 ,Građevinski fakultet Osijek, Hrvatska и
- Građevinar, Journal of the Croation Association of Civil Engineers, ISSN:0350 - 2464, 2016, (IF = 0.202), Hrvatska.

## 2 ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

### 2.1 Садржај дисертације

Докторска дисертација под насловом „Оптимизација Распољивости Система за Производњу и Уграђивање Битуменом Везаних Материјала” садржи 10 поглавља:

1. Увод,
2. Преглед литературе,
3. Основе технолошког процеса производње и уграђивања битуменом везаних материјала,
4. Анализа и систематизација истраживаних догађаја,
5. Предлог модела за анализу и пројектовање расположивости грађевинских производних система,
6. Оптимизација расположивости грађевинских производних система,
7. Информациони систем за анализу, пројектовање и оптимизацију расположивости грађевинских производних система
8. Имплементација предложеног модела на систему за производњу и уграђивање битуменом везаних материјала,
9. Закључак и правци даљих истраживања,
10. Литература

Дисертација садржи резиме на српском и енглеском језику, попис слика и табела, из основног рада и прилога. Текст дисертације је написан на 129 страна, садржи 40 слика и 13 табела. Прилог рада садржи 112 страна са 114 слика и 106 табела.

Структура дисертације и текст су обликовани у складу са упутством Сената Универзитета у Београду од 14.12.2012. године и са посебним упутствима за обликовање штампане и електронске верзије дисертације.

## 2.2 Кратак приказ појединичаних поглавља

Захваљујући вишегодишњем истраживању литературе из области расположивости, поузданости и поправљивости производних система са различитим пројектно организованим структурама уочене су предности и мане постојећег информационог система предузећа што је за последицу имало потребу за изменама и допунама истог, што је и *део* предмета истраживања. На основу истовремене анализе литературе и реалног система у раду, предложен је модел за пројектовање, анализу и оптимизацију расположивости грађевинских система. *Због своје опитности, применљив је на све позиције радова које се могу појавити у току пројектовања и извођења тј. на систем за справљање и уграђивање битуменом везаних материјала.*

У уводном поглављу приказан је општи приступ предмету истраживања проширен последњим сазнањима из истраживане области. Такође, поред постојећих сазнања, изнесено је, шта је о предмету истраживања још потребно знати. Значи, поред дефиниције предмета истраживања одређени су *основни и изведени циљеви* са хипотезама, и обимом и ограничењима истраживања. Такође, приказана је и структура дисертације са кратким садржајем по поглављима.

У другом поглављу извршено је обимно и вишестепено истраживање доступне литературе из области расположивости, поузданости и погодности одржавања поправљивих система. Истраживана литература је из периода првих до последњих радова за наведену област и предмет истраживања. Први корак се односио на истраживање расположивости техничких система уопште. У другом кораку истраживана је литература из области производних система, без обзира на врсту и намену истих. У трећем кораку извршено је сужавање и фокусирање истраживања на производне системе чији откази и хаварије не могу озбиљније утицати на безбедност и здравље људи и околине, у које се убрајају и грађевински производни системи.

Досадашња теоријска искуства проширена су на основу позитивне праксе из истраживане области. Овоме су допринели подаци о истраживаним временима рада и отказа јединица машинског парка са критичким освртом на коначни изглед посматраног информационог система. Анализиране су методе оптимизације поправљивих система са практичном применом на грађевинске, тј пројектно организоване технолошке процесе.

У трећем и четвртном поглављу описан је систем за справљање и уграђивање битуменом везаних материјала и извршена је анализа и систематизација прикупљених података о отказима јединица машинског парка (грађевинских машина) у периоду од шест година. На основу начина систематизовања података о временима отказа предложени су изрази за одређивање оперативне расположивости компонената система са циљем израчунавања улазних података за следећи корак у формирању модела.

Такође, приказан је утицај функције расположивости на укупне трошкове рада система и недостататке класичног (постојећег) приступа у одређивању стварних трошкова рада.

У петом поглављу садржан је предлог модела за пројектовање и анализу расположивости грађевинских производних система. Предложени модел се састоји од методологија за:

- прикупљање података о временима отказа и поправке компонената и система,
- одређивање трошкова за време функције, застоја и отказа компонената и система,
- прорачун оперативне расположивости компонената и система,

- *предвиђање пројектне расположивости компонента, подсистема и система у целини (оригинални експертски приступ),*
- алоцирање расположивости у функцији захтева технолошког процеса и
- одређивање броја могућих алтернатива производног система.

Шесто поглавље представља избор методе за оптимизацију расположивости грађевинских производних система. На избор методе, велики утицај су оствариле карактеристике пројектно организованих технолошких процеса. Избором методе за оптимизацију заокружује се процес формирања модела. Предложена метода представља проширену методу егзактног одређивања трошкова расположивости серијско - паралелних структура производних система на исте са редундантним елементима. Избор оптималне расположивости за могуће алтернативе производног система извршена је према предложеној функцији циља тј. минималној цени по јединици мере готовог производа за задати опсег пројектне расположивости.

Након дефинисане структуре модела са научног становишта, обезбеђени су услови за несметано пројектовање модула информационог система за подршку у наведеном процесу оптимизације грађевинских производних система. У седмом поглављу је образложен и избор програмског језика са становишта компатибилности са савременим тенденцијама из ове области.

У осмом поглављу је извршено тестирање предложеног модела оптимизације расположивости на конкретном систему за производњу и уграђивање битуменом везаних материјала. Целокупан процес оптимизације предложеног модела тестиран је са реалним подацима. За улазне податке послужиле су истраживане вредности показатеља расположивости за наведене јединице машинског парка у назначеном периоду. Посебан нагласак дат је на анализирању утицаја расположивости на стварне показатеље рада система.

Након предложеног и тестираног модела оптимизације грађевинских производних система, у деветом поглављу је извршен обиман закључак са смерницама за даља изучавања и истраживања из области расположивости поправљивих система тј. производних система са пројектном организационом структуром.

Десето поглавље садржи списак литературе, где је побројана значајнија литература из ширег и ужег опсега предметног истраживања (91. референца).

Због великог обима обрађених података који су резултирали великим бројем табела, графикона и делова из информационог система за подршку што бржем остваривању постављеног циља, исти су приказани веома прегледно и детаљно у прилогу рада.

### **3 ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ**

#### **3.1 Савременост и оригиналност**

Оптимално пројектовање производних система и оптимизација расположивости достижу експанзију у примени на индустријске и производне системе осамдесетих година прошлог века. Због важне карактеристике производних система, поправљивости, функција расположивости добија све више на значају у анализирањима рада система кроз меру поузданости истих, и релације између планираних и стварних вредности резултата рада у јединици времена, цене система и цене система по јединици мере готових производа.

Тема дисертације се може оценити као савремена, иако први радови из области расположивости добијају на значају након вишегодишњих истраживања *поузданости* поправљивих система по окончању другог светског рата. Из веома детаљног прегледа литературе у дисертацији, може се закључити да не постоји универзална методологија за анализу и систематизацију параметара расположивости, као и метода за избор оптималних вредности функције расположивости за различите функције циља.

Стања у којима се системи могу налазити у току планираног времена функционисања указују на не заобилазност расположивости у анализирању и оптимизацији пројектованих решења. *У грађевинској пракси присутни су још увек приступи који не подразумевају прорачун величина који карактеришу вероватноћу појаве стања функције или стања отказа компонената и система у целини и анализу њиховог утицаја на планске показатеље функције система.* Избор оптималног решења у наведеним приступима заснива се на критеријуму минималне цене по јединици мере готовог производа за задати резултат рада (практични учинак), подразумевајући континуирану функцију свих елемената система. Због не реалности претпоставке о континуалном раду система коришћење фактора ризика приликом израде тендерских понуда представља стари и ризичан приступ код одређивања:

- резултата рада у јединици времена (практичног учинка),
- трошкова рада система у јединици времена,
- трошкова рада система по јединици мере готовог производа,
- укупних трошкова рада система и
- потребног времена за реализацију планираних позиција радова.

Пројектовање производних процеса на основу реалних улазних података подразумева анализирање и прорачун показатеља расположивости са избором оптималног решења за наведене критеријуме. *Предмет истраживања дисертације обухвата анализу утицаја функције расположивости за набројане показатеље рада грађевинских производних система кроз избор адекватне методологије у оквиру модела, тестиране на резултатима мерења времена отказа и поправки компонената (машина) машинског парка у вишегодишњем временском периоду (2005-2010).* Такође, *истраживање је обухватило и одређивање начина оптималног избора расположивости у процесу пројектовања технолошког процеса.*

У раду је потврђена оправданост постављене функције циља која је последица алоцираног опсега функције расположивости производног система у фази припреме и реализације грађевинских пројеката. Са обзиром да се оптимизација функције расположивости може вршити на два начина:

- Максимизирањем расположивости система за фиксирани трошкови и
- Минимизирањем трошкова за алоциране (захтеване) расположивости система,

прихвата се став да је одређивање максимума функције расположивости за различита буџетска сценарија најчешћи задатак који је садржан у политикама и процедурама *управљања машинским парком.* Други приступ проблему оптимизације расположивости, где се за мали интервал варијације вредности захтеване расположивости изналазе минимални трошкови је начин одређивања укупних трошкова који у поређењу са оствареним требају да докажу занемарљиве разлике у односу на приступ процењивању и оптимизацији истих када се у обзир не узима функција расположивости. Аутор је изнео оригинални став о начину избора функције циља у зависности од сектора унутар привредних субјеката (управљање машинским парком и пројектовање производног система). Наиме, у случају управљања машинским парком функција циља је

максимизирање расположивости док је у случају пројектовања система и јединичних трошкова функција циља минимизирање трошкова за задату расположивост као последицу уговорених односа на релацији наручилац - извођач.

Оригиналност дисертације, између осталог, огледа се у начину:

- одређивања вредности за оперативну расположивост компонената и система,
- предвиђања расположивости компонената и система, коришћењем података о амортизационим периодима и оперативним расположивостима из предходног рада компонената система ,
- креирања модула информационог система као подршке интегралном систему квалитета кроз И.И.С израђен у програмском језику PHP, и потпуно прилагођен организацији рада у свим организационим деловима предузећа. Серверска основа је Linux, а база података је урађена у My SQL-у. Да би се стекла права слика о интегрисаном информационом систему, наведено је да исти садржи 112 апликација које обраде око 5000 акција дневно, са 80 база података које су састављене од 2156 табела са око 50 000 000 слогова које дневно обраде око 12 000 трансакција,
- одређивања функције циља са припадајућим ограничењима у процесу избора скупа оптималних решења за алоцирану расположивост подсистемима и
- избора оптималне расположивости у функцији трошкова по јединици мере готовог производа са припадајућим подацима о трајању радова и производним капацитетима.

### 3.2 Осврт на референтну и коришћену литературу

У оквиру дисертације цитирана је 91. библиографска јединица. Већину референци чине радови објављени у интернационалним стручним часописима, од којих већину чине :

- Journal of Systems Science and Systems Engineering,
- IEEE, Transactions on Reliability (Published by IEEE Reliability Society),
- Microelectronics and Reliability (Elsevier Science Publisher),
- Reliability Engineering and System Safety (Elsevier Science Publisher),
- Quality and Reliability Engineering International,
- Journal of Industrial Engineering International,
- International Journal of Industrial Engineering and Practices (Serial Publications),
- International Journal of Reliability and Quality Performance (Serial Publications),
- International Journal of Engineering Research and Industrial Applications,
- International Journal of Industrial Engineering and Technology ,
- International Journal of Applied Engineering and Research,
- International Journal of Engineering,
- Emerging Journal of Engineering Science and Technology,
- International Journal of Engineering and Simulation,
- International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences,
- Journal of Applied Probability,

Већина цитираних референци (66) објављено је после 2000. године. Истраживање литературе због обимности исте *подељено је на три нивоа*, и то:

- Истраживање литературе из области поузданости поправљивих система,
- Истраживање литературе из области расположивости и погодности одржавања индустријских (производних) система и
- Истраживање литературе из области расположивости и погодности одржавања грађевинских производних (пројектно организованих) система.



Наведеним приступом истраживању литературе кандидат је веома детаљно, постепено и прегледно приближио предмет истраживања до нивоа који обезбеђује несметани критички осврт и даље истраживање из области расположивости и погодности одржавања система грађевинских машина и постројења. Посебно су наглашени радови професора Прашћевића и Ивковића из уже области научног истраживања.

### 3.3 Опис и адекватност примењених научних метода

Одређивањем модела за анализу и предвиђање расположивости делова система и система у целини приказан је значај *теорије вероватноће, математичке статистике, теорије случајних процеса и експертског приступа* заснованог на великом броју расположивих података из области предметног истраживања.

У дисертацији је наглашен утицај малог броја догађаја на годишњем нивоу код одређивања најприближније статистичке расподеле за анализирана времена отказа и поправки. Анализом истих потврђена је оправданост примене *методе уравнотежених фреквенција* код система који функционишу у довољно дугом периоду, са прецизно дефинисаним прекидима у раду, што је и једна од важнијих карактеристика поправљивих (одржаваних) система. У раду је наглашен значај адекватности модула информационог система за анализу и оптимизацију расположивости производног система (систем грађевинских машина и постројења) код примене аналитичких метода за процену пројектне расположивости (steady state availability). Симулационе методе и технике адекватно су замењене скупом методологија које садрже елементе вероватноће, математичке статистике и практичне показатеље функције депресијације. За одређивање расположивости алтернативних решења у функцији врсте веза и отказа унутар делова серијско паралелног система извршено је проширење *методе егзактног одређивања минималних трошкова расположивости за случај серијско паралелних система код целобројног интегралног програмирања*.

Савремени приступ одређивања функције оперативне расположивости који се издваја у односу на досадашње са поделом оперативног времена на време у раду и време када је компонента расположива и спремна за вршење функције, даје реалније улазне податке за предвиђање пројектне расположивости система, укупних трошкова рада система по јединици мере готовог производа, стварног практичног учинка и потребног времена за завршетак пројекта. Наведеним приступом разложено је средње време између отказа (MTBF) на збир времена у раду (OT) и чекању на рад (ST).

Анализирањем укупних трошкова на сваком нивоу предложеног модела омогућује вишекритеријумско сагледавање добијених резултата иако је предложена метода оптимизације једнокритеријумска.

Све методологије у оквиру предложеног модела за оптимизацију расположивости система за справљање и уграђивање битуменом везаних материјала су последица паралелних активности на истраживаном узорку од 34 јединице машинског парка који се састоји од 199 машина за различите врсте радова и литературе која обухвата период од првих до најновијих радова из области предметног истраживања. Адекватност примењених научних метода доказана је на истраживаном узорку за случај реалног пројекта ,у фази реализације, и након окончања свих радова.

### 3.4 Применљивост остварених резултата

Тестирање предложеног модела извршено је на систему за производњу и уграђивање битуменом везаних материјала. За пројектовање алтернатива технолошког процеса послужиле су 34 истраживане јединице машинског парка предузећа са познатим вредностима за интезитете отказа и интезитете поправки из предходног рада, као и амортизационих стопа истих. Такође, улазни подаци о укупним трошковима машина у стању функције и ван ње са укупним трошковима по јединици мере готовог производа послужили су реалном сагледавању утицаја функције расположивости на производне капацитете и укупне трошкове компонената, подсистема и система у целини.

Тестирање је вршено за планирану производњу и уграђивање битуменом везаних материјала у износу од 90.000.00 тона. Анализирана је пословна 2008. година, за коју су претходно срачунате предвиђене вредности улазних података, како је то предвиђено моделом. На основу укупног броја машина за извршавање ове позиције рада омогућено је пројектовање варијантних решења система која се састоје од пет подсистема са могућношћу избора различитих типова веза унутар истих. За пројектовани рок грађења од 125 радна дана и увидом у оперативну расположивост компоненти из претходног периода процењен је просечни пројектовани практични учинак система од 90 t/h. Ценећи капацитет централног постројења (кључне машине) и захтеване расположивости од  $A_p = 0,90$ , сваки од пет подсистема требао је да буде у функцији са просечном расположивошћу од  $0,90^{\frac{1}{5}}$ , тј. 0,9791.

На основу ограничења која ближе одређују функцију циља, за истраживане грађевинске машине, и делом информационог система за анализу и пројектовање варијантних решења технолошког процеса од броја математичко могућих издвојене су 32. алтернативе за испис и додатну анализу, како би се омогућило доношење квалитетних закључана о утицају функције расположивости на практичне учинке и трошкове рада компоненти, подсистема и система у целини. С обзиром на функцију циља, тј. минимизирање трошкова, приказани табеларни прегледи су последица рангирања алтернативних решења према критеријуму минималних укупних трошкова, за случај *независних* и *зависних* отказа система. Наиме, за сваки подсистем са паралелном структуром, активном и пасивном редувансом изабран је случај независних отказа, док су подсистеми у последњем нивоу разлагања система посматрани као редна (серијска) веза са зависним и независним отказима ради поређења утицаја истих на укупне трошкове и стварне резултате рада.

Добијени резултати након тестирања предложеног модела оправдавају хипотезу стационарности процеса за грађевинске производне системе и не коришћење компликованијих математичких модела за оптимизацију расположивости са аспекта грађевинских инжењера у процесу израда понуда и управљањима пројектима. Увођење функције расположивости у процес изналажења оптималних решења за системе грађевинских машина, помаже ширем сагледавању у процесу пројектовања истих и заокружује истраживања из наведене области. Због велике разлике између теоријских искустава и њихове примене у пракси предложени модел нуди експертски приступ као компромисну методу за коначно прихватање функције расположивости у калкулацијама, организацији, планирању и управљању трошковима у грађевинским пројектима у свим фазама.

### 3.5 Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Способности које је кандидат испољио током израде ове дисертације указују на предности инжењера који су радни век провели у привреди, што се може изнети и за оне који немају оперативног искуства на пројектима у реализацији али су у великој мери допринели промовисању струке и науке у образованим институцијама и били сарадници на одређеним пројектима. У овом случају ради се о инжењеру са великим искуством, што се може уочити из наведене биографије, али и са способношћу за научни рад који је доказан кроз објављене радове који су квантитативно прихватљиви за стручњаке који долазе из привреде. У конкретном случају предност кандидата Милана Мирковића је што долази из уређеног привредног субјекта, на чију је реорганизацију, увођење интегралног система квалитета и информационог система лично и директно утицао. *Ово има за последицу велики број података о предметном истраживању који су омогућили несметан рад на систематизацији и анализи истих.* Кандидат је у току израде дисертације, самоиницијативно објавио оригинални научни рад, и са минималним временом за консултације уз обавезе на пројектима на којима је био одговорни извођач радова доказао да поседује квалитете потребне за самостални научни рад. Кроз анализу постојећих радова из области расположивости, поузданости и погодности одржавања серијско паралелних система кандидат је показао способност критичког сагледавања објављених истраживања и њихових примена на системе грађевинских машина и постројења. Кроз *самостални* научни рад током израде дисертације кандидат је показао способност сагледавања проблема и формулисања хипотеза, функције циља и имплементације предложеног на реалном проблему из праксе. Оригиналност и практичност дисертације се може уочити из начина извођења закључака по поглављима и коначног сагледавања у закључку целог рада. Кандидат је испољио систематичност и организованост у процесу истраживања и анализе литературе и великог броја података из предметног истраживања.

Веома важно је нагласити самосталност кандидата у целом процесу објављивања радова и израде докторске дисертације, о чему сведочи и одвојено време ментора на сугестијама и коментарима у току вишегодишњег периода. Наведено указује на кандидатову практичну и научну зрелост.

## 4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

### 4.1 Приказ остварених научних доприноса

Дисертација мр Милана Мирковића представља веома користан и обиман рад на анализирању података из реалних грађевинских система у дужем временском периоду. У дисертацији је потврђена и унапређена метода стационарног понашања производних система који функционишу у довољно дугом периоду времена, као и важност функције погодности одржавања у анализирању и оптимизацији расположивости поправљивих система којим припадају и грађевински производни системи. Имајући у виду приказане резултате, научни допринос овог истраживања огледа се кроз:

- Обиман број истраживаних података о временима отказа и временима поправки из постојећег информационог система што је имало за циљ критички приступ у прикупљању и бележењу истих и формирање оригиналне научне методологије за измену дела информационог система који се односио на наведене начине уноса назначених времена у базу података.
- Систематизацију истраживаних података са циљем формирања дела модела који се односи на предвиђање будућег понашања компоненти, подсистема и система у целини. Предвиђена методологија унутар модела, увођењем утицаја амортизације

на интезитете отказа и интезитете поправки представља оригинални научни допринос за дефинисани предмет истраживања.

- Анализирање грађевинских производних система са становишта задатог интервала варијације расположивости (алокација) због ограничења која представљају основне услове сваког уговора о грађењу.
- Проширење и прилагођавање методе егзактног минимизирања трошкова за поузданост серијско - паралелних система кроз увођење могућности избора активних и пасивних веза типа k/n.
- Предложени модел који се састоји од 9 методологија у процесу од бележења карактеристичних времена до оптимизације функције расположивости минимизирањем укупних трошкова за сваку од могућих варијанти система.
- Увођење показатеља укупних трошкова а не цена, чиме се вишекритеријумски приступ оптимизације своди на једнокритеријумски.
- Преиспитивање интегралности информационог система предузећа кроз пројекте задатке за све модуле и подмодуле истог.

## 4.2 Критичка анализа резултата истраживања

Истраживачки рад кандидата мр Милана Мирковића резултирао је моделом за оптимизацију расположивости грађевинских производних система и тестиран на систему за производњу и уграђивање битуменом везаних материјала. Истраживањем је доказана оправданост примене методе уравнотежења учесталости за анализу стохастичких процеса где посматране варијабле које генеришу стохастичност процеса за изучаване системе поседују експоненцијалну дистрибутивност. Овакав приступ формирању модела има за последицу општост, тј. применљивост на било који пројектно организовани (производни) систем са топлим и хладним редундансама. Значај врсте веза унутар подсистема потврђен је у процесу рангирања алтернативних решења. Утицај веза типа k/n на расположивост и укупне трошкове система доказана је у процесу имплементације, где значајно место заузима веза са хладном резервом (пасивна веза типа k/n), што је и доказано на ранжираним варијантним решењима након оптимизације истих.

У дисертацији су потврђени ставови већине аутора о занемарљивим разликама вредности функције расположивости за случај зависних и независних отказа система са оригиналним закључком кандидата о релативизацији врсте отказа код грађевинских производних система.

Чињеница да је предложени модел и последица критичке анализе постојећег система квалитета кроз прописане процедуре о управљању машинским парком и формирању јединичних цена у оквиру оперативне и техничке припреме посматраног предузећа са информационом системом као подршком целокупном пословању само потврђује оцену о применљивости истог у грађевинским компанијама са високо заступљеним машинским радом.

## 4.3 Верификација научних доприноса

У оквиру овог истраживања кандидату су прихваћена два рада за објављивање у часопису са SCI листе. Поред тога, кандидат је објавио и неколико радова у часописима од националног значаја и на националним научним и стручним скуповима:

Рад у међународном часопису (M23):

**Мирковић М.**, : Production availability of construction systems , Građevinar, Journal of the Croatia Association of Civil Engineers, ISSN:0350 - 2464, 2016, (IF 2014 = 0.202),

Рад у међународном часопису (M23):

**Мирковић М.**, : Analysis of the Impact of Availability Function on Building Production System, Građevinar, Journal of the Croatia Association of Civil Engineers, ISSN:0350 - 2464, 2016, (IF 2014 = 0.202),

Радови у часописима националног значаја:(M51):

**Мирковић М.**, Одређивање модела оперативне расположивости са ралним подацима из рада грађевинског производног система, *Оригинални научни рад*, ИЗГРАДЊА 69 (2015) 3 - 3, 42 - 4, Београд, 2015. год.

Саопштења са скупа националног значаја штампано у целини:(M45):

**Мирковић М.** Подела расположивости производних система са моделом евалуације у реалном времену, 14. Конгрес Друштва Грађевинских Конструктора Србије, Нови Сад, 2014. год.

Тематски зборници:(M63):

**Мирковић М.**, Стање путне мреже магистралних и регионалних путева на територији коју одржава АД." ВОЈВОДИНАПУТ-ЗРЕЊАНИН", Југословенско саветовање, Стање путне мреже у Југославији, Копаоник 1998. год.

Магистарска теза:(M72):

**Мирковић М.**, Модел стратешког избора грађевинских машина на извођењу радова рехабилитације и реконструкције коловоза, Универзитет у Београду, Грађевински факултет, 2008. год.

## 5 ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

У докторској дисертацији под насловом „Оптимизација расположивости система за производњу и уграђивање битуменом везаних материјала“ развијен је модел који се састоји од девет методологија са циљем оптимизације расположивости пројектованих алтернатива грађевинских производних система кроз:


- Евидентирање времена отказа и поправки компонената са припадајућим временима у застоју и административно - логистичким активностима,
- Одређивање оперативне расположивости компоненте,
- Процена пројектне расположивости компоненте,
- Одређивање укупних трошкова компонената у раду и застоју,
- Општи блок дијаграм расположивости за грађевински производни систем,
- Расположивост у функцији структуре производног система,
- Практични учинак у функцији структуре и расположивости система и
- Одређивање укупних трошкова рада система у функцији расположивости, и
- Рангирање алтернативних решења за задату функцију циља.


Поред тога, упркос претпоставци о стационарности, модел је применљив и на цикличне временске периоде, где један циклус представља једну календарску годину. Развијени модел представља даљи развој досадашњих радова из истраживане области за системе који функционишу у дужим периодима. Методологије у саставу предложеног модела у диисертацији представљају вредан научни допринос из области управљања пројектима и менаџменту и технологији грађења. Посебан значај рада се огледа у општости модела, тј. применљивости на све грађевинске производне системе.


На основу свега изнетог, Комисија констатује да докторска дисертација под насловом „Оптимизација расположивости система за справљање и уграђивање битуменом везаних материјала” представља оригиналан и значајан научни допринос у области генерисања стохастичких временских циклуса са изузетним практичним значајем, који је доказан на великом броју анализираних података из праксе. Стога, Комисија предлаже Наставно-научном већу Грађевинског факултета Универзитета у Београду да прихвати позитивну оцену докторске дисертације кандидата мр Милана Мирковића, дипл. грађ. инж., и да сходно томе упути захтев Већу научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду за давање сагласности за јавну одбрану дисертације.

Београд, 26.04.2016.

#### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

  
др Бранислав Ивковић, дипл. грађ. инж., редовни професор  
Грађевинског факултета у Београду

  
др Горан Младеновић, дипл. грађ. инж., ванредни професор  
Грађевинског факултета у Београду

  
др Милан Тривунић, дипл. грађ. инж., редовни професор  
Факултета техничких наука у Новом Саду