

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ		
1. Датум и орган који је именовао комисију: Декан Факултета техничких наука на основу одлуке Наставно-научног већа Факултета техничких наука у Новом Саду, 012-40/822-2024 од дана 30. 10. 2025.		
2. Састав комисије у складу са <i>Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду</i> :		
1. др Дину Драган	Редовни професор	Примењене рачунарске науке и информатика, 1. 11. 2025.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, Република Србија		Председник
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
2. др Владимир Ћирић	Редовни професор	Рачунарство и информатика, 28. 2. 2022.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Електронски факултет, Универзитет у Нишу, Република Србија		Члан
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
3. др Срђан Вукмировић	Редовни професор	Аутоматика и управљање системима, 27. 1. 2022.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, Република Србија		Члан
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
4. др Вељко Петровић	Доцент	Примењене рачунарске науке и информатика, 4. 2. 2024.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, Република Србија		Члан
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
5. др Душан Гајић	Ванредни професор	Примењене рачунарске науке и информатика, 1. 3. 2021.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, Република Србија		Ментор
установа у којој је запослен-а		функција у комисији

II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ 1. Име, име једног родитеља, презиме: Небојша Јарко Хорват 2. Датум рођења, општина, држава: 10. 7. 1995, Нови Сад, Република Србија 3. Назив факултета, назив претходно завршеног нивоа студија и стечени стручни/академски назив: Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, Мастер студије, Мастер инжењер електротехнике и рачунарства 4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија: 2019, Рачунарство и аутоматика
III НАСЛОВ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ: Развој децентрализованог система са дистрибуираном главном књигом за подршку трговању енергијом (Development of a Decentralized System with a Distributed Ledger for Energy Trading)
IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ: Навести кратак садржај са назнаком броја страница, поглавља, слика, схема, графикана и сл. Докторска дисертација је написана на 167 нумерисаних страница. Подељена је у 8 поглавља, и садржи 33 слике, 10 табела и 130 референци. Садржај дисертације по поглављима је следећи: 1. Уводна разматрања, предмет и циљеви истраживања 2. Теоријске основе истраживања 3. Преглед литературе 4. Предлог дистрибуиране софтверске архитектуре за подршку трговању енергијом 5. Предлог методологије за мерење перформанси предложеног софтверског система 6. Експерименти 7. Закључак 8. Литература Прилози у дисертацији су: 1. Додатак А – табеле са апсолутним резултатима 2. Додатак Б - псеудокодови токова

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:

1. Уводна разматрања, предмет и циљеви истраживања

Поглавље је тематски организовано у четири целине: уводна разматрања, циљеви истраживања, доприноси тезе и сажет преглед садржаја дисертације. У уводним разматрањима читалац се упознаје са проблемом који се решава у дисертацији и мотивацијом за његово решавање. У наредној целини дефинисани су предмет и циљ истраживања докторског рада, који подразумева развој архитектуре за дистрибуирано трговање електричном енергијом, као и развој методологије за евалуацију перформанси предложене архитектуре. Затим су наведени главни и споредни доприноси тезе — главни доприноси односе се на развој архитектуре, развој методологије и примену методологије на имплементацији предложеног система, док се споредни доприноси односе на уопштавање предложене архитектуре и генерисање скупа података приликом тестирања перформанси. На крају поглавља дат је сажет преглед текста дисертације организованог по поглављима.

2. Теоријске основе истраживања

У другом поглављу изложене су теоријске основе спроведеног истраживања. Дат је преглед основа дистрибуираних система, почевши од основних концепата па до различитих типова архитектура дистрибуираних система. Затим је описан концепт дистрибуиране главне књиге (ДЛТ – енгл. *Distributed Lager Technology, DLT*) и њен значај у развоју система за дистрибуирано чување података. Блокчејн системи представљају подкуп ДЛТ система и користе специфичну структуру криптографски повезаних блокова података ради очувања непромењиве базе података. Описана је разлика између ДЛТ и блокчејн система, као и најчешће коришћени консензус алгоритми. Корда је последња дистрибуирана технологија чије је функционисање објашњено, зато што је она искоришћена за имплементацију предложене архитектуре система за подршку трговању. На крају секције теоријских основа истраживања дат је кратак увод у структуре електроенергетских мрежа и основне теоријске концепте по којима оне функционишу. Описане су и новине које обновљиви извори уводе у такве системе и начин на који дистрибуирани системи за подршку трговању могу боље да искористе новонасталу дистрибуираност мреже.

3. Преглед литературе

Треће поглавље обухвата преглед литературе подељено у две теме. У првој теми разматра се употреба ДЛТ технологија у енергетици. Конкретно, анализирају се постојећа дистрибуирана решења за трговање електричном енергијом и њихове архитектуре, при чему се посматрају и комерцијална решења и научна литература. У другој теми проучава се тестирање перформанси ДЛТ система и блокчејн решења. Перформансе које су разматране у литератури односе се на потрошњу рачунарских ресурса, време извршавања трансакција, као и на потрошњу електричне енергије, која је ретко разматрана.

4. Дистрибуирана софтверска архитектура за подршку трговању

У поглављу је дат детаљан преглед софтверске архитектуре која се користи за подршку трговању енергијом. Описана је структура предложеног система и начин на који он решава проблем дистрибуираног трговања енергијом. Представљени су сви чиниоци архитектуре неопходни да би систем правилно функционисао. Сваки од чинилаца има специфичну улогу у мрежи и, према тој улози, може да извршава одређен спектар функционалности. Архитектура је детаљно описана и илустрована. Састоји се од два модула — први је веб модул, који се користи за приступ другом, ДЛТ модулу, састављеном од скупа рачунара. Рачунари су међусобно повезани у рачунарску мрежу и заједно чине срж система који извршава дистрибуирану логику трговања енергијом. Функционалности попут креирања енергетских обећања, механизма за њихово трговање путем аукција и провере испоруке енергије детаљно су описане. Разматрају се главни ризици које архитектура уводи, као и додатне функционалности којима се основна архитектура може проширити. На крају поглавља описан је начин имплементације прототипа предложене архитектуре, који је искоришћен за мерење перформанси система.

5. **Методологија за мерење перформанси дистрибуираних софтверских система**

Детаљно је описана методологија за мерење перформанси система, која се реализује кроз три фазе: (1) креирање локалног и дистрибуираног окружења за мерење перформанси, (2) евалуација протокола и процеса агрегације и (3) обраде података. Евалуациони протокол представља срж методологије и такође се састоји из три фазе. Прва фаза обухвата тестирање перформанси система на једном рачунару, а њен циљ је рано откривање могућих проблема у перформансама система. Друга фаза подразумева тестирање перформанси у дистрибуираном окружењу, чији је циљ посматрање перформанси у условима који осликавају реалне случајеве употребе система и испитивање његове скалабилности. Трећа фаза односи се на мерење потрошње електричне енергије током рада система у дистрибуираном окружењу. Поред предлога методологије, дато је и њено уопштавање како би се она могла користити за тестирање перформанси и других ДИТ система који нису везани за трговање енергијом.

6. **Експерименти**

У поглављу је описан процес примене предложене методологије на имплементацију прототипа архитектуре. Припремљена су два експериментална окружења — прво, локално окружење на једном рачунару, и друго, дистрибуирано окружење састављено од рачунара повезаних у Беовулф кластер. Извршене су десетине експеримената у оквиру којих су различите перформансе мерене више од 1100 пута. Сви резултати прикупљени су у једну базу података, након чега су обрађени. Разматрана је потрошња рачунарске меморије, време извршавања трансакција, као и потрошња електричне енергије. Свака од наведених перформанси детаљно је анализирана, а затим су изведени одговарајући закључци.

7. **Закључак**

У закључном поглављу истичу се кључни аспекти предложене архитектуре и осврће се на њене предности и мане. Разматра се примена предложене методологије за тестирање перформанси над прототипом описане архитектуре и сумирају се главни резултати. Истичу се главни и споредни доприноси тезе, а на крају се излажу будући правци истраживања.

8. **Преглед литературе**

Списак свих радова који су коришћени као литература дат је након седмог поглавља. Литература је приказана прегледно и цитирана на адекватан начин. Такође, обухвата најзначајније радове из области који су релевантни за проучавање тематику.

На основу изложеног, Комисија позитивно оцењује све делове докторске дисертације.

VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ:

Таксативно навести називе радова, где и када су објављени. Прво навести најмање један рад објављен или прихваћен за објављивање у складу са *Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду* који је повезан са садржајем докторске дисертације. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду уредника часописа о томе.

Списак резултата M22 – рад у истакнутом међународном часопису:

- **Horvat N., Gajić D., Trifunović P., Petrović V., Dragan D., Katić V.** Performance Evaluation of a Distributed Ledger-based Platform for Renewable Energy Trading, IEEE Access, vol. 12 (2024), pp. 86013-86033, DOI: <https://doi.org/10.1109/AC-CESS.2024.3416612>.

Списак резултата M23 – рад у међународном часопису:

- **Gajić D., Petrović V., Horvat N., Dragan D., Stanisavljević A., Katić V., Popović J.** A Distributed Ledger-Based Automated Marketplace for the Decentralized Trading of Renewable Energy in Smart Grids, Energies, Vol. 15, No. 6, pp. 2121-2147 (2022), DOI: <https://doi.org/10.3390/en15062121>.

Списак резултата M33 - Саопштење са међународног скупа штампано у целини:

- Gajić D., Petrović V., **Horvat N.**, Dragan D., Stanisavljević A., Katić V. \textit{Blockchain-based Smart Decentralized Energy Trading for Grids with Renewable Energy Systems}, 21. International Symposium POWER ELECTRONICS Ee, Novi Sad (2021) pp. 1-7, DOI: <https://doi.org/10.1109/Ee53374.2021.9628324>.

VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА:

Истраживање спроведено у дисертацији заснива се на увиђању да су дистрибуирани системи за подршку трговању енергијом углавном базирани на архитектурама и технологијама које не обезбеђују оптималне перформансе таквих система. У литератури се наводи да већина дистрибуираних решења у енергетици користи Итиријум (енгл. Ethereum) технологију као основу за развој дистрибуираних апликација. Употребом наведене технологије ограничава се спектар софтверских архитектура које се могу осмислити и имплементирати.

Решења за трговину енергијом заснована на технологијама дистрибуиране главне књиге и блокчејна често се означавају као решења која троше знатне количине ресурса и енергије. Некритичка примена ових технологија у трговини енергијом, без осврта на потрошњу енергије, може обесмислити употребу система чија је сврха подстицање производње обновљивих извора енергије.

Главни закључци истраживања обухватају:

- **Закључак 1:** Употребом предложене архитектуре и технологије за имплементацију система за подршку дистрибуираном трговању енергијом могуће је изградити систем који обезбеђује сигурност, транспарентност, аутономију, скалабилност и децентрализацију, уз значајно мању потрошњу енергије и ниже трошкове у поређењу са раније познатим решењима.
- **Закључак 2:** Предложена методологија за мерење перформанси система за дистрибуирано трговање енергијом. Она омогућава мерење перформанси система из аспекта потрошње рачунарских ресурса, времена извршавања трансакција и потрошње електричне енергије. Методологија се може уопштити и применити за мерење перформанси других ДЛТ система.
- **Закључак 3:** Применом предложене методологије на тестирање перформанси имплементираног прототипа архитектуре описане у дисертацији може се закључити да систем троши знатно мању количину ресурса по трансакцији у односу на сличне системе засноване на Итиријум технологији, која је најчешће помињана у литератури. Систем линеарно скалира када је у питању потрошња рачунарских ресурса и време извршавања трансакција, са тенденцијом да даље оптимизације имплементације пруже додатна побољшања перформанси.

Додатни резултати истраживања обухватају скупове података, као и имплементацију описане архитектуре за подршку трговању енергијом. Ресурси су објављени у режиму отвореног приступа, чиме је омогућено да се резултати експеримената могу поновити и независно проверити.

- **Резултат 1:** Развијен је прототип система на основу предложене архитектуре представљене у дисертацији. Прототип не садржи све функционалности и оптимизације предложене у архитектури, али обухвата довољан скуп функционалности неопходних за релевантно тестирање перформанси предложеног система.
- **Резултат 2:** Сви релевантни подаци прикупљени током тестирања перформанси система обједињени су у један скуп података који је јавно доступан и отворен за даљу обраду и измене. Опис скупа података и кораци за његов приступ чине саставни део дисертације.

Комисија са задовољством констатује да је кандидат успешно, на научно адекватан и ефикасан начин поставио спроведена истраживања, те на крају донео закључке о резултатима. Сасвим сигурно дисертација пружа оригиналан и научно значајан допринос у оквиру области дистрибуираног рачунарства, а специфично области дистрибуираног трговања електричном енергијом и мерења перформанси таквих система.

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА:

Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

Резултати истраживања представљени у овој дисертацији добро су описани. Предлог архитектуре је јасно изложен, а детаљно су описане предности и мане које тако дефинисана архитектура система, намењеног за дистрибуирану подршку трговању енергијом, доноси. Преглед архитектуре је јасно илустрован, као и мапирање предложене архитектуре на физички Беовулф кластер рачунара. Дизајн предложене методологије за мерење перформанси дистрибуираних софтверских система јасно је објашњен, а резултати примене методологије у домену дистрибуираног система коришћеног за подршку трговању енергијом приказани су кроз слике, табеле и дијаграме који су лако разумљиви и доприносе бољем разумевању добијених резултата. Анализа резултата је концизна, логична и добро усмерена ка извођењу закључака. Укратко, начин приказа и тумачења резултата истраживања у овој дисертацији добро је структуриран, јасан и подржан одговарајућим визуелним средствима. Рад је проверен у софтверу за детекцију плагијаризма iThenticate, у Библиотеци ФТН-а, о чему је комисија извештена путем електронске поште. Подударање износи 2%.

На основу свега наведеног, Комисија сматра да је начин приказа и тумачења резултата истраживања у овој дисертацији добро структуриран, систематичан и визуелно јасан, и позитивно оцењује начин приказа и тумачења резултата истраживања докторске дисертације.

IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање. Навести нумеричке податке о резултатима провере оригиналности рада и дати текстуално образложење.

1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме?

Да, докторска дисертација је написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе?

Да, дисертација садржи све битне елементе научно-истраживачког рада, укључујући наслов, садржину, апстракт, преглед литературе, предлог архитектуре, дизајн методологије, резултате примене методологије на предложеној архитектури и тумачење резултата, што се захтева од докторске дисертације.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци?

Оригинални научни доприноси дисертације обухватају:

- Предлог архитектуре софтверског дела система за подршку дистрибуираном трговању електричном енергијом произведеном првенствено из обновљивих извора. Предложена архитектура доприноси сигурности, дистрибуираности, стабилности и енергетској ефикасности система за трговање електричном енергијом.
- Предлог методологије за мерење перформанси дистрибуираних софтверских система. Дат је детаљан опис свих корака и неопходних аутоматизација како би процес мерења перформанси био објективан и временски ефикасан. Описан је и предлог проширења методологије за мерење перформанси других сродних ДЛТ система.
- Експериментална потврда повољних перформанси и ниске енергетске потрошње предложеног дистрибуираног система при раду у условима приближним очекиваним околностима у реалности. Експериментална потврда добијена је применом предложене методологије.
- Скуп података добијен приликом мерења перформанси прототипа система за трговање електричном енергијом.

4. Који су недостаци дисертације и какав је њихов утицај на резултат истраживања?	
У дисертацији нису уочени недостаци који би утицали на резултате истраживања.	
5. Образложење резултата провере оригиналности рада (нумерички и наративно):	
Провером рада на плагијаризам, помоћу програмског пакета iThenticate, утврђен је индекс сличности од 2%, при чему се подударање односи на терминолошке и методолошке фразе, које се уобичајено користе у области истраживања. Стога комисија констатује да је кандидат адекватно цитирао коришћену литературу и да оригиналност добијених научних резултата није упитна.	
X	ПРЕДЛОГ:
На основу наведеног, комисија предлаже:	
а) да се докторска дисертација прихвати, а кандидату одобри одбрана; б) да се докторска дисертација врати кандидату на дораду (да се допуни односно измени); в) да се докторска дисертација одбије.	

Место и датум:

Ниш и Нови Сад, 6. 11. 2025. године

1. др Дину Драган, редовни професор
_____, председник

2. др Владимир Ћирић, редовни професор
_____, члан

3. др Срђан Вукмировић, редовни професор
_____, члан

4. др Вељко Петровић, доцент
_____, члан

5. др Душан Гајић, ванредни професор
_____, ментор

НАПОМЕНА: Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге због којих не жели да потпише извештај и да исти потпише.