

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата **Немање Којића**

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета бр. 5043/10-3 од 30. септембра 2019. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Немање Којића** под насловом:

„Оптимизација приступа подацима у објектно-релационом мапирању заснована на аутоматској денормализацији“

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

Кандидат Немања Којић уписао је докторске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду школске 2010/2011. године, на модулу Софтверско инжењерство студијског програма Електротехника и рачунарство. Током студија положио је све испите са просечном оценом 10,00 и одрадио све обавезе везане за студијски истраживачки рад предвиђене планом и програмом.

Под менторством др Драгана Милићева, редовног професора, јануара 2014. године, кандидат је започео истраживачки рад на тему унапређења технологије објектно-релационог мапирања за потребе транспарентног и ефикасног приступа подацима у великим релационим базама података применом денормализације релационог модела података.

Катедра за рачунарску технику и информатику је на својој седници одржаној 25. априла 2017. године дала препоруку за кандидата и предложену тему докторске дисертације.

Тему докторске дисертације под насловом „Оптимизација приступа подацима у објектно-релационом мапирању заснована на аутоматској денормализацији“ кандидат је пријавио Комисији за студије трећег степена на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, 4. маја 2017. године.

Комисија за студије трећег степена разматрала је на својој седници одржаној 9. маја 2017. године предлог теме за израду докторске дисертације и упутила предлог Комисије за оцену подобности теме и кандидата Наставно-научном већу Факултета на усвајање.

Наставно-научно веће именовало је Комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације кандидата Немање Којића (Одлука бр. 5043/10-1 од 26. 5. 2017. године) у саставу:

- 1) проф. др Драган Бојић, Електротехнички факултет Универзитета у Београду,
- 2) проф. др Саша Малков, Математички факултет Универзитета у Београду,
- 3) проф. др Дејан Тошић, Електротехнички факултет Универзитета у Београду.

За ментора је именован др Драган Милићев, редовни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

Усмена одбрана теме докторске дисертације одржана је на Електротехничком факултету у Београду дана 29. маја 2017. године. На јавној усменој одбрани докторске дисертације били су присутни сви чланови Комисије. Кандидат је уводним излагањем образложио предложену тему дисертације и свог истраживачког рада. Након тога чланови комисије су поставили питања из области предложене теме докторске дисертације. Кандидат је успешно одговорио на сва питања постављена од стране Комисије и захвалио на препорукама и сугестијама. Комисија је одбрану предложене теме докторске дисертације оценила оценом "задовољио".

Наставно-научно веће Електротехничког факултета је на својој седници бр. 813, одржаној 13. јуна 2017. године, усвојило Извештај Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације (Одлука бр. 5043/10-2 од 13. 6. 2017. године).

Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду је на седници одржаној 11. јула 2017. године дало сагласност на предлог теме докторске дисертације под насловом „Оптимизација приступа подацима у објектно-релационом мапирању заснована на аутоматској денормализацији“ (Одлука бр. 61206-2531/2-17 од 11. 7. 2017. године).

Кандидат Немања Којић предао је докторску дисертацију на преглед и оцену 5. септембра 2019. године.

Комисија за студије трећег степена потврдила је 9. септембра 2019. године испуњеност потребних услова за подношење предлога Наставно-научном већу Електротехничког факултета за формирање Комисије за преглед и оцену докторске дисертације.

Наставно-научно веће Факултета је на својој седници одржаној 17. септембра 2019. године именовало Комисију за преглед и оцену докторске дисертације (Одлука бр. 5043/10-3 од 30. 9. 2019. године) у саставу:

- 1) проф. др Драган Милићев, Електротехнички факултет, Универзитет у Београду,
- 2) проф. др Драган Бојић, Електротехнички факултет, Универзитет у Београду,
- 3) проф. др Саша Малков, Математички факултет, Универзитет у Београду,
- 4) проф. др Јелица Протић, Електротехнички факултет, Универзитет у Београду,
- 5) проф. др Милош Цветановић, Електротехнички факултет, Универзитет у Београду.

На основу одлуке Наставно-научног већа бр. 3058/2 од 28.12.2010. године, Студијски програм је започео у пролећном семестру школске 2010/2011, па се рок за завршетак докторских академских студија рачуна од почетка тог семестра, сагласно Статуту Универзитета у Београду и Статуту Електротехничког факултета. По истеку законског рока за завршетак докторских академских студија, на захтев студента, одобрено је продужење рока за завршетак студија за два семестра, сагласно Статуту Универзитета у Београду и Статуту Електротехничког факултета, као и додатно продужење за годину дана на основу Одлуке 24-06/08-2010/5043 од 6. 2. 2018. године.

На основу члана 101. Статута Универзитета у Београду, члана 74. Статута Универзитета у Београду-Електротехничког факултета и захтева студента, одобрено је продужење рока за завршетак студија до истека троструког броја школских година потребних за реализацију уписаног студијског програма.

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација припада области техничких наука, научној области Електротехника и рачунарство, ужој научној области Софтверско инжењерство, за коју је матичан Електротехнички факултет Универзитета у Београду.

Ментор др Драган Милићев, редовни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду, испуњава све формалне и законске услове за ментора ове дисертације. Аутор је већег броја радова у истакнутим међународним часописима и предаје већи број предмета при Катедри за рачунарску технику и информатику на Електротехничком факултету у Београду, а који су у вези са предметом докторске дисертације. Релевантни радови ментора наведени су приликом пријаве теме докторске дисертације овог кандидата.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Немања Којић, мастер инжењер електротехнике и рачунарства, рођен је 22. септембра 1984. у Лозници, Република Србија. Гимназију „Вук Караџић“ у Малом Зворнику, општи смер, завршио је као носилац Вукове дипломе.

Основне академске студије на Одсеку за рачунарску технику и информатику Електротехничког факултета Универзитета у Београду уписао је 2003. године. Дипломирао је 29. фебруара 2008. године са просечном оценом 9,60 и оценом 10 на дипломском раду на тему „Интелигентни систем за праћење присуства на послу“. У току основних студија обављао је летњу праксу у предузећу „СОЛ софтвер“ 2005. године, био је полазник стручних курсева компаније Мајкрософт под окриљем Рачунског центра Универзитета у Београду, а током 2007. године боравио је на стручној пракси на Институту за технологије у Тантојуки, Веракруз, Мексико.

Након дипломирања, Немања Којић био је запослен на позицији програмера у предузећу „СОЛ софтвер“, где се бавио иновативним методама развоја информационих система, заснованим на извршивим моделима, у оквиру неколико интернационалних пројеката током 2008. и 2009. године.

Дипломске академске студије – мастер уписао је 2008. године на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, модул Рачунарска техника и информатика. Мастер студије је завршио 18. фебруара 2010. са просечном оценом 9,60 и оценом 10 на завршном раду на тему „Перзистенција UML објектног простора у релационим базама података за вишеслојне и скалабилне веб архитектуре“. Докторске студије уписао је 2010. године на Електротехничком факултету Универзитета у Београду на модулу Софтверско инжењерство.

У свом истраживачком раду показао је посебно интересовање за симулационе методе и оптимизације приступа подацима у великим базама података, а један краћи период бавио се и истраживањем из области аутоматског генерисања софтверских тестова, као и алгоритмима за анализу података у бежичним сензорским мрежама.

Од 2010. до 2018. године био је запослен као сарадник и асистент у настави на Катедри за рачунарску технику и информатику на Електротехничком факултету Универзитета у Београду. У звање сарадника изабран је 22. децембра 2009. године, затим и поново изабран у исто звање 11. јануара 2011. У звање асистента у настави за ужу научну област Рачунарска техника и информатика изабран је 6. септембра 2011. године, а затим и поново изабран у исто звање 1. јануара 2015. године. Сарађивао је у настави на укупно осам различитих предмета на основним академским и мастер студијама.

Током докторских студија био је ангажован на више пројеката у државним и међународним институцијама, као што Министарство просвете, науке и технолошког развоја, Регистар националног интернет домена Србије, *United Nations Office for Project Services (UNOPS)*, *World Health Organization (WHO)*. Реализовао је и неколико комерцијалних решења у домену дигиталне форензике, складиштења великих података, а бавио се и анализом, пројектовањем и интеграцијом финансијских софтверских система.

Током докторских студија Немања Којић објавио је као коаутор два рада у међународним часописима са SCI листе, од тога један рад у врхунском међународном часопису, три рада на међународним конференцијама, три рада на домаћим конференцијама, као и један рад у домаћем часопису.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација под насловом „Оптимизација приступа подацима у објектно-релационом мапирању заснована на аутоматској денормализацији“ написана је у складу са Упутством за обликовање докторске дисертације Универзитета у Београду. Дисертација је написана на српском језику, ћириличним писмом, на 144 стране (113 страна са прилозима). Дисертација садржи 7 слика, 12 табела, 12 листинга и 64 референце које су наведене по редоследу цитирања у тексту дисертације. Текст докторске дисертације организован је у следећих седам глава:

- 1) Увод,
- 2) Дефиниција проблема и циљеви истраживања,
- 3) Преглед постојећих решења,
- 4) Предлог и опис решења,
- 5) Формални модел,
- 6) Експериментална анализа, и
- 7) Закључак.

На почетку дисертације постоји насловна страна на српском и енглеском језику, страна са информацијама о менторима и члановима комисије, захвалница, кратак резиме дисертације на српском и енглеском језику, кратак садржај, као и комплетан садржај. На крају дисертације дати су: списак коришћене литературе, односно референци, списак слика, списак табела, списак листинга, биографија аутора са списком ауторових радова релевантним за тему дисертације, изјава о ауторству, изјава о истовестности штампане и електронске верзије докторског рада и изјава о коришћењу.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У уводној глави описује се контекст и проблем истраживања и наводе се кључни појмови. Подаци у системима са сложеним концептуалним моделима традиционално се смештају у релационе базе података ускладиштене на диску. У овој докторској дисертацији разматра се приступ подацима коришћењем објектно оријентисаног апликативног софтвера развијеног традиционалном методологијом. Када количина података у релационој бази података, као и навала конкурентних захтева постану довољно велике, традиционална софтверска решења не дају довољно добре перформансе приступа подацима. Предмет овог истраживања јесте испитивање потенцијала оптимизације приступа подацима засноване на контролисаној денормализацији релационог модела података вођеној информацијама о начинима приступа тим подацима прикупљених анализом извршавања програма.

У другој глави дата је дефиниција проблема, постављене су хипотезе истраживања и наведени шири циљеви овог истраживања. Сложене доменске функционалности у објектно оријентисаним програмима имплементирају се у виду колаборације објеката различитих типова. Објекти у колаборацији дохватају се из базе података навигацијом преко асоцијационих крајева. Услед несофистицираности традиционалног објектно-релационог мапирања (ОРМ), навигација се са објектног нивоа апстракције директно пресликава на навигациони приступ релационој бази података, што резултује неефикасним приступом подацима ускладиштеним у секундарној меморији реализованој блоковским уређајима за трајно чување података – дисковима.

У трећој глави су класификована и детаљно описана постојећа решења за оптимизацију објектно-релационог мапирања која су најуже повезана са проблемом овог истраживања. Предложена је класификација постојећих решења у следећих шест категорија према начину оптимизовања приступа подацима у релационој бази података: 1) „денормализација“ објектног концептуалног модела, 2) елиминација антиобразаца у програмском коду за ОРМ, 3) редуција броја приступа бази података, 4) увођење редувантних приступних структура, 5) увођење редувантних података у релациони модел, као и 6) партиционисање и кластеровање релација.

У четвртој глави дат је детаљан опис предложеног решења проблема на примеру усвојеног хипотетичког радног модела података. Неформално се уводе следећи концепти: образац приступа подацима, конверзација, функционално својство ентитета, оптимизација приступа подацима заснована на увођењу редувантних копија података у релациони модел чиме се циљано повећава ефикасност (чешћих) операција њиховог читања на рачун увећања цене (рећих) операција ажурирања уведених редувантних копија података. Неформално се уводи и аналитички модел цене и добити за квантитативну процену оствареног компромиса. Илустрована је и иницијална квантитативна процена цене и добити оптимизација примењених на радни модел података интуитивним и мануелним поступком које су добијене на основу унапред задатих образаца приступа подацима прикупљених профилизацијом извршавања програма.

У петој глави формално је представљен поступак денормализације релационог модела података увођењем редувансе података полазећи од скупа задатих образаца приступа подацима добијених профилизацијом извршавања програма. Најпре се уводе формалне дефиниције функционалних својстава, образаца приступа подацима, оптимизација, као и основне једначине за квантитативну процену цене и добити примењених оптимизација. Затим је формулисан оптимизациони проблем за проналажење скупа оптимизација које дају најбољи однос цене и добити који је назван *проблемом поштивања равнотеже редувансе података* (енгл. *Data Redundancy Equilibrium – DRE*). Изведен је доказ да предложени оптимизациони проблем *DRE* припада класи NP-комплетних проблема и детаљно је описана његова полиномијална редуција на проблем бинарног линеарног програмирања (енгл. *binary linear programming*) за чије решавање постоје ефикасне хеуристике. Описана формална метода примењена је на усвојени радни пример и упоређени су резултати добијени мануелним и аутоматским избором редувансе у датом релационом моделу података.

Шеста глава посвећена је експерименталној анализи предложене методе за оптимизацију приступа подацима у објектно-релационом мапирању. Циљеви експерименталне анализе били су ти да се потврди практична применљивост предложене методе оптимизације приступа подацима на реалне системе (са сложеним концептуалним моделима података), као и то да се увођењем редувансе у релациони модел података поправљају перформансе приступа подацима у таквим системима. Експерименти су спроведени коришћењем *de facto* стандардног теста перформанси за трансакционе системе и релационе базе података (*TPC-E*, дефинисан од стране организације *Transaction Processing Council – TPC*), који верно одсликава сложеност модела података, сложеност и разноврсност трансакција, као и емпиријску расподелу заступљености појединачних типова трансакција у реалним трансакционим системима. Добијеним експерименталним резултатима потврђене су полазне хипотезе истраживања.

У седмом поглављу изводе се најважнији закључци и наводе даљи правци развоја и унапређења предложене методе. У овој дисертацији описана је једна нова метода оптимизације објектно-релационог мапирања заснована на аутоматској и систематичној примени денормализације релационог модела, увођењем редувансе података, која је вођена анализом (профилизацијом) операција приступа подацима у току извршавања програма.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Дигитализацијом савременог друштва расте потреба за обрадом података, различите врсте, квантитета, као и све веће концептуалне сложености. Пословна правила, имплементирана кроз функционалности у апликативном софтверу, постају све софистициранија и захтевају приступ и обраду већег обима података. Прибављање тих података на традиционалан начин из велике релационе базе података постаје један од главних разлога лоших перформанси апликативног софтвера развијеног коришћењем објектно оријентисане парадигме. Предмет истраживања у оквиру ове докторске дисертације јесте теоретско разматрање једне нове методе за побољшање ефикасности и транспарентности технологије објектно-релационог мапирања за потребе ефикаснијег приступа подацима у великим релационим базама података са сложеним концептуалним моделима и разрада теоретских основа за њену примену у пракси.

Традиционална и савремена решења за оптимизацију објектно-релационог мапирања у трансакционим софтверским системима суштински су заснована на смањењу броја упућених захтева релационој бази податка. Међутим, таква решења, како се тврди у овој дисертацији, не елиминишу суштинску сложеност и извор лоших перформанси приступа подацима у великим релационим базама података ускладиштеним на диску, а то је навигациони начин приступа подацима у (нормализованом) релационом моделу.

У оквиру ове дисертације предложена је метода побољшања ефикасности објектно-релационог мапирања заснована на денормализацији релационог модела података, увођењем редундантних података, која је вођена информацијама о начинима приступа подацима добијених анализом извршавања програма. У односу на сва постојећа решења, предложена метода оптимизација приступа подацима у овој дисертацији омогућава систематичну и аутоматизовану примену денормализације релационог модела података, која се може применити подједнако на оптимизацију упита, као и на оптимизацију извршавања императивног објектно оријентисаног програма.

Савремен и оригиналан приступ кандидата показан је при решавању следећих проблема, који су делимично решавани у доступној литератури или постојећим решењима:

- Формализован је поступак денормализације релационог модела увођењем редундантних података;
- Формулисан је аналитички модел цене и добити (енгл. *cost-benefit model*) за квантитативну процену компромиса између добити операција читања података и увећане цене одржавања конзистентности редундантних података;
- Формулисан је оптимизациони проблем за проналажење скупа оптимизација које дају најбољу однос цене и добити – проблем постизања равнотеже редундансе у релационом моделу (енгл. *Data Redundancy Equilibrium*);
- Доказано је да предложени оптимизациони проблем припада класи NP-комплетних проблема;
- Детаљно је описана редукција предложеног оптимизационог проблема на бинарно линеарно програмирање у полиномијалном времену;
- Показано је да се описани проблем може успешно и ефикасно решавати постојећим хеуристикама и алатима за дату класу проблема свођењем на проблем бинарног линеарног програмирања.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У оквиру докторске дисертације наведене су 64 библиографске јединице из области оптимизације објектно-релационог оптимизација приступа подацима у аналитичким системима, као и оптимизација објектно оријентисаних концептуалних модела, технологије приступа подацима у релационим базама података организованим по редовима и колонама, као и специфичности технологије дискова. Списак литературе коју је кандидат навео указује да је детаљно анализирана постојећа литература и да су наведене све значајне референце из реномираних међународних часописа, зборника радова са конференција, монографија, уџбеника и других електронских извора. Кандидат је у литератури обухватио и референце свог истраживачког рада током докторских студија и писања ове дисертације, које су директно повезане са тематиком дисертације.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Методологија истраживања у оквиру ове докторске дисертације представља комбинацију теоријских, практичних и експерименталних метода, које су реализоване кроз неколико фаза истраживања. Примењене су следеће методе истраживања:

- *Упоредна анализа* постојећих метода оптимизација приступа подацима у релационим базама података и систематизација њихових предности и недостатака у различитим условима примене;
- *Формално моделовање* примене предложене методе оптимизације приступа подацима и дефинисање аналитичког модела цене и добити за квантитативну процену позитивних и негативних ефеката примењених оптимизација на бази увођења редундансе у релациони модел податка;
- *Формално представљање* оптимизационог проблема за проналажење оптималног распореда редундансе у релационом моделу података на основу прибављених информација о обрасцима приступа подацима;
- *Трансформација* предложеног оптимизационог проблема на познати NP-комплетан проблем бинарног линеарног програмирања и коришћење предности и ефикасности постојеће технологије решавача (енгл. *solvers*) таквих оптимизационих проблема;
- *Софтверска имплементација и симулациона анализа* предложеног аналитичког модела цене и добити, имплементација редукације предложеног оптимизационог проблема на бинарно линеарно програмирање, као и трансформација решења оптимизационог проблема на SQL скрипт за денормализацију релационог модела података;
- *Експериментална анализа* предложене методе оптимизације коришћењем *de facto* стандардног теста перформанси *TPC-E*, дефинисаног од стране организације *Transaction Processing Council (TPC)*, који је осмишљен са циљем да што верније одсликава сложеност и природу операција реалних трансакционих система;
- *Статистичка оцена линеарне корелације* између измереног побољшања времена одзива трансакција у тесту перформанси *TPC-E* и предикције добити при читању добијене предложеним оптимизационим моделом (коришћен је Пирсонов коефицијент корелације).

3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати експерименталне анализе потврђују значајан потенцијал предложеног начина оптимизовања приступа подацима у великим релационим базама података коришћењем објектно-релационог мапирања. Захваљујући постигнутој скалабилности и флексибилности

предложене методе оптимизације испуњени су предуслови за њену практичну примену у индустрији, што је био један од основних циљева овог истраживања. Захваљујући њеном генеричком формалном моделу, предложена метода је поред оптимизације извршавања императивног објектно оријентисаног кода у трансакционим софтверских системима, применљива и на оптимизацију аналитичких упита, као и на оптимизацију приступа подацима у окружењу дистрибуираних база података.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат Немања Којић је кроз реализацију докторске дисертације у потпуности демонстрирао спремност и способност за самостални научно-истраживачки рад. Кандидат је у другој глави дисертације јасно дефинисао проблем и поставио хипотезе истраживања, а затим је у трећој глави извршио преглед постојећих решења дефинисаног проблема, као и преглед релевантних научних радова. Датом анализом показао је да не постоји одговарајуће решење које на систематичан начин приступа проблему денормализације за потребе оптимизације објектно-релационог мапирања у трансакционим софтверским системима са перзистенцијом података у релационој бази података. Кандидат је препознао актуелност теме и њен значај, активно је истраживао у току рада на овој дисертацији, показао зрелост у научном раду, креативност и иновативност, а резултати истраживања су верификовани у научном часопису и зборницима радова са конференција.

Сагледавањем предмета истраживања, полазних хипотеза, испуњених циљева и добијених резултата, Комисија констатује да је кандидат успешно одговорио на постављене изазове и да резултати оправдавају очекивања постављена на почетку истраживања. Проблеме, на које наишао у току истраживања описаног у овој дисертацији, кандидат је успешно артикулисао у дисертацији и решавао. За решавање сложених проблема комбиновао је технике формалног моделовања, трансформације оптимизационих проблема и симулационе анализе.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

У оквиру научно-истраживачког рада на овој докторској дисертацији остварени су следећи научни доприноси:

- Урађен је детаљан преглед и класификација постојећих проблема и решења у доступној литератури из домена оптимизација приступа подацима у релационим базама података у аналитичким системима, као и у системима за обраду трансакција, са посебним акцентом на технике денормализације, као и на оптимизације на нивоу објектно-релационог мапирања;
- Формиран је формалан теоретски модел проблема оптимизације приступа подацима заснован на денормализацији релационог модела увођењем редундантних копија података које елиминишу или ублажавају неефикасне обрасце приступа подацима у релационој бази података ускладиштеној на диску;
- Дата је формална дефиниција оптимизационог проблема за проналажење оптималне редундансе у релационом моделу података којом се постиже најбољи однос добити при читању и увећане цене одржавања конзистентности редундантних података – проблем постизања равнотеже редундансе у релационом моделу;
- Изведен је формалан доказ да предложени оптимизациони проблем постизања равнотеже редундансе у релационом моделу података према временској сложености припада класи NP-комплетних проблема;

- Дат је детаљан опис полиномијалне редукције предложеног NP-комплетног оптимизационог проблема на бинарно линеарно програмирање;
- Дата је теоретска и експериментална потврда успешног и ефикасног решавања датог оптимизационог проблема постојећим хеуристикама и решавачима за бинарно линеарно програмирање.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Истраживање у склопу рада на овој докторској дисертацији припада области инжењерства података која је у данашње време изузетно актуелна и важна. Оптималан приступ подацима у великим релационим базама података неопходан је услов за ефикасно извршавање сложених и софистицираних софтверских система. Ово истраживање је прво и јединствено по томе што формализује примену денормализације релационог модела, засновану на редунданси података, за оптимизацију, не само упита у трансакционим системима, већ и за оптимизацију извршавања императивног објектно оријентисаног кода. Ову јединственост и иновативност потврдили су и коментари анонимних рецензента рада који је објављен у једном од најугледнијих часописа из ове области, а који је непосредан резултат ове тезе.

Резултати истраживања презентовани у овој дисертацији индиректно су значајни и за област софтверског инжењерства објектно оријентисаних апликативних софтверских решења за приступ и обраду података у великим релационим базама података. Остварена скалабилност предложене методе оптимизације даје теоретску и практичну основу за побољшање транспарентности и ефикасности технологије објектно-релационог мапирања.

4.3. Верификација научних доприноса

Резултати истраживања добијени у оквиру ове докторске дисертације потврђени су објављивањем следећих радова који су у вези са темом докторске дисертације (један рад у врхунском међународном часопису M21 који износи непосредне резултате ове тезе и једно саопштење са међународног скупа штампано у целини M33):

Категорија M21:

1. Kojic, N., Milicev, D. (2019). "Equilibrium of Redundancy in Relational Model for Optimized Data Retrieval", *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*. [M21, IF=3,857], DOI: 10.1109/TKDE.2019.2911580, Print ISSN: 1041-4347, Electronic ISSN: 1558-2191

Категорија M33:

1. N. Kojić, D. Milićev, "A Survey of Object-Relational Transformation Patterns for High-performance UML-based Applications", *International Conference on Model-Driven Engineering and Software Development (MODELSWARD 2015)*, Angers, France, Feb, 2015, [M33]

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација кандидата Немање Којића, мастер инжењера електротехнике и рачунарства, представља савремен научни допринос у области софтверског инжењерства, односно ужој научној области инжењерства података и развоја објектно оријентисаног апликативног софтвера са перзистенцијом података у веома великим релационим базама података.

Текст дисертације написан је јасно и разумљиво, са добром организацијом по главама. Циљеви дисертације, као и хипотезе научног истраживања, прецизно су формулисани и дефинисани, а објављени резултати су потврдили испуњеност тих циљева, чиме је кандидат показао способност за самостални научни рад. Добијени резултати експерименталне анализе дају потврду актуелности дате теме и отварају нове могућности за њену примену у пракси.

Комисија констатује да докторска дисертација кандидата Немање Којића испуњава све законске, формалне и суштинске услове, као и све критеријуме који се уобичајено примењују приликом вредновања докторске дисертације на Универзитету у Београду и на Електротехничком факултету у Београду. Узимајући у обзир све остварене резултате и оригиналне научне доприносе, као и њихову применљивост, комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација **Немање Којића** под називом „**Оптимизација приступа подацима у објектно-релационом мапирању заснована на аутоматској денормализацији**“ прихвати, изложи на увид јавности и упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, а кандидату одобри јавна усмена одбрана.

У Београду,
3. октобар 2019. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

др Драган Милићев, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

др Драган Бојић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

др Саша Малков, ванредни професор
Универзитет у Београду – Математички факултет

др Јелица Протић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

др Милош Цветановић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет