

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
ШУМАРСКИ ФАКУЛТЕТ  
Кнеза Вишеслава 1, Београд

### ИЗВЕШТАЈ О ПОДОБНОСТИ МАСТЕР РАДА ЗА ОДБРАНУ

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ</b></p> <p>1. Датум именовања (избора) комисије: 02.09.2024. године, број одлуке: 03-5278/2</p> <p>2. Састав комисије са назнаком имена и презимена сваког члана, звања, назива уже научне области за коју је изабран у звање и назив факултета (установе) у којој је члан комисије запослен:</p> <p>1. Др Ратко Ристић, ред. проф., Универзитета у Београду-Шумарског факултета (ужа научна област: Ерозија и конзервација земљишта и вода)</p> <p>2. Др Вукашин Милчановић, доцент, Универзитета у Београду-Шумарског факултета (ужа научна област: Ерозија и конзервација земљишта и вода)</p> <p>3. Др Синиша Половина, доцент, Универзитета у Београду-Шумарског факултета (ужа научна област: Ерозија и конзервација земљишта и вода)</p> |
| <p><b>II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ</b></p> <p>1. Име, име једног родитеља, презиме: Раденко, Милорад, Пејић</p> <p>2. Датум и место рођења, општина, држава: 01.12.1998. године, Ваљево, Република Србија</p> <p>3. Студијски програм основних студија које је кандидат завршио: Софтверско инжењерство, Универзитет у Београду Електротехнички факултет</p> <p>4. Датум завршетка основних студија: 29.06.2021. године</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <p><b>III НАСЛОВ МАСТЕР РАДА:</b><br/><b>Примена техника машинског учења у анализи ерозионих процеса</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <p><b>IV ПРЕГЛЕД МАСТЕР РАДА:</b></p> <p>Навести кратак садржај са назнаком броја страна, поглавља, слика, шема, графика и сл.</p> <p>Рад је написан на 68 страна. Садржи 7 поглавља, 25 слика, 6 табела, преглед литературе, апстракт са кључним речима на српском и енглеском језику и проширени резиме.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <p><b>V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА МАСТЕР РАДА</b></p> <p>Поднети мастер рад припада категорији теоријско-истраживачких и састоји се из следећих делова:</p> <p><b>УВОД (8–16 стр.)</b> увод се састоји од 9 стране где кандидат говори о анализи ерозионих процеса која представља један од кључних изазова у оквиру управљања природним ресурсима, посебно у брдско-планинским подручјима где је овај процес веома изражен и има значајан утицај на одрживост земљишта и водних ресурса. Ерозија, као природни процес подразумева разарање и ношење површинског слоја земљишта, природно доприноси формирању рељефа, обликовању терена и кружењу хранљивих</p>                                                                                                         |

материја. Међутим, када се убрза због човекове активности, нарочито неадекватним коришћењем земљишта, долази до бројних еколошких и економских последица, укључујући опадање продуктивности земљишта, погоршање квалитета воде и губитак биодиверзитета. Због тога, истраживање и примена метода идентификација и начином управљања ерозијом земљишта постају кључни аспекти одрживог развоја. Анализа ерозионих процеса омогућава дубље разумевање механизма који утичу на овај феномен и представља основу за доношење стратешких одлука усмерених на заштиту земљишта и водних ресурса. Примена савремених метода анализе, као што су географски информациони системи (ГИС) и алгоритми машинског учења, значајно унапређује могућности за развој прецизних метода за предвиђање ерозије и имплементацију превентивних мера. У последњих неколико година, машинско учење се све више препознаје као изузетно моћан и ефикасан алат за анализу сложених природних феномена, укључујући ерозију земљишта и заштиту водних ресурса. Ова технологија омогућава научницима и истраживачима да анализирају велике скупове података, идентификују обрасце и међусобне повезаности који су тешко уочљиви традиционалним методама, и на тај начин омогуће дубље разумевање механизма који утичу на ерозију земљишта. Примена машинског учења у истраживањима ерозије земљишта значајно доприноси интеграцији различитих извора података, као што су климатски параметри, карактеристике терена, типови земљишта и вегетациони покривач, у сложене моделе који могу пружити много прецизније предвиђање будућих ерозионих процеса. Поред предвиђања, ови модели омогућавају истраживачима да симулирају различите сценарије, попут утицаја климатских промена или промена у начину коришћења земљишта, што је од кључног значаја за планирање ефикасних стратегија заштите и управљања природним ресурсима. На овај начин, машинско учење представља не само алат за анализу, већ и за доношење информисаних одлука које могу помоћи у смањењу деградације земљишта и очувању екосистема. Главни циљ овог истраживања је примена техника машинског учења у анализи ерозионих процеса са циљем да се идентификују критичне зоне у брдско-планинским подручјима и омогући прецизније предвиђање интензитета и распрострањености ерозије. Разумевање ерозионих процеса и њихових узрочника је од кључне важности за одрживо управљање земљиштем, смањење деградације и заштиту земљишних и водних ресурса. Ово истраживање настоји да кроз примену савремених алгоритама машинског учења, као што су вишеслојне неуронске мреже, регресиони модели и алгоритми класификације, обезбеди нове увиде у динамику ерозије и омогући стварање бољих и ефикаснијих стратегија заштите земљишта. Примена оваквих модела је значајна за доносиоце одлука, јер омогућава да на основу података и анализа предложи најоптималније мере за смањење ерозионих процеса. Поред тога, машинско учење може помоћи у развоју система раног упозоравања који могу предвидети ризик од ерозије и клизишта, што би значајно допринело бољем управљању ризицима у брдско-планинским подручјима.

## **МЕТОД РАДА (17–33 стр.)**

Поглавље „Метода рада“ даје детаљан приказ методолошког оквира истраживања које се бави анализом и предвиђањем ерозионих процеса применом класичних и савремених метода, са посебним освртом на примену алгоритама машинског учења. Кандидат је на систематичан начин представио све фазе истраживачког процеса, објашњавајући како су подаци прикупљани, анализирани и моделовани. У оквиру овог поглавља налази се 4 подпоглавља: 2.1. О методама рада уопште; 2.2. Тип истраживања; 2.3. Методе за идентификацију процеса ерозије; 2.4. Методе машинског учења.

У првом подпоглављу (2.1. О методама рада уопште) кандидат пружа детаљан преглед методолошког приступа истраживању ерозионих процеса. Истакнута је потреба за мултидисциплинарним приступом, с обзиром на комплексност ерозије као природног феномена, који зависи од физичких, климатских, биолошких и антропогених фактора. Кандидат је дефинисао пет главних фаза истраживања: Прелиминарно прикупљање података – укључује теренске податке, сателитске снимке, педолошке, климатске и хидролошке информације. Анализа података – користе се статистичке и геопросторне методе, са нагласком на ГИС алате и математичке моделе. Моделовање процеса ерозије – обухвата примену физичких, емпиријских и концептуалних модела, као и алгоритама машинског учења. Валидација модела – спроведена кроз поређење резултата са теренским подацима. Интерпретација резултата и препоруке – формулисане су мере заштите земљишта као што су терасирање, пошумљавање и контролисана агротехника. Овим је кандидат успоставио свеобухватан и систематичан оквир за спровођење истраживања, наглашавајући значај комбинације различитих извора података и метода.

У другом подпоглављу (2.2. Тип истраживања) кандидат је применио квантитативни истраживачки приступ, заснован на прикупљању и анализи емпиријских података, као и примени статистичких и аналитичких техника ради предвиђања ерозионих процеса. У раду је дат јасан опис процеса прикупљања теренских, климатских и сателитских података, који су затим подвргнути статистичкој обради. Описане су технике као што су регресиона анализа, анализа варијансе (ANOVA), корелациона анализа. Истакнуто је да се у раду примењују и модели машинског учења, који доприносе бољој прецизности у предвиђању. Такође је наглашена улога теренских мерења и обраде узорака земљишта, чиме се повећава поузданост резултата. Кандидат успешно комбинује теренску праксу и аналитичко моделирање, што говори у прилог чврстој методолошкој основи рада.

Треће подпоглавље (2.3. Методе за идентификацију процеса ерозије) кандидат детаљно описује класичне методе идентификације ерозионих процеса, укључујући: теренска истраживања (визуелна процена, мерења, узорковање), примена Географског Информационог Система (ГИС) у анализама, просторну анализу и интеграцију више извора података, емпиријске и математичке моделе, пре свега RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) и Методе потенцијала ерозије (метод проф. Слободана Гавриловића). Посебно је истакнута улога ГИС технологија у анализи великих површина и идентификацији зона са повећаним ризиком од ерозије. Овај део указује на

одлично разумевање класичних приступа и њихове интеграције у савремене анализе. Кандидат наглашава да је комбинација теренских истраживања, геопросторне анализе и емпиријског моделовања најпоузданији приступ за процену и контролу ерозионих процеса.

Четврто подпоглавље (2.4. Методе машинског учења) кандидат објашњава примену алгоритама машинског учења у анализи и предвиђању ерозије. Наведене су и објашњене најчешће коришћене технике као што су Логистичка регресија (за класификацију ерозионих зона), Стабла одлучивања и Random Forest (за моделирање односа између фактора ризика), Неуронске мреже (за откривање комплексних образаца и прецизно предвиђање), Support Vector Machines (SVM) (за високо-димензионалну класификацију подручја). Кандидат такође описује предности примене ових метода, попут могућности обраде великих и хетерогених скупова података, као и способност модела да се „уче“ из нових података, чиме се повећава тачност и практична применљивост резултата. Истакнута је и могућност интеграције података из различитих извора – терен, сателитске слике, климатске серије – у један унифицирани модел. Рад указује на добру информисаност кандидата о савременим аналитичким техникама и њиховој практичној вредности у анализи ерозионих процеса.

#### **МАТЕРИЈАЛ ЗА РАД (34–44 стр.)**

У поглављу је дат општи приказ истраживаног подручја слива реке Ликотре, географски положај, физичко-географске карактеристике, климатске карактеристике, геолошке, педолошке, начин коришћења земљишта.

#### **МЕТОД ПОТЕНЦИЈАЛА ЕРОЗИЈЕ (ГАВРИЛОВИЋ) (45–53 стр.)**

Кандидат је у овом поглављу обрадио један од најзначајнијих емпиријских ерозионих модела, а то је Метод потенцијала ерозије (метод проф. Слободна Гавриловића) која се користи у анализи ерозионих процеса, идентификацији ерозионих подручја, прорачуну продукције ерозионог материјала и за израду Карте ерозије земљишта. У раду је приказана формула за израчунавање коефицијента ерозије  $Z$ , уз детаљно објашњење сваког параметра и њиховог значаја у моделирању процеса ерозије. Детаљно су описани сви улазни параметри у Методи потенцијала ерозије: коефицијент отпорност земљишта на ерозију ( $Y$ ), коефицијент уређеност слива ( $X \cdot a$ ), коефицијент видљивих и јасно изражених ерозионих процеса ( $\phi$ ), и средњи нагиб терена на истраживаном подручју ( $I_{sr}$ ). Кандидат је приказао просторну дистрибуцију улазних параметара и кроз визуелизације у ГИС окружењу приказана је територијална расподела ризика и могућност циљане интервенције. У раду, кандидат је указао на субјективност процене  $\phi$ , као и трошкове и временску захтевност теренских истраживања. Због свих ових ограничења, постоји потреба да се развије алтернативни приступ, заснован на моделима машинског учења, који ће омогућити предвиђање коефицијента ерозије  $Z$  на основу доступних података као што су климатске карактеристике, нагиб терена, врста земљишта и начин коришћења земљишта. У ово поглављу издвојене су предности машинског учења са аспекта уштеде времена и ресурса и објективнијем моделирању ерозионих процеса.

## РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА (54–57 стр.)

Кандидат у овом поглављу приказује резултате анализе ерозионих процеса применом метода класификације и регресије машинског учења. Класификација је спроведена над растерским подацима у просторној резолуцији од 25 m. Најпрецизније резултате постигао је Random Forest са тачношћу од 99,17%, затим, неуронске мреже су приказивале тачност добијених резултата од 98,35% и Support Vector Machines приказивала је тачност од 96,18%. Логистичка регресија је показала најслабије резултате са тачношћу од 75,32%.

У резултатима метода регресије, Random Forest је приказао најбоље резултате са  $RMSE=0,0045$  и  $R^2=0,9997$ , што значи да је модел готово савршено предвидео излазне вредности, што указује на његову способност да се носи са сложеним односима у подацима. Модел неуронске мреже такође је дао одличне резултате, са  $RMSE$  од 0,0125 и  $R^2$  од 0,9978, док солидне резултате је приказао Support Vector Regression са  $RMSE$  од 0,0719 и  $R^2$  од 0,9281. Најслабији модел била је линеарна регресија ( $RMSE=0,1531$ ;  $R^2=0,6734$ ). Упоредном анализом је закључено да су нелинеарни модели као што су Random Forest и неуронске мреже најпогоднији за анализу овако комплексних података. Линеарни модели нису адекватни за ову врсту проблема.

## ДИСКУСИЈА (58–60 стр.)

Резултати истраживања показују да је Random Forest алгоритам постигао најбоље перформансе у предвиђању коефицијента ерозије  $Z$ , са  $RMSE = 0,0045$  и  $R^2 = 0,9997$ . Ови резултати су у складу са радом (Breiman, 2001), који наглашава изузетну способност овог алгоритма да обради комплексне и нелинеарне односе у великим скуповима података. Добијени резултати такође потврђују закључке претходних студија које су примењивале RandomForest у моделовању ерозионих процеса. На пример, (Yang et al., 2016) истичу високу тачност овог алгоритма у сличним геопросторним анализама. Међутим, неке разлике у добијеним вредностима могу бити последица специфичних карактеристика локалног слива, као што су различити типови земљишта или климатски услови, који нису били у потпуности обухваћени у претходним радовима. Ови налази потврђују применљивост Random Forest алгоритма као поузданог алата за анализу ерозионих процеса, при чему се показује потенцијал за додатно побољшање резултата увођењем веће разноврсности улазних података. Резултати су показали да Random Forest и неуронске мреже остварују најбоље перформансе како у класификацији, тако и у регресији коефицијента ерозије  $Z$ . Са тачношћу класификације од 99,17% и  $R^2$  вредностима близу 1,0, ови модели показују да су изузетно ефикасни у уочавању и предвиђању сложених нелинеарних образаца у подацима. Њихова примена елиминише потребу за ручним теренским прикупљањем података о видљивим процесима ерозије (параметар  $\phi$ ), што значајно штеди време и ресурсе. Успешно моделирање коефицијента ерозије  $Z$  без теренског параметра  $\phi$  представља значајан корак напред. Ово омогућава аутоматизовану и бржу израду мапа ерозије за велике просторе, што је посебно корисно у областима где су ресурси за теренска истраживања ограничени. Такође, смањење субјективности приликом процене видљивих ерозионих процеса чини резултате прецизнијим и лакше репродуктивним. На основу резултата и ограничења овог истраживања, препоручено је за будућа истраживања да се модели машинског учења прошире на различита подручја и на различитим физичко-географским условима. Додатна будућа истраживања се огледају и интеграцији временских серија да би модели могли да предвиде промене у

ерозионим процесима током различитих сезона и година. Следећи корак је развој апликација за доношење одлука и управљањем ризицима од ерозије и поплава, интеграција са ГИС платформом и даљински осматрањем и укључивањем додатних фактора у моделе машинског учења као што су социо-економски подаци, како би се разумели утицаји антропогеног фактора на настанак ерозионих процеса,

#### **ЗАКЉУЧАК (61 стр.)**

Закључци су изнети на основу описане методологије рада, јасно и по логичном реду.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

У овом поглављу, наведено је 61 литературних извора, који су од значаја за урађени мастер рад.

### **VI ЗАКЉУЧЦИ**

Оцена квалитета садржаја рада (оцена истраживања и резултата, квалитета понуђеног решења, закључака и др) и оцена писаног рада (квалитет написаног текста, вредност прилога и сл.).

У овом раду приказана је анализа ерозионих процеса применом техника машинског учења на сливу реке Ликодре. Рад приказује примену алгоритама машинског учења у анализи и предвиђању ерозије. Наведене су и објашњене најчешће коришћене технике као што су Логистичка регресија, Random Forest, Неуронске мреже и Support Vector Machines. Ово истраживање је имало за циљ да анализира ерозионе процесе у сливу реке Ликодра и да процени примену метода машинског учења за предвиђање коефицијента ерозије  $Z$ . У овом контексту, применом Random Forest алгорита, који је показао најбоље перформансе, добијени су изузетно прецизни резултати. Главни циљ истраживања био је побољшање тачности предвиђања коефицијента ерозије  $Z$  кроз примену метода машинског учења. Анализирани су кључни фактори који утичу на ерозију, као што су тип земљишта, нагиб терена, вегетациони покривач и климатски услови. Истраживање је фокусирано на интеграцију великих скупова података добијених из ГИС анализа и њихову обраду кроз алгоритме машинског учења. У будућим истраживањима препоручује се коришћење дубоких неуронских мрежа и проширивање скупа улазних података, како би се додатно повећала тачност модела и омогућила њихова примена у ширем контексту.

Мастер рад је написан јасним стилом, правилно коришћеном терминологијом и са задовољавајућом структуром. У раду су правилно приказани резултати са одговарајућим прилозима, табелама и графицима. У техничком смислу рад је квалитетно израђен.

|                                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>VII КОНАЧНА ОЦЕНА МАСТЕР РАДА:</b>                                                                |
| 1. Да ли мастер рад садржи све битне елементе и да ли је написан у складу са насловом рада <b>ДА</b> |
| 2. Недостаци мастер рада и њихов утицај на резултат истраживања <b>нема</b>                          |
| <b>VIII ПРЕДЛОГ:</b>                                                                                 |
| На основу укупне оцене мастер рада, комисија предлаже:                                               |
| <b>- да се мастер рад прихвати а кандидату одобри одбрана;</b>                                       |

ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

др Ратко Ристић, ред. проф.  
Универзитета у Београду Шумарског факултета

др Вукашин Милчановић, доцент  
Универзитета у Београду Шумарског факултета

др Синиша Половина, доцент  
Универзитета у Београду Шумарског факултета

**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.