

**НАУЧНО – НАСТАВНОМ ВЕЋУ
ГРАЂЕВИНСКОГ ФАКУЛТЕТА
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ**

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Милоша Панџића

Одлуком Наставно-научног већа Грађевинског факултета Универзитета у Београду бр. 423/10-21 од 17. септембра 2026. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Милоша Панџића, магист. инж. геодез., под насловом:

TRANSFER ZNANJA MODELA MAŠINSKOG UČENJA U PROSTORNO-VREMENSKOM DOMENU ZA POTREBE KARTIRANJA USEVA NA OSNOVU PODATAKA SATELITSKOG OSMATRANJA ZEMLJE

Наслов на енглеском језику:

TRANSFER KNOWLEDGE OF MACHINE LEARNING MODELS IN SPATIO-TEMPORAL DOMAIN FOR CROP MAPPING BASED ON EARTH OBSERVATION DATA

После прегледа достављене дисертације и других пратећих материјала и разговора са кандидатом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Подаци о процедури пријављивања и предаје дисертације

Кандидат Милош Панџић, магист. инж. геодез., пријавио је тему докторске дисертације 19.11.2021. године. Претходно је 18.11.2021. обавио јавно излагање теме докторске дисертације, а Комисија за јавно представљање предлога теме докторске дисертације (приступног рада) констатовала да се предлог прихвата.

На седници Наставно-научног већа Грађевинског факултета одржаној 25.11.2021. године одређена је Комисија за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Милоша Панџића, магист. инж. геодез., под насловом „Трансфер знања модела машинског учења у просторно-временском домену за потребе картоирања усева на основу података сателитског осматрања Земље“ у саставу:

1. Др Милан Килибарда, дипл. инж. геод, ванредни професор Грађевинског факултета Универзитета у Београду,

2. Др Бранислав Бајат, дипл. инж. геод, редовни професор Грађевинског факултета Универзитета у Београду,
3. Др Милош Ковачевић, дипл. инж. ел, редовни професор Грађевинског факултета Универзитета у Београду,
4. Др Драгутин Протић, дипл. инж. геод, доцент Грађевинског факултета Универзитета у Београду, и
5. Др Владимир Црнојевић, дипл. инж. електр. и рачунар, редовни професор Природно-математичког факултета Универзитета у Новом Саду.

Комисија је саставила позитиван извештај и предложила Наставно-научном већу Грађевинског факултета Универзитета у Београду да прихвати предложену тему докторске дисертације. Позитиван извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата усвојен је на седници Наставно-научног већа Грађевинског факултета одржаној 23.12.2021. године. Веће научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду на седници одржаној 28.12.2021. године, својом одлуком усвојило је предлог теме докторске дисертације кандидата Милоша Панџића.

Кандидат је урађену докторску дисертацију предао Служби за студентска питања Грађевинског факултета 07.09.2026. године.

Одлуком Наставно-научног већа Грађевинског факултета Универзитета у Београду донетој на седници одржаној 17.09.2026. године, именована је Комисија за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Милоша Панџића.

1.2. Научна област дисертације

Тема докторске дисертације припада научној области Геодезије и ужој научној области Геоинформатика, која је дефинисана Статутом Грађевинског факултета Универзитета у Београду.

Радови публиковани у међународним часописима који квалификују ментора проф. др Милана Килибарду за вођење докторске дисертације су:

1. Antonijević O, Jelić S, Bajat B, Kilibarda M (2023). Transfer learning approach based on satellite image time series for the crop classification problem. *Journal of Big Data* 10, 54. <https://doi.org/10.1186/s40537-023-00735-2>
2. Witjes M et al., including Kilibarda M (2022). A spatiotemporal ensemble machine learning framework for generating European land-use and land-cover time-series maps. *PeerJ* 10, e13573. <https://doi.org/10.7717/peerj.13573>
3. Hengl T et al., including Kilibarda M (2021). African soil properties and nutrients mapped at 30 m spatial resolution using two-scale ensemble machine learning. *Scientific Reports* 11, 6130.
4. Sekulić A, Kilibarda M, Protić D, Bajat B (2021). A high-resolution daily gridded meteorological dataset for Serbia made by Random Forest Spatial Interpolation. *Scientific Data* 8, 123.
5. Sekulić A, Kilibarda M, Heuvelink G B M, Nikolić M, Bajat B (2020). Random forest spatial interpolation. *Remote Sensing* 12, 1687.

6. Sekulić A, Kilibarda M, Protić D, Perčec Tadić M, Bajat B (2020). Spatio-temporal regression kriging model of mean daily temperature for Croatia. *Theoretical and Applied Climatology* 140, 101–114.
7. Pejović M, Nikolić M, Heuvelink G B M, Hengl T, Kilibarda M, Bajat B (2018). Sparse regression interaction models for spatial prediction of soil properties in 3D. *Computers and Geosciences* 118, 1–13.
8. Čeh M, Kilibarda M, Lisec A, Bajat B (2018). Estimating the performance of random forest versus multiple regression for predicting apartment prices. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 7, 168.
9. Hengl T et al., including Kilibarda M (2017). SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning. *PLOS ONE* 12, e0169748.
10. Kilibarda M, Perčec Tadić M, Hengl T, Luković J, Bajat B (2015). Global geographic and feature-space coverage of temperature data in the context of spatio-temporal interpolation. *Spatial Statistics* 14, 22–38.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Милош Панџић, мастер инжењер геодезије, рођен је 20.11.1991. године у Сарајеву, Босни и Херцеговини. Основну и средњу школу (Математичку гимназију) завршио је у Београду. Основне академске студије, студијски програм Геодезија и геоинформатика, на Грађевинском факултету у Београду уписао је 2010. године, а завршио 2013. године са просечном оценом 9.75. Синтезни рад под називом „Примена блископредметне фотограметрије за анализу геометрије изведеног стања структуралне фасаде северне стране објекта „GTC SQUARE” код ментора проф. др Драгана Михајловића одбранио је са оценом 10. Током студија добио је похвалу Грађевинског факултета за изузетан успех. Мастер академске студије уписује школске 2013/2014 на истом факултету, модул Геоинформатика, и бива ангажован као студент демонстратор на предмету Геодезија. При крају студија Милош је добио ОеАД стипендију Аустријске владе и провео је четири месеца на Техничком универзитету у Бечу, на Одсеку за геодезију и геоинформатику код проф. др Норберта Фајфера (Norbert Pfeifer). Ту је радио на теми анализе геометријског квалитета Sentinel-2 података што је резултирало израдом мастер рада на исту тему и одбраном рада оценом 10 дана под менторством проф. др Драгана Михајловића. Докторске студије на Грађевинском факултету Универзитета у Београду - студијски програм Геодезија и геоинформатика, уписује школске 2018/2019 године.

По завршетку мастер студија Милош је радио у Финском геопросторном истраживачком институту (*Finnish Geospatial Research Institute - FGI*), а од 2018. је запослен на Институту БиоСенс у Новом Саду, где је ангажован на више националних и европских Horizon пројеката. Бави се применом података сателитског осматрања Земље у биосистемима, превасходно у пољопривреди. Милош је аутор и коаутор неколико радова који су објављени у научним часописима и представљени на научним конференцијама у свету, а такође је учествовао и на више стручних усавршавања и летњих школа. Одлично говори енглески језик и бави се програмирањем у *Python* програмском језику.

Ожењен је и отац двоје деце.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација Милоша Панџића под насловом „Transfer knowledge of machine learning models in spatio-temporal domain for crop mapping based on Earth observation data“ (на српском „Трансфер знања модела машинског учења у просторно-временском домену за потребе картирања усева на основу података сателитског осматрања Земље“) садржи укупно 159 страна А4 формата, од којих је основни текст на 116 страна. Дисертација је писана на енглеском језику и подељена је у девет поглавља:

1. Увод
2. Осматрање Земље у пољопривреди
3. Машинско учење за картирање усева
4. Трансфер учење и адаптација домена за картирање усева
5. Временско трансфер учење кроз производне сезоне
6. Просторно трансфер учење између географских региона
7. Оперативна евалуација трансфера модела у условима реалних ограничења података
8. Општа дискусија
9. Закључци

Дисертација садржи 34 слике, 16 табела и 23 нумерисана израза. На крају дисертације дат је списак коришћене литературе који садржи 164 библиографских наслова. На почетку дисертације је дат резиме на енглеском и српском језику, са кључним речима, научном облашћу и ужом научном облашћу. Дисертација још садржи изјаву захвалности, списак слика, табела и скраћеница коришћених у тексту, као и садржај. Биографија аутора дата је на крају дисертације.

Дисертација је технички обликована према упутствима Сената Универзитета у Београду и посебним упутствима за обликовање штампане и електронске верзије доктората. Садржи обавезна поглавља и обрасце: изјава о ауторству, изјава о истовестности електронске и штампане верзије и изјава о коришћењу.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Дисертација је организована у девет поглавља, од којих свако обрађује засебну тематску целину и доприноси остваривању укупног истраживачког циља. Заједно, ова поглавља пружају теоријску позадину, методолошки оквир, експерименталну евалуацију и дискусију неопходну за решавање постављеног истраживачког проблема.

Прво поглавље уводи истраживачку тему и дефинише мотивацију за спроведено истраживање. Најпре су представљени истраживачки проблем и постојећи недостатак у знању, а затим циљ истраживања, истраживачка питања и хипотезе, као и методолошки оквир и обим усвојени за њихово решавање. Поглавље такође

наводи очекиване научне доприносе спроведеног истраживања, а завршава се прегледом садржаја и сврхе саме дисертације.

Друго поглавље представља основе осматрања Земље у пољопривреди. Оно почиње сажетим историјским прегледом сателитске даљинске детекције и њене улоге у пољопривредним применама, након чега следи приказ најчешћих примена сателитских снимака у пољопривреди. Потом су представљене тренутно доступне и најчешће коришћене оптичке и радарске сателитске мисије, са посебним освртом на Copernicus програм, а нарочито на мисије Sentinel-1 и Sentinel-2, које представљају основне изворе података коришћене у експерименталном делу дисертације. Поглавље такође објашњава појам вегетационих индекса, а на крају се разматрају тренутна ограничења сателитског праћења усева, заједно са неколико праваца истраживања за које се очекује да ће допринети даљем развоју ове области.

Теоријске основе вештачке интелигенције и машинског учења представљене су у трећем поглављу. Поглавље почиње кратким историјским прегледом развоја вештачке интелигенције, након чега следи увод у главне типове машинског учења. Потом је описан општи ток надгледаног учења, укључујући праксе валидације и оцене перформанси, чиме су уведени појмови неопходни за разумевање експерименталне методологије. Други део поглавља посвећен је трима алгоритмима машинског учења коришћеним у наставку дисертације, а то су Random Forest, једнодимензионе конволуционе неуронске мреже (1D-CNN) и трансформери, чији су принципи рада детаљно описани.

Четврто поглавље посвећено је трансфер учењу и адаптацији домена, који представљају централне методолошке концепте ове дисертације. Поглавље најпре уводи појам и позадину трансфер учења, заједно са његовом формалном дефиницијом и терминологијом која се уобичајено среће у литератури. Такође је представљена статистичка процедура за процену разлика у маргиналним расподелама вероватноће између изворног и циљног домена. Ова процедура пружа описне доказе о постојању помака домена на нивоу појединачних обележја. Поглавље се завршава прегледом претходних истраживања која се баве применом трансфер учења за картирање усева.

Пето поглавље представља прву експерименталну студију, у оквиру које се истражује трансфер учење у временском домену између вегетационих сезона унутар једног региона. Модели тренирани на четири историјске сезоне у Војводини преносе се, директно и уз адаптацију, на претходно непознату циљну сезону, коришћењем густих временских серија Sentinel-1 снимака и сва три алгоритма уведена у трећем поглављу. Поглавље описује подручје истраживања и податке, експерименталну методологију, укључујући оптимизацију хиперпараметара и избор модела, добијене резултате, као и посебну дискусију и закључак.

Шесто поглавље бави се просторним трансфер учењем између два географски различита региона, Словеније и Војводине. Модели тренирани на словеначким подацима пренесени су на Војводину, а коришћени су подаци сателитских мисија

Sentinel-1 и Sentinel-2 или појединачно или у комбинацији. Овде су оцењени Random Forest и трансформер архитектуре. Поглавље прати исту општу структуру као пето поглавље, представљајући подручје истраживања и податке, експерименталну методологију, резултате, као и одговарајућу дискусију и закључак.

Седмо поглавље проширује експеримент временског трансфер учења на неколико оперативних релевантних сценарија, мотивисаних реалистичним ограничењима у погледу доступности података. Ослањајући се на модел са најбољим перформансама, идентификован у петом поглављу, ово поглавље истражује просторно груписано узорковање, картирање у раној сезони на основу непотпуних временских серија, као и смањену доступност сателитских података, у циљу процене робусности и практичне применљивости предложене методологије под мање повољним, али реалистичним, оперативним условима. Као и у претходна два поглавља, најпре су описани модел и експериментална поставка, а затим следе резултати и пратећа дискусија и закључак.

Осмо поглавље пружа општу дискусију у оквиру које се повезују и заједнички тумаче резултати три експериментална поглавља, уместо да се понављају појединачно. Поглавље такође разматра методолошка ограничења истраживања и наводи препоруке за будући рад.

Дисертација се завршава деветим поглављем, у оквиру ког су представљени главни закључци спроведеног истраживања. Поглавље пружа директне одговоре на истраживачка питања и хипотезе формулисане у првом поглављу, сумира научне доприносе остварене током израде дисертације и разматра практични значај добијених резултата.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација кандидата бави се трансфером модела машинског учења за картирање усева на основу података сателитског осматрања Земље у простору и времену како би се смањила зависност од прикупљања теренских референтних података. Прикупљање квалитетних референтних теренских података је од пресудне важности за генерисање успешних модела машинског учења (попут класификационих модела усева), али је неретко временски и финансијски изузетно захтевно, а понекад и ограничено другим различитим чиниоцима. Трансфер знања које је садржано у претходно генерисаним моделима машинског учења омогућава алтернативу традиционалном приступу картирању усева који се заснива на великим скуповима теренских референтних података.

Са повећањем количине података сателитског осматрања Земље и развојем савремених алгоритама вештачке интелигенције, као и услед побољшања перформанси савремених компјутерских система, отворила се могућност за алтернативне и практичније стратегије картирања усева. С тим у вези, савременост овог рада лежи у чињеници да се заснива на најновијим технологијама, а да се притом бави областима које су слабије истражене у литератури везаној за картирање усева, као што су трансфер учење и адаптација домена.

Осим кратког осврта на историјски развој и примену сателитског осматрања Земље у пољопривреди у комбинацији са машинским учењем, дисертација детаљно описује методологију за трансфер модела машинског учења, са јасно дефинисаним условима под којима се може извршити, објашњава терминологију и даје осврт на њену неусаглашеност у литератури, а такође објашњава и најзаступљеније метрике за оцену успешности трансфера модела. Дисертација не само да констатује стање ствари, већ даје и смернице како би била успостављена најбоља пракса, са увек јасно дефинисаним ограничавајућим факторима.

Коришћени су радарски подаци сателитске мисије Sentinel-1 и оптички подаци сателитске мисије Sentinel-2, а испитивани алгоритми простиру се од традиционалних алгоритама машинског учења попут Random Forest, преко конволуционих неуронских мрежа, до савремених трансформер архитектура.

Оригиналност рада се огледа у више аспеката, почевши од тога да је истраживање фокусирано на слабо заступљени регион у литератури за дати проблем (главно подручје истраживања је Војводина), преко приказа статистички утемељене процедуре за процену разлика у маргиналним расподелама вероватноће између обележја изворног и циљног домена, систематског и упоредног приказа различитих приступа картирању усева, до инкременталног испитивања количине неопходних референтних теренских података зарад постизања одређене тачности класификационог модела. Осим тога, оригиналност дисертације се огледа и у томе да су истражени и различити неповољни реалистични сценарији везани за ограниченост доступности података, који омогућавају сагледавање практичности методологије изван научних оквира. Дисертација нуди и један од првих приказа примене временског трансфер учења на густо узоркованим радарским временским серијама за вишекласну класификацију усева.

На основу Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду и налаза у извештају из програма iThenticate којим је извршена провера оригиналности докторске дисертације „Transfer knowledge of machine learning models in spatio-temporal domain for crop mapping based on Earth observation data“ (на српском језику „Трансфер знања модела машинског учења у просторно-временском домену за потребе картирања усева на основу података сателитског осматрања Земље“) аутора Милоша Панџића, потврђена је оригиналност ове докторске дисертације.

Узимајући у обзир све наведене чињенице, може се закључити да је предмет истраживања докторске дисертације актуелна тема и да приказани резултати дисертације имају научну и практичну вредност и резултат су оригиналног научног истраживања у оквиру научне области Геодезије и уже научне области Геоинформатике.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Докторска дисертација садржи 164 библиографска извора релевантна за област истраживања. Већину чине радови објављени у врхунским међународним часописима (Remote Sensing of Environment, Remote Sensing, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, IEEE Transactions on Geoscience and

Remote Sensing, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Machine Learning, итд.), док одређени број чине радови објављени у оквиру зборника водећих међународних конференција, технички извештаји и књиге. Током целе дисертације кандидат је прецизно цитирао релевантну литературу.

Кандидат је у значајној мери користио савремену и актуелну литературу. Око 85% (око 140) библиографских извора је новијег датума, тј. објављени су након 2000. године, при чему је више од половине објављено у 2020. години или касније.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Истраживање у оквиру дисертације реализовано је применом теоријског, експерименталног и аналитичког приступа. Теоријски део истраживања, усмерен на сагледавање постојећих научних сазнања из области картирања усева на основу података сателитског осматрања Земље и метода машинског учења, са посебним освртом на трансфер учења, кандидат је реализовао синтезом резултата досадашњих истраживања у предметној области, на основу прегледа релевантне научне и стручне литературе. У том смислу, извршени су прикупљање, анализа и систематизација резултата досадашњих истраживања, као и преглед и анализа претходно примењиваних метода и приступа.

За проверу постављених хипотеза путем експерименталних истраживања примењена је хипотетичко-дедуктивна метода. У анализи добијених експерименталних резултата коришћене су компаративне, статистичке и дедуктивне методе, и то за међусобно поређење различитих модела класификације усева, оцену њихове тачности, као и анализу и интерпретацију добијених резултата.

Примењене методе истраживања у потпуности су адекватне за реализацију постављених циљева и задатака предметног истраживања. На основу свега наведеног, добијени резултати, као и закључци изведени у оквиру дисертације, могу се сматрати научно утемељеним и валидним.

3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати ове дисертације имају практичну вредност пре свега за подручја у којима постоји дуга архива сателитских снимака, али су актуелни теренски референтни подаци ретки, скупи или их је тешко прикупити. У таквим условима већ обучен модел, направљен на историјским сезонама или у региону са обиљем података, може послужити као полазна тачка за ново картирање усева, уз адаптацију на малом узорку нових података. Тако се може смањити обим теренског рада, а прва карта усева може бити готова брже него када се модел сваке сезоне тренира испочетка.

Резултати дају и смернице за планирање теренских кампања. Одређене тачке опадајућег доприноса перформансама показују када додатно прикупљање података доноси све мање користи. Просторно груписано узорковање око једне полазне тачке смањује потребу за путовањем, уз умерено смањење тачности. Ове

вредности важе за испитивани скуп података у Војводини, па их за друго подручје треба поново проценити истим или сличним поступком.

И остали испитани оперативни сценарији показују да се приступ може користити када услови нису идеални. То важи и за картирање пре краја вегетационе сезоне, када је доступна краћа временска серија сателитских слика, што може користити државним и пољопривредним институцијама, осигуравајућим друштвима и другим корисницима којима је информација потребна пре жетве. Карте из ране сезоне су мање тачне и треба их допунити када стигну каснија осматрања. И у случају смањене густине сателитских снимака, као што се десило након квара Sentinel-1B сателита, трансфер учење је показало потенцијал, те га стога треба размотрити у сличним ситуацијама.

Предложени оквир ослања се на отворене, глобално доступне податке (Sentinel-1 и Sentinel-2), па се може проверавати и у другим регионима и сезонама. Уз одговарајућу проверу, методологија би се могла применити и на друге задатке класификације засноване на сателитским снимцима. Примена не искључује потребу за новим подацима циљног домена. Ограничен, добро осмишљен и репрезентативан узорак и даље је потребан за адаптацију модела и независну валидацију. Директан пренос модела у други регион без адаптације у овом истраживању није дао задовољавајуће резултате.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат се у оквиру своје докторске дисертације бавио детаљним проучавањем и критичком анализом релевантне научне литературе, као и планирањем, спровођењем, обрадом, анализом и интерпретацијом резултата експерименталних истраживања. Свеобухватним и систематичним приступом предметном проблему, уз успешно повезивање различитих фаза и сегмената научноистраживачког рада, кандидат је реализовао постављене истраживачке задатке и остварио оригиналне научне и практичне доприносе у области истраживања. Резултати рада потврђени су објављивањем научних радова у међународним часописима и представљањем резултата на међународним научним конференцијама, чиме је кандидат показао висок степен самосталности и оспособљеност за индивидуални научноистраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

У оквиру докторске дисертације Милоша Панџића остварени су следећи научни доприноси:

- Извршена је систематска евалуација временског трансфера модела за вишекласну класификацију усева (девет класа) коришћењем густих вишегодишњих временских серија радарских сателитских снимака.
- Показано је да трансфер модела у временском домену и примењен без адаптације даје употребљиве, мада не и оптималне резултате, док адаптација на одређеном узорку података циљне сезоне даје боље резултате

од директног трансфера, као и од учења од нуле, све док је података циљне сезоне мало.

- Квантитативно је анализиран утицај количине референтних теренских података циљне сезоне на успешност трансфера у временском домену, укључујући одређивање тачака након којих додатно прикупљање података доноси све мање користи.
- Показано је да директан трансфер модела у просторном домену (Словенија–Војводина) не даје задовољавајуће резултате, али да је уз одговарајућу адаптацију могуће остварити значајно побољшање, које је у најбољој конфигурацији надмашило референтни модел трениран на подацима циљног региона.
- Упоређене су стратегије трансфера алгоритама Random Forest, конволуционих неуронских мрежа и трансформера, уз директан трансфер и учење од нуле као базне приступе (у просторном експерименту Random Forest и трансформер).
- Представљен је оквир за трансфер модела у временском и просторном домену, заснован на отвореним, глобално доступним подацима, који омогућава проверу трансфера и у другим регионима и временским периодима.
- Извршена је евалуација трансфер учења у три оперативно релевантна сценарија: просторно груписано узорковање, мапирање у раној сезони и смањена доступност сателитских снимака.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Истраживачки рад Милоша Панџића био је усмерен на испитивање да ли се применом трансфер учења може смањити количина нових теренских референтних података потребних за сателитско картирање усева приликом прелаза на нову вегетациону сезону или на нови географски регион. Истраживање је засновано на две полазне хипотезе: да модел трениран на вишегодишњим историјским подацима осматрања Земље може дати корисне предикције за претходно невиђену сезону, и да се модел развијен за један регион може, уз одговарајућу адаптацију, успешно применити у другом региону. Коришћени су снимци сателитских мисија Sentinel-1 и Sentinel-2 и алгоритми Random Forest, једнодимензионалне конволуционе неуронске мреже и трансформери. Сprovedена су три експеримента: временски трансфер у Војводини, просторни трансфер између Словеније и Војводине и проширење временског експеримента на три реална оперативна ограничења доступности података. У свим експериментима поређени су директан трансфер без адаптације, трансфер учење и тренирање модела од нуле на подацима циљног домена.

Утврђено је да модели тренирани на историјским сезонама већ без адаптације дају употребљиве резултате у новој сезони, а да се ти резултати додатно побољшавају адаптацијом на малом уделу података циљне сезоне. Предност трансфер учења највећа је када је означених података мало, док тренирање од нуле постаје конкурентно када се обезбеди довољно велики узорак (у испитиваној поставци око

15% референтних теренских података циљне 2021. сезоне, односно око 360 парцела од укупно 2399). За потребе оперативних сценарија, одређене су и тачке након којих додатно прикупљање података доноси све мање користи, што за испитивани скуп података може послужити као оријентир при планирању теренских кампања.

Просторни трансфер показао се као знатно захтевнији. Директна примена модела из Словеније у Војводини дала је слабе резултате, али је уз адаптацију на ограниченом узорку података циљног региона постигнута успешност која је надмашила традиционални приступ. Најбољи резултат остварио је трансформер са фиксираним екстрактором обележја у комбинацији Sentinel-1 и Sentinel-2 података, тачније F1 меру од 91%, односно седам процентних поена изнад референтног модела. Комбинација радарских и оптичких података у већини конфигурација давала је боље резултате од појединачних сензора, док ниједан алгоритам није био најбољи у свим ситуацијама.

Оперативни сценарији (просторно груписано узорковање, картирање у раној сезони и смањена доступност сателитских снимака) показали су да трансфер учење и у неповољнијим условима задржава једнаку или бољу успешност од тренирања од нуле, с тим што је његова предност мања у односу на повољније услове. На основу добијених резултата може се констатовати да су обе полазне хипотезе потврђене у оквиру испитиваних експерименталних поставки.

Предложени приступ ослања се на отворене, глобално доступне сателитске податке, па се може проверавати и у другим регионима и сезонама. Његова практична вредност је у томе што поновна употреба већ обучених модела, уз мали и пажљиво изабран узорак нових података, може смањити обим теренског рада. Ограничења истраживања, препозната у оквиру саме дисертације, истовремено указују на правце даљег рада. Просторни експеримент обухвата само један пар региона, временски и оперативни експерименти користе искључиво радарске податке, оперативни сценарији један модел (1D CNN), а мање заступљене културе остале су најтеже за класификацију. Проширење ових приступа, као и евалуација фондацијских модела (foundational models) осматрања Земље који могу бити од значаја за дату тему истраживања а који су се појавили у научној заједници након дефинисања методолошког приступа докторске дисертације, могу бити предмет будућих истраживања.

Добијени резултати, уз јасно одређене границе у којима важе, представљају добру основу и мотивацију за будућа истраживања која ће предложени приступ проверавати и даље развијати.

4.3. Верификација научних доприноса

Током докторских студија и израде докторске дисертације, кандидат Милош Панцић објавио је следеће публикације:

Категорија M21a:

- **Pandžić, M.**, Pavlović, D., Matavulj, P., Brdar, S., Marko, O., Crnojević, V. and Kilibarda, M., 2024. Interseasonal transfer learning for crop mapping using Sentinel-1 data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 128, p.103718.

Категорија M23:

- **Pandžić, M.**, Pavlović, D., Marko, O. and Kilibarda, M., 2026. Transfer Learning for Cross-Regional Crop Mapping. *GEODETSKI VESTNIK*, 70(2), pp.268-288.

Категорија M33:

- **Pandžić, M.**, Pavlović, D., Brdar, S., Pandžić, J., Marko, O. and Kilibarda, M., 2026. Efficient Crop Mapping via Temporal Transfer under Data Constraints. In *2nd International Conference of Environmental Remote Sensing and GIS* (pp. 11-14). University of Zagreb–Faculty of Geodesy.

Категорија M34:

- **Pandžić, M.**, Pavlović, D., Brdar, S., Kilibarda, M. and Marko, O., 2024. Cracking Ground Truth Barriers: Harnessing the Power of Transfer Learning for Crop Mapping. *European Geosciences Union General Assembly 2024 (EGU24)*, p.3127.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

У оквиру докторске дисертације кандидата Милоша Панџића истраживана је могућност примене трансфер учења, као једне од области вештачке интелигенције, са циљем смањења зависности од прикупљања нових теренских референтних података неопходних за сателитско картирање усева приликом преласка на нову вегетациону сезону или на други географски регион. Дисертација обухвата теоријски део и више експерименталних јединица, у оквиру којих се налази и део посвећен испитивању применљивости трансфер учења у условима који одговарају реалним оперативним сценаријима.

Резултати експерименталних истраживања спроведених у оквиру дисертације представљају значајан научни и стручни допринос области геоинформатике. Добијени резултати имају потенцијал за практичну примену, а истовремено могу послужити као основа за даља научна истраживања у овој области. Комисија констатује да докторска дисертација садржи све неопходне елементе и испуњава постављене критеријуме, као и да је кандидат током њене израде показао способност за самосталан научно-истраживачки рад у свим фазама истраживања.

На основу изложеног, Комисија предлаже Наставно-научном већу Грађевинског факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под насловом „*Transfer knowledge of machine learning models in spatio-temporal domain for crop mapping based on Earth observation data*“ (на српском „Трансфер знања модела

машинског учења у просторно-временском домену за потребе картирања усева на основу података сателитског осматрања Земље“) кандидата Милоша Панџића изложи на увид јавности, прихвати и упути на коначно усвајање Већу научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду за давање сагласности за њену јавну одбрану.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

Београд, 05.10.2026. године

Проф. др Бранислав Бајат, дипл. инж. геод.
Универзитет у Београду, Грађевински факултет

В. проф. др Жељко Цвијетиновић, дипл. инж. геод.
Универзитет у Београду, Грађевински факултет

Доц. др Слободан Јелић, дипл. мат.
Универзитет у Београду, Грађевински факултет

Доц. др Александар Секулић, маст. инж. геодез.
Универзитет у Београду, Грађевински факултет

Виши научни сарадник др Оскар Марко, дипл. инж. електр. и рачунар.
Универзитет у Новом Саду, БиоСенс Институт