

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ		
1. Датум и орган који је именовao комисију: 31.03.2022, декан Факултета техничких наука.		
2. Састав комисије у складу са <i>Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду</i> :		
1.	др Владимир Рајс презиме и име	ванредни професор звање
	Електроника, 01.04.2021. ужа научна област и датум избора	
	Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду установа у којој је запослен-а	председник комисије функција у комисији
2.	др Сандра Дедијер презиме и име	ванредни професор Звање
	Графичко инжењерство, 25.02.2018. ужа научна област и датум избора	
	Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду установа у којој је запослен-а	члан функција у комисији
3.	др Милан Ковачевић презиме и име	редовни професор звање
	Атомска, молекулска и оптичка физика, 27.09.2019. ужа научна област и датум избора	
	Природно математички факултет, Универзитет у Крагујевцу установа у којој је запослен-а	члан функција у комисији
4.	др Миодраг Бркић презиме и име	доцент звање
	Електроника, 17.11.2017 ужа научна област и датум избора	
	Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду установа у којој је запослен-а	члан функција у комисији
5.	др Бајић Јован презиме и име	ванредни професор звање
	Електроника, 01.10.2021 ужа научна област и датум избора	
	Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду установа у којој је запослен-а	ментор функција у комисији
II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ		
1. Име, име једног родитеља, презиме: Бранислав, Данило, Батинић		
2. Датум рођења, општина, држава: 19.06.1990, Нови Сад, Република Србија		

3. Назив факултета, назив претходно завршеног нивоа студија и стечени стручни/академски назив:
Факултет техничких наука, Нови Сад, Енергетика, електроника и телекомуникације, мастер инжењер електротехнике и рачунарства
4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија:
7.11.2014, Енергетика, електроника и телекомуникације

III НАСЛОВ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Развој рефлексивне оптоелектронске методе за одређивање колориметријских вредности боје штампаних узорака

IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Навести кратак садржај са назнаком броја страница, поглавља, слика, схема, графикона и сл.

Докторска дисертација кандидата Бранислава Батинића написана је на основу спроведеног научног истраживања и реализације постављених научних циљева. Документ је написан прецизно, јасно и презентован је на 149 страница А4 формата. Садржи кључну документацијску информацију, садржај, десет поглавља са 130 слика и 27 табела, преглед литературе као и кратку биографију аутора. Литература (библиографија) је формирана кроз 140 библиографских јединица одабраних према принципима научне вредности и представља део доприноса спроведеним истраживањима. Цитирани подаци у потпуности доприносе расветљавању проблематике којом се аутор бави у дисертацији.

Поглавља у дисертацији су:

1. УВОД
2. ПРИРОДА БОЈЕ (СВЕТЛОСТИ), ПЕРЦЕПЦИЈА И ПЕРЦЕПТИВНИ АТРИБУТИ
3. ИЗВОРИ СВЕТЛОСТИ И СВЕТЛОСНЕ ИНТЕРАКЦИЈЕ
4. УНИВЕРЗАЛНИ ОПИС БОЈЕ, ПРОСТОРИ БОЈА
5. ПРЕГЛЕД СТАНДАРДНИХ МЕТОДА ОДРЕЂИВАЊА БОЈЕ
6. ПРЕГЛЕД НАУЧНИХ РАДОВА У ОБЛАСТИ КОЛОРИМЕТРИЈСКИХ МЕТОДА
7. УПОРЕДНА АНАЛИЗА МЕТОДА ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ БОЈЕ ПРЕДЛОЖЕНИХ У НАУЧНИМ РАДОВИМА
8. РЕФЛЕКСИОНА ОПТОЕЛЕКТРОНСКА МЕТОДА РАЗВИЈЕНА У ОВОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ
9. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА
10. ЗАКЉУЧАК И ДАЉИ ПРАВЦИ ИСТРАЖИВАЊА

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Комисија сматра да је наслов дисертације прецизно формулисан и да јасно указује на предмет истраживања и садржај рада у оквиру дисертације. У наставку је дато вредновање појединих делова докторске дисертације:

Прво поглавље

У првом поглављу кандидат представља проблем и значај прецизног инструменталног одређивања боје, дефинише предмет и циљ истраживања, поставља хипотезу и износи методологију истраживања. Предложено решење представља оптоелектронску рефлексивну методу на бази које је развијен сензорски систем чија главна предност се огледа првенствено у једноставности у погледу конструкције, а одликује се робустношћу, ниском ценом и високом тачношћу.

Друго поглавље

У другом поглављу представљена је природа боје, описан је доживљај боје у људском оку и начин преноса прикупљених информација о боји од рецептора до мозга. Такође, у овом поглављу су описани и перцептивни атрибути боје. Комисија сматра да изнети теоријски материјал доприноси да

се у потпуности сагледају и разумеју принципи опажања боје.

Треће поглавље

Треће поглавље описује стандардна осветљења као и стандардизоване светлосне изворе који се користе приликом инструменталног одређивања боје. Такође је представљена и интеракција светлости са материјом у виду преламања и одбијања упадног светлосног зрака. Предочен је проблем тачкасте рефлексије приликом одбијања светлосних зрака од сјајног објекта.

Четврто поглавље

У четвртом поглављу описане су функције одзива стандардног посматрача и изложени су најчешће коришћени простори боја. Поред тога, описана је и мера за израчунавање разлике у боји која се подудара са људском перцепцијом у погледу параметара светлине, тона и zasiћења тестираних боја. На овај начин одређен је праг разлике у боји који ће дефинисати прихватљивост добијених резултата у овој дисертацији.

Пето поглавље

Пето поглавље даје преглед стандардних метода одређивања боја. Класификација мерних инструмената према сложености, а самим тим и тачности, извршена је на дензиометре, колориметре и спектрофотометре.

Шесто поглавље

У шестом поглављу направљен је преглед научних радова у области метода за одређивање боје. Анализирана су колориметријска и спектрофотометријска решења на бази течних кристала, колориметријско решење базирано на фотострујама светлосних ЛЕД извора, колориметар са интегрирајућом сфером, тристимулусни колориметар са специјално дизајнираним фотодетекторима, спектрофотометар на бази више ЛЕД извора, као и нека решења са комерцијално доступним сензорима боје.

Седмо поглавље

У седмом поглављу дата је упоредна анализа метода разматраних у научним радовима, уз приказ предности и мана у односу на конвенциоална решења.

Осмо поглавље

У осмом поглављу изложен је научни допринос ове дисертације. Предложени фибер-оптички сензорски систем заснован на процени спектра рефлексије у сврху одређивања колориметријских вредности боје штампаних узорака се уопштено говорећи може поделити на оптички и електронски склоп. Оптички склоп чини колориметријска сонда са оптичким влакнима, која усмерава светлост са шест ЛЕД извора и осветљава узорак, а затим преноси рефлектовану светлост од узорка до широкопојасног фотодетектора. Оптичка влакна омогућавају спрегу оптоелектронских компоненти (ЛЕД извора и фотодетектора) са колориметријском сондом која чини неизоставни део мерне поставке. Електронски склоп обезбеђује побуду ЛЕД изворима и врши обраду сигнала добијених са фотодетектора. Састоји се од предајног, пријемног и управљачког модула. Алгоритам који управља радом предајног и пријемног модула је имплементиран у склопу управљачког блока. Додатна стабилност одзива система обезбеђена је реализацијом Калмановог филтра.

Девето поглавље

Над добијеним излазним сигнаlima са реализованог сензорског система који представљају податке о релативним интензитетима централних таласних дужина светлосних ЛЕД извора потребно је

додатно вршити естимације ради што боље реконструкције спектра. Ово је остварено *Cubic-Hermite Spline* интерполацијом, а резултати су упоређени са референтним спектрофотометријским кривама за испитиване штампане узорке боја. Додатно, у оквиру дисертације је представљена и корекциона метода базирана на машинском учењу, при чему је скуп мерених узорака подељен на сет за тренирање и сет за тестирање. Детаљно изведена дискусија добијених резултата има велики значај за даљи истраживачки рад у овој области.

Десето поглавље

У десетом поглављу кандидат је представио закључке који су оправдали полазну хипотезу, а изведени су искључиво на бази резултата истраживања. Ови закључци представљају концизан скуп чињеница до којих је кандидат дошао експерименталним путем.

На основу свега горе наведеног, Комисија позитивно оцењује све наведене 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.

1. **Batinić, B.**, Bajić, J., Dedijer, S., Kulundžić, N., Joža, A., Laković, N., Rajs, V., Colorimetric fiber-optic sensor based on reflectance spectrum estimation for determining color of printed samples. *Optical and Quantum Electronics* ISSN: 0306-8919, vol. 52, 1-11, doi: 10.1007/s11082-020-02458-7, (2020). (**IF = 2.084 за 2020 годину, M22**, област: *Engineering, Electrical & Electronic* (163/273))
2. **Batinić, B.**, Arbanas, M., Bajic, J., Dedijer, S., Rajs, V., Lakovic, N., & Kulundzic, N., Using machine learning for improvement of reflected spectrum estimations of colorimetric probe. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 1–1. doi:10.1109/tim.2020.3011763, (2021). (**IF = 4.016 за 2020 годину, M21**, област: *Engineering, Electrical & Electronic* (60/273))
3. **Batinic, B.**, Bajic, J., Rajs, V., Lakovic, N., Kulundzic, N., Rodic, D., Joza, A., *IEEE 2019 Zooming Innovation in Consumer Technologies Conference (ZINC) - Novi Sad, Serbia (2019.5.29-2019.5.30)*, Implementation and signal processing of colorimetric probe., 58–63. doi:10.1109/ZINC.2019.8769468, ISBN: 978-1-7281-2901-3, (2019), **M33**.

VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА:

Кроз спроведена теоријска и експериментална истраживања у оквиру ове дисертације дат је допринос у области инструменталног мерења боје. У дисертацији је реализована колориметријска метода високих перформанси која је употребљена за испитивање штампаних узорака боје добијених применом дигиталне штампе. Метода се темељи на процени спектра електромагнетног зрачења (у видљивом опсегу) интерполацијом над унапред познатим вредностима зрачења на одређеним таласним дужинама. Такође, у оквиру докторске дисертације развијен је фибер-оптички сензорски систем на бази предложене колориметријске методе. Предности сензорског система предложеног у овој дисертацији огледају се у једноставности конструкције, компактном и робустном дизајну, ниској цени израде и великој брзини одзива услед коришћења оптималне покривености спектра ЛЕД изворима. Такође, додатна предност овако реализоване рефлексивне методе је то што се користи без стандардизованог извора светла, а мери се само рефлексивност $r(\lambda)$ на унапред

дефинисаним таласним дужинама, након чега се интерполацијом између мерених вредности реконструише спектар. Сходно томе, веома лако се може проверити како узорак изгледа под било којим (стандардним) осветљењем чији је спектар снаге познат.

Резолуција А/Д конвертора при мерењу интензитета рефлектованог сигнала одређена је са 12 бита, док је покривеност спектра ЛЕД изворима ограничена на шест тачака, између којих се врши интерполација. Поновљивост уређаја испитана над десет узастопних мерења истог узорка износи $\pm 0.27\%$. Стандардна девијација (1σ) добијена испитивањем стабилности у трајању од 1 h износи 0.07% над искоришћеним опсегом А/Д конвертора.

Резултати тестирања методе на бази сензорског система су упоређени са резултатима комерцијалног спектофотометра, и разврстани су према сјајности испитиване подлоге, као и према различитим сетовима боја који су показали различита одступања изражена грешком ΔE_{00} .

Први део резултата односи се на мерења која су извршена на мат папиру уз помоћ прототипа колориметријске сонде, где је доминантан ефекат дифузне рефлексије. Други део резултата односи се на мерења која су извршена на папиру са високо сјајним премазом где је имплементирана геометријска поставка $0^\circ/45^\circ$ у сврху елиминисања утицаја тачкасте рефлексије. Додатно, резултати су груписани над одговарајућим сетовима засићених, светлих и тамних узорака, као и над тоновима сиве. Сви резултати дати у форми спектралних кривих су упоређени са резултатима добијеним помоћу комерцијалног спектофотометра, и израчуната је грешка ΔE_{00} . Максимална вредност ове грешке је износила $\Delta E_{00} = 5$, и то је забележено на тамним узорцима. Ово одступање од референтне методе се огледа у веома малим рефлектованим интензитетима услед апсорпције већег дела светлости на тамном узорку, услед чега мале флукуације интензитета светлости на ЛЕД изворима могу да утичу на резултат мерења.

Будући да у дигиталној штампи, инк џет и електрофотографији према *IDEAlliance* смерницама се сматра да максимална разлика у боји за сваку тестирану боју треба да буде једнака или нижа од $5 \Delta E_{00}$, описано решење је оправдало полазну хипотезу и показало се као примењиво за област дигиталне штампе. Додатно, у дисертацији је дат и предлог корекционе методе на бази алгоритма машинског учења, под претпоставком да се забележена одступања могу додатно редуковати. Након тестирања корекционе методе, ова претпоставка је потврђена, и највеће одступање ΔE_{00} за тамне узорке не прелази вредност 3.

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА:

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

Докторска дисертација кандидата Бранислава Батинића садржи све саставне елементе који су утврђени методологијом научно истраживачког рада.

-Коришћењем актуелне литературе, а посебно радова објављених у научним часописима, кандидат је дао преглед стања досадашњих резултата из разматране области.

-Резултати истраживања су детаљно обрађени, прегледно приказани, графички добро илустровани и јасно и систематски изложени.

-Резултати су праћени одговарајућим образложењима и критичким освртом на њихово вредновање у складу са резултатима других аутора и важећих стандарда.

-На основу резултата истраживања и разматрања, изведени су закључци, који дају јасне одговоре на циљеве истраживања и допринос научној заједници.

Текст дисертације је проверен путем софтвера за детекцију плагијаризма *iThenticate* и пронађене су веома мале сличности, (Similarity index 5 %), што указује да је то ауторски рад кандидата.

Комисија констатује да начин приказа истраживања и тумачење резултата у потпуности одговара проблему који је решаван у овој докторској дисертацији.

IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСKE 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:

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

Докторска дисертација кандидата Бранислава Батинића је написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе?

Докторска дисертација својим садржајем, методологијом, резултатима истраживања, адекватним тумачењем тих резултата представља заокружен истраживачки рад, јасно конципиран, изложен и анализиран. Комисија сматра да Дисертација садржи све битне елементе.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци?

Предложено решење у овој дисертацији проналази компромис између мерне несигурности и резолуције мерења са једне стране, а једноставне конструкције и ниске цене мерног инструмента са друге стране. Другим речима, развијена метода има за циљ да повећа тачност у односу на колориметар, а да поједностави систем у односу на спектрофотометар. Иновативан је принцип естимације рефлектованог спектра који за разлику од конвенционалних мерних метода не захтева употребу стандардног светлосног извора приликом мерне поставке. Подаци о оптичкој снази бележе се помоћу широкопојасног оптичког детектора, и то за шест централних таласних дужина емитујућих ЛЕД извора који су еквидистантно распоређени дуж видљивог спектра. Да би се што веродостојније естимирао измерени рефлектовани спектар, врши се накнадна интерполација између мерених тачака. Научна новина овог истраживања огледа се у оптимизованој рефлексивној оптоелектронској методи чији резултати су упоредиви са резултатима комерцијалног спектрофотометра.

4. Који су недостаци дисертације и какав је њихов утицај на резултат истраживања?

Комисија сматра да дисертација нема недостатака.

X ПРЕДЛОГ:
На основу наведеног, комисија предлаже:
<p>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.</p>
Комисија позитивно оцењује докторску дисертацију под насловом „Развој рефлексивне оптоелектронске методе за одређивање колориметријских вредности боје штампаних узорака“ и предлаже да се Извештај о оцени докторске дисертације прихвати, а кандидату одобри јавна одбрана.

Место и датум: Нови Сад, 20.04.2022.

др Владимир Рајс, ванредни професор, председник

др Сандра Дедијер, ванредни професор, члан

др Милан Ковачевић, редовни професор, члан

др Миодраг Бркић, доцент, члан

др Јован Бајић, 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.