

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ		
1. Датум и орган који је именовано комисију: Декан Факултета на основу одлуке Наставно-научног већа Факултета техничких наука у Новом Саду од 012-199/19-2023, датум: 31.10.2024.		
2. Састав комисије у складу са <i>Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду</i> :		
1. др Дарко Стефановић	редовни професор	Информационо - комуникациони системи, 15.10.2022.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду		председник
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
2. др Ненад Филиповић	редовни професор	Примењена информатика и рачунарско инжењерство, 27.05.2010.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу		члан
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
3. др Душан Јовановић	ванредни професор	Геоинформатика, 11.03.2021.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду		члан
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
4. др Ђорђе Пржуљ	редовни професор	Информационо-комуникациони системи, 24.10.2023.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду		члан
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
5. др Милан Мирковић	редовни професор	Информационо-комуникациони системи, 14.09.2023.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду		члан
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
6. др Ранко Чабиловски	ванредни професор	Агрохемија, 27.11.2020.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Пољопривредни факултет, Универзитет у Новом Саду		члан
установа у којој је запослен-а		функција у комисији

7.	др Андраш Андерла	редовни професор	Информационо-комуникациони системи, 01.07.2024.
	презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
	Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду		ментор
	установа у којој је запослен-а		функција у комисији
<b>II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ</b>			
1.	Име, име једног родитеља, презиме: <b>Марко, Милан, Павловић</b>		
2.	Датум рођења, општина, држава: <b>26.04.1986, Нови Сад, Република Србија</b>		
3.	Назив факултета, назив претходно завршеног нивоа студија и стечени стручни/академски назив: <b>Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Инжењерски менаџмент, Мастер инжењер менаџмента</b>		
4.	Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија: <b>2017, Индустрijско инжењерство / инжењерски менаџмент</b>		
<b>III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:</b>			
Даљинска детекција садржаја органског угљеника у земљишту на бази дубоког учења			
<b>IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:</b>			
Навести кратак садржај са назнаком броја страница, поглавља, слика, схема, графикона и сл.			
<p>Докторска дисертација Марка Павловића под насловом „Даљинска детекција садржаја органског угљеника у земљишту на бази дубоког учења“ је изложена на 173 страна и садржи 11 поглавља у којима је приказано 50 слика, 11 табела, 7 графикона и 2 прилога. Списак коришћене литературе обухвата укупно 170 референци.</p> <p>Докторска дисертација садржи следећа поглавља:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Уводна разматрања, проблем, предмет и циљеви истраживања</li> <li>2. Преглед литературе и проблеми у процени органског угљеника у земљишту</li> <li>3. Вештачка интелигенција и машинско учење</li> <li>4. Дубоко учење</li> <li>5. Даљинска детекција</li> <li>6. Органски угљеник у земљишту</li> <li>7. Предложени приступ процени SOC путем примене дубоких неуронских мрежа и података добијених даљинском детекцијом</li> <li>8. Резултати истраживања и дискусија</li> <li>9. Закључна разматрања</li> <li>10. Литература</li> <li>11. Прилози</li> </ol>			

## V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

**Наслов дисертације** је информативан, јасан и прецизан, захваљујући чему на прави начин описује спроведено истраживање.

**Први део** дисертације посвећен је уводним разматрањима. Представљени су проблем, предмет и циљеви истраживања. Потреба за овим истраживањем је исказана кроз чињеницу постојања проблема у развоју тачних и робусних модела даљинске детекције за процену садржаја органског угљеника у земљишту (енгл. *Soil Organic Carbon - SOC*) на бази дубоког учења. Директно мерење органског угљеника у земљишту у земљишту карактеришу приметна ограничења и неопходност значајне количине физичког рада, као и велики трошкови. У оквиру предмета истраживања стављен је фокус на испитивање потенцијала примене дубоких неуронских мрежа на податке добијене даљинском детекцијом у сврху процењивања садржаја *SOC*. Основни циљ који је дефинисан у оквиру дисертације је да се развије тачан и поуздан модел дубоког учења за процену *SOC* коришћењем података добијених путем даљинске детекције и да се изврши поређење перформанси развијеног модела са другим постојећим моделима. Поред тога дефинисан је и додатни циљ, да се истраживање преведе у комерцијално одржив алат. Алат који доноси развијено и напредно решење за доносиоце прописа, организација које се баве заштитом животне средине, као и заинтересованим странама у пољопривредном сектору у вези са процењивањем органског угљеника у земљишту. У складу са наведеним предметом, потребама и циљем истраживања дефинисане су истраживачке хипотезе, као и посебна истраживачка питања.

**Други део** дисертације пружа увид у сложеност задатка процене стања *SOC* с обзиром на различите факторе који утичу на величину залиха, попут варијабилности земљишта или начина узорковања земљишта. Као и на недостатке конвенционалних метода које су радно интензивне, непрактичне и скупе. Даље се пружа исцрпан преглед тренутне литературе и спроводи се идентификација недостатака у методологијама процене *SOC*. Поред тога, у овом поглављу дат је и преглед глобалних и националних иницијатива које су фокусиране на органски угљеник из земљишта.

**У трећем делу** је изложен кратак приказ историјата развоја вештачке интелигенције (енгл. *Artificial Intelligence - AI*), кључни моменту у развоју *AI*-а, као и осврт на успон метода дубоког учења. Поглавље 3 пружа увид у основне концепте, опште принципе, сам ток машинског учења, као и детаљна објашњења функционисања алгоритама машинског учења. У делу 3.1 описани су основни концепти машинског учења попут врста машинског учења, недовољног и претераног прилагођавања и метрика које се употребљавају приликом евалуације учинка модела машинског учења. У делу 3.2 представљени су општи принципи машинског учења, док је сам ток процеса машинског учења са његовим компонентама представљен у делу 3.3. Део 3.4. пружа детаљан опис одабраних алгоритама машинског учења са објашњењем принципа њиховог функционисања, наведеним предностима и недостацима сваког алгорита, уз графички приказ и навођење математичких основа функционисања сваког алгорита.

**Четврти део** се фокусира на пружање увида у различите архитектуре дубоког учења, њихов графички приказ, као и њихову примену уз осврт на потенцијалне недостатке сваке архитектуре.

**У петом делу** дат је историјат развоја поља даљинске детекције. Представљени су принципи технологије даљинске детекције, њене интеракције са Земљином атмосфером и површином, као и различите платформе које се користе за даљинску детекцију. У деловима 5.7 и 5.8 објашњени су индекси даљинске детекције и атрибути терена коришћени у истраживању, као и формуле за њихово израчунавање. Овим се поставља основа за разумевање извора података и методологија коришћених у истраживању.

**Шести део** разматра утицај угљеника на процесе који се одвијају у животној средини са приказом циклуса кружења угљеника. Посебно се објашњава значај органског угљеника у земљишту за плодност земљишта и његов потенцијал у секвестрацији угљеника. Даје се детаљан преглед стања *SOC*, као и приказ различитих метода за процену промена у залихама *SOC*-а, од директних

мерења до техника даљинског детекције. Делови 6.7, 6.8, 6.9, 6.10 детаљно описују скупове података коришћених у истраживању попут података добијених из Статистичког истраживања оквира површине употребе/покривача земљишта (енгл. *Land Use/Cover Area Frame Statistical Survey - LUCAS*) и чилеанске базе података о органском угљенику у земљишту (енгл. *Chilean Soil Organic Carbon Database - CHLSOC*).

**У седмом делу**, који се односи на истраживачки део, представљена је методологија истраживања. Детаљно се описује предложени иновативни приступ који комбинује дубоке неуронске мреже са подацима добијеним путем даљинске детекције за процену SOC-а. У овом поглављу се разрађују специфичности предложене методологије, укључујући изворе података и укључене процесе корак по корак. Детаљно су описане Фаза 1 која подразумева тренирање сегментационог модела за одређивање земљишног покривача из којег се издвајају латетна обележја која се употребљавају као улазни подаци за модел машинског учења који се примењује у Фази 2 за процењивање стања SOC. У поглављу 7.4 дат је свеобухватан приказ начина прикупљања, обраде и чувања сателитских снимака.

**Осми део** представља дискусију и анализу резултата која је спроведена у складу са постављеним истраживачким хипотезама и сажима кључне резултате истраживања. Поглавље укључује резултате процене класификације земљишног покривача, резултате експеримената 1, 2, 3 процене SOC-а, као и генерисање SOC мапе за регион Тоскане, Италија. Поглавље се завршава дискусијом о резултатима, укључујући ограничења предложеног приступа.

**Девети део** дисертације је посвећен закључним разматрањима где су сумирани основни циљеви, коришћене методе, резултати истраживања, као и теоријски и практични допринос истраживања. Осим тога, у оквиру закључка предложени су могући правци даљих истраживања.

На самом крају дисертације наведена је литература која је коришћена за потребе истраживања, као и прилози у ком су представљени елементи значајни за истраживање који нису укључени у основни текст дисертације.

Дисертација приказује значајне резултате истраживања које је омогућило да се потврде или допуне битне полазне претпоставке.

## **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. **Pavlović M., Ilić S., Ralević N., Antonić N., Warren-Raffa D., Bandecchi M., Ćulibrk D., "A Deep Learning Approach to Estimate Soil Organic Carbon from Remote Sensing", Remote Sensing, 2024, pp. 1-21, ISSN: 2072-4292, Volume 16, Issue 4, <https://doi.org/10.3390/rs16040655> (Remote Sensing,10/34, IF = 5,6), **M21****
2. **Pavlović M., Ilić S., Antonić N., Ćulibrk D., "Monitoring the Impact of Large Transport Infrastructure on Land Use and Environment Using Deep Learning and Satellite Imagery", Remote Sensing, 2022, pp. 1-20, ISSN: 2072-4292, Volume 14, Issue 10, <https://doi.org/10.3390/rs14102494> (Remote Sensing,10/34, IF = 5,6), **M21****
3. **Pavlović M., Ilić S., Ćulibrk D., "Use of Sentinel-2 Remote Sensing Images for Land Use Classification", Second Serbian International Conference on Applied Artificial Intelligence AAI 2023, Kragujevac, Serbia, 2023, pp. 1-7, ISBN - 978-86-81037-71-3, **M34****

4. **Pavlović M., Antonić N., Bosakov G., Ilić S., Ćulibrk D.,** “Remote Sensing for Soil Organic Carbon“, First Serbian International Conference on Applied Artificial Intelligence AAI 2022, 2022, pp. 1-6, ISBN - 978-86-81037-71-3, **M34**

#### **VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА:**

Резултати дисертације огледају се у реалним подлогама тачно представљеним чињеницама, а у складу са постављеним хипотезама и циљевима. Резултати су представљени табеларно и графиконима уз јасно текстуално образложење и дискусију резултата.

Дисертација развија нови приступ који је утемељен у две фазе, где почетна фаза укључује софистицирано издвајање обележја помоћу дубоких неуронских мрежа. Почетна фаза користи могућности мултиспектралног снимања са сателита *Sentinel-2*, повезујући ове високодимензионалне податке са аутентичним мапама сегментације како би се проценило коришћење земљишта у циљаним географским областима. Друга фаза модела примењује екстраховане векторе обележја у тренирању низа различитих метода машинског учења у примени процењивања садржаја органског угљеника у земљишту.

На основу резултата овог истраживања потврђена је валидност, поузданост и робустност модела развијених за процењивање органског угљеника у земљишту. Резултати истраживања су показали бољи учинак модела тренираних на латентним обележјима екстрахованих из сегментационе мреже у односу на моделе трениране на 13 опсега *Sentinel-2* сателита. Демонстрирана је вредност укључивања атрибута терена и одабраних индекса даљинске детекције у виду додатних обележја коришћених за тренирање модела. Ефикасност дубоких неуронских мрежа у обради сложених сателитских података је јасно демонстрирана, означавајући значајан напредак у техникама даљинске детекције.

Додатно, продукцијом просторно континуиране *SOC* карте високе резолуције (за регион Тоскане, у северној Италији, показан је потенцијал модела машинског учења у пружању свеобухватних и прецизних процена органског угљеника у земљишту. Овај вид мапирања високе резолуције означава велики корак ка глобално скалабилним, исплативим и даљински управљаним системима за праћење *SOC*-а.

#### **VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА:**

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

Резултати докторске дисертације су приказани на јасан и прецизан начин. Сви резултати релевантни за истраживање су сумирани кроз приказе слика, табела и графикона уз одговарајући пратећи текст. Резултати истраживања су представљени систематично и прегледно. Добијени резултати су тумачени у складу са претходном литературом, коментаришући нове налазе, као и давањем сугестија за правце будућих истраживања. У складу са претходно наведеним, закључци који су проистекли из ове дисертације су аргументовани, свеобухватни и актуелни.

**На основу приказаног, комисија је донела позитивну оцену за начин приказа и тумачења резултата, са закључком да је докторска дисертација оригинално ауторско дело кандидата Марка Павловића.**

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

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе?  
**Да, дисертација садржи све битне и неопходне елементе за позитивну оцену дисертације**

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци?

Дисертација уводи иновативну, хибридну методологију која комбинује различите моделе машинског учења, укључујући дубоке неуронске мреже и традиционалне алгоритме за машинско учење, за прецизну процену органског угљеника у земљишту употребом сателитских снимака.

Битно достигнуће представља и стварање просторно континуиране *SOC* карте високе резолуције (10 метара) за регион Тоскане, у северној Италији. Такво мапирање високе резолуције представља значајан скок у могућностима праћења животне средине.

Додатну вредност овог истраживања представља чињеница да не подразумева само академски допринос већ и практичан алат – метод и софтверско решење дизајнирано за ефикасну и тачну процену *SOC*-а. Развијени алат користи моћ дубоких неуронских мрежа и података добијених путем даљинске детекције, нудећи ресурсно ефикаснију алтернативу преовлађујућим методама процене *SOC*.

4. Који су недостаци дисертације и какав је њихов утицај на резултат истраживања?  
**Дисертација нема битних недостатака који би утицали на резултате истраживања.**

5. Образложење резултата провере оригиналности рада (нумерички и наративно):

Текст дисертације је проверен у софтверу за детекцију плагијаризма *iThenticate*, који није показао значајно подударње са другим изворима литературе. *Similarity index* је 2%.

<b>X ПРЕДЛОГ:</b>
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: Нови Сад, 13.11.2024.

1. др Дарко Стефановић, редовни професор

\_\_\_\_\_, председник

2. др Ненад Филиповић, редовни професор

\_\_\_\_\_, члан

3. др Душан Јовановић, ванредни професор

\_\_\_\_\_, члан

4. др Ђорђе Пржуљ, редовни професор

\_\_\_\_\_, члан

5. др Милан Мирковић, редовни професор

\_\_\_\_\_, члан

6. др Ранко Чабиловски, ванредни професор

\_\_\_\_\_, члан

7. др Андраш Андерла, редовни 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.