

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
ГЕОГРАФСКИ ФАКУЛТЕТ

Орхидеја Т. Штрбац

МОГУЋНОСТИ ГИС-А У УПРАВЉАЊУ  
ЗАШТИЋЕНИМ ПРИРОДНИМ ДОБРИМА  
- ПРИМЕР ВРШАЧКИХ ПЛАНИНА –

докторска дисертација

Београд, 2016.

UNIVERSITY OF BELGRADE  
FACULTY OF GEOGRAPHY

Orhideja T. Štrbac

THE POSSIBILITIES OF GIS IN  
MANAGEMENT OF  
NATURAL PROTECTED AREAS  
- EXAMPLE OF VRSAC MOUNTAINS -

Doctoral dissertation

Belgrade, 2016

Ментор: Др Мишко Милановић, ванредни професор

Комисија:

Мишко Милановић, ванредни професор, Универзитет у Београду, Географски факултет

Мирољуб Милинчић, редовни професор, Универзитет у Београду, Географски факултет

Вукан Огризовић, ванредни професор, Универзитет у Београду, Грађевински факултет

Датум одбране:

# МОГУЋНОСТИ ГИС-А У УПРАВЉАЊУ ЗАШТИЋЕНИМ ПРИРОДНИМ ДОБРИМА

## - ПРИМЕР ВРШАЧКИХ ПЛАНИНА -

### Сажетак

Могућности географско-информационих система су бројне и недовољно примењиване у Србији. У овој дисертацији разматрана је примена ГИС-а у симулирању степена ширења шумског пожара и процени ерозије и таложења земљишта на Вршачким планинама. За израду тематских карата коришћен је теренутно најразвијенији бесплатни програмски пакет GRASS GIS. Карте степена ширења ватре добијене су помоћу Rothermel-ове једначине командом r.gros. Категорије угрожености од ерозије као и количине наноса израчунате су помоћу ревидиране универзалне једначине губитка земљишта (RUSLE) и методом С. Гавриловића а затим су резултати упоређени са исказом кубатура геодетски снимљених профила на локалитету бране “Широко било”. Предходно су припремљени улазни параметри у виду растерских мапа: мултиспектрални сателитски снимак WorldView-2, дигитални модел висина, педолошка и геолошка карта и карте вегетацијских индекса (вегетацијски индекс нормализованих разлика – NDVI, индекс влаге WBI и индекс „старења“- PSRI). За одређивање фактора еродибилности земљишта лабораторијски су обрађени узорци земљишта, предходно позиционирани ГПС уређајем кинематичком методом у реалном времену (RTK), док су за фактор ерозивности кише коришћени подаци о кишним епизодама регистрованим на плувиографским тракама у периоду од 1954. до 1983. године на метеоролошкој станици у Вршцу. Резултати истраживања потврдили су претпоставку да се бесплатним ГИС-алатима могу добити интероперабилне карте симулације шумских пожара. Просечне годишње вредности губитка земљишта добијене применом обе методологије сврставају истраживани локалитет у исту категорију угрожености од ерозије док метода С. Гавриловића даје прецизније резултате уколико се као референтна вредност узме средња годишња вредност наноса на основу прорачуна кубатура ископа акумулације на брани “Широко било”.

Кључне речи: ГИС, шумски пожари, ерозија, Вршачке планине УДК:

Научна област: ГИС; Ужа научна област: Геопросторне основе животне средине

THE POSSIBILITIES IN GIS ON MANAGEMENT OF  
NATURAL PROTECTED AREAS  
- EXAMPLE OF VRSAC MOUNTAINS -

Abstract

The possibilities of GIS are numerous but they not enough applied in Serbia. In this dissertation the implementation of GIS was considered in modelling of forest fires rate of spread and prediction of soil erosion and deposition in Vrsac Mountains. Thematic maps were created by the biggest open source software GRASS GIS. The maps of forest fires rate of spread were generated by command `r.ros` which applying the Rothermels equation. The categories of erosion and sediment amounts are calculated using the revised universal soil loss equation (RUSLE) and the method of S. Gavrilović and then the results were compared with the amount of excavated soil from the accumulation on place called "Široko bilo". The multispectral satellite imagery WorldView-2, a digital elevation model, soil and geological map and maps of vegetation indices (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI, WBI- Water Band Index and the Plant Senescence Reflectance Index - PSRI) were prepared as inputs in the form of raster maps. For the determination of soil erodibility, the soil samples were collected by GPS in real kinematic mode (RTK), and then were processed in laboratory while the coefficient of the erosivity of rainfall was calculated from rain gauges measurements from 1954. to 1983. at meteorological station in Vrsac. The assumption that the free GIS tools can provides interoperable maps of forest fires models was confirmed by this research. The average annual soil loss obtained from both methodologies are classified into same category of erosion but method of S. Gavrilović gives more accurate results if we take the average annual value from amount of excavated soil from the accumulation at place called "Široko bilo" as reference value.

Key words: GIS, forest fires, erosion, Vrsac Mountains

Scientific field: GIS

Scientific subfield: Geospatial and environmental science

UDC number

## САДРЖАЈ

Увод.....	1
1.1. Циљ и задаци истраживања.....	3
1.2. Хипотезе.....	4
2. Образложење проблема и преглед досадашњих истраживања.....	6
3. Материјал и методе.....	17
3.1. Истраживано подручје.....	17
3.1.1. Положај и геоморфолошке карактеристике Вршачких планина.....	17
3.1.2. Геолошке и хидрографске карактеристике Вршачких планина.....	19
3.1.3. Едафске карактеристике Вршачких планина.....	19
3.1.4. Елементи климе.....	20
3.1.5. Вегетација Вршачких планина.....	22
3.2. Сателитски снимак WorldView-2 (WV2).....	25
3.3. Дигитални модел терена-ДМТ и дигитални модел висина-ДЕМ.....	27
3.4. Глобални позициони систем-ГПС.....	29
3.5. Програмски пакети.....	30
3.5.1. AutoCAD® Map 3D.....	30
3.5.2. MobileMapper Field & Office Software.....	31
3.5.3. Microsoft Excel.....	32
3.5.4. WindNinja.....	32
3.5.5. GRASS GIS.....	33
3.5.6. gvSIG.....	33
3.6. Предходна обрада улазних података.....	34
3.6.1. Поступак корекције сателитског снимка WorldView-2.....	34
3.6.2. Вегетациони индекси коришћени у истраживању.....	37
3.7. Шумски пожари.....	39
3.7.1. Врсте и узроци појаве шумских пожара.....	41
3.7.2.1. Физичке особине горивог материјала.....	43
3.7.2.2. Хемијске особине горивог материјала.....	44
3.7.2.3. Стање горивог материјала.....	45
3.7.3. Утицај метеоролошких и топографских услова на шумске пожаре.....	48
3.7.4. Моделирање шумских пожара.....	49

<b>3.8 . Плувијална и флувијална ерозија.....</b>	<b>53</b>
<b>3.8.1. Основни фактори који утичу на ерозију водом.....</b>	<b>55</b>
<b>3.8.2. Рекогностирање ерозионих подручја.....</b>	<b>55</b>
<b>3.8.2.1. Ревидинирана универзална једначина губитка земљишта (RUSLE)..</b>	<b>56</b>
<b>3.8.2.2. Метод одређивања ерозионих наноса С. Гавриловића.....</b>	<b>61</b>
<b>4. Резултати и дискусија.....</b>	<b>66</b>
<b>4. 1. Предходна припрема сателитског снимка WorldView-2.....</b>	<b>66</b>
<b>4. 1. 1. Конверзија дигиталних бројева у зрачење.....</b>	<b>66</b>
<b>4. 2. Израда мапа симулације шумског пожара на Вршачким планинама.....</b>	<b>69</b>
<b>4. 3. Прорачун ризика од ерозије водом на Вршачким планинама.....</b>	<b>76</b>
<b>4. 3. 1. Процена губитка земљишта на Вршачким планинама применом ревидиниране универзалне једначине губитка земљишта (RUSLE).....</b>	<b>78</b>
<b>4. 3. 2. Процена ерозије водом на Вршачким планинама применом методе С. Гавриловића.....</b>	<b>83</b>
<b>4. 3. 3. Компаративна анализа процена ерозије водом методом С. Гавриловића и применом ревидиниране универзалне једначине губитка земљишта (RUSLE).....</b>	<b>85</b>
<b>Закључак.....</b>	<b>88</b>
<b>ЛИТЕРАТУРА.....</b>	<b>90</b>
<b>Биографија.....</b>	<b>106</b>

## СПИСАК СЛИКА

Слика 1. Положај истраживаног подручја.....	18
Слика 2. Педолошка карта Вршачких планина.....	20
Слика 3. Ружа ветрова за подручје Вршца.....	21
Слика 4. Фотографија свемирске летилице WorldView-2.....	27
Слика 5. Дигитални елевациони модел Вршачких планина.....	28
Слика 6. Пријемник MobileMapper 100.....	30
Слика 7. Илустрација зрачења кроз атмосферу (Штрбац, О., 2016).....	35
Слика 8. Растерски приказ црвеног канала конвертованог у зрачење са граница атмосфере.....	69
Слика 9. Пожар на Вршачким планинама.....	69
Слика 10. Пожар у ЗС “Мали вршачки рит” .....	70
Слика 11. График учесталости пожара током дана .....	70
Слика 12. Критичне тачке за настанак шумских пожара на Вршачким планинама.....	71
Слика 13. Пожар у викенд насељу на Вршачким планинама .....	72
Слика 14. Мапа вектора ваздушних струјања на Вршачким планинама.....	73
Слика 15. CORINE класификација.....	74
Слика 16. Карта нагиба .....	74
Слика 17. Карта експозиције .....	75
Слика 18. Карта максималних брзина ширења ватре у фитима по минути .....	75
Слика 19. Карта основних попречних брзина ширења ватре у фитима по минути.....	76
Слика 20. Аксонометријски приказ локалитета Широко било .....	76
Слика 21. Чишћење бране “Широко било”.....	77
Слика 22. Акумулација након чишћења .....	78
Слика 23. Коефицијент еродибилности земљишта $K$ .....	81
Слика 24. Фактор вегетације $C$ .....	81
Слика 25. Нанос у пресушеном потоку на локалитету “Широко било”.....	82
Слика 26. Тродимензиони приказ денудације и таложења земљишта.....	83
Слика 27. Коефицијенти отпорности земљишта на ерозију $Y$ .....	84
Слика 28. Вегетацијски индекс нормализованих разлика NDVI.....	84



Слика 29. Годишња продукција наноса на локалитету Широко било изражена у $m^3/km^2$ .....	85
Слика 30. Годишња продукција наноса по методи С. Гавриловића у акумулацији на Широком билу изражена у $m^3/km^2$ .....	86
Слика 31. Карта денудације и таложења за локалитету бране на Широком билу изражена у $t/km^2$ применом ревидиниране универзалне једначине губитка земљишта-RUSLE и методом С. Гавриловића .....	87

## СПИСАК ТАБЕЛА

Табела 1. Ефективне ширине канала WorldView-2.....	26
Табела 2. Карактеристике рељефа Србије.....	54
Табела 3. Средње вредности коефицијента $Y$ .....	63
Табела 4. Коефицијент заштићености земљишта без антиерозионих радова $X$ ....	63
Табела 5. Коефицијент видова ерозионих процеса $\varphi$ .....	64
Табела 6. Вредности коефицијената ерозије $Z$ .....	65
Табела 7. Исказ кубатура ископа.....	77
Табела 8. Вредности ерозивности кише за 10. и 11. април 1967. године.....	79
Табела 9. Гранулометријски састав земљишта и %.....	80

## ЗАХВАЛНИЦА

Захваљујем својим драгим пријатељима Вукану Огризовићу и ментору Мишку Милановићу, а дисертацију посвећујем Дамиру Иванишевићу.

## Увод

Србија, као саставни део Европског континента, са трећином терестричних биома света на својој територији, изузетно је богата флором и фауном, посебно реликtnим и ендемским врстама. Многе од тих врста су глобално угрожене и ретке, као и њихова станишта, због чега је њихово очување један од стратешких циљева, не само Србије већ читаве међународне заједнице. Биодиверзитет је препознат као елемент природног наслеђа од непроцењиве вредности, што је покренуло доношење и имплементацију низа конвенција и директива. Захваљујући „Хабитат“ директиви, која је у већини европских земаља, усвојена 1992. године, успостављена је еколошка мрежа „Natura 2000“ са циљем заштите ретких и угрожених врста. Због многобројних негативних утицаја, посебно неконтролисане експлоатације природних ресурса, управљање оваквим стаништима је од есенцијалног значаја за њихово очување.

Као последица развоја индустрије, саобраћаја, урбанизације а нарочито, повећања људске популације, активна заштита постала је неминовност а управљање заштићеним природним добрима глобално питање. Уз све веће конфликте међу заинтересованим странама, значајан изазов за управљаче је примена начела одрживог развоја, које је дефинисано на Конференцији Уједињених нација о животной средини и одрживом развоју одржаној у Рио де Жанеиру 1992. године.

Имплементација ратификованих директива и формирање еколошких мрежа представља сложен и дуготрајан процес. Србија, данас има јасно дефинисан акциони план у оквиру Националног програма заштите животне средине. Међутим, због недовољних техничко-технолошких и кадровских капацитета, управљање екосистемима и циљним врстама, још увек се своди на доношење правних и нормативних аката у већини заштићених природних добара.

Међу многобројним узроцима лошег управљања, препознат је и недостатак јединственог информационог система и индикатора за мониторинг биодиверзитета, природних ресурса и акцидената.

Насупрот томе, у Европској Унији, развијен је заједнички систем мониторинга животне средине и управљања природним ресурсима коришћењем савремених технологија.

Током 2005. године Европска унија направила је стратешки избор успостављањем независног сервиса по имену GMES (Global Monitoring for Environment and Security), за праћење стања копнених и акватичних екосистема, атмосферских и метеоролошких појава, климатских промена, глобалне соларне радијације, елементарних непогода, земљишта, реаговања у случају ванредних ситуација... Децембра 2012. овај сателитски програма назван је Copernicus, према познатом европском научнику Николи Копернику.

За несметан рад и развој система, обезбеђена је перманентна подршка 40 различитих свемирских мисија и великог броја научних институција и организација, међу којима највећи утицај имају Европска свемирска агенција (ESA-European Space Agency), Европска организација за коришћење метеоролошких сателита (EUMETSAT-European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites), и Заједнички истраживачки центар (JRC-Joint Research Centre).

Интеграција широког спектра просторних и других података, њихова презентација и анализа омогућена је применом географско-информационих система. Осим тога, ГИС пружа подршку визуализацији и моделирању различитих појава, процеса и сценарија и на тај начин доприноси правилном и брзом доношењу одлука и успешном стратешком планирању.

Вршачке планине су заштићено природно добро још од 1982. године, а ревизијом њиховог статуса 2005. године проглашене су за Предео изузетних одлика. На овом простору је до сада детерминисано 1017 таксона од којих је преко 20 врста заштићено а 7 се налази у Црвеној књизи флоре Србије као крајње угрожене врсте. Међу њима су тамни лук (*Allium atroviolaceum* Boiss), карпатски дичак (*Barbarea vulgaris* L. *sup.* *lepuznica* (E. I. Nyárády), жбунаста мишљакиња (*Minuartia hirsuta* (Bieb.) Hand.-Mazz. *subsp.* *frutescens* (Kit.) Hand.), степска вишња (*Prunus fruticosa* Pallas)... Овде су своје станиште нашле бројне врсте птица, сисара, водоземаца и гмизаваца. Ћук (*Otus scops* L.), зелена жуна (*Picus viridis* L.), шумска шева (*Lullula arborea* L.) и још 8 врста птица су од посебног значаја за Европу-SPEC 2 категорије према критеријумима BirdLife International. Због изузетног богатства природних одлика и појава, ово подручје захтева стално праћење стања популација угрожених врста и благовремену предикцију ризика по

њихова станишта и еколошке нише. Могућности ГИС-а у управљању заштићеним природним добрима су многобројне, од мониторинга до управљања ризичним ситуацијама. Угроженост Вршачких планина од шумских пожара препозната је као један од кључних негативних фактора по очување биодиверзитета. Са друге стране, један од највећих изазова за Војводину је подизање шумовитости са садашњих 6,37% , што је најмања пошумљеност у Европи, на пројектованих 14,3%, што се сматра оптималном површином под шумом и заштитним засадима.

Вршачке планине представљају један од најмаркатнијих геоморфолошких облика у Војводини, који је настао синергијом тектонских, геолошких и ерозионих процеса. Иако је ово подручје сиромашно сталним водотоцима, захваљујући орографским и климатолошким карактеристика, као и појави сезонских бујучних токова, земљиште је изложено флувијалној ерозији различитог интензитета. Због тога је, осим предикције шумских пожара значајан сегмент истраживања у оквиру ове докторске дисертације и евалуација ерозије земљишта.

### **1.1. Циљ и задаци истраживања**

Општи циљ овог истраживања је утврђивање адекватних методологија које се заснивају на ГИС-у у процесу управљања Пределом изузетних одлика „Вршачке планине“ и испитивање могућности њихове примене у осталим заштићеним природним добрима у Србији. Један од специфичних циљева је добијање информација неопходних у процесу одлучивања када је реч о екосистемима који су угрожени шумским пожарима, пре свега имплементацијом једноставног метода симулације степена ширења ватре. Посебан циљ дисертације је да се процени просторна и временска рашчлањеност флувијалне ерозије на локалитету бране „Широко Било“ коришћењем даљинске детекције, и да се резултати упореде са количинама наноса добијеним геодетским мерењем карактеристичних профила. Да би се постигли задати циљеви потребно је одговорити на следећа питања:

1. Да ли карте добијене моделовањем шумских пожара помоћу бесплатних софтверских алата омогућавају квалитетну и једноставну визуелну интерпретацију добијених резултата?
2. Да ли резултати добијени применом ревидиране универзалне једначине губитка земљишта (енг. RUSLE) значајно одступају од категоризације по модификованој методи С. Гавриловића?
3. Који од наведених метода даје прецизније резултате коефицијената ерозије у односу на геодетска мерења карактеристичних профила на локалитету брана „Широко било“?

## 1.2. Хипотезе

За добијање одговора о могућностима ГИС апликација у управљању заштићеним природним добрима, полази се од следећих хипотеза:

1. За симулирање шумских пожара:
  - $H_0$ : Карте добијене бесплатним ГИС алатима могу се успешно користити за предикцију шумских пожара.
  - $H_1$ : Бесплатним ГИС алатима не могу се добити довољно квалитетне карте за предикцију шумских пожара.

У овом случају за тестирање нулте хипотезе полази се од претпоставке да су због веома динамичног развоја отвореног кода, модули који се користе за симулацију шумских пожара у потпуности функционални. Као прилог алтернативној хипотези може се размотрити недовољно квалитетан картографски приказ у односу на комерцијалне програме.

2. За поређење ревидиране универзалне једначине губитка земљишта (енг. RUSLE) и методе продукције ерозионих наноса С. Гавриловића на локалитету брана Широко било:

- $H_0$ : Прорачуном средње годишње продукције наноса методом С. Гавриловића и средњег годишњег губитка земљишта ревидираном универзалном једначином губитка земљишта (RUSLE) добијају се резултати који сврставају истраживани локалитет у исту категорију угрожености ерозијом према одабраној методологији.
- $H_1$ : Категорије угрожености земљишта добијене ревидираном универзалном једначином губитка земљишта (RUSLE) разликују се од категорија добијених методом С. Гавриловића.

Као прилог нултој хипотези размотрена је чињеница да је велики број научника током више од 30 година радио на побољшању универзалне једначине губитка земљишта (RUSLE) и да се стога она може успешно применити и у Србији, а да ће нови приступ методи С. Гавриловића потврдити резултате предходних истраживања на локалитету бране „Широко било“. Насупрот овим претпоставкама, алтернативна хипотеза је подржана сазнањем да је универзална једначине губитка земљишта (RUSLE) веома ретко примењивана у Србији, посебно у планинским крајевима, јер је доказано да најбоље резултате даје на нагибима од 3 до 18%, а да је коефицијент ретензије наноса по методологији С. Гавриловића модификован коришћењем сателитског снимка и ДЕМ-а, и да се као такав по први пут примењује на Вршачким планинама.

3. За утврђивање поузданости ревидиране универзалне једначине губитка земљишта (енг. RUSLE) и методе продукције ерозионих наноса С. Гавриловића:

- $H_0$ : Методом С. Гавриловића добија се прецизнији резултат ерозије у односу на ревидирану једначину губитка земљишта (енг. RUSLE) уколико се за референтну вредност узме просечни годишњи губитак земљишта израчунат на основу геодетског мерења количина ископа бране „Широко било“.



- $H_1$ : Ревидирана једначина губитка земљишта (енг. RUSLE) показује мања одступања од референтне вредности губитка земљишта на локалитету брана „Широко било“ у односу на метод С. Гавриловић.

Како метода С. Гавриловића подразумева коришћење коефицијената успостављених на бази дугогодишњих теренских истраживања многобројних сливова у Србији, претпоставља се да ће и на Вршачким планинама, у оквиру слива потока Месић, дати боље резултате у односу на ревидирану једначину земљишта, која је настала за потребе Службе за конзервацију земљишта Сједињених Америчких Држава. Алтернативна хипотеза је поткрепљена размишљањем да се применом сателитског снимка и ДЕМ-а у релативно високој резолуцији, може добити фино раздвајање вегетације, нагиба и експозиције што би требало да утиче на побољшање прецизности добијених резултата применом ревидиране једначине губитка земљишта.

## **2. Образложење проблема и преглед досадашњих истраживања**

Наглим развојем информационе технологије, просторне базе података постале су незамењив алат у системима управљања. Сматра се да је главни подстицај за тако брз развој ГИС-а, управо изазов управљања природним ресурсима (Wright T. 1997). Са друге стране, даљинска детекција и фотограметрија имају све већу улогу у процесу прикупљања података за различите нивое планирања, од визуелне интерпретације до издвајања података напредном статистичком анализом (Борота Д. 2012). Дигиталне оптичке камере на сателитима и летилицама, увелико се користе за аквизицију панхроматских и мултиспектралних снимака различите резолуције, од неколико сантиметара до неколико стотина метара. (Poli D. 2005). Приликом аквизиције снимака просторна, спектрална, радиометријска и временска резолуција су ограничавајући фактори специфични за одређени инструмент (Giannone F. 2006, McConnon L. C. 2010). Сателитски сензори детектују електромагнетно зрачење (Gonzales C. R et Woods E. R. 2002) које представља мешавину рефлектованог, емитованог и расутог зрачења са површине Земље и атмосфере (Sherbinin A. M. 2005). Електромагнетно зрачење обухвата

подручје које се креће од веома дугих радио таласа до веома кратких  $\gamma$  и X зрака (Loomis M. J. 2009). За сваки елемент резолуције, пиксел, мери се скуп од  $n$  вредности као узорак спектралног одговора једног канала (Hsieh F. P. et Landgrebe D. 1998). Висока резолуција је важна за добијање података о облику, величини и оријентацији просторних ентитета, док је спектрална резолуција неопходна за успешну класификацију пиксела и издвајање објеката (Dobhal S. 2008). Снимци даљинске детекције омогућавају картирање великих површина са задовољавајућом тачношћу док примена ГИС-а, научницима који се баве ресурсима на Земљи, пружа огромну предност у осматрањима и истраживањима (Burrough P. et McDonnell R. 2006). Коришћење земљишта и промена земљишног покривача постали су средишња компонента стратегија за управљање природним ресурсима и мониторинг животне средине (Oreuemi Z. 2006).

Вршачке планине су највећим делом (око 4000 ha) покривене шумама. То је подручје храстових шума (Пекановић В. 1991). Услед разубјености овог планинског масива, односно разлике у рељефу, као и других фактора као што су надморска висина, експозиција, различити типови земљишта, дошло је до локалних диференцијација у еколошким условима појединих станишта, што је проузроковало формирање и ливадских фитоценоза различитог карактера. (Вучковић М. 1991). Подручје Вршачких планина налази се на раскршћу неколико флористичких региона, Балканског полуострва, околине Црног мора, Карпата, Средње Европе, Панонске низије, Медитерана и атлантске провинције средњеевропске фитогеографске зоне (Ковачевић Б. и Хабијан-Микеш В. 2005). Због тога овај простор насељавају бројне биљне и животињске врсте, међу којима су и оне од изузетног значаја за очување генофонда и фенофонда наше Планете. Осим тога, у Војводини постоји тежња за повећањем површина под шумама по принципу одрживог газдовања. У складу са позитивном законском регулативом, одрживо газдовање шумама се може спроводити на такав начин и у обиму којим се трајно одржава и унапређује производна вредност шума, њихова биолошка разноврсност, способност обнављања и виталност, а да се при том остварује економска, еколошка и социјална функционалност шума и не изазива ризик или штета на околним екосистемима (Главендекић М. 2011). Шуме имају систематичан утицај на биодиверзитет, кретање воде и микроклимат одређеног

региона. Због њиховог вишеструког утицаја, потребно је фокусирати се на побољшања у управљању и газдовању шумама. Основне информације о земљишном покривачу и индикаторима стања шума су од примарног значаја за мониторинг животне средине и очување природе (Häusler et al. 2009).

Посматрања Земље применом даљинске детекције обезбеђују континуално праћење шума, како у локалним, тако и у глобалним размерама (Милановић М. и Љешевић М. 2009). Захваљујући мултиспектралним скенерима, који симултано региструју електромагнетну енергију у блиском ултраљубичастом (UV), видљивом, рефлектованом инфрацрвеном (IR) и термалном инфрацрвеном спектралном подручју (Павловић Р. и други, 2004), и одговарајућим математичким, статистичким и емпиријским моделима могуће је утврдити везу између материје и зрачења. Даљинском детекцијом тла и других материјала (минерала и вегетације), идентификован је електромагнетни спектар у распону од 400 до 2500 nm (Richter N. 2010).

Примарни циљ многих еколошких истраживања помоћу даљинске детекције је детерминација типа, распореда и кондиције вегетације (Asner G. P. 1998, Jackson D. R. et Huete R. A. 1999). За потребе мапирања вегетације, најстарија и највише коришћена метода је примена вегетацијских индекса. Вегетацијски индекси су једноставни нумерички индикатори који редукују мултиспектралне податке (2 или више канала) у јединствену варијаблу за предикцију и процену карактеристика вегетације (Verrelst J. 2010). Један од најпознатијих вегетацијских индекса који се користи за мониторинг вегетације је индекс нормализованих разлика вегетације-NDVI (енг: Normalised Difference Vegetation Index). Детерминисао га је Krieglner 1969. (García, S.G. et al. 2012.), развио Rouse са сарадницима 1973. Године, а заснива се на контрасту између максималне апсорпције хлорофила у црвеном делу спектра и максималне рефлексије ћелијске структуре листа у инфрацрвеном делу спектра (Wu C. et al. 2008). Основни концепт овог индекса је велика разлика између рефлексије блиско инфрацрвеног и црвеног дела спектра код здраве вегетације (Kerekes P. J. 1994). Штавише, раздвајање вегетацијских класа међу биљним врстама, могуће је због различите рефлексије у делу блиског инфрацрвеног зрачења (Basso V. et al. 2004). Један од улазних растерских података који је коришћен у процесу истраживања био је

сателитски снимак мултиспектралног сензора WorldView-2, који региструје електромагнетне фреквенције у распону од 400 до 1040 nm, путем 8 канала (Childs J. 2011).

Због утицаја ротације Земље, зависности таласних дужина од Сунчеве радијације, закривљености и састава атмосфере, рељефа, померања и нагиба платформе, путање сателита, дисторзије приликом скенирања, промена алтитуде и несавршености самих сензора, регистровани подаци садрже геометријске деформације и грешке у измереним вредностима осветљености пиксела (Richards A. J. Et Xiuping J, 2006). Пре било какве анализе, посебно када је реч о примени вегетацијских индекса, неопходно је извршити корекције које су у вези са карактеристикама сензора калибрационим поступцима (Nischan L. M. et al). Главни узроци појаве пруга и трака на сателитским снимцима су варијабилности детектора, разлике у електронском домету и померању честица електромагнетног зрачења и честице загађења на фокалној равни. Ови недостаци отклањају се релативном радиометријском калибрацијом која зависи од особина сензора и стања атмосфере (Urdike T. et Comp S., 2010). Осим уклањања шума, калибрације, атмосферске, соларне и топографске корекције потребно је извршити и геометријску корекцију и регистрацију снимка. Приликом геореференцирања у одређеној картографској пројекцији издвајају се правилно распоређене контролне тачке на терену које се могу идентификовати на снимку (Gandharum L.2010). Контролне тачке су саставни део сваког фотограметријског процеса и прецизност њиховог одређивања значајно утиче на општу тачност добијених резултата (Hashem N. 2002). Мултиспектрални сателитски снимци представљају детектоване просторне податке у виду матрично распоређених растерских ћелија-пиксела. Вредност пиксела представљена је дигиталним бројем (DN), који одговара броју бита и зависи од осетљивости одређивања малих разлика у рефлектованој и емитованој енергији. Развијени су бројни методи за добијање вредности површинске рефлексије, од оних којима се дигитални бројеви (DN) директно трансформишу, преко метода атмосферске корекције засноване на снимку, до софистицираних модела атмосферског преноса зрачења (Wu J. Et Wang D. 2005). Да би се добила вредност израчивања вегетације у одређеном пикселу, неопходно је дигиталне бројеве конвертовати прво у зрачење горње

границе атмосфере (Madden K. C. 2011), а затим у рефлексију са површине Земље. Како ове вредности зависе од интензитета Сунчеве светлости која варира током године (Гбурчик П. и други 2004; Малиновић Миличевић С. 2012), незаобилазни корак је израчунавање зенитног одстојања Сунца на основу метаподатака које садржи сателитски снимак (Tagestad J. et al 2009). За ту сврху, као и за сложене просторне анализе и моделовање веома успешно се користи алгебра растерских мапа (Neteler M. et Mitasova H. 2002). Општи тренд у студијама класификације земљишног покривача је комбиновање метода, укључујући оригиналне и изведене канале (вегетацијске индексе, главне компоненте, побољшане и филтриране канале), са помоћним подацима и њихова интеграција у ГИС (Andersen L. G. 1998).

На Вршачким планинама шуме су често угрожене пожарима који најчешће настају људском непажњом. Дистрибуција шумских пожара на одређеном подручју, кореспондира метеоролошким условима које карактерише дуга хладна зима, након које наступи топло лето са мало падавина (Schmuck G. et al 2007). Сведоци смо да је крајем крајем јула 2007. на подручју Европе изгорело 337 600 хектара шуме, а да је већ наредног месеца опожарена површина била већа него 2006. године, 80 људи је нестало у пламену а Грчка је претрпела штету од 3 милијарде евра, што је 7% бруто домаћег производа те земље (Dogandijeva R. 2008). У великим пожарима 2012. године у Србији је уништено више од 21 000 хектара шуме и другог растиња, а укупна штета прелиминарно је процењена на око 50 милиона евра. Због њиховог разорног дејства на животну средину и биодиверзитет, као и на локалну економију, један од приоритета у систему управљања заштићеним природним добрима свакако је и њихова предикција и превенција. Осим тога, разумевање понашања ватре неопходно је и за побољшање стратегија газдовања шумама (Arroyo A. L. et al 2008). Кључни фактор за предикцију појаве пожара представља процена горивог материјала, стеље, лишћа, шишарки, грана, стабала, коренових жила и зелене масе, такозваног мртвог и живог горива (Mutlu M. 2010). Током сагоревања, овај материјал у комбинацији са кисеоником из ваздуха, уз ослобађање велике количине топлотне енергије, ослобађа угљен диоксид, водену пару и друге супстанце у мањим количинама. У веома кратком временском периоду, при том се ослобађа енергија која је у шуми

акумулирана током дугог низа година (Byram G. M. 1959). Мапирање горива традиционалном методом узорковања материјала са терена и методама лабораторијског истраживања је веома скупо и захтева много времена (Ferraz A. 2009). Зато се фокус истраживања све више помера ка комбинованим методама екстраховања података из сателитских снимака и примени компјутерских симулација (Yebera M et al. 2008). Скоро све природне површине показују јединствене особине анизотропске рефлексије (Schopfer T. J. 2008), које се описују двосмерном функцијом расподеле рефлексије (енг. „Bidirectional reflectance distribution function-BRDF“ ). У литератури која се односи на ризике од пожара, садржај влаге у биљкама често се назива и садржај влаге у гориву (Chuviesco E. et al 2004). Индекс влаге, WBI (енг. „Water Band Index“) представља количник рефлексије на 970 nm и рефлексије на референтној таласној дужини од 900 nm (Peñuelas et al 1993). Процена ове варијабле је од суштинског значаја за сваки систем рангирања опасности од пожара (Danson F. M. et Bowyer P. 2004; Chuviesco e. et al 2009). Ако је садржај влаге довољно висок, смањиће се количина расположивог горивог материјала и ризик од паљења (Burgan R. E. 1979). Иако се однос између количине влаге у гориву и временских прилика проучава већ готово читав један век, поуздана методологија за утврђивање дневних варијација влажности горива још увек није развијена (Nelson R. M. 2000). Анализом сателитских снимака може се брзо и поуздано утврдити појава физиолошког стреса (Riggins, J: 2008), проузрокованог недостатком влаге у биљкама, која не само да утиче на вероватноћу појаве, већ и на брзину паљења и ширења пожара (Rolf A. 2005). Типичне последице су повећање апсорпције у плавом у односу на црвени део спектра, проузроковане губитком хлорофила и утицајем других пигмената листа (каротена, ксантофила), као и незнатно повећање рефлексије у блиском инфрацрвеном каналу због смањења тургора (Pereira M. C. J. et Govaerts, Y. (2001). За коректну класификацију горивог материјала неопходно је одредити спектралне особине посматраног земљишног покривача (De Santis et al 2006). Степен одумирања лисне масе одређује се индексом „старења“, осетљивим на однос алфа и бета каротена према хлорофилу чије веће вредности, такође указују на физиолошки стрес ( енгл. PSRI „Plant Senescence Reflectance Index“), као и на већу количину мртвог дрвета у шуми (Lanfri S. 2010). Методе даљинске детекције

користе се и за процену количине биомасе и детерминацију карактеристика вегетације на основу пигмената и хемијског састава. На стотине радова написано је на тему варијације у пољу спектра у односу на биохемијски састав и структуру листа, које умногоме зависе од врсте биљке и од тога да ли се она налази, или не у стању физиолошког стреса (Jacquemoud, S. Et Ustin L. S. 2003). Многе биљке имају сличне спектралне особине, па је ове разлике, посебно у шумама мешовитог састава веома тешко одредити (McDermid J. G. et al).

Све врсте четинарског дрвећа, припадају групи јако осетљивог горивог материјала, при чему су бели и црни бор изузетно осетљиви, јер садрже знатне количине запаљиве смоле у дрвету и лако запаљиво уље у четинама (Веселиновић М. и Миленковић С. 2007). Иако пиксели на снимку садрже мешавину рефлектованих сигнала са различитих материјала у шуми, што се тиче спектралног поља, круне четинара показују јак контраст у односу на лишћаре и травни покривач (Jia J. G. et al 2006), због чега их је лако идентификовати већ визуелном интерпретацијом снимка. Специфична топлота горивог материјала је у директној и линеарној вези са горењем, што су њене вредности веће то ће и потенцијал за развој пожара бити већи (Burgan R. E. 1987).

У контексту одређивања степена угрожености од пожара, осетљивост горивог материјала одређује се према метеоролошким индикаторима јер је доказано да су температура, релативна влажност, осунчаност и јачина ветра у директној вези са количином влаге која је апсорбована у биљкама (Chuviesco E. et al 1999). Висока температура и ветар имају велики утицај и на степен ширења шумских пожара (Albini F. A. et Vaughman R.G. 1979., Knorr W. et al. 2011). Истраживањима је утврђена висока корелација између стопе ширења ватре и услова средине, пре свега режима ветра, нагиба и температуре (Roy P. S. 2002., Dupuy J-L. et Alexandrian D. 2010). Брзина и правац ветра изазвани локалним температурним разликама веома су важни у анализи понашања ватре на отвореном простору (Schroeder M. J. et Buck C. C. 1970). Међутим, одређивање одговарајуће брзине ветра за коришћење у моделовању шумског пожара уопште није тривијалан задатак (Andrews L. P. 2012), а температуре које се користе у симулацијама су најчешће температуре ваздуха регистроване у заклоњеним метеоролошким станицама. Због тога су још далеке 1943. године Вурам и Јемисон започели

решавање овог проблема вршењем читавог низа експеримената, што је довело до формулације нових једначина за прорачун температуре горива (Rothermel R. C. et al 1986).

Због свега наведеног, добро осмишљен систем подршке у одлучивању, када је реч о шумским пожарима захтева обиман извор информација, не само о карактеристикама вегетације већ и о условима животне средине (Koutsias N. et Karteris M. 2002), као и анализу података о учесталости појављивања на одређеном подручју, штетама које проузрокује и какве су могућности превенције и сузбијања. (Finney M. 2005).

Када се пожари појаве, веома је важно њихово правовремено откривање и гашење. За праћење пожара путем сателита, кључан је канал у подручју таласне дужине од  $3,9 \mu\text{m}$ , у којем је омогућено препознавање врућих тачака (енгл. „hot spots“) које представљају пожаре (Маховић Стрелец, Н. 2011). Основни принцип детекције пожара је упоређивање осматране температуре пиксела са очекиваном температуром током горења (Philip S. 2007). Даљински сензори региструју зрачење одређеног опсега који се поклапа са атмосферским прозором а температура се може одредити применом Планкове једначине за реална тела (Parody N. G. 2002). Модели симулације развијени су са циљем бољег разумевања природе шумских пожара и ефеката које они имају на екосистеме (Peterson E. B. 2005). Симулација је повезана са концептом аутоматског процеса који одређује ширење пожара према критеријумима дефинисаним одређеним стањем животне средине и метеоролошким и климатским условима (Saidi A. 2002). Први модели ширења пожара били су усмерени на израчунавање величине и пречника површине захваћене ватром и настали су за потребе израде оперативних планова њиховог сузбијања (Finney M. A. 1999). Истраживачи и ватрогасци сложили су се да шумски пожар у почетку има кружни облик који под утицајем ветра, нагиба и других утицаја средине поприма облик елипсе (Anderson H. E. 1983). Прихваћен је поједностављени дводимензиони облик елипсе где су фактори који утичу на понашање ватре сведени на просторне и временске константе, иако овакви услови ретко постоје у природи (Fujioka F. M. 1985; Finney M. A. 2004).

Веома је важан и прорачун брзине и правца развијања „чела“ пожара (Lampin-Maillet C. et al. 2010). Током година развијени су многи модели за евалуацију



ризика од шумских пожара за различите географске реоне, који се међусобно разликују према укљученим параметрима и тежинама које су им додељене (Ciolli M. et al.2002).

Математички модели ширења пожара фокусирани су на различите типове пожара: подземне, површинске-приземне или високе-пожаре у крошњама дрвећа (Perryman, A. H. 2009). Године 1972. аеронаутички инжењер Richard C. Rothermel, развио је модел (Rothermel R. C. 1972), који и дан данас представља мотор развоја новим иновативним методама симулације шумских пожара (Wells G. 2008). Разлог томе је што је овај модел утемељен на исцрпној теоријској бази која има за циљ најширу могућу примену (Wilson R. 1980; Pyne S. J. et al 1996). Амерички Национални Систем Рангирања Пожара (NFDRS) (Cohen J. et Deeming J. 1985), заснован је на моделу ширења приземног пожара (Rothermel 1972) и не укључује процену пожара у крошњи. Програм FARSITE (Finney M. A. 1998,) и систем за процену ризика од високог пожара Nexus садрже адаптирани модел Van Wagner-а из 1977. године и Rothermel-ов модел из 1991. године (Butler W. B. et al 2004). Особине горивог материјала су обавезни улазни подаци за калкулацију индекса опасности од пожара, помоћу овог модела и рангирани су у 13 класа (Anderson H. E. 1982). У принципу, системи за утврђивање опасности од шумских пожара базирају се на карактеристикама горивог материја, просторним подацима (нагиб, експозиција) и метеоролошким подацима као што су температура и влажност ваздуха, падавине и ветар (Ubysz. B. Et Valette J-C. 2010).

У поменутиим алгоритмима метеоролошки подаци се уносе у виду низова карактера, док су топографски подаци у виду тематских растерских карата (Finney A. M. 1998), најчешће дигиталног модела терена, којим се обезбеђују подаци о нагибу, експозицији и надморској висини (Taşel E. 2003).

Дигитални Модел Терена (DMT) је неозабилазни елемент ГИС-а, како за управљање природним ресурсима, тако и за еколошко моделовање (Eckert S. 2006). Као база података о висинама терена, он представља јединствен извор података за компјутерску геоморфометријску анализу. Пре око 50 година С. Miller (Massachusetts Institute of Technology, Boston, USA) предложио је идеју генерисања дигиталног модела терена. У овој области у наредним деценијама развијене су технологије за аквизицију података и адекватна софтверска решења

(Kraus K. et al 2006). Подаци за израду дигиталног модела терена прикупљају се превођењем постојећег картографског материјала из аналогног у дигитални облик, терестричним методама снимања терена (тахиметрија и ГПС мерења, фотограметријским методама снимања (аналогним и дигиталним), ласерским снимањем (LIDAR) и радарском технологијом снимања InSar (Бајат Б. и Штрбац Д. 2003).

Ерозија земљишта је још један угрожавајући фактор по очување природе Вршачких планина за чију процену је неопходан ДЕМ. Примарни топографски параметри, аспект и нагиб су саставни део многих математичких модела који са користе за детерминацију ризика од ерозије (Mitasova H. et Mitas L. 1995, Mitasova H. et al. 1999, Костадинов С. 2008). Ерозиони процеси спадају у групу најкомплекснијих природних феномена који су у функционалној зависности од великог броја природних и антропогених фактора због чега је квантификовање износа ерозионог процеса веома сложено (Благојевић Б. 2012). Доминантна последица ерозије је нестајање горњег, плодног слоја што веома негативно утиче на екосистем (van der Knijff J. M. et al. 2000). За процену губитка земљишта развијени су многобројни модели, на пример USLE, RUSLE, LISEM, WEPP, PESERA, EROSION-3D... (Meusburger K. et al 2010).

Musgrave (1947) је међу првима осмислио универзалну једначину за израчунавање губитка земљишта ерозијом коју изазивају падавине, коју су 1965. године модификовали Wischmeier и Smith (Zachar D. 1982). Ова једначина представља производ неколико фактора: кишног, фактора еродибилности тла, топографског, фактора биљног покривача и фактора противерозионих радова (Wischmeier W.H. et Smith D. D. 1978). Анализом неколико модела ерозије и једначина кретања седимената Moore и Wilson (1992) извели су бездимензиони индекс транспорта седимента на основу топографског фактора који су предложили 1986. године Moore и Burch (Mitasova H. et Mitas L. 1995). Оваквим приступом могуће је моделовање просторне и временске рашчлањености аблације и акумулације. Кишни фактор је приказан укупном кинетичком енергијом и интензитетом максималне тридесетоминутне кише током дана са јаким пљусковима (Kunta K. 2009). Brown и Foster су 1987. године извели формулу кинетичке енергије као експоненцијалну функцију интензитета кише (Patriche C.

V. et al 2006, Verstraeten G. et al 2006). За прорачун интензитета кише неопходно је читавање података са плувиографских трака који морају бити систематично регистровани током вишегодишњег периода осматрања (Ђоровић М. и други 1984), или на основу плувиометријске агресивности климе.

Фактор еродибилности тла зависи од педолошког покривача и геолошке подлоге а с тим у вези од количине органске материје, текстуре, дубине хумусног слоја и особина матичног супстрата (Gobena J. Y. 2003). На Вршачким планинама најзаступљенији су албитско-мусковитски шкриљци и гнајсеви са хемијским саставом у коме доминира силицијум диоксид (Зеремски М. 1985; Вуковић А. и други 1970). Запажено је да се, заправо на силикатним стенама формира земљиште са високим садржајем песка и највећим фактором еродибилности (Wordofa G. 2011). Овај фактор може се добити директним мерењем на терену које мора да траје најмање 5 година (Kim H. S. 2006) или применом формуле који су развили Renard са сарадницима 1997. године на основу измерених вредности за 225 класа земљишта (Kouli M. et al. 2008). Један од параметара које је неопходно детерминисати за сваки узорак је гранулометријски састав, односно учешће фракција праха, глине и песка које се може испитати комбинованом методом хидрометрисања и мокрог сејања (Ђоковић К. и сарадници 2011). Земљишта Вршачких планина припадају аутоморфном и хидроморфном реду са највећим уделом вертисола (Живковић Б. и други, 1972; Миљковић Н. С. 1986). Како би се за сваки тип земљишта просторно одредио индекс еродибилности примењена је метода узорковања ГПС-ом и то RTK- Real Time Kinematic, при чему се координате добијају у реалном времену, одмах на терену (Гучевић Ј. и Делчев С. 2011).

Током дугогодишњих истраживања у многобројним експерименталним станицама доказан је велики утицај вегетације на дисипацију кинетичке енергије кише, због чега је битан чинилац овог модела и фактор покривности. Осим методом вишеструке регресије, за његово израчунавање успешно се користи функција која у експоненту има NDVI (Parveen R. et Kumar U. 2012).

Заштитни фактор универзалне једначине губитка земљишта, изражен је кроз однос губитка земљишта са површине на којој су примењене противерозионе мере и губитка земљишта са ораничне површине у правцу нагиба. Уколико не

постоје мере заштите од ерозије у виду контурне обраде и терасирања узима се да је његова вредност један.

Квантитативно-квалитативна метода која се у Србији најчешће примењује је метода картирања ерозије С. Гавриловића (1972). Да би се одредила специфична продукција ерозионог наноса слива потребно је одредити коефицијенте ерозије, температурни коефицијент и средњу годишњу суму падавина (Станисављевић и други 1973). Улазни подаци за одређивање коефицијента ерозије, као што су коефицијент начина коришћења земљишта, антиерозионог уређења, видљивих облика ерозије, отпора земљишта и средњи пад испитиваног слива раније су се добијали стандардним теренско-картографским методама, док се данас користе сателитски снимци и дигитални модели терена у овиру ГИС алата (Милевски И. 2005). Интерактивном надгледаном класификацијом сателитског снимка прво се издвајају површине под различитим покривачем (Buchanan T. 2010), а затим им се додељују коефицијенти који су добијени осматрањима хидрометријских профила на терену.

Контрола добијених вредности може се извршити геодетским методом, који заправо представља мерење вертикалног померања нивоа површине под дејством ерозије или израчунавањем количине ископа на основу карактеристичних профила (Петков А. 2010).

### **3. Материјал и методе**

#### **3.1. Истраживано подручје**

##### **3.1.1. Положај и геоморфолошке карактеристике Вршачких планина**

Вршачке планине представљају самосталан планински масив дужине око 20 километара са 4 јасно издвојена врха: Вршачка кула (399 m н.в.), Доњи Вршишор (463 m н.в ), Вршачки врх (590 m н.в ) и Гудурички врх (641 m н.в), између којих су заравни Превала (380 m н.в ), Кулмеа Маре (389 m н.в) и Коркана (300 m н.в ). Географски положај одређен је координатом централне тачке 45° 08' 14" N и 21° 25' 04" E по Гриничу.



Слика 1. Положај истраживаног подручја (извор: Војногеографски институт, 1970)

Према северозападу, падине ових ниских планина оштро су засечене стрмим странама, које се од Вршца до Великог Средишта спуштају непосредно у Мали Рит. Овде је забележена и знатна енергија рељефа са амплитудом која износи 550 метара (Зеремски М. 1985). Насупрот томе, од Великог Средишта до државне границе северне падине Вршачких планина нису стрме, већ постепено прелазе у ниже пределе. Јужна подгорина је благих нагиба са превојима Појана маре, Доњи арцеж и Карбонари а појављују се и веће поточне долине. На овом најмаркатнијем геоморфолошком облику југоисточног Баната, јасно се уочавају терасе и абразивни клифови у приобалном делу некадашњег Панонског мора као и бројне јаруге и вододерине.

### 3.1.2. Геолошке и хидрографске карактеристике Вршачких планина

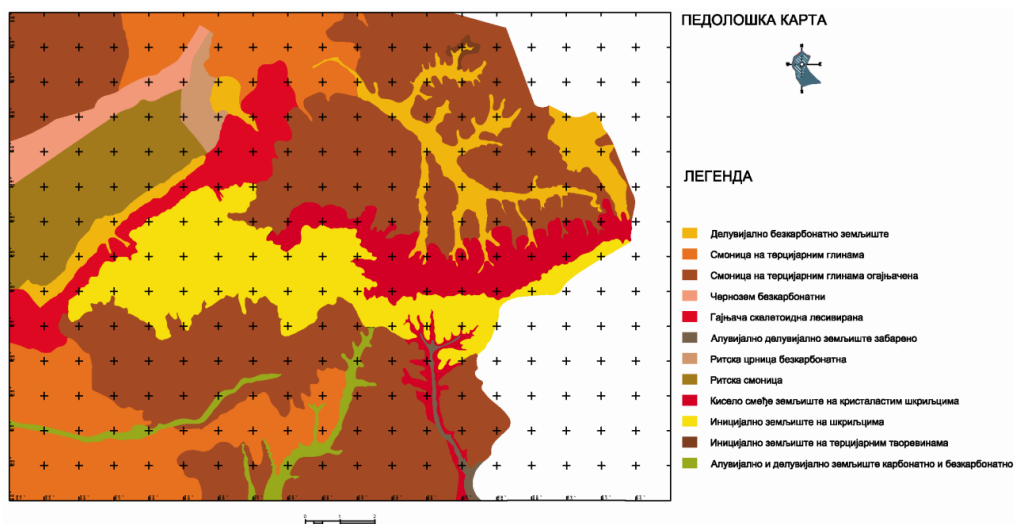
У литолошком погледу, основна маса планинског језгра састављена је од палеозојских кристаластих шкриљаца кроз које се местимично пробијају гранитне интрузије. Они представљају врло хетерогену серију псамитско-пелитског

порекла, дебљине преко 6.000 метара, захваћену релативно слабијим регионалним метаморфизмом. У оквиру четири генетске групе, кристаласте стене су диференциране на гнајсеве, лептинолите, албитско-лискунске шкриљце нижег кристалинитета, лептините и филите. (Вуковић А. и сарадници 1970). Понтски седименти, представљени глинама и песковима могу се наћи на ободним, плићим деловима Вршачких планина, док су мање партије на северним и јужним падинама прекривене холоценским седиментима.

Подручје Вршачких планина не обилује богатим изданима док су падавине током године неравномерно распоређене. Због тога су стални водотоци само Месић, Малосредиштански поток, Гузајна и Физеш, док остали отичу периодично у зависности од временских прилика. На северној страни највећи слив има Марковачки поток (51,1 km) а на јужној поток Месић (42,36 km) чије се извориште налази на Гудуричком врху.

### **3.1.3. Едафске карактеристике Вршачких планина**

Земљишта у средишњем планинском делу имају за геолошку подлогу метаморфне и магматске стене, на северним и јужним падинама делимично су формирана на терцијарним глинама док су на нижим, заравњеним теренима настала на растреситим седиментима квартара-лесу. Аутоморфна земљишта која су регистрована на Вршачким планинама су: иницијално земљиште (сирозем), смоница на терцијарним глинама огањачена (вертисол), гајњача скелетоидна лесивирана (еутрични камбисол) и кисело смеђе земљиште на кристалистим шкриљцима (дистрични камбисол). У долинама потока јавља се алувијално, шљунковито, односно, песковито земљиште и делувијална карбонатна и бескарбонатна земљишта са фрагментима чернозема (Миљковић Н. С. 1986).



Слика 2. Педолошка карта Вршачких планина (израда: Штрбац, О. 2011. према Миљковићу, Н. 1986).

### 3.1.4. Елементи климе

Вршачке планине се налазе у западној области континенталне климе (Гбурчик П. и други 2004). Према подацима метеоролошке станице у Вршцу за период од 1949. до 2010. просечна годишња температура ваздуха износи  $11.7^{\circ}\text{C}$ . Иако је јануар најхладнији месец у току године ( $0.3^{\circ}\text{C}$ ), негативне средње месечне температуре у појединим годинама имају и децембар и фебруар, тако да је најнижа средња месечна температура у посматраном периоду, забележена заправо фебруара 1956. године. Просечно најтоплији месец у години је јули ( $21.6^{\circ}\text{C}$ ) али највиша средња месечна температура измерена је августа 1992. године.

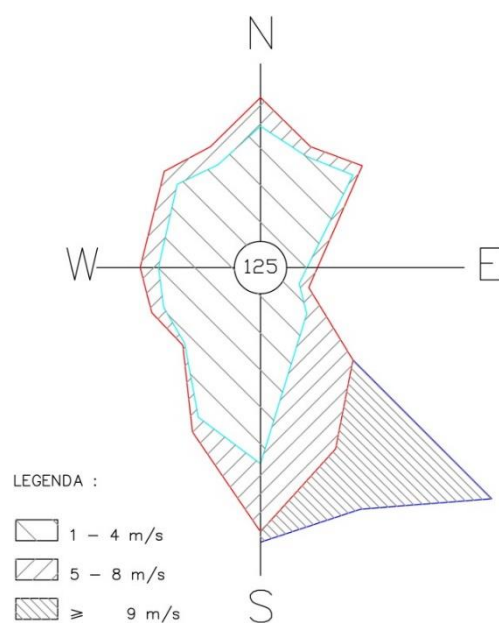
Релативна влажност ваздуха стоји у обрнутом односу са годишњим током температуре ваздуха, тако да су у хладнијем делу године вредности релативне влажности веће у односу на топлији део године, са изузетком ледених дана. Просечна годишња релативна влажност ваздуха износи 71%, док се максималне вредности јављају у децембру (80%) и јануару (79%) а минималне у априлу (66%), августу и септембру (67%).

Према подацима метеоролошке станице у Вршцу, средња годишња висина падавина износи 659 mm. Највећа количина падавина се излучи у јуну просечно 86 mm, а најмања у марту 32 mm. Највише падавина јавља се лети, просечно 223

mm или 33,8%, а најмање у јесен (138 mm или 21% од укупне годишње суме падавина). У периоду од 1949. до 2011. године уочавају се два екстрема 1999. године када је регистрована укупна годишња количина падавина у износу од 938,4 mm и 2005. са рекордних 982,9 mm воденог талога.

Трајање сијања сунца је климатски елемент важан за процену ризика од пожара. Најмању осунчаност имају децембар са 1,86 сати просечно по дану, а затим следи јануар са 2,34 дневно. Максималну средњу вредност трајања сијања сунца током дана има јули са 9,34 сата. Број осунчаних сати почиње да расте од јануара до јула, а потом да се смањује до децембра. Укупна средња просечна вредност годишње осунчаности износи 2213,2 часова.

Специфичност климе вршачког подручја манифестује се доминантном учесталашћу ветрова из јужног квадранта (Максимовић С. и други 1994) међу којима највеће брзине достиже кошава. Од октобра до јуна кошава може да достигне брзине преко 18 m/s, а у фебруару и новембру и преко 25 m/s. Струјања из западног и северног квадранта су честа током летњих месеци и обично су малих брзина, мада су последњих година регистроване епизоде рафалног ветра олујне јачине (август 2008.).



Слика 3. Ружа ветрова за подручје Вршца (извор: Недељков, Б. 2005.)



### 3.1.5. Вегетација Вршачких планина

Први подаци о шумској вегетацији овог подручја налазе се у радовима из 1901. и 1904. године (Bernatsky J.). Највећим делом Вршачке планине су покривене храстовим шумама (око 4000 ha). На најнижим деловима налазе се заједнице сладуна и цера (Ass: *Sedo maximi-Quercetum frainetto-cerridis* B. Jov. (79) 86). То су храстове шуме на благим нагибима, на јужној подгорини планина, на надморским висинама од 180 до 240 m. Констатоване су на више места у околини села Сочица и Месић, као и у подножју Коркане (Пекановић В. 1991). У овим шумским заједницама у спрату дрвећа осим храста доминира и црни јасен (*Fraxinus excelsior* L.), а велику бројност бележи и липа (*Tilia argentea* Desf., *Tilia cordata* Mill.), док су у спрату жбуња најчешће заступљени жешља (*Acer tataricum* L.), дрен (*Cornus mas* L.) и глог (*Crataegus monogyna* Jacq.) Међу зељастим биљкама, највећу покривност има шумска ливадарка (*Poa nemoralis* L.) и кукурек (*Helleborus odorus* L.). На крајњем североистоку Вршачких планина, у подножју Доњег Вршишора, на 200 до 250 m надморске висине налази се састојине сладуна (Свеза: *Quercion frainetto* Ht. 54.).

У спрату дрвећа доминантну улогу има сладун (*Quercus frainetto* Ten.), док се у спрату жбуња налазе дивља трешња (*Prunus avium* L.), дивља крушка (*Pyrus communis* L.), дрен и глог. На јужним, југоисточним и источним експозицијама, на надморској висини од 180 до 300 m, развијене су заједнице граба са сладуном и цером (Ass: *Carpino betuli-Quercetum frainetto-cerris* (Rud.) B. Jov. 79 ). Осим ових врста јављају се и црни јасен, липа, буква (*Fagus moesiaca* Czeaczott.) и клен (*Acer campestre* L.). Спрат жбуња је флористички богат. Најзаступљенији су глог и дрен, а затим следе дивља трешња, шипак (*Rosa canina* L.), крушка, ситнолисна липа и брест (*Ulmus glabra* Huds.). Незнатно учешће имају курика (*Euonymus europaeus* L.) и леска (*Corylus avellana* L.). Ова заједница може се рашчланити на више подзаједница. Посебан печат сладуново-церовој шуми са грабом на Вршачким планинама дају јагорчевина (*Primula veris* L.) и љубичица (*Viola odorata* L.)

На стрмим, оголелим падинама у околини села Сочица, забележена је заједница врло уског распрострањења. То је шума сладуна са маховином (Ass: Нурпо

*cupressiformis-Quercetum frainetto* B. Jov. 79). У близини Вршачке куле и на превоју Кулмеа маре, развијена је шума медунца, крупног медунца и црног јасена (Ass: *Phleo montani-Orno-Quercetum virgilianae* ass. nova). Ова шумска заједница је богата зељастим биљкама, међу којима су различак (*Centaurea cyanus* L.), хајдучка трава (*Achillea millefolium* L.), звончић (*Campanula glomerata* L.), детелина (*Trifolium campestre* Schreb.), мајчина душица (*Thymus rannonicus* All.) и перуника (*Iris variegata* L. ) која је на списку заштићених биљних врста на подручју Војводине. На Вршачким планинама развијене су и шумске заједнице хрста китњака и цера (Ass: *Quercetum petraeae-cerris* B. Jov (60) 79), које су нешто сиромашније врстама. Осим китњака, издваја се само цер и крупнолисна липа. Међу зељастим биљкама нешто већу покровност показује млечика (*Euphorbia curarissias* L.) и кострика (*Ruscus aculeatus* L.). На надморским висинама од 220 до 320 m, на нешто стрмијим падинама, налази се још једна састојина хрста-трансилванског китњака (Ass: *Poo nemoralis-Quercetum polycarpae* B. Jov. 79 ), у којој је знатно примешана липа. У спрату жбуња, осим клена, глога и дрена, расте и брест и клокочика (*Staphylea pinnata* L.). У овој заједници, међу зељастим биљкама, јавља се и шумска јагода (*Fragaria vesca* L.), љубичица и ђурђевак (*Convallaria majalis* L.). Велика пространства заузимају китњакове шуме са костриком и широколисном липом (Ass: *Rusco aculeati-Quercetum montanum* (E. Vuk. 66) B. Jov. 79). Од повијуша најзаступљенији је бршљан (*Hedera helix* L.) а од зељастих биљака љутић (*Ranunculus ficaria* L.), плућњак (*Pulmonaria officinalis* L.) и звончић. Осим кострике у китњаковим шумама има и веприне (*Ruscus huroglossum* L.), која се такође налази на списку заштићених биљних врста у Војводини. Посебну занимљивост представља заједница белограбића и китњака на Широком билу (Ass: *Carpino orientalis-Quercetum montanum* (Gaj. 61) B. Jov. 79), где се у спрату зељастих биљака може наћи кантарион (*Hypericum perforatum* L.). Белограбић је изразито топлољубива врста, карактеристична за медитеранско подручје, па је због тога, без обзира на мало распрострањење ова заједница изузетно значајна. На нешто већим надморским висинама, од 350 до 360 m, заступљена је заједница црног јасена и китњака (Ass: *Orno-Quercetum petraeae* (Lj. Bog. 55) Miš. 72). На надморским висинама од 200 до 400 m развила су се станишта китњака и граба са учешћем липе и врбе (Ass: *Aegopodio-Quercos-*

Carpinetum B. Jov. 79). Од зељастих биљка присутан је љутић, плућњак, напрстак (*Digitalis lanata* Ehrh.) и јагорчевина. Такође уз потоке, који пресушују током сушних летњих месеци, јављају се заједнице беле и крте врбе (Ass: *Salicetum albae-fragilis* Soo. (30,34) 58). У спрату жбуња има црне тополе (*Populus nigra* L.), жешље и павити (*Clematis vitalba* L.), а међу зељастим биљкама доста коприве (*Urtica dioica* L.), раставића (*Equisetum arvense* L.) и љутића. Ова заједница је под јаким утицајем човека, односно девастирана. На северним падинама Вршачког и Гудуричког врха, заступљене су заједнице липе и букве (Ass: *Tilio-Fagetum submontanum* (Jank. i Miš. 60) Miš. 72) у којој има млеча (*Acer platanoides* L.) и јавора (*Acer pseudoplatanus* L.) а од зељастих биљака мечјег лука (*Allium ursinum* L.) шумске јагоде, висибаве (*Galanthus nivalis* L.) и веприне. У виду оаза, на висини од 240 до 460 m надморске висине, налази се заједница млеча и белог јасена (Ass: *Aceri-Fraxinetum excelsioris* Čer. i B. Jov. 50), где је забележено присуство питомог кестена (*Castanea sativa* Mill.). У спрату жбуња има доста зове (*Sambucus nigra* L.) и клокочике. Заједнице широколисне липе и белог јасена (Ass: *Tilio-Fraxinetum excelsioris* B. Jov. (60) 77), јављају се у облику фрагмената. Ове асоцијације у спрату зељастих биљака имају претежно мезофилне врсте. Шумске културе углавном црног бора и багрема увећале су природну разноликост шума Вршачких планина.

Ливадска и ливадско-степска вегетација присутна је претежно у подножју планине као и у брдском појасу. Мочварне и мезофилне ливаде развиле су се дуж потока Месић, Гузајна и Физеш (Ass: *Agrostio-Juncetum effusi* Цинцовић 1959). Физиогномски најзначајније врсте ове заједнице су бела росуља (*Agrostis alba* L.) и зуква (*Juncus effusus* L.). Долинске ливаде су такође ограниченог распрострањења, углавном у долинама поменутих потока, на надморским висинама у интервалу од 110 до 150 m. Свеза *Trifolion pallidi* (Плијанић 1969) представљена је са 2 асоцијације *Ranunculo steveni-Alopecuretum pratensis* (Вучковић, М. (1988) 1991) и *Ornithogalo pyramidale-Trifolietum pallidi* (Вучковић, М. (1988)1991). Најзначајније врсте ових ливада су љутић (*Ranunculus steveni* Andrz.), осјак (*Cirsium canum* (L.) All.), птичје млеко (*Ornithogalum pyramidale* L.) и детелина (*Trifolium pallidum* Waldst. & Kit.).

Највеће распрострањење на Вршачким планинама имају брдске ливаде које су развијене и у највећем висинском дијапазону (од 160 до 450 м н.в). Доминантна асоцијација је *Inulo salicinae-Calamagrostietum epigeio* (Вучковић, М.(1988)1991). Велика распрострањеност овог типа вегетације на Вршачким планинама је вероватно последица тога што едификаторску врсту, обичну шашуљицу (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth.) одликује широка еколошка амплитуда. Асоцијација *Cynosuro cristati-Agrostietum capillaris* (Вучковић, М. (1988) 1991) се развија на благим падинама брежуљака и плакорним положајима на око 200 m надморске висине (Ковачевић Б. и Хабијан-Микеш В., 2005). За њу су карактеристичне врсте обична росуља (*Agrostis capillaris* L.), чешљика (*Cynosurus cristatus* L.) и невенка (*Xeranthemum foetidum* Moench).

Укупан флористички диверзитет масива резултат је географског положаја на граници три различите биљногеографске провинције: Панонске, Западно мезијске провинције и Влашке провинције (по неким ауторима Дацијске).

### **3.2. Сателитски снимак WorldView-2 (WV2)**

Претпоследњи сателит WorldView-2 компаније DigitalGlobe® лансиран је 8. октобра 2009. године из Вандерберг војне базе у Калифорнији а постао је у потпуности оперативан јануара 2010. Панхроматски канал добијен овим оптичким сензором који се испоручује корисницима, има просторну резолуцију у надиру од 0.5 m док су мултиспектрални канали резолуције од 1.84 при надиру и 2.08 m на 20° од надира (Madden K. C. 2011). Орбита је на висини од 770 km, синхронизована са Сунцем, периодом од 100.2 минута и пролазом у спуштању преко Екватора приближно у 10:30 што омогућава период револуције од 1.1. дана. Минимална ширина појаса при надиру је 16.4 km, унутрашња меморија 2199 Gb а динамички опсег 11 бита по пикселу. Мултиспектрални скенер опажа зрачење у укупном опсегу од 396.0 до 1042.5 nm који се региструје у 8 канала центрираних у следећим таласним дужинама: морско плава (427.3), плава (427.3), зелена (546.2), жута (607.8), црвена (658.8), гранично црвена (723.7), близу инфрацрвена 1 (831.3) и близу инфрацрвена 2 (908.0). Спектрални одговор канала дефинисан је количником регистрованог броја фото-електрона и зрачењем у одређеним

таласним дужинама на отвору бленде телескопа. Приликом конверзије у зрачење са границе атмосфере потребно је користити ефективну ширину канала која се налази у метаподацима сателитског снимка односно у запису .IMD формата (Urdike T. et Comp S., 2010).

Табела 1. Ефективне ширине канала WorldView-2 (Извор: DigitalGlobe<sup>®</sup>, 2010.)

Назив канала	Ефективна ширина канала- $\Delta\lambda$ [nm]
Панхроматски	284.6
Морско плави	47.3
Плави	54.3
Зелени	63.0
Жути	37.4
Црвени	57.4
Гранично црвени	39.3
Блиски инфрацрвени 1	98.9
Блиски инфрацрвени 2	99.6



Слика 4. Фотографија свемирске летилице WorldView-2 (извор: DigitalGlobe®,2009)

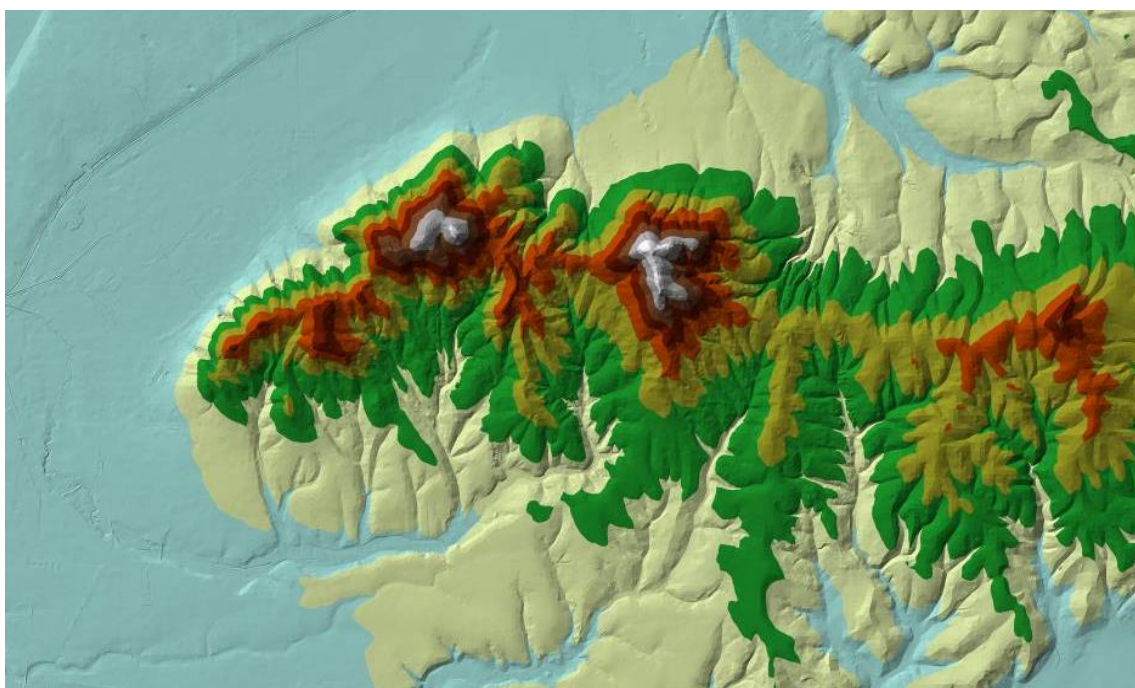
### 3.3. Дигитални модел терена-ДМТ и дигитални модел висина-ДЕМ

Дигитални модел терена (енг: Digital terrain model-DTM) најчешће је представљен векторским подацима у виду мреже непреклапајућих троуглова са оригинално мереним тачкама у теменима и неопходан је у поступку прецизне орторектификације. Распоред тачака у моделу може бити и правилан када се користи мрежа квадрата (енг: regular square grid- RSG). Тачке неопходне за израду дигиталног модела терена могу се добити директним мерењем на терену,

фотограмметријом, дигитализацијом изохипси, ласерском алтиметријом и радарским снимањем.

Дигитални модел висина је термин који се користи за базе које имају GRIDNU структуру код којих се у чвориштима, углавном квадратне решетке, налазе подаци о висинама који су добијени применом интерполационих алгоритама над иницијално мереним тачкама. (Бајат Б. и Штрбац Д. 2003). Дигитални елевациони модели представљени су растерским форматом са просторном резолуцијом одређеном растојањем између тачака грида. Методе интерполације висина које се најчешће користе су кригинг, метода инверзног растојања и метода триангулације са линеарном интерполацијом.

Као резултат аерофотограмметријске кампање 2004. године, дигитални модел терена Вршачких планина добијен је стереореституционим процесом. Након интерполације добијена је мрежа пиксела просторне резолуције 3 m пута 3 m са декларисаном тачношћу од једног метра.



Слика 5. Дигитални елевациони модел Вршачких планина (Штрбац, О. 2009.)

### 3.4. Глобални позициони систем-ГПС

Успостављање Глобалног позиционог система (ГПС) покренуто је од стране Министарства одбране Сједињених америчких држава (USA Department of Defence – DoD) 1970. године, па се самим тим систем налази под њиховом контролом. Први ГПС сателит лансиран је 1978. године. Иако је устаљени назив ГПС тачан назив система је NAVSTAR (Navigation System for Timing and Ranging). Руска Федерација (раније СССР) од 1982. године успоставља нови ГПС, систем под називом GLONASS (Global Navigation Satellite System).

Позиционирање се врши унутар референтних површи од значаја за геодетско позиционирање као што су Земља, геоид (површ која физички апроксимира Земљу), елипсоидне површи и тела и друге математичке фигуре Земље (сфера, раван,...). Основни параметри последњег реализованог система WGS84 одређени су по принципима за дефинисање површи обртног елипсоида. Модел WGS84 референтног система има дефинисан почетак (који се поклапа са центром масе Земље укључујући океане и атмосферу), размеру (јединицу за дужину метар) и оријентацију (која је иницијално дефинисана у оквиру Међународног бироа за време (ВН<sup>6</sup>) епоха 1984.0.

ГПС систем се састоји из 4 сегмента: космичког, контролног, корисничког и терестричког. Космички сегмент обухвата сателите и њихову констелацију. ГПС сателити у ствари представљају носеће платформе за радио пријемнике и одашиљаче, рубидијумске и цезијумске атомске часовнике, затим компјутере и друге електронске уређаје који су потребни за позиционирање и навигацију. Да би обезбедили електричну енергију која је потребна за функционисање ових електронских компоненти, ГПС сателити су опремљени соларним панелима. Осим тога опремљени су и реакционим точковима за контролу стања и млазним системом који служи за корекцију орбите (Гучевић Ј. и Делчев С. 2011). Контролни сегмент се састоји од укупно пет станица за праћење (Colorado Springs, Hawaii, Ascension Island, Diego Garcia, Kwajalein Island) при чему су четири Земалске антене које служе за комуникацију са сателитима и пета представља контролни центар. Задатак оперативног контролног система (OCS) је да одржава ГПС сателите у тачно предвиђеним орбитама, затим да коригује стања



сателитских часовника и других електронских компоненти, да генерише навигационе поруке и да управља премештањем сателита и њиховом заменом у случају квара. Кориснички сегмент подразумева све врсте стационарних и покретних ГПС пријемника који оперишу на физичкој површи Земље, сувоземним, поморским, ваздухопловним платформама и нисколетећим сателитима а служе у цивилне и војне сврхе. Терестрички сегмент обухвата глобалне, регионалне и локалне мреже перманентних ГПС станица, развијених потпуно независно од самог NAVSTAR система. Најзначајнију глобалну инфраструктуру те врсте представља Међународна GNSS служба (IGS<sup>19</sup>), коју је Међународна геодетска асоцијација (IAG) успоставила 1993. године, са задатком да промовише стандарде за прикупљање и анализу ГПС података, и омогући геонаучна истраживања најширег спектра

За позиционирање у оквиру истраживања коришћен је пријемник MobileMapper 100 компаније Ashtech са 45 канала и оперативним системом Windows Mobile 6.5 који уз постпроцесирање може достићи и испод метарску тачност.



Слика 6. Пријемник MobileMapper 100 (Извор: Ashtech, 2010)

### **3.5. Програмски пакети**

#### **3.5.1. AutoCAD® Map 3D**

ГИС алати у AutoCAD® Map 3D програмском пакету омогућавају визуализацију просторних података кроз упите, зонирање, анализе преклапањем тематских мапа и формирање извештаја. Напредним алгоритмима омогућено је креирање и претраживање координатних система као и трансформације и геореференцирање. Постигнут је и директан приступ многим изворима просторних и топографских података коришћењем технологије отвореног кода (енг: Feature Data Object- FDO). Омогућена је манипулација ESRI датотекама као и коришћење база: Oracle, Microsoft SQL Server, PostGIS, PostgreSQL, SQLite, and MySQL. Побољшано је придруживање атрибута из Excel-ових табела као и увоз података добијених теренским мерењима, пре свега ГПС-ом. Посебни модули успешно се користе за формирање површина од облака тачака и изохипси, као и за визуализацију и анализе дигиталног елевационог модела и датотека у форми грида.

AutoCAD® Map 3D је већином коришћен приликом дигитализације већ постојећих скенираних мапа.

#### **3.5.2. MobileMapper Field & Office Software**

MobileMapper Field је теренски софтвер намењен за мобилне, ГИС апликације. Прикупљање ГИС података почиње креирањем датотека у .map или .dxf запису. После креирања карте врши се додавање или креирање профила (layers), кроз које се дефинишу типови 2Д или 3Д карактеристика које ће се прикупљати на терену, као што су тачке, линије или полигони (енг: points, lines or polygons ) као и њихови атрибути (слике, звучне ознаке итд). MobileMapper Field ће сачувати слојеве као одвојене .shp датотеке (плус придружене .shx и .dbf фајлове) или у .dxf формату. Такође постоји могућност прикупљања сирових података (.raw формат) на основу којих се касније кроз постпроцесирање коришћењем MobileMapper Office канцеларијског софтвера повећава тачност мерења. Постоје три типа прикупљања

података: аутоматски по временском интервалу (аутоматско прикупљање података по кориснички дефинисаном временском интервалу који је изражен у секундама), аутоматски по дужини (аутоматско прикупљање података по кориснички дефинисаном дужинском интервалу који је изражен у метрима) и мануално (овим типом прикупљања података снимају се тачке или преломне тачке линије или полигона на месту по избору корисника). Након што се резултати мерења унесу у рачунар програмом MobileMapper Office, осим постпроцесирања, могу се вршити мерења растојања и површина, увозити слојеви у .shp запису а извозити у ASCII .csv и Google Earth .kml екстензији.

### **3.5.3. Microsoft Excel**

Microsoft Excel је софтверски алат за анализу података. Могућности коришћења су бројне, попут организације података, стварања листа или мањих база података. Садржи алате који омогућују креирање таблица и генерисање графикана из података у прорачунским таблицама. Датотека MS Excelsa је већини корисника позната као радна књига. Свака радна књига састоји се од једног или више радних листова (енг: worksheet). Сваки радни лист састоји се од редова и колона. Овај програмски пакет коришћен је за рачунање коефицијената неопходних за израду тематских мапа угрожености од флувијалне ерозије.

### **3.5.4. WindNinja**

WindNinja је компјутерски програм који израчунава кретање различитих струјања ветра на основу метеоролошких података. Посебно је дизајниран да симулира ефекат терена на струјање ветра. Неопходни улазни подаци за основну примену су: надморска висина у виду дигиталног елевационог модела, просечна брзина и правац ветра на висини од 10 m и спецификација доминантне вегетације моделираног подручја. Датотеке са којих се могу учитати надморске висине у овом програму су ASCII Raster (\*.asc), FARSITE landscape file (\*.lcp), GeoTiff (\*.tif) и ERDAS IMAGINE (\*.img). Доминантан тип вегетације бира се из падајућег менија, док се правац и брзина ветра, као и резолуција уносе у

одговарајућа поља. Овим програмом могу се добити различити формати излазних датотека, који се даље могу користити као улазни подаци за ГИС, Google Earth, у инжењерским и програмима за моделирање пожара. Приликом одређивања степена ширења ватре у програмском пакету GRASS GIS, коришћења је векторска карта у .shp запису настала као излазни податак овог програма.

### **3.5.5. GRASS GIS**

Geographical Resources Analysis Support System (GRASS) је један од највећих бесплатних ГИС алата који је развијен за потребе америчке војске у периоду од 1982. до 1995. године. Овај софтверски пакет отвореног изворног кода користи се за обраду и анализу растерских и векторских података, израду карата, просторно моделовање и визуализацију. Крајњи корисник може анализирати постојеће методе, разумети њихову функционалност и модификовати програм према својим потребама. Дозвољен приступ изворном коду је посебно значајан за географске информационе системе јер постојећи алгоритми су често комплекси и имају велики утицај на резултате просторне анализе и моделовања (Neteler, М. et Mitasova, Н. 2002). Његове предности су велики број модула за анализу и визуализацију, могућности обраде различитих формата података и добра подршка програмерске и корисничке заједнице. Анализа угрожености од флувијалне ерозије, моделовање степена ширења шумских пожара као и већина тематских карата насталих током истраживања израђена је помоћу овог програмског пакета.

### **3.5.6. gvSIG**

gvSIG (Generalitat Valenciana Sistema d'Informació Geogràfica) је пројекат започет 2003. године у Шпанији с циљем да се створи програм сличне функционалности као комерцијални софтвер ESRI ArcView. Омогућава рад са различитим форматима података, може се покренути на Windows, Linux и Mac OS X платформи и подржава везу на PostGIS базу података. Алати за трансформацију

растерских података из једног у други координатни систем показали су се поузданији у односу на GRASS и због тога су у ту сврху и коришћени.

### **3.6. Предходна обрада улазних података**

#### **3.6.1. Поступак корекције сателитског снимка WorldView-2**

WorldView-2 је пасивни сензор који детектује електромагнетно зрачење Сунца у виду сигнала који зависи од рефлексије са површине Земље и два атмосферска процеса: апсорпције од стране гасова и расипања о молекуле и аеросол. У идеалном случају (без атмосфере) соларна радијација осветљава површину. Део фотона бива апсорбован на површини док се преостали фотони одбијају назад. Због тога, измерена радијација директно зависи од особина површине и представља користан сигнал онолико колико детерминише актуелну рефлексију. У стварности (реалном случају), атмосфера омета сигнал. Само делић фотона са циљане површине доспева до сензора на сателиту, обично 80 % са таласном дужином од 0,85  $\mu\text{m}$  и 50 % са таласним дужинама до 0,45  $\mu\text{m}$ . Неке фотоне апсорбују аеросоли или атмосферски гасови, пре свега  $\text{O}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ , и  $\text{N}_2\text{O}$ . Фотони се пре свега расипају на путањи од Сунца ка површини Земље. Они који се одбију о честице атмосфере и врате се назад у свемир, такође имају свој удео у радијационој равнотежи, уносећи сигнал који представља сметњу јер не носи никакву информацију о истраживаној површини. Преостали фотони који представљају дифузну компонентну, крећући се расутим путањама доприносе осветљавању површине Земље. Они се одбијају од површине и поново расипају кроз атмосферу на путањи ка сензору. Коначно, трећу компоненту осветљавања чини део фотона који се одбио од површине до атмосфере, а затим поново расуо ка површини.



Слика 7. Илустрација зрачења кроз атмосферу (Штрбац, О., 2016)

Услед молекуларне и аеросолне апсорпције и расејања долази до слабљења оптичког зрачења. Уколико су честице димензија знатно мањих од таласне дужине зрачења јавља се Рејлијево расејање а уколико су упоредивих вредности доминантно је Мијеово расејање. У капима кише, магли и честицама прашине јавља се неселективно расејање које укључује три процеса: рефлексију од површине аеросола, рефракцију од ивица и пенетрацију кроз аеросол.

Под претпоставком да површина показује униформну рефлексију према Ламбертовом закону и ако се занемари утицај атмосфере на зрачење, различите измерене вредности ће бити изказане изразом еквивалентне рефлексије  $\rho^*$  који је дефинисан као:

$$\rho^* = \frac{\pi L}{\mu_s E_s} \quad (1)$$

где је  $L$  измерено зрачење (радијација),  $E_s$  соларни флуks на граници атмосфере,  $\mu_s = \cos(\theta_s)$ , и  $\theta_s$  је зенитни угао Сунца.

Због различитих нивоа осветљености и углова под којим се светлост са површине Земље одбија у атмосферу, потребно је одредити функцију дистрибуције двосмерне рефлексије која је од изузетног значаја за одређивање спектралних одговора различитих типова земљишног покривача на сателитском снимку.

На зрачење детектовано сателитима осим атмосфере утичу и карактеристике самог сензора, ниво осветљености и угао под којим се сцена снима.

Због тога је пре анализе и интерпретације сателитског снимка неопходно извршити неке од типичних корекција попут редукције шума, геометријске и радиометријске корекције која се постиже калибрисањем сензора, атмосферском, соларном и топографском корекцијом.

Корисницима се испоручује делимично радиометријски коригован WorldView-2 сателитски снимак са дигиталним бројевима у пикселу који су калибрисани вредностима појачања (gain) и померања (offset) карактеристичним за сваки појединачни канал. Калибрациони коефицијенти из метаподатака израчунати су на основу мерења зрачења на терену и на основу функције расподеле двосмерне рефлексије која је одређена у лабораторији. Овим процесом дигитални бројеви су конвертовани у спектрално зрачење у пикселу. Други корак у обради сателитског снимка је превођење у зрачење са границе атмосфере применом следеће формуле што захтева (Urdike, T. et Comp, C. 2010):

(2)

$$L_{\lambda_{Pixel,Band}} = \rho_{\lambda_{Pixel,Band}} \frac{\tau_{v\lambda} \tau_{s\lambda} E_{\lambda} \cos(\theta_s)}{d_{ES}^2 \pi} + L_{\lambda}^{sd} + L_{\lambda}^{sp}$$

где је  $L_{\lambda_{Pixel,Band}}$  просечно зрачење са граница атмосфере у пикселу [ $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$ ],  $\rho_{\lambda_{Pixel,Band}}$  рефлексија са границе атмосфере за дати канал [ $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$ ],  $\tau_{v\lambda}$  и  $\tau_{s\lambda}$  атмосферске спектралне пропустљивости, је  $d_{ES}$  је удаљеност Земље од Сунца у тренутку аквизиције снимка [AU],  $\pi$  је математичка константа приближно 3.14159,  $E_{sun_{\lambda_{Band}}}$  је просечна соларна спектрална ирадијација за дати канал и  $\theta_s$  је зенитни угао Сунца за сателитски снимак који се обрађује, изражен у степенима.

Због закошења изазваног ротацијом Земље, централне пројекције, варијације у номиналној величини пиксела у природи, деформација услед утицаја рељефа,

тангентијалне дисторзије размере, промена алтитуде и атитуде неопходно је извршити и геометријску корекцију снимка. Несистематске дисторзије слике коригују се лоцирањем равномерно распоређених контролних тачака на снимку, чији је положај препознатљив (раскрснице путеви, аеродроми....). Њихове координате одређују се ГПС мерењима или преношењем са прецизних карата. Геометријска ректификација постиже се трансформацијом дигиталних вредности из координатног систем сировог снимка у координатни систем карте применом одређеног математичког модела који зависи од врсте систематских грешака које треба уклонити. Уколико су контролне тачке правилно распоређене оне се боље моделирају трансформацијом полиномом вишег реда, при чему се одређивање параметара изабраног математичког модела изводи изравњавањем методом најмањих квадрата. Инверзном трансформацијом сваком пикселу излазне матрице додељује се позиција у матрици улазне слике, док се интерполацијом интензитет одређене локације са улазне слике преноси на ректифициковане координате излазне слике методом најближег суседа, билинеарном интерполацијом или кубном конвулзијом.

### **3.6.2. Вегетациони индекси коришћени у истраживању**

Типичан спектар рефлексије вегетационог покривача може се поделити на 3 дела, видљиви (0.40 –m 0.70  $\mu\text{m}$ ), блиски инфрацрвени NIR (0.701 – 1.3  $\mu\text{m}$ ) и средњи инфрацрвени (1.301 – 2.5  $\mu\text{m}$ ). Највећи утицај на спектрални одговор лишћа и четина имају пигменти, садржај воде, угљеника и азота. У спољном омотачу или у палисадним ћелијама листа у мезофилу, пигменти хлорофил-а и хлорофил-б су главни апсорбенти зрачења у видљивом црвеном делу спектру у опсегу од 0.6 – 0.7  $\mu\text{m}$ . Каротен (жути до наранџасто-црвени пигмент одговоран за боју неких цветова, плодова и листова без хлорофила) и ксантофил (карактеристичан за боју лишћа ујесен) имају јаку апсорпцију плавих таласних дужина у опсегу од 0.35 – 0.5  $\mu\text{m}$ . Сунђерасте ћелије мезофила које се налазе у унутрашњости или на наличју листа рефлектују блиску инфрацрвену светлост (NIR) док црвена граница (red-NIR) означава границу између апсорпције од стране хлорофила у црвеном видљивом опсегу и расипања у блиском инфрацрвеном



региону, захваљујући унутрашњој структури. Овај концепт је база за вегетацијски индекс који су 1969. године детерминисали Kriegler са сарадницима као вегетацијски индекс нормализованих разлика – NDVI (García, S.G. et al. 2012.):

(3)

$$NDVI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{RED})}{(\rho_{NIR} + \rho_{RED})}$$

где је  $\rho_{NIR}$  измерена рефлексија у блиском инфрацрвеном каналу а  $\rho_{RED}$  рефлексија у видљивом црвеном каналу. Вредности овог индекса крећу се у распону од -1 до 1, при чему вредности близу 0 указују на земљишни покривач без вегетације.

Садржај воде у горивом материјалу утиче на температуру потребну за иницирање шумског пожара а може се проценити индексом воде WBI (енг. „Water Band Index“). Са повећањем воде у лишћу повећава се апсорпција у таласним дужинама око 970 nm у односу на опсег близу 900 nm (Peñuelas et al 1993):

(4)

$$WBI = \frac{\rho_{970}}{\rho_{900}}$$

при чему је  $\rho_{970}$  рефлексија измерена на таласној дужини од 970 nm а  $\rho_{900}$  рефлексија при таласној дужини од 900 nm. Уобичајене вредности за зелену вегетацију су у распону од 0.8 до 1.2.

За утврђивање процеса лигнификације биљног ткива у употреби је индекс „старења“ (енгл. PSRI „Plant Senescence Reflectance Index“) који је исказан као количник рефлексије алфа и бета каротина према хлорофилу ( Merzlyak, M. N. et al. 2010):

(5)

$$PSRI = \frac{\rho_{680} - \rho_{500}}{\rho_{750}}$$

где су  $\rho_{680}$ ,  $\rho_{500}$  и  $\rho_{750}$  ускопојасни опсеци за таласне дужине од 680, 500 и 750 nm. Вредности овог индекса за вегетацију пре почетка процеса старења крећу се у распону од -0,1 до 0.2. Веће вредности указују на одрвењавање и одумирање

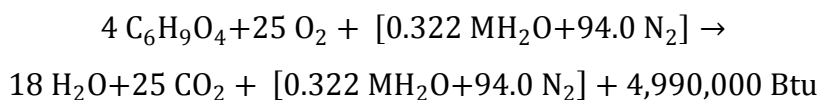
биљног ткива што је значајно за детерминацију мртвог горивог материјала приликом процене ризика од шумског пожара.

### 3.7. Шумски пожари

Појава неконтролисане ватре и њено ширење у виду шумског пожара наноси огромну штету животној средини, биодиверзитету и економији једне земље. То је нарочито уочљиво у пошумљеним областима Јужне Европе. У периоду од 2000. до 2006. у Француској, Португалу, Италији, Грчкој и Шпанији просечно је годишње изгорело нешто више од 450 000 хектара шумског земљишта. Само у 2007. години која је била изузетно сушна, у Италији и Грчкој изгорело је по 500 000 хектара (Bassi, C. et al. 2008). У суседној Републици Хрватској у раздобљу од 1992. до 2007. забележено је 4851 шумских пожара при чему у опожареној површини медитерански крш партиципира са чак 97% (Јурјевић, П. и др. 2009). У периоду од 1. јуна до 8. августа 2007. на подручју хрватског приморја појавило се 750 шумских пожара укупне опожарене површине од 159 000 хектара. Према подацима ЈП “Србијашуме” у протеклих десет година на територији републике, у пожарима је изгорело око 170 000 хектара шуме, док подаци Министарства пољопривреде, шумарстава и водопривреде до септембра 2007. године, показују да је у Србији евидентирано 258 шумских пожара површине 33 229 хектара који су изазвали материјалну штету процењену на 40 милиона динара (Дуцић, В. и др. 2011). Током 2012. године у 328 забележених шумских пожара већих размера опустошено је око 20 000 хектара док је петнаестог јула те године регистровано чак 212 пожара (Радовановић, М. М. и др. 2015).

Три неопходна елемента за избијање пожара која чине пожарни троугао су: гориви материјал, извор топлоте и ваздух (кисеоник). Упрошћена формула хемијске реакције за сагоревање дрвета са количином влаге од М % од његове тежине у сувом стању гласи (Byram, G. M. 1959):

(6)



при чему Британска термална јединица Btu приближно износи од 1.054 до 1.060 kJ или 0.293071 W·h.

Гориви материјал у шуми састоји се од разноврсног биљног покривача, живог и мртвог горива. Топлотни извор, најчешће у виду варнице, баченог опушка или запаљене шибице у почетној фази загрева гориви материјал од 100 до 200 °C, што иницира испаравање воде и појаву запаљивих гасова који горењем подижу температуру на 300 до 600 °C (Веселиновић М. и Миленковић С. 2007). Дрво се у току бурног процеса горења разлаже и у виду угља наставља да гори и развија температуру и до 1000 °C. Уколико у непосредној близини има хомогеног горивог материјала створени су услови за почетну фазу шумског пожара. Материјал који сагорева обезбеђује неопходну топлоту околном материјалу до тачке паљења на 3 начина:

1. Преносом топлоте топлотним (електромагнетним) таласима односно радијацијом-зрачењем;
2. Прелазом топлоте премештањем честица гаса или течности (конвекцијом);
3. Провођењем топлоте са честице на честицу директним контактом са места више ка месту ниже температуре (кондукција).

У одсуству ветра радијација има кључну улогу у загревању горивог материјала и може се сумирати Стефан Болцмановим законом за објекте који немају особине идеалног црног тела:

(7)

$$q = \varepsilon \sigma T^4 A$$

при чему је  $\varepsilon$  емисиони коефицијент објекта,  $\sigma = 5.6703 \cdot 10^{-8}$  (W/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>) Стефан-Болцманова константа,  $T$  апсолутна температура (K) и  $A$  површина тела које емитује (m<sup>2</sup>).

Конвекцијским струјама ватра се пење од подраста до високе вегетације и може се упрошћено описати Њутновим законом хлађења:

(8)

$$q = h_c A dT$$

где је  $q$  топлота која се преноси у јединици времена (W/h; Btu/h),  $h_c$  коефицијенти трансфера топлоте конвекцијом (W/(m<sup>2</sup>); W/(m<sup>2</sup>/°C); Btu/(ft<sup>2</sup> h °F),  $A$  површина са које се преноси топлота (m<sup>2</sup>;ft<sup>2</sup>) и  $dT$  температурна разлика између површине и флуида (K; °C; F).

Кондукцијом се најчешће развија подземни пожар а изражава се Фуријеовим законом:

$$q = k AdT/s \quad (9)$$

где  $q$  означава трансфер топлоте (W; J/s;Btu/h),  $k$  термални кондуктивитет материјала (W/m K; W/m °C; Btu/(h °F ft<sup>2</sup>/ft)),  $A$  површина са које се преноси топлота (m<sup>2</sup>;ft<sup>2</sup>) и  $dT$  температурна разлика у самом материјалу (K; °C; F).

Услов за спречавање неконтролисаног ширења ватре на отвореном простору је познавање 3 основне групе фактора који највише утичу на сам процес:

1. Гориви материјал
2. Климатски услови
3. Услови терена.

### 3.7.1. Врсте и узроци појаве шумских пожара

Шумски пожари се према начину настанка деле на неконтролисане и планиране. Планираним пожарима који су под контролом стручњака смањује се количина горивог материјала па се зато примењују као превенција од нежељених шумских пожара. Потенцијални изазивачи стихијских пожара су људске активности и природне појаве, понајвише пољопривреда, туризам, лов и риболов, као и електрична пражњења у атмосфери у виду муња и грома. На основу типа горива шумски пожари могу бити: подземни, приземни, високи и пожари стабла у осами.

Подземни или пожар тла захвата тресетне и хумусне слојеве испод шумске простирке, тешко се открива и гаси. Најчешћи шумски пожар који се јавља у Србији је приземни који захвата стељу и доњи спрат шуме (подмладак и подстојно жбуње). Код високог шумског пожара ватра прескаче са једне крошње на другу и потпомогнута јаким ветром може уништити велике комплексе шума.

Пожар стабала осаме настаје или природним путем од удара грома или га могу изазвати несавесни излетници или непажљиви шумарски радници.

### 3.7.2. Гориви материјал

Гориво у шуми је сав живи и мртви биљни материјал који може да се запали. Шумски пожари се разликују у зависности од типа и категорије горивог материјала, према укупној количини материјала које сагорева и према интензитету горења. Према типу разликујемо ситни и крупни гориви материјал и зелену масу. У ситни, лако запаљиви гориви материјал спадају опале четине, лишће, шишарке, отпаци коре, иверје и гранчице које леже на земљи. Ситни материјал се брзо суши и лако пали због чега се на местима где преовладава најчешће појављују иницијални пожари. Крупни гориви материјал се састоји од стабала, дебелих грана, лежевине, пањева и жила и углавном се не може запалити без присуства ситног материјал који гори али га је теже угасити јер има тенденцију да гори дуже време. Зелена маса се састоји од лишћа и четина на дрвећу, зелене траве, жбуња, изданака, избојака, шипражја и младих биљака. Према америчкој класификацији гориво се класификује у 4 категорије на основу његове вертикалне заступљености: подземно, приземно, повијуше и пузавице, као и крошње дрвећа. Тресет и хумус у дубљим слојевима органске простирке, пањеви, мртво корење, делови коренових жила спадају у подземни гориви материјал док стеља, сува трава, остаци коре и доњи спрат шуме до висине од 2 m спадају у приземно гориво. Пузајући гориви материјал је онај који обезбеђује вертикални континуитет између горива подраста или другог (средњег) спрата и горива у крошњама дрвећа. Састоји се од пузавица и повијуша, лишћа које пада као завеса и полумљених грана које висе. У крунама дрвећа које формирају горњи спрат може се развити високи пожар који је нарочито опасан за борове састојине јер је довољна температура од 62 °C да младе културе буду потпуно уништене (Веселиновић М. и Миленковић С. 2007). За потребе моделирања шумског пожара у употреби је и подела на 6 слојева и 4 типа горивог материјала. Најнижи је приземни слој горива у стању распадања одмах изнад земље (eng. duff). Следећи је слој отпадног материјала који се налази изнад приземног слоја а састоји се од

отпалих грана и лишћа и четина које се нису још увек почеле разграђивати (eng. litter). Затим следи слој посеченог материјала и палих стабала настао након проређивања шуме (eng. slash). Посебне слојеве чине трава (eng. grass), грмље (eng. bush) и крошње дубећих стабала (eng. trees). У односу на тип горивог материјала, подела је извршена у зависности да ли се ради о живом или мртвом гориву у складу са величином горивих честица. Живо гориво обухвата зелену масу која садржи 50% до 300% више воде у односу на мртво гориво. Уколико су честице мање или једнаке од 5 mm у пречнику ради се о фином мртвом гориву, за оне од 5 mm до 2 cm реч је о средњем а за веће од 2 cm о крупном мртвом гориву.

### **3.7.2.1. Физичке особине горивог материјала**

Примарне физичке особине које утичу на сагоревање и кретање ватре су величина, облик, количина и распоред. Велике гориве честице захтевају више топлоте да би се запалиле и сагореле за разлику од мањих које имају већу површину наспрам запремине што резултира лакшим преносом топлоте. За мртво гориво карактеристичне су „класе кашњења“ (eng. time-lag classes), одређене на основу релације са моментом у коме се мења садржај воде. Фини гориви материјал у виду опалих четина и лишћа је у класи 1-часовног горива које се пали брзо и гори лако док је већим честицама 10-часовног, 100-часовног и 1000-часовног горивог материјала потребно више топлоте како за паљење тако и за сагоревање. Облик горивог материјала одређен је односом површине према запремини и најчешће се изражава у  $\text{cm}^{-1}$  (Бодрожић, Љ. и др 2005). Висока вредност ове релације указује на гориви материјал попут иглица бора и опалог лишћа, који има мањи капацитет за топлоту и захтева мање загревања за паљење (Вугат, G. M. 1959). Количина горива исказује се биомасом по јединици површине у  $\text{kg/m}^2$ ,  $\text{t/ha}$  или у  $\text{tons/acre}$ . Део горива које ће изгорети под скупом околности специфичних за појаву ватре назива се доступно или активно пожарно гориво. Распоред или количина горивог материјала у јединичној запремини простора одређени су степеном сабијености и начином распрострањања и израчунавају се као количник између количине горива и укупне запремине простора. Густо сабијен гориви материјал успорава евапорацију и проток

кисеоника и тиме сузбија паљење и горење. Обрнуто, растресито гориво поспешује испаравање и циркулацију ваздуха и на тај начин омогућава брзо паљење и горење. Опале иглице бора и горњи слој приземног спрата су примери горива са ниским коефицијентом збијености за разлику од живих гранчица које су класичан пример густо збијеног горива. За сваку величину честица горива постоји оптималан коефицијент збијености при коме је пренос топлоте и сагоревање најефикасније (Burgan R. E. et Rothermel R. C. 1984). Распоред и континуитет, односно у којој мери су насlage горивог материјала равномерно распоређене описују се хоризонталном и вертикалном расподелом горива (Pyne, S. J. et al. 1996).

### **3.7.2.2. Хемијске особине горивог материјала**

Хемијске особине горива утичу на количину топлоте и типове емисија које се испуштају током пожара. Гориви материјал у шуми обухвата живе биљке и делове мртвих биљака који се састоје од следећих једињења:

- Целулоза (од 35 до 55%) - високомолекуларни угљоводоник ( $n = 2500-31000$ ) који се састоји од полимера  $(C_6H_{10}O_5)_n$ ;
- Хемицелулоза (15 до 25%) - угљенични полисахарид сличан целулози који се може наћи у ћелијском зиду многих биљака;
- Лигнин (15 до 25%) – тродимензионални полимер који се састоји од 3 фенилпропионска алкохола: кумарил, кониферил и синапил алкохола (Ковач, В. М и др 2000);
- Танини (15 до 30%) – полифенолна једињења која се налазе у флоему и ксилему младог ткива, кори, пупољцима, лишћу, семену и плодовима;
- Терпени и њихови деривати који образују смоласте материје које су веома запаљиве;
- Масне киселине, шећери, хидрокарбонати, алкохоли и други екстрати који су лако испарљиви.
- Фурански састојци који настају термодеградацијом хемицелулозе међу којима је најзначајнији фурфурил и 5-хидроксифурфурал (Ковач, В. М и др 2000);

- Минерални пепео (Si, Ca, Mg, K, итд) који се налазе у малим концентрацијама.

Дрвенаста горива садрже много целулозе, лигнина и хемицелулозе, док лишће има велики садржај екстрата. Релативни однос ових састојака утиче на особине паљења, горења и гашења горива преко запаљивости на нивоу честица.

Енергетска или калоријска вредност горивог материјала представља количину топлоте коју јединична маса горива ослобађа и мери се у kJ/kg или Btu/lb. Типичне вредности за шумски гориви материјал су од 18 000 до 22 000 kJ/kg док се као стандардна вредност у прорачунима користи 18 620 kJ/kg. Специфична топлота горивог материјала дефинише се као количина енергије која је потребна да би се јединична маса горива загрејала за 1 °C и исказује се у kJ/kg °C.

### 3.7.2.3. Стање горивог материјала

Садржај влаге у гориву је међу најзначајнијим карактеристикама горива које утичу на понашање ватре (Byram, G. M. 1959., Pyne, S. J. et al. 1996). Влага апсорбује топлоту која се ослобађа током горења, чинећи да мање горива буде доступно за прегревање честица неопходних за паљење. Тренутак када количина топлоте коју емитује извор пламена постане недовољна за наставак горења назива се тачка гашења и директно је пропорционална количини влаге у горивом материјалу. За већину мртвог горива осим стеље у доњем спрату шуме, садржај влаге потребан за гашење ватре је између 12 и 40 % док за живо гориво премашује 120 %. Гравиметријско узорковање горивог материјала сматра се најпоузданијим и најчешће коришћеним методом одређивања влаге у гориву које се базира на поређењу разлике масе свежег узорка и његовог сувог остатка (Chuviesco, E. et al. 1999):

(10)

$$FMC(\%) = \left( \frac{W_f - W_d}{W_d} \right) * 100$$



где је  $FMC$  садржај влаге у гориву изражен у процентима (%),  $W_f$  маса свежег биљног материјала у грамима (g) и  $W_d$  маса осушеног биљног материјала у грамима (g) .

На рефлексију лисне масе утиче вода, пигменти и преламање светлости између ћелија и интерцелуларног простора у биљном ткиву (Danson, F. M. et Bowyer, P 2004). Због тога је све чешће у употреби метода даљинске детекције у одређивању садржаја влаге у горивом материјалу путем вегетацијских индекса као што су индекс нормализованих разлика вегетације (енг: Normalized Difference Vegetation Index - NDVI), индекс нормализованих разлика воде (енг: Normalised Difference Water Index -NDWI) индекс “стреса” (енг: Moisture Stress Index - MSI), , глобални индекс влажности вегетације (енг: Global Vegetation Moisture Index -GVMI) и индекс влаге (енг: Water Band Index - WBI).

Садржај влаге у живим биљкама је у високој корелацији са њиховом физиологијом. Зелени гориви материјал садржи високу природну влагу током раста док престанком физиолошке активности њен садржај опада.

Најзначајније детерминанте садржаја влаге у живом гориву су: унутрашњи фактори регулисани дневним и сезонским променама, клима, фактори станишта, филогенетске разлике између група биљака (четинари насупрот лишћара) и разлике између ткива биљака. Влажност горива варира током дана, са осцилацијама већим у фином живом а најмањим у крупном живом гориву. Влажност горивог материјала се мења и током вегетативног периода, тако да младо лишће садржи 2 до 3 пута више влаге него старо лишће. Клима не само да утиче на дужину вегетационог периода, већ често проузрокује периоде дормантности изазване хладноћом или екстремном топлотом и сушом. Надморска висина и нагиб утичу на микроклиматске услове и проузрокују локалне разлике у сезонском развоју многих биљних врста. На планинама мање надморске висине и јужне експозиције утичу на ранији почетак вегетационог периода. Количина влаге током сезоне различите су код лишћара и четинара, као и код дрвенастих и зељастих биљака. Уопштено лишћарске врсте имају већи садржај влаге него зимзелене врсте који варира у већем распону током вегетационог периода достижући врхунац убрзо након што се отворе пупољци. Зимзелени жбунови и четинари имају комплексни годишњи образац садржаја влаге јер задржавају

иглице током неколико година. Главне категорије живог горива су лишће, гранчице, гране, стабљике, стабла, цветови, плодови и корење. Садржај воде у зеленом лишћу и осталом живом горивом материјалу је генерално веома висок (>100-300 процената), и разликује се у зависности од врсте. У зависности од фазе развоја варира и количина воде у шишаркама и плодовима док живо дрвенасто гориво (гране, гранчице и стабла) имају стабилнији садржај воде. Зимзелене биљке које расту у климатима са наглашеним сезонским променама уопштено имају сезонске циклусе раста. На почетку сезоне, у лишћу које је било у стању дормантности повећава се количина воде од минимума и до 250 % у току неколико недеља. Како ново лишће расте, просечни садржај воде ново израслог лишћа опада брзо средином лета до 150 %. Такође постоје разлике међу биљкама, захваљујући делимично и старости, здравственом стању, густини састојине, али највише карактеру сезоне које диктирају временски услови. Живо лишће зимзелених биљака обично је много више запаљиво него оно код листопадног. Зато постоји неколико разлога, али разлике у режимима влажности су најважније. Једногодишње траве су најосетљивије на сезонске и краткорочне временске варијације од свог осталог горивог материјала. Плитког су кореновог система и зато примарно зависе од адекватног садржаја воде у површинског слоју земљишта. Често имају лимитирану сезону раста: старе (сазревају), производе семе и поново се осуше. Дефицит воде на почетку вегетационог периода може да скрати сезону раста и доведе до убрзаног одумирања.

Мртво гориво је често најважнији извор доступног горива јер количина воде коју садржи директно зависи о атмосферским параметрима. Подељено је на 4 категорије базиране на величини честица (класа) горива и одговарајућим временима потребним да се гориви материјал просуши :1- часовно, 10- часовно, 100- часовно и 1000-часовно гориво. Класе су одређене у складу са принципом временског кашњења који се заснива на чињеници да је пропорција горива које је изложено временским приликама у релацији са његовом величином (Руне, S. J. Et al.1996). Гориво које има мали пречник може брзо да одговори на метеоролошке промене, док гориво са великим пречником спорије реагује. Време кашњења је време потребно да честица горива достигне 63% од разлике између почетне влажности и еквилибријумске количине влажности са промењеним атмосферским

условима. Категорије су назване по „средишњим тачкама“ одговарајућег распона времена за сваку класу: 1-часовно гориво реагује у периоду мањем од 2 часа, 10-часовно од 2 до 20 часова, 100-часовно у року од 20 до 200 часова и 1000-часовно после више од 200 часова (Varner, M. 2008). Систем за процену шумских пожара САД базира се на следећим временским класама:

- 1-часовно гориво мање од 0.625 cm у пречнику (0.25 in.);
- 10-часовно гориво од 0.625 - 2.5 cm у пречнику (0.25 to 1 in.)
- 100-часовно гориво од 2.5 cm - 7.6 cm у пречнику (1 - 3 in.)
- 1000-часовно гориво веће од 7.6 cm у пречнику (3 in.).

Садржај влаге у усправном мртвом гориву зависи од краткорочних и дугорочних временским промена, топографије и запреминске густине горивог материјала. Стеља, односно (O<sub>i</sub>) хоризонт садржи примарно 1-часовно гориво које се осуши брзо и гори великим интензитетом и кратким трајањем, са потпуном сагоревањем осим уколико је прекривено влагом. Мртво гориво ће усвојити водену пару из атмосфере кад год је притисак водене паре спољне површине везане воде нижи од околног притиска водене паре. У засићеној атмосфери, ово се може наставити до достизања засићености влакана. Количина влаге у мртвом гориву може се одредити узимањем узорака на терену, проценом на основу емпиријских једначина или анализом сателитских снимака. Вегетацијски индекси који су осетљиви на процес старења и присуство мртвог дрвета су индекс нормализованих разлика лигнина, Normalized Difference Lignin Index – NDL (Serrano, L. et al), индекс апсорпције целулозе, Cellulose Absorption Index - CAI (Daughtry, C. et al. 2004) и индекс “старења”, Plant Senescence Reflectance Index - PSRI (Merzlyak, M. N. et al 2003).

### **3.7.3. Утицај метеоролошких и топографских услова на шумске пожаре**

Кључни елементи за процену опасности од шумског пожара и његовог ширења су: релативна влажност и температура ваздуха, ветар, падавине и смена дана и ноћи. Релативна влажност директно утиче на садржај влаге у мртвом гориву и интензитет развоја шумског пожара. Ако је релативна влажност ваздуха висока гориви материјал нема тенденцију да се пали и слабо гори а иницијални пожар се

тешко одржава. Висока температура ваздуха поспешује исушивање горива и ширење ватре. Ветар разноси жар, утиче на брзину и правац ширења пожара и сушење горива. Варијабилност јачине и брзине ветра је изразито важан феномен приликом гашења ватре која такође производи ваздушна струјања. Утицај ветра на ширење пожара зависи од величине горивих честица, количина горива у јединичној запремини простора и од његовог смера и брзине (Стипаничев, Д. 2004). Уколико у току дужег временског периода пада киша, гориви материјал апсорбује довољно влаге и постаје тешко запаљив. С обзиром да током ноћи нема утицаја Сунца а температура ваздуха је нижа и шумски пожари ређе настају. Нуклеарне честице пореклом од соларних ерупција у одређеним условима, у стању су да продру до тла и запале биљну масу и тако иницирају шумски пожар (Радовановић, М.М., и др. 2015).

Сунчева радијација је различита у зависности од нагиба и експозиције терена а на понашање шумског пожара утиче и рашчлањеност терена. На стрмим падинама пожар се шири узбрдо много брже због повећања топлоте настале конвекцијом и зрачењем. На сваких 10 степени повећавања нагиба удвостручује се брзина ширења ватре која може достићи и 20 пута већу вредност потпомогнута ветром. На јужним експозицијама терена гориви материјал се више загрева јер је током дана више осунчан. Услови за настанак шумских пожара у Србији, повољнији су на јужним падинама и због тога што су обрасле хелиофитном вегетацијом која у себи садржи мање влаге. Рашчлањеност рељефа у виду долина, клисура, равничарских и планинских области има посебан утицај на кретање пожара, његову брзину и интензитет.

#### **3.7.4. Моделирање шумских пожара**

На основу искуства европских истраживача у протеклих 10 година, за оперативни рад на превенцији и управљању гашењем пожара, довољно је моделирање ширења шумских пожара које је интегрални део комплексног моделирања понашања пожара (Стипаничев, Д. 2004).

Према Веберу (Weber, R.O. 1989) концептуализација овог процеса може се математички изразити на следећи начин (Perry, G. L. W. 1998):

(11)

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \nabla \cdot q + Q$$

при чему је  $\frac{\partial H}{\partial t}$  степен промене енталпије  $H$  по јединици времена  $t$ ,  $\nabla \cdot q$  су просторне веријације енергетског флукса а  $Q$  представља топлоту која се ослобађа. Пионирски радови о симулацији ширења пожара отворених простора датирају од друге половине 20-тог века (Cury, J. R. et Fons, W. L. 1940). До данашњих дана развијен је велики број софтверских решења која се разликују у зависности од приступа моделирању према којем се могу поделити на теоријске, емпиријске и семи емпиријске моделе (Pastor, L. Et al. 2003.), или на физичке, односно квази физичке, емпиријске или квази емпиријске као и моделе математичких аналогја и симулацијске моделе (Sullivan, A. L. 2008. 2013.).

Републички хидрометеоролошки завод Србије од 2008. процењује опасност од појаве шумских пожара канадским методом одређивања индекса опасности од појаве шумских пожара (енг: Fire Weather Index, FWI). Временски индекс опасности од појаве шумског пожара је нумерички показатељ потенцијалног интензитета ватре у стандардном шумском гориву који зависи од тачности претходних временских услова и прогнозе за наредни дан. Састоји се од 2 компоненте које су комбинација 3 кода и утицаја ветра:

- Индекс почетног ширења (Initial Spread Index - ISI) на основу чије вредности се врши нумеричка процена могућности ширења пожара непосредно након његовог избијања. Представља комбиновани утицај брзине ветра и показатеља влажности финог горива (Fine Fuel Moisture Code - FFMC);
- Индекс укупног горива (Buildup Index - BUI) који је комбинација показатеља влажности средњег горива (Duff Moisture Code - DMC) и показатеља влажности крупног горива (Drought Code - DC). Овај код се користи за тренутну оријентацију приликом предузимања мера за спречавање и гашење пожара.

Показатељи влажности горива су основне величине за израчунавање индекса опасности од пожара:

- показатељ влажности финог горива (Fine Fuel Moisture Code - FFMC) који је индикатор запаљивости овог горивог материјала;
- Показатељ влажности средњег горива (Duff Moisture Code - DMC) којим се нумерички оцењује његова просечна влажност;
- Показатељ влажности крупног горива (Drought Code - DC) који се употребљава за дугорочнију процену опасности од шумског пожара;

Показатељ влажности финог горива (FFMC) рачуна се на основу следећих формула (Van Wagner, C.E et Picket T.L. 1985; Wang, Y. et al. 2015):

$$FFMC = 59.5 (250 - m)/(147.2 + m) \quad (12)$$

$$m = 147.2 (101 - FFMC)/(59.5 + FFMC) \quad (13)$$

где је  $m$  садржај воде у фином гориву добијен као функција влажности ваздуха (Van Wagner C. E. et Picket T.L. 1985). Уколико је у предходних 24 часа било падавина додаје се шифра за сушење, а уколико је време било суво, шифра равнотежне воде за влажење финог горивог материјала. Под условима температуре од 21 °C, релативне влажности од 45% и брзине ветра од 3.6 m/s у 12 часова, временско кашњење је 16 часова (Lee, B. S. et al. 2002).

Показатељ влажности средњег горива (DMC) обухвата стељу до дубине од 5 до 10 cm и добије се помоћу следећих једначина:

$$DMC = DMC_0 + 100 K \text{ или } DMC = DMC_r + 100 K \quad (14)$$

$$K = 1.894 (T + 1.1)(100 - H)Le 10^{-6} \quad (15)$$

где су:  $DMC_0 = DMC$  предходног дана при сувом времену,  $DMC_r = DMC$  предходног дана уколико је падала киша,  $T$  је температура ваздуха у 12 часова,  $H$  је релативна влажност ваздуха у 12 часова и  $Le$  је дужина обданице. Време потребно да средње гориво изгуби две трећине своје воде износи око 12 сати.

Показатељ влажности крупног горива (DC) добија се из следеће релације:

$$(16)$$

$$DC = DC_0 + 0.18 (T + 2.8) + 0.5Le \text{ или } DC = DC_r + 0.18 (T + 2.8) + 0.5Le$$

при чему су:  $DC_0 = DC$  предходног дана,  $DC_r = DC$  после кишног дана,  $T$  је температура ваздуха у 12 часова,  $H$  је релативна влажност ваздуха у 12 часова и  $Le$  је дужина обданице. Крупно гориво се исушује у дужем периоду, обично од 2 до 4 месеца.

Након тога може се израчунати индекс почетног ширења (ISI) и индекс укупног горива (BUI) према следећим формулама:

(17)

$$ISI = 0.208 f(W)f(F)$$

(18)

$$BUI = 0.8 DMC DC / (P + 0.4 DC)$$

где су:  $f(W)$  функција ветра а  $f(F)$  функција влажности горива.

Индекс опасности од пожара (FWI) израчунава се као производ индекса почетног ширења (ISI) и експоненцијалне функције која у садржи индекс укупног горива (BUI):

(19)

$$FWI = 0.1 ISI f(D)$$

где је  $f(D)$  експоненцијална функција која садржи индекс укупног горива (BUI).

За прогнозу температуре ваздуха, релативне влажности ваздуха, брзине ветра и количине падавина користи се нумерички модел за прогнозу времена најновије генерације WRF-NMM.

У оквиру истраживања одабран је семи-емпиријски Фрадсен-Ротермелов модел који је дефинисам следећим изразом (Rothermel R. C. 1972):

(20)

$$ROS = \frac{I_r \xi (1 + \phi_w + \phi_s)}{\rho_b \epsilon Q_{ig}}$$

при чему је  $I_r$  је интензитет реакције [ $J/(m^2 s)$ ],  $\xi$  је пропагацијски флуks или ток (бездимензиона величина),  $\phi_w$  је утицај ветра (бездимензиона величина),  $\phi_s$  утицај падине (бездимензиона величина),  $\rho_b$  густина запремине, односно маса

горива у јединичној запремини [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ],  $\epsilon$  ефективни фактор загревања (бездимензиона величина),  $Q_{ig}$  топлота пред паљење [ $\text{J}/\text{kg}$ ].

Улазни параметри неопходни за прорачун су топлота коју гориво може развити [ $\text{J}/\text{kg}$ ], количина горива по јединици површине [ $\text{kg}/\text{m}^2$ ], дебљина горивог материјала [ $\text{m}$ ], мера компактности горива (бездимензиона величина), размера између површине и запремине горива [ $\text{m}^{-1}$ ], садржај воде [%], утицај минерала (бездимензиона величина), ветар [ $\text{m}/\text{s}$ ] и нагиб теран [ $^\circ$ ;  $\text{rad}$ ; %] (Стипаничев и др 2004).

Модел горивог материјала који је употребљен за израчунавање степена ширења ватре је адаптирани амерички модел (NFFL-Northern Forest Fire Laboratory Fuel Model) који је први пут презентовао Albin (Albin, F. 1976) а развили Anderson, Andrews, Rothermel (Anderson, H. E. 1982; Andrews, P. L. et Rothermel, R. C. 1982) и Von Johnson (Cohen, J. D. et Deeming J. E. 1985). На основу класа горива које имају одређену релацију масе према јединици запремине, односа површине према запремини сваке класе, дебљине горивог материјала, густине честица горива по јединичној површини и у складу са количином топлоте које гориве честице могу развити приликом гопрења, одређено је 13 типова горивог материјала (од ниске и високе траве, стабала и подраста, преко жбуња, отпале коре дрвећа и стеље, до остатака насталих након сече).

### **3.8. Плувијална и флувијална ерозија**

Ерозијом у елементарном смислу сматрамо откидање, одношење, транспорт и таложене честица земљишта (Гавриловић С. 1972), проузроковано деловањем воде, ветра, интензивним коришћењем земљишта или неконтролисаним сечом шума. Чињеница да ерозија представља опасност за продуктивност пољопривредног земљишта и квалитет воде привукла је пажњу многобројних научника. Током десетогодишњег истраживања педесетих година прошлог века, Америчка служба за конзервацију земљишта, (енг: Soil Conservation Service) обавила је преко 100 000 мерења на огледним парцелама, којима су утврђени губици земљишта од 0.002 тоне по хектару за шумско земљиште до 8000 тона по хектару за потпуно голо земљиште. Дејством ерозије антропогеног порекла,



неповратно је уништино 430 милиона хектара пољопривредног земљишта, односно 30% укупних обрадивих површина наше планете (Благојевић, Б. 2012). Изражена енергија рељефа у Србији, манифестирана кроз нагибе топографских површина, дубину ерозионог базиса и купираност терена погодује развоју водне ерозије (Ratknić, M. et al. 2011).

Табела 2. Карактеристике рељефа Србије (Извор: Ђорђевић, М.; Јовановски, С. 1987)

Равнице са падом до 5%		Терени са падом изнад 5%	
km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
25. 969,00	29,39	62.392,00	70,61

Плувијална ерозија земљишта обухвата (Kunta, K. 2009):

- ерозију кишним капима (енг: „Splash erosion“);
- површинску ерозију (енг: „ Sheet erosion“);
- браздасту ерозију (енг: „ Rill erosion“);
- јаружасту ерозију (енг: „ Gully erosion“) и
- каналску ерозију (енг: „ Channel erosion“).

Потпомогнута снагом текуће воде плувијална ерозија прераста у флувијалну (Гавриловић С. 1972) која може бити:

- бујична ерозија (енг: „ Torrentflow erosion“) или
- речна ерозија (енг: „ River erosion“).

Најзаступљенији вид ерозивних процеса у Србији настаје деловањем многобројних бујичних токова, који осим поплава изазивају и засипање акумулација и појаву одрона и клизишта. Услови који погодују процесима ерозије различитог интензитета су (Ratknić, M. et al. 2011):

- брдско планински рељеф;
- развијена хидрографска мрежа;
- високо учешће еродибилних стена;
- деградација земљишта;
- девастиран биљни покривач;
- неповољни климатски услови и

- нерационално искоришћење земљишта.

### 3.8.1. Основни фактори који утичу ерозију водом

Режим падавина, температура ваздуха и ветар у сваком подручју непосредно утичу на стање и развој ерозивних процеса (Гавриловић С. 1972). На пољопривредном земљишту јака флувијална ерозија обично настаје након интензивних падавина у време кад оранице нису под усевима. Утицај кишних капи зависи од брзине којом падају на земљу, величине капљица, интензитета пљуска и атмосферских услова. Истраживањима везе између укупних годишњих вучених и суспендованих наноса установљено је да су средњегодишње изотерме ваздуха непосредан индикатор за појаву одређеног степена ерозије. Отпорност земљишта на ерозију зависи од његовог гранулометријског и минеролошког састава. Мерењима је доказано да је земљиште са већим уделом глине и јона калцијума (Са) отпорније на ударе кишних капи а да су земљишта настала из стена са високим садржајем лако растворљивих соли подложнија ерозивним процесима. Сунђераста структура земљишта која се ствара у шуми сматра се најотпорнијом на флувијалну ерозију јер има велики капацитет упијања кишне воде. Спирање земљишта је много интензивније на срмим планинским падинама са високим вредностима локалних базиса ерозије, односно висинских разлика између највише и најниже тачке у сливу. Према Bennett-у (Гавриловић С. 1972), зависност између површинског отицаја воде од киша или топљења снега и вегетацијског покривача је:

- површинско отицање воде под сталном шумом износи 1 % од укупних годишњих падавина, а количина наноса по 1 km<sup>2</sup> слива просечно 20 тона годишње;
- површинско отицање воде под пашњацима и ливадама износи 3% од укупних годишњих падавина, а количине наноса по 1 km<sup>2</sup> слива просечно 100 тона годишње;
- површинско отицање воде са огољених земљишта износило је 18% од укупних годишњих падавина а количина наноса по km<sup>2</sup> слива просечно 9. 4 тона годишње.

Интензивна пољоприведа, пашарење и нерационално скидање шумског покривача представљају најзначајније антропогене чиниоце који поспешују ерозију земљишта.

### 3.8.2. Рекогностирање ерозионих подручја

#### 3.8.2.1. Ревидирана универзална једначина губитка земљишта (RUSLE)

Интензитет водне ерозије утврђује се теренским, лабораторијским и емпиријским методама применом квантитативних коефицијената и математичким моделима. У циљу процене ризика од ерозије, последњих деценија у Европи је имплементирано низ пројеката као што су: CORINE, EUROSEM, INRA, WEPP, PESERA и G2 (Перовић, В., и др. 2013). Истраживања на пољопривредним парцелама у САД-у започета су далеке 1917. године на Универзитету у Мисурију (Renard, K. G. et Foster, G. R. 1985). Један од најпознатијих метода прорачуна губитака земљишта деловањем ерозионих фактора је помоћу универзалне једначине губитка земљишта (енг: The Universal Soil Loss Equation - USLE) која је развијена истраживањима у Америчкој служби за конзервацију земљишта 1965. године (Renard G.R.1996; Ђукић, В. 2012). Конверзијом мерних јединица из америчког у SI метрички систем њен изворни облик прилагођен је употреби на глобалном нивоу (Foster, G. R. et al. 1981). Успешно се користи за израчунавање просечних вишегодишњих губитака земљишта насталих дејством површинске и браздасте ерозије под одређеним условима (Wischmeier W.H. et Smith D. D. 1978), а њена ревидирана верзија (RUSLE) дефинисана је следећом једначином (McCool, D. K. et al 1993):

(21)

$$A = R \cdot K \cdot L S \cdot C \cdot P$$

при чему је  $A$  средњи годишњи губитак земљишта по јединици површине [t/ac/year; t/ha/year; kg/m<sup>2</sup>/year],  $R$  кишни фактор [MJ mm ha<sup>-1</sup> hr<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>],  $K$  је фактор еродибилности земљишта [t ha h ha<sup>-1</sup> MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>],  $LS$  је фактор нагиба

[бездимензиони],  $C$  је фактор биљног покривача [бездимензиони] и  $P$  фактор противерозионих мера [бездимензиони].

Фактор ерозивности кише  $R$  је просечна годишња сума појединачних параметра кишних епизода  $EI_{30}$  који су дефинисани као производ укупне кинетичке енергије кишног талога од 1 mm и максималног интензитета тридесетоминутне кише (Wischmeier W.H. et Smith D. D. 1978; Renard, K. G. et Freimund, J. R. 1994):

(22)

$$R = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left[ \sum_{k=1}^m (E)(I_{30})_k \right]_j$$

при чему су  $E$  укупна кинетичка енергија пљуска [ $\text{MJ ha}^{-1}$ ],  $I_{30}$  максимални интензитет тридесетоминутне кише [ $\text{mm h}^{-1}$ ],  $k$  број појединачних кишних епизода до укупног броја током године  $m$ , док  $j$  представља број година до укупног броја  $n$  у посматраном периоду.

Укупна кинетичка енергија регистроване кишне епизоде изражава се као сума производа енергије и висине воденог стуба појединачног кишног интервала (K. G. et Freimund, J. R. 1994):

(23)

$$E = \sum_{r=1}^m e_r \Delta V_r$$

где је  $e_r$  енергија кише по јединичној површини и висини воденог стуба [ $\text{MJ ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ ] а  $\Delta V_r$  висина воденог стуба (количина падавина) за свако  $r$ -то повећање на хиетографу које је подељено у  $m$  делова са константном кишом.

Јединична енергија кише  $e_r$  за сваки временски интервал може се израчунати на основу њеног интензитета применом следеће формуле (Brown, L. C. et Foster, G. R. 1987):

(24)

$$e_r = 0.29[1 - 0.27 \exp(-0.05i_r)]$$

при чему је  $e_r$  изражено у мегаџулима по хектару по милиметрима кишног талога [ $\text{MJ ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ ] а интензитет кише  $i_r$  у милиметрима на час [ $\text{mm h}^{-1}$ ].

С обзиром да подаци са плувиографских трака или аутоматских метеоролошких станица често нису били доступни, Arnoldus је 1980. године дефинисао модификовани Фурнијеов индекс (енг: Fournier index-F) који представља добру апроксимацију кишног фактора а израчунава се на основу релације између средњих месечних и укупне годишње количине падавина (Ferro, V. et Porto, P. 1999):

(25)

$$F = \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{P}$$

где је  $p_i$  средња месечна количина падавина за  $i$ -ти месец [ $\text{mm}$ ] а  $P$  укупна годишња количина падавина [ $\text{mm}$ ].

Текстура и структура тла, посебно садржај фракције песка, праха и органске материје, као и његова водопропусност значајно утичу на отпорност земљишта према ерозији (Kisić, I. et al. 2000). Фактор еродибилности за 23 типа земљишта у САД-у, за које је израђен номограф, одређен је експерименталним путем на огледним пољима без биљног покривача, дужине 22.1 m, ширине 4 m, са падом од 9% (Wischmeier W.H. et Smith D. D. 1978). Очитавања са номографа у метричком систему, која укључују 5 карактеристика тла (текстуру, садржај органске материје, честице скелета, структуру и пермеабилност) дефинисана су следећим алгебарским изразима (Panagos, P. et al 2014):

(26)

$$K = \left[ \left( (2.1 \times 10^{-4}) M^{1.14} (12 - OM) + 3.25(s - 2) + 2.5(p - 3) \right) / 100 \right] * 0.1317$$

(27)

$$M = (m_{silt} + m_{vfs}) * (100 - m_c)$$

где је  $OM$  садржај органске материје,  $M$  фактор текстуре,  $m_{silt}$  садржај фракције праха од 0.002 до 0.05 mm [ $\text{mm}$ ],  $m_{vfs}$  садржај фракције ситног песка од 0.05 до 0.1 mm [ $\text{mm}$ ] и садржај фракције глине  $<0.002$  mm [ $\text{mm}$ ].

Алтернативни метод процене еродибилности земљишта помоћу просечног пречника зрна по фракцијама (Römkens, M. J. M. 1994), након конверзије у SI метрички систем (Foster, G. R. et al. 1981) дефинисан је следећом функцијом:

$$K = \left( 0.0034 + 0.0405 \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{\log(D_g) + 1.659}{0.7101} \right)^2 \right] \right) \quad (28)$$

где је  $D_g$  геометријска средина пречника честица [mm],  $f_i$  учешће примарне фракције [%] и  $m_i$  аритметичка средина граничних вредности величина честица фракције [mm]. (29)

$$D_g = \exp \left[ 0.01 \sum_{i=1}^N f_i \ln m_i \right]$$

при чему је  $D_g$  геометријска средина пречника честица [mm],  $f_i$  учешће примарне фракције [%] и  $m_i$  аритметичка средина граничних вредности величина честица фракције [mm].

Утицај рељефа на ерозионе процесе у ревидираној универзалној једначини губитка земљишта детерминисан је топографским фактором (енг: Length Slope-LS), који зависи од дужине и нагиба падине (Renard, K. G. et al. 1997) и израчунава се применом следеће формуле (Wischmeier W.H. et Smith D. D. 1978):

$$LS = (\lambda/72.6)^m (65.41 \sin^2 \theta + 4.56 \sin \theta + 0.065) \quad (30)$$

при чему је  $\lambda$  дужина падине [ft;m],  $\theta$  угао нагиба падине [ $^\circ$ ] а  $m$  коефицијент чије су вредности 0.5 уколико је нагиб једнак или већи од 5%, 0.4 за нагибе од 3.5 до 4.5 %, 0.3 за нагибе од 1 до 3 % и 0.2 за нагибе мање од 1%.

Анализом неколико метода процене губитака земљишта водном ерозијом установљено је да се веза између таложења седимената и доминантне геометрије терена и варијабли воденог тока може изразити формулом (Julien, P. Y. et Simons, D. B. 1985):

$$q_s = \varphi q^m (\sin \beta)^{n_i \delta} \left( 1 - \frac{\tau_0}{\tau} \right)^\epsilon \quad (31)$$

где је  $q_s$  кретање седимента [ $\text{kg m}^{-1}\text{s}^{-1}$ ],  $q$  ток воде [ $\text{m}^3 \text{m}^{-1}\text{s}^{-1}$ ],  $\beta$  угао падине [ $^\circ$ ],  $i$  интензитет кише [ $\text{m s}^{-1}$ ],  $\tau_0$  и  $\tau$  критичан притисак смицања и притисак смицања [Pa], а  $\varphi$ ,  $m$ ,  $n$ ,  $\delta$  и  $\epsilon$  физичке или експериментално дефинисане константе.

Под претпоставком уједначених падавина и протока воде преко терена једначина топографског утицаја према Moore-у и Burch-у (1986) добија следећи облик (Mitasova, H. et al. 1995):

(32)

$$T = \left( \frac{A}{22.13} \right)^m \left( \frac{\sin \beta}{0.0896} \right)^n$$

где је  $A$  површина падине слива [ $\text{m}^2 \text{m}^{-1}$ ],  $\beta$  угао падине [ $^\circ$ ], док су за вредности  $m$  и  $n$  усвојене вредности од 0.6 и 1.3 за дужине падина мање од 100 метара и углове мање од 14 степени.

Да би се издвојили локалитети са највећим степеном ерозије и денудације у програмском пакету GRASS GIS развијен је модул r.flow заснован на основним принципима диференцијалне геометрије (Mitasova, H. et al. 1995):

(33)

$$E = \frac{\partial g}{\partial x_1} \cos \alpha + \frac{\partial g}{\partial x_2} \sin \alpha$$

где су  $x_1$  и  $x_2$  геореференциране координате а  $\alpha$  [ $^\circ$ ] угао нагиба који представља смер протока воде који се израчунава као непрекидна функција висина у виду грида  $z = f(x_1, x_2)$ .

Фактор покровности (енг: Cropping Management Factor - C), који је у интеракцији са начином коришћења земљишта, дефинисан је односом губитка земљишта са обраде и огољене површине истог педолошког састава (Renard, K. G. 1997). Након анализе више од 10 000 огледних поља и тестирања математичких модела са многобројним варијаблама које укључују покровност и обраду земљишта, одређени су коефицијенти за 6 фаза раста усева у САД-у (Wischmeier W.H. et Smith D. D. 1978). Вредност овог фактора зависи од типа и стања вегетације, фазе развића и процента покровности. Осим емпиријским путем овај индекс може се израчунати методом даљинске детекције, класификацијом или помоћу вегетацијских индекса као што су вегетацијски индекс нормализованих разлика -

NDVI, индекс прилагођен земљишту – SAVI (Heute, A. R. 1988), индекс влажности земљишта – SWI (Singh, A. 2009), индекс површине листа – LAI (Klima, K. et Wiśniowska-Kielian 2006)... За потребе евалуације ерозије на Вршачким планинама употребљена је експоненцијална функција која у својој основи има NDVI (van der Knijff et al. 2000; Kouli, M. et al. 2008):

(34)

$$C = e^{(-\alpha(NDVI)/(\beta-NDVI))}$$

где су  $\alpha$  и  $\beta$  параметри који дефинишу облик криве која описује однос вегетацијског индекса нормализованих разлика (NDVI) и фактора покривности (C). За вредности од  $\alpha = 2$  и  $\beta = 1$  утврђена је добра корелација са базом података о земљишном покривачу у оквиру програма “Координација информација о животној средини (енг: CORINE) која је имплементиран 2006. године и у Србији (Несторов, И. и Протић, Д. 2009).

P је бездимензиони заштитни или фактор конзервационих мера (Благојевић, Б. 2012), дефинисан као однос губитка земљишта са површине на којој су примењене мере заштите као што су терасирање или контурна обрада и ораничне површине обрађене у правцу пружања нагиба (Renard, K. G. et Foster, G. R. 1985). Укупна вредност овог фактора израчунава се као производ коефицијената конзервацијских мера које су примењене (Efe, R et al 2008).

### **3.8.2.2. Метод одређивања ерозионих наноса С. Гавриловића**

Метод одређивања средњегодишњих запремина ерозионих наноса по методи С. Гавриловића је у широкој употреби већ више од 30 година на територији Србије, Хрватске и Словеније (Globevnik, L. i dr. 2003). Заснива се на аналитичко квантитативном одређивању коефицијента ерозије слива. На основу вишегодишњих истраживања на подручјима Јужне, Западне и Велике Мораве, Ибра, Тимока и Вардара и лабораторијских испитивања на Шумарском факултету у Београду, добијен је следећи аналитички израз за одређивање средњегодишњих запремина укупних вучених и суспендованих наноса за природни слив, гравитационо подручје или одвојену парцелу (Гавриловић С. 1972):



(35)

$$W_{god} = T \cdot H_{god} \cdot \pi \cdot \sqrt{Z^3} \cdot F$$

где је  $W_{god}$  укупна продукција ерозионих наноса годишње [ $m^3$ ],  $T$  температурни коефицијент [ $^0$ ],  $H_{god}$  средња годишња количина падавина [ $mm$ ],  $Z$  коефицијент ерозије слива и  $F$  површина слива [ $km$ ].

Температурни коефицијент се израчунава на основу средње годишње температуре ваздуха за посматрани слив на основу следеће формуле:

(36)

$$T = \sqrt{\frac{t^0}{10.0} + 0.1}$$

при чему се  $t^0$  може прочитати са метеоролошких карти средњегодишњих изотерми (Гавриловић С. 1972).

Коефицијент ерозије  $Z$  добија се из следеће једначине:

(37)

$$Z = Y \cdot X \cdot a \cdot (\varphi + \sqrt{J_{sr}})$$

где је  $Y$  реципрочна вредност коефицијента отпора земљишта на ерозију,  $X \cdot a$  конзервацијски коефицијент,  $\varphi$  бројни еквивалент видљивих и јасно изражених процеса ерозије и  $J_{sr}$  средњи пад слива, односно еродираног подручја или парцеле.

Вредности за коефицијент  $Y$  одређени су лабораторијским испитивањима текстуре, структуре, петрографског и педолошког састава одређених типова земљишта и геолошке подлоге и њихове отпорности на одношење земљишних честица текућом водом и ветром.

Табела 3. Средње вредности коефицијента  $Y$  (Извор: Гавриловић С. 1972.)

Типови земљишних творевина и сродне врсте	Средња вредност коефицијента $Y$
Пескови, шљунак, и невезеана земљишта	2.0
Лес, туфови, слатине, степска земљишта и сл.	1.6
Распаднути кречњаци и лапорци	1.2
Серпентини, црвени пешчари, флишне наслаге	1.1
Подзоли и параподзоли; распаднути шкриљци: микашисти, гнајс, аргилошисти и сл.	1.0
Црвенице и хумусно силикатна земљишта; једри и шкриљасти кречњаци	0.9
Гајњаче и планинска земљишта	0,8
Смонице, ритске оранице и мочварна земљишта	0.6
Чернозем и алувијални наноси добре структуре	0.5
Голи, компактни еруптиви	0.25

$X$  коефицијент односи се на намену и класификацију земљишног покривача док чинилац  $a$  зависи од примењених антиерозионих радова као што су терасирање, контурна обрада, кинетирање, изградња габиона, преграда, микроаккумуляција....

Табела 4. Коефицијент заштићености земљишта без антиерозионих радова  $X$  (Извор: Гавриловић С. 1972.)

Начин искоришћења земљишта	Средња вредност коефицијента $X$
Површина без вегетационог покривача-голети	1.0
Оранице са орањем уз падину и низ падину	0.9
Воћњаци и виногради без приземне вегетације	0.7
Планински пашњаци и сувати	0.6
Ливаде и њима сличне пољопривредне културе	0.4
Деградиране шуме и шикаре	0.3
Шуме доброг склопа	0.05

У зависности од доминатног типа ерозионог процеса на терену коефицијенту  $\varphi$  додељује се одређена таблична вредност.

Табела 5. Коефицијент видова ерозионих процеса  $\varphi$  (Извор: Гавриловић С. 1972.)

Стање ерозионог подручја	Средња вредност коефицијента $\varphi$
Слив или подручје потпуно обухваћено јаружастом ерозијом и урвинским процесима	1.0
80% слива обухваћено браздастом и јаружастом ерозијом	0.9
50% подручја под браздастом и јаружастом ерозијом	0.8
Цео слив под површинском ерозијом са местимичном појавом браздасте и јаружасте ерозије	0.7
Цео слив обухваћен само површинском ерозијом	0.6
50% подручја обухваћено само површинском ерозијом	0.5
20% подручја обухваћено само површинском ерозијом	0.3
Земљиште у сливу без видљивих трагова ерозије али са одронима и клизиштима у коритима водотока	0.2
Подручје без видљивих трагова ерозије али претежно под ораницама	0.15
Подручје без видљивих трагова ерозије под шумама или вишегодишњим засадима	0.1

Средњи пад  $J_{sr}$  може се одредити помоћу топографске карте (Тошић, Р. и Драгићевић, С. 2012) или дигиталног модела висина (Milevski, I. 2008).

На бази коефицијената ерозије  $Z$  за поједине микроповршине у сливу одређује се средњи коефицијент за цео слив по обрасцу (Лазаревић, Р. 1976):

(38)

$$Z = \frac{z_1 \cdot f_1 + z_2 \cdot f_2 + \dots + z_n \cdot f_n}{F}$$

при чему су  $z_1, z_2 \dots z_n$  коефицијенти ерозије сваке парцеле а  $f_1, f_2 \dots f_n$  површине тих парцела док  $F$  представља површину целог слива. Након вишегодишњих истраживања Herheulidze-а, Browning-а, Silvestrov-а и Гавриловића предложена је категоризација ерозионих подручја за услове Србије према коефицијентима ерозије  $Z$ .

Табела 6. Вредности коефицијената ерозије  $Z$  (Извор: Гавриловић С. 1972.)

Категорија разорности	Јачина ерозионих процеса у кориту и сливу	Тип владајуће ерозије	Коефицијент ерозије $Z$	Средња вредност коефицијента ерозије $Z$
I	Екседивна ерозија	дубинска мешовита површинска	1.51 и више 1.21-1.50 1.01-1.20	1.25
II	Јака ерозија	дубинска мешовита површинска	0.91-1.00 0.81-0.90 0.71-0.80	0.85
III	Средња ерозија	дубинска мешовита површинска	0.61-0.70 0.51-0.60 0.41-0.50	0.55
IV	Слаба ерозија	дубинска мешовита површинска	0.31-0.40 0.25-0.30 0.20-0.24	0.30
V	Врло слаба ерозија	трагови ерозије	0.01-0.19 и мање	0.10

## 4. Резултати и дискусија

### 4.1. Предходна припрема сателитског снимка WorldView-2

#### 4.1.1. Конверзија дигиталних бројева у зрачење

Сателитски сензори снимају електромагнетно зрачење са површине Земље у виду дигиталних бројева (енг: Digital Number - DN) за сваки спектрални канал. Вредности осветљености дигиталних бројева WorldView-2 растерских производа су у распону од 0 до 255 и неопходно их је конвертовати у вредности зрачења са граница атмосфере. Релативни спектрални одговор сателита дефинисан је као однос броја фото-електрона које је регистровао сензор према спектралном зрачењу [ $\text{W/m}^2 \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ ], измереном у посебним таласним дужинама у зависности од појединачних отвора бленде телескопа. Први корак је трансформисање дигиталних бројева у вредности радијације помоћу следећег израза (Urdike, T. et Comp, C. 2010):

(39)

$$L_{\lambda, \text{Pixel}, \text{Band}} = \frac{K_{\text{Band}} \times Q_{\text{Pixel}, \text{Band}}}{\Delta\lambda_{\text{Band}}}$$

где је  $L_{\lambda, \text{Pixel}, \text{Band}}$  зрачење са границе атмосфере у пикселу [ $\text{W/m}^2 \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ ],  $K_{\text{Band}}$  апсолутни фактор радиометријске калибрације за дати канал [ $\text{W/m}^2 \text{sr}^{-1} \text{count}^{-1}$ ],  $Q_{\text{Pixel}, \text{Band}}$  радиометријски кориговани пиксели [counts] и  $\Delta\lambda_{\text{Band}}$  је ефективна ширина датог канала [ $\mu\text{m}$ ].

Фактори радиометријске калибрације и ефективна ширина канала саставни су део мета података који се испоручују уз сваки сателитски снимак крајњим корисницима, што се може видети на конкретном примеру за плави канал:

```
BEGIN_GROUP = BAND_B
...
absCalFactor = 9.486552e-02;
effectiveBandwidth = 5.430000e-02;
TDIlevel = 14;
END_GROUP = BAND_B
```

Зрачење са граница атмосфере варира у зависности од удаљености између Земље и Сунца у тренутку аквизиције снимка, соларног зенитног угла, топографије, функције расподеле двосмерне рефлексije и ефеката атмосфере као што су апсорпција, преламање и одбијање светлости (Elsharkawy, A. et al. 2012). Због тога је неопходно израчунати растојање између Земље и Сунца у астрономским јединицама и јулијански дан према следећим формулама:

(40)

$$JD = \text{int}[365.25 \times (\text{година}+4716)] + \text{int}[30.6001 \times (\text{месец}+1)] + \text{дан} + \frac{UT}{24.0} + B - 1524.5$$

(41)

$$B = 2 - A + \text{int}\left(\frac{A}{4}\right)$$

(42)

$$A = \text{int}(\text{година})$$

(43)

$$d_{ES} = 1.00014 - 0.01671 \times \cos(g) - 0.00014 \times \cos(2g)$$

при чему је  $UT$  универзално (светско) време [h],  $d_{ES}$  растојање између Земље и Сунца [AU], док  $g$  је угао у функцији Јулијанског дана [ $^{\circ}$ ].

Универзално (светско време) израчунава се на основу метаподатака о сатима, минутима и секундама аквизиције сателитског снимка према следећем математичком изразу:

(44)

$$UT = hh + \frac{mm}{60.0} + \frac{ss.ddddd}{3600}$$

при чему су  $h$ ,  $m$  и  $s$  ознаке за час, минут и секунду у  $UTC$  формату.

Соларни зенитни угао се изражава као допуна до правога угла висинском углу Сунца:

(45)

$$\theta_s = 90.0 - sunEL$$

Просечан висински угао у степенима за одговарајући сателитски снимак израчунао је за центар сцене и може се наћи у .IMD пратећој датотеци (Urdike, T. et Comp, C. 2010):

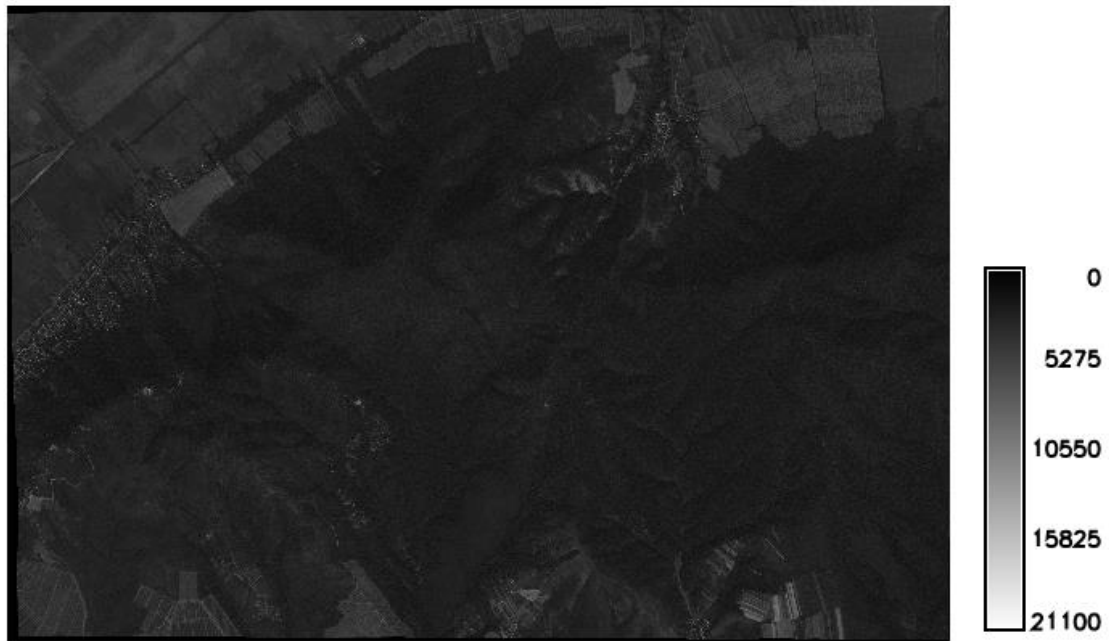
```
BEGIN_GROUP = IMAGE_1
...
meanSunEl = 40.7;
...
END_GROUP = IMAGE_1
```

Уколико се занемари утицај атмосфере, након конверзије дигиталних бројева у зрачење и израчунавања растојања Земље од Сунца у моменту аквизиције снимка као и соларног зенитног угла, рефлексија са границе атмосфере добија се помоћу следеће формуле (Urdike, T. et Comp, C. 2010):

(46)

$$\rho_{\lambda_{Pixel,Band}} = \frac{L_{\lambda_{Pixel,Band}} \cdot d_{ES}^2 \cdot \pi}{E_{sun\lambda_{Band}} \cdot \cos(\theta_s)}$$

где је  $\rho_{\lambda_{Pixel,Band}}$  рефлексија са границе атмосфере за дати канал [ $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$ ],  $L_{\lambda_{Pixel,Band}}$ , просечно зрачење са граница атмосфере у пикселу [ $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$ ],  $d_{ES}$  је удаљеност Земље од Сунца у тренутку аквизиције снимка [AU],  $\pi$  је математичка константа приближно 3.14159,  $E_{sun\lambda_{Band}}$  је просечна соларна спектрална ирадијација за дати канал и  $\theta_s$  је зенитни угао Сунца за сателитски снимак који се обрађује, изражен у степенима.



Слика 8. Растерски приказ црвеног канала конвертованог у зрачење са граница атмосфере (Штрбац, О., 2010).

#### **4. 2. Израда мапа симулације шумског пожара на Вршачким планинама**

Већина шумских пожара на овом подручју настала је људском непажњом, углавном наком паљења жетвених остатака или бацањем опушака. Запаљено стрњиште на њивама 16. августа 2015. године проузроковало је највећи шумски пожар на Вршачким планинама забележен у последњих десет година, када је изгорело 200 хектара шуме.



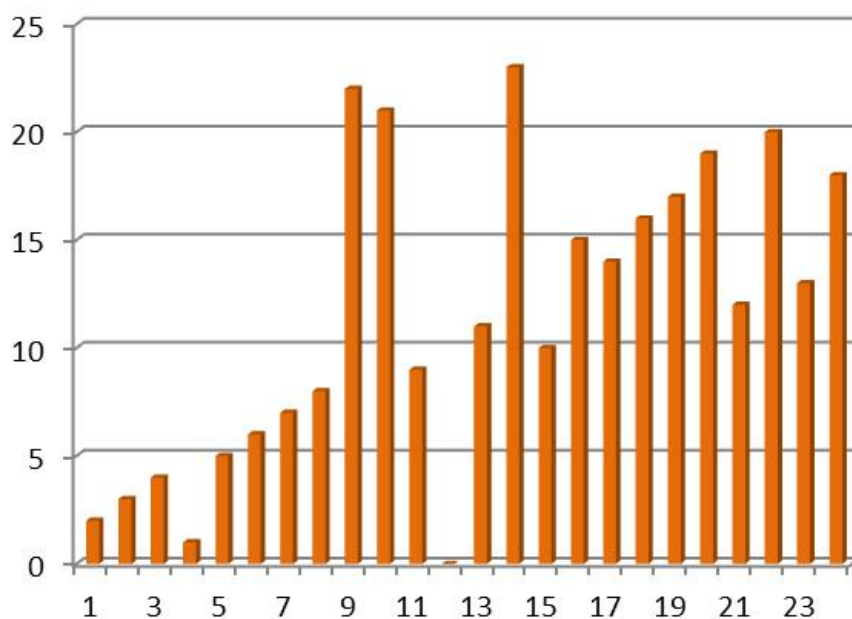
Слика 9. Пожар на Вршачким планинама (извор: <http://evrsac.rs>, 2015).





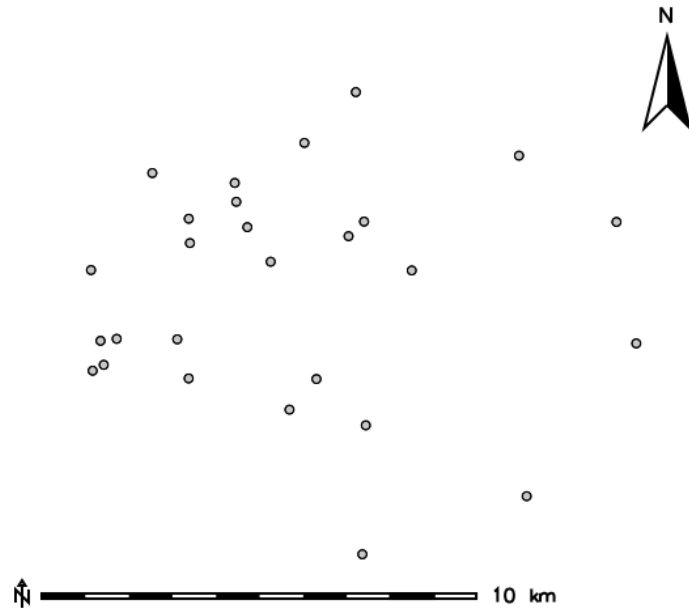
Слика 10. Пожар у ЗС “Мали вршачки рит” (извор: <http://evrsac.rs>, 2015)

Резултати анализе избијања пожара током дана показују да су они најчесталији у поподневним часовима, прецизније у 18 часова, на локалитету заштићеног станишта Мали вршачки рит, које се налази у непосредној близини Вршачких планина.



Слика 11. График учесталости пожара током дана (Штрбац, О., 2009.)

На основу података које је сакупила ватрогасна бригада у Вршцу, за период од 2000. до 2009. издвојене су координате локалитета критичних тачака за појаву шумских пожара.



Слика 12. Критичне тачке за настанак шумских пожара на Вршачким планинама (Штрбац, О., 2011.)

Положај ових тачака био је смерница за одабир правца ваздушних струјања за симулацију кретања ветра уз западне падине Вршачких планина под углом од  $290^{\circ}$ .

Стандардна висина на којој се одређује брзина ветра за предикцију шумских пожара износи 10 метара и добијена је трансформацијом просечне измерене брзине на висини од 2 метра помоћу следеће формуле:

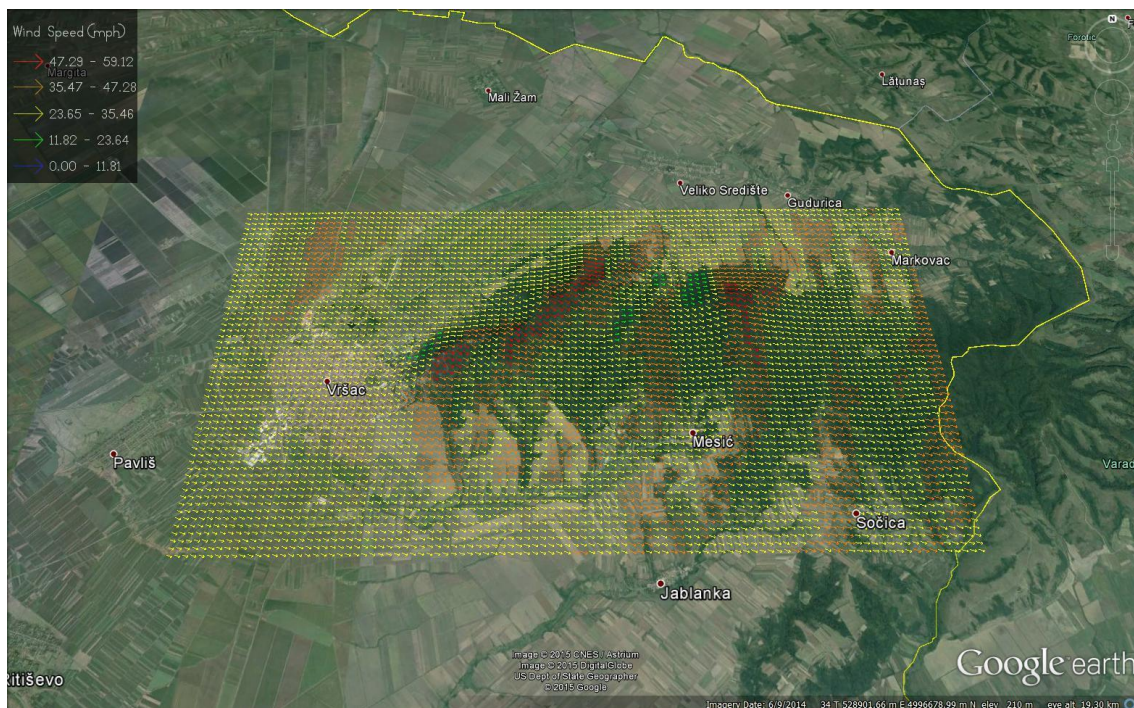
$$u = u_r \left( \frac{z}{z_r} \right)^{\alpha} \quad (47)$$

при чему је  $u$  брзина ветра на одређеној висини [m/s],  $u_r$  је референтна брзина ветра [m/s],  $z$  висина на којој је непозната брзина ветра [m] и  $z_r$  референтна висина на којој је брзина ветра позната [m]. За референтну вредност брзине ветра одабрана је његова просечна брзина у току пожарне сезоне, на основу измерених

података метеоролошке станице у Вршцу у периоду од 1946. до 2013. године. Неопходни улазни податак за израду мапе вектора ваздушних струјања помоћу компјутерског програма WindNinja је и дигитални модел висина (DEM) који мора бити у равни конформне Универзалне трансверзалне Меркаторове пројекције (UTM). Правилна мрежа (енг: grid) која представља површ терена Вршачких планина добијена је аерофотограметријским снимањем и геореферцирањем у Gauss–Krüger-овој пројекцији. Због тога су положаји тачака из једног у други координатни систем конвертовани применом седмопараметарске трансформације у софтверском пакету gvSIG. За генерисање излазних података у програму WindNinja, границе полигона површине око 200 km<sup>2</sup> и просторна резолуција од 3 m пута 3 m, морале су бити смањене на дозвољени ниво, због ограничења меморије са директним приступом (енг: random-access memory-RAM). У ту сврху коришћени су модули r.region и r.resample програма GRASS GIS и добијена је прихватљива резолуција од 168 m пута 168 m и регион од 17 km пута 9.5 km. Након тога из падајућих менија, одабрани су параметри доминантне вегетације, мрежна резолуција и различити формати излазних података. За потребе визуализације добијен је Google Earth File у kmz формату а као улазна датотека за анализу у програму GRASS GIS генерисана је мапа брзине ветра у ASCII и .shp формату. Брзине ветра ове мапе конвертована је из миља на час (mph) у фите у минути (ft/min), док је њена резолуција прилагођена резолуцији панхроматског канала сателитског снимка WorldView-2 од 0.5 m, поменутих модулима r.region и r.resample. Остали канали су додатно обрађени помоћу техника „изоштравања“ и „спајања“ (енг: pansharpening; resolution merge).

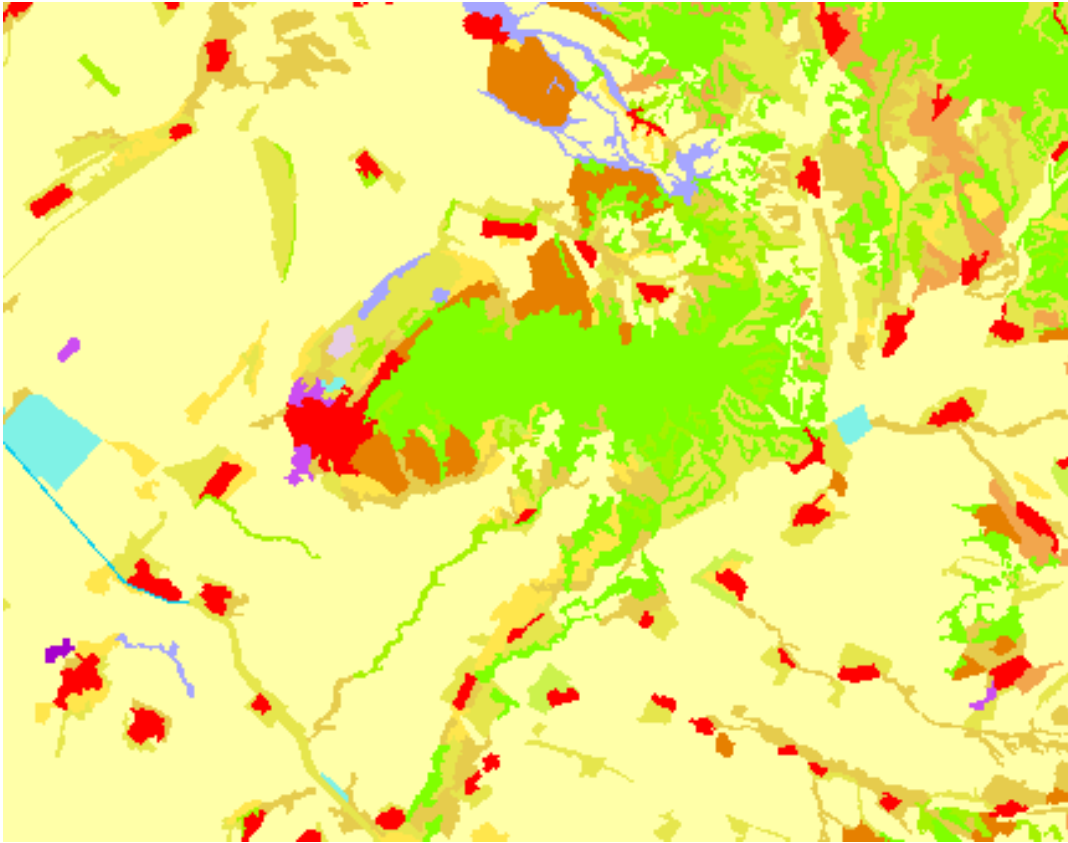


Слика 13. Пожар у викенд насељу на Вршачкима планина (Луховић, А., 2009.)



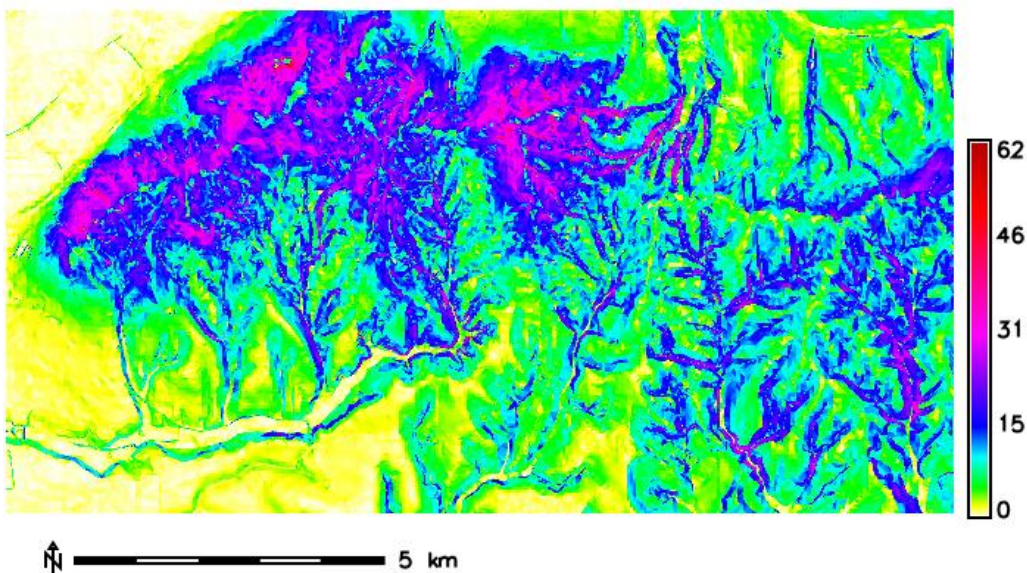
Слика 14. Мапа вектора ваздушних струјања на Вршачким планинама (Штрбац, О., 2012.)

Како би се моделовао шумски пожар софтверском алатком r.gos која је базирана на Rothermel-овом моделу (Rothermel, R. C., 1991) израђене су и карте влажности живог и мртвог горива применом вегетацијских индекса и алгебре мапа. Надгледаном класификацијом на основу CORINE базе података за Србију, (енг: Coordination of Information on the Environment), добијена је и карта модела горива са 9 класа у зависности од степена запаљивости. Карта живог горивог материјала израђена је класификацијом на основу вредности вегетацијског индекса нормализованих разлика (енгл: NDVI) и индекса влаге (енгл: WBI) док је за карту 1-часовног мртвог горива коришћен индекс „старења“ (енгл: PSRI). Приликом додељивања категорије горивог материјала полазило се од чињенице да је влажније гориво теже запаљиво и има веће вредности NDVI и WBI индекса, док више вредности PSRI индекса указују на лако запаљиви мртви горивни материјал.

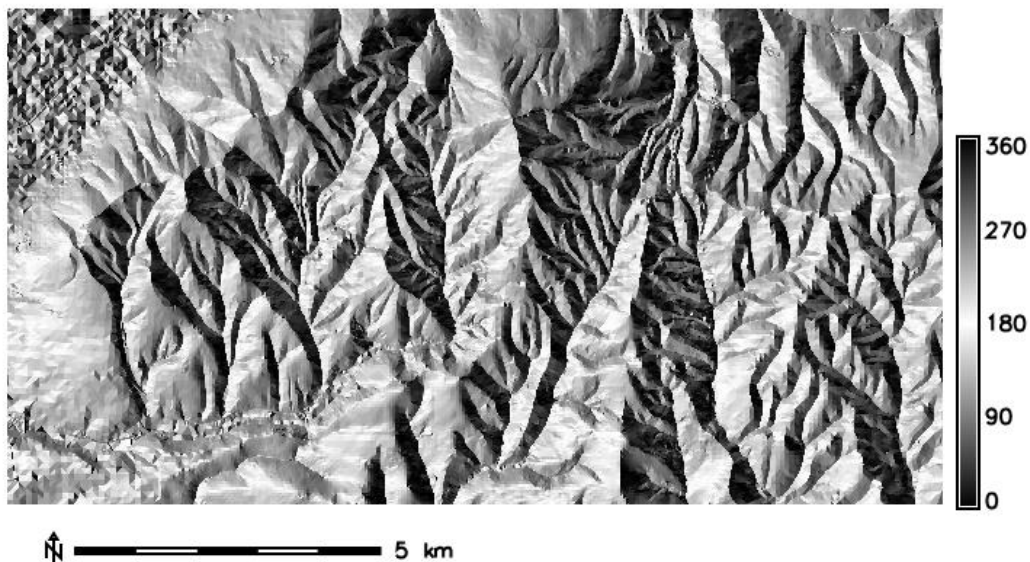


Слика 15. CORINE класификација (Извор: European Environmental Agency, 2010)

Како би се ускладила резолуција и регион постојећег дигиталног модела висина са сателитским снимком, извршена је његова интерполација методом најближег суседа, а затим је употребљен за добијање карте нагиба у % и експозиције у степенима командом `r.slope.aspect`.

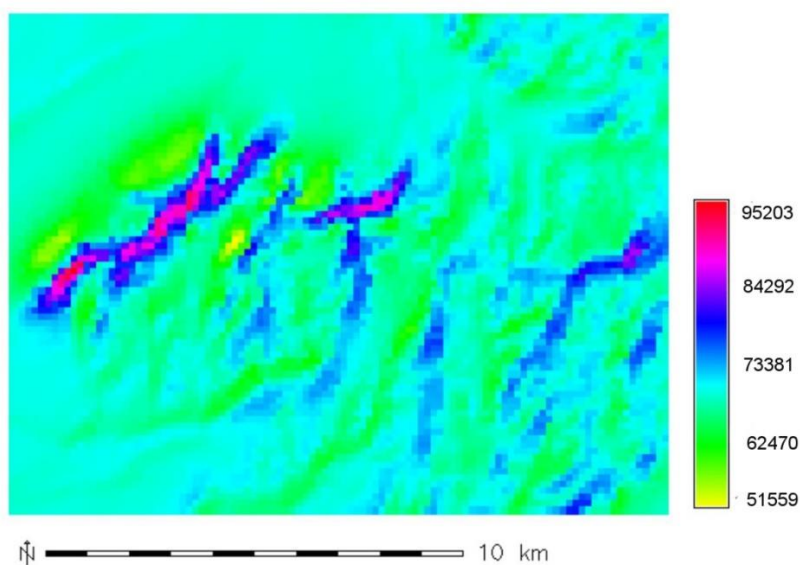


Слика 16. Карта нагиба (Штрбац, О., 2012.)

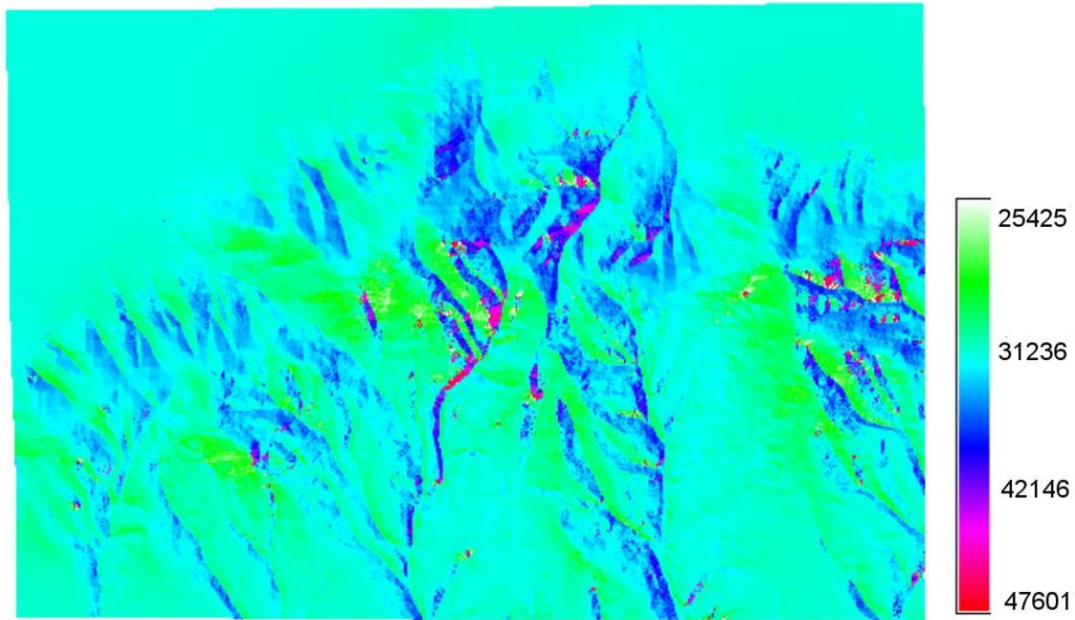


Слика 17. Карта експозиције (Штрбац, О., 2012.)

Након примене модула `r.gos` креирани су излазни параметри у виду 3 мапе: мапа основне брзине ширења ватре попречне на смер ветра и мапа максималне брзине кретања пожара које су изражене у сантиметрима у минути ( $\text{cm}/\text{min}$ ), као и мапа смера максималног ширења ватре у степенима ( $^{\circ}$ ).



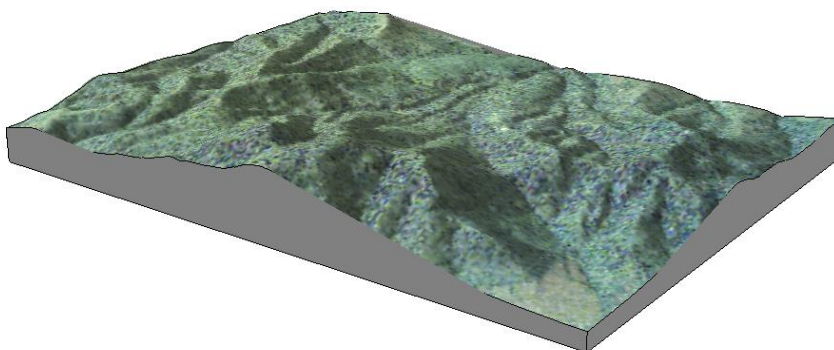
Слика 18. Карта максималних брзина ширења ватре у фитима по минути (Штрбац, О., 2014.)



Слика 19. Карта основних попречних брзина ширења ватре у фитима по минути (Штрбац, О., 2014.)

#### 4. 3. Прорачун ризика од ерозије водом на Вршачким планинама

Количина воде у потоцима на Вршачким планинама условљена је орографијом и климатским условима тако да они имају сезонски карактер. На северној страни налазе се сливови Марковачког, Малосредиштанског и потока Шемица, док се највећи слив потока Месић, површине од 50, 62 km<sup>2</sup> простире од Гудуричког врха ка јужној планинској подгорини. Предмет истраживања количине суспендованог наноса била је акумулација на брани изграђеној 1957. године на локалитету Широко било који је саставни део слива потока Месић.



Слика 20. Аксонометријски приказ локалитета Широко било (Штрбац, О., 2014.)

У оквиру ревитализације локалитета “Широко било”, током лета 2010. године из акумулације на брани извађено је 2314.39 m<sup>3</sup> наталожене земље. Волуметријским методом на основу геодетски снимљених попречних и подужних профила израчунато је да је просечан годишњи нанос био око 0.033 m<sup>3</sup>.



Слика 21. Чишћење бране “Широко било” (Штрбац, О., 2010)

Табела 7. Исказ кубатура ископа (Извор: Петков, А. 2010.)

ПРОФИЛ	површина	средња површина	одстојање	кубатура	кубатура кумулативно
	Профила				
	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>1</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
1	2	3	4	5	6
0+000	29.10				
0+020	31.70	30.40	20.00	608.00	608.00
0+040	22.59	27.15	20.00	542.90	1,150.90
0+060	28.17	25.38	20.00	507.60	1,658.50
0+075	24.17	27.94	15.00	419.03	2,077.53
0+084	17.08	20.63	9.00	185.63	2,263.15
0+090	0.00	8.54	6.00	51.24	2,314.39
<b>УКУПНО:</b>				<b>2314.39</b>	





Слика 22. Акумулација након чишћења (Извор: Николић, Г. 2014)

#### **4. 3. 1. Процена губитка земљишта на Вршачким планинама применом ревидиниране универзалне једначина губитка земљишта (RUSLE)**

Моделирање ерозије и таложења наноса започето је обрадом улазних података неопходних за примену ревидиниране универзалне једначина губитка земљишта (RUSLE). Прво је одређен фактор ерозивности кише  $R$  на основу анализе осматрања киша на метеоролошкој станици у Вршцу у периоду од 1954. до 1983. године. Множењем интензитета тридесетоминутне кише током најјачег интервала и укупног интензитета 57 кишних епизода прочитаних са плувиографских трака усвојена је средња вредност од 274 јединица ( $\text{MJ} \cdot \text{mm} / \text{ha} \cdot \text{h}$ ).

Табела 8. Вредности ерозивности кише за 10. и 11. април 1967. године (Штрбац, О., 2014.)

Време трајања кишног интервала (час, мин)	Количина падавина (mm)		Дужина интервала (min)	Интензитет кишног интервала (mm/h)	Интензитет кишних интервала (MJ/ha)
	од почетка кише	за интервал кише			
7:30	0.0				
8:30	2.2	2.2	60	2.20	0.25
12:20	2.2	0.0	230	0.00	0.00
12:50	5.8	3.6	30	7.20	0.63
18:10	5.8	0.0	320	0.00	0.00
18:20	10.0	4.2	10	25.20	1.11
18:25	20.0	10.0	5	120.00	2.90
18:30	30.0	10.0	5	120.00	2.90
18:35	40.0	10.0	5	120.00	2.90
18:40	50.0	10.0	5	120.00	2.90
18:52	60.0	10.0	12	50.00	2.86
19:10	65.2	5.2	18	17.33	1.24
20:10	68.8	3.6	60	3.60	0.48
3:25	70.0	1.2	435	0.17	0.10
3:50	76.4	6.4	25	15.36	1.48
4:05	79.3	2.9	15	11.60	0.61

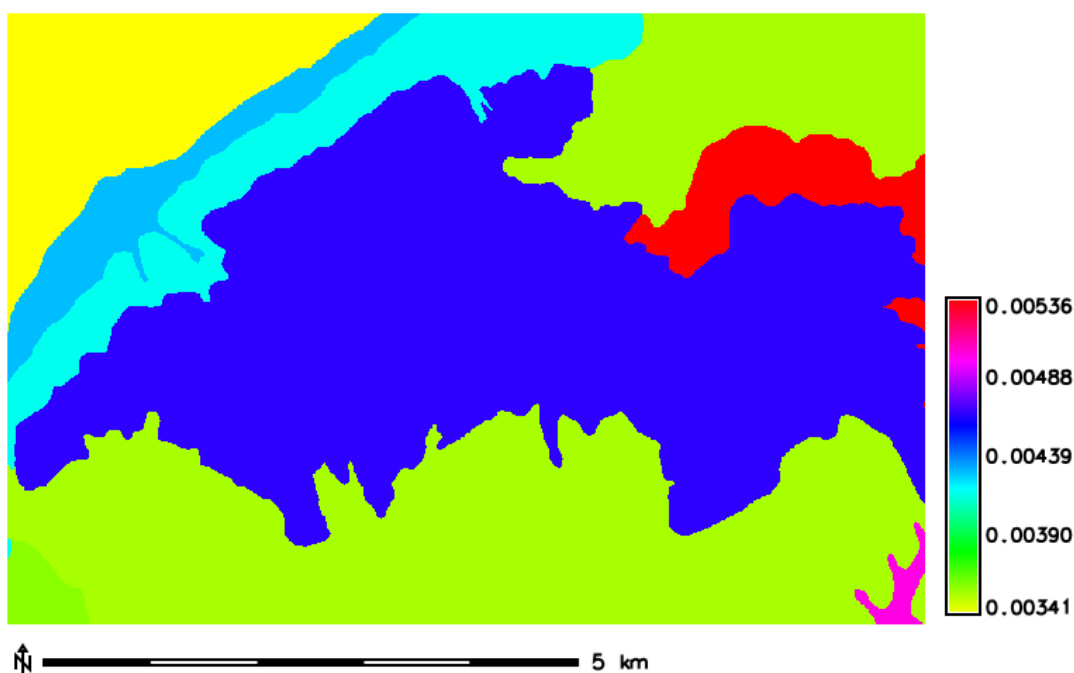
Коефицијент земљишта  $K$  детерминисан је на основу педолошке карте и прорачуном еродибилности земљишта на основу механичког састава. Позиционирање педолошких профила обављено је применом кинематичке методе у реалном времену (енг: Real Time Kinematic) физичким кретањем оператера а узорковање сетом Eijkelkamp ручних сонди. Механички састав 2 узорка земљишта одређен је пипет методом, узорци су припремљени Na-пирофосфатом по Thun-у, а текстурна класа одређена је на основу класификације по Tommerup-у (Видојевић,

Д. и Баћановић, Н. 2016.). Хидрометријски састав осталих 11 узорак испитан је комбинованом методом хидрометрисања и мокрог сејања према поступку описаном у стандарду СРПС U.B1.018:2005. Предходно осушени узорак на 105 °С просејан је кроз стандардна сита а као дисперзивно средство коришћен је раствор натријум-хексаметафосфата (Ђоковић, К. и др. 2011).

Табела 9. Гранулометријски састав земљишта и % (Извор: Ђоковић, К. и др. 2011;) Видојевић, Д. и Баћановић, Н. 2016.)

Место узорковања		Учешће фракција				
φ	λ	Глина	Прах	Песак	Шљунак	Запреминска маса тла без пора (g/cm <sup>3</sup> )
		< 0.002 mm	0.002- 0.06 mm	0.06-2.0 mm	2.0-60.0 mm	
21° 20' 39" E	45° 07' 24" N	6	43	42	9	2.582
21° 20' 54" E	45° 07' 20" N	4.5	27.5	41.7	26.2	2.604
21° 20' 45" E	45° 07' 22" N	3	33	57	7	2.551
21° 22' 18" E	45° 08' 23" N	15.5	45	37	2.5	2.685
21° 19' 30" E	45° 07' 19" N	7	42	41	10	2.582
21° 29' 28" E	45° 07' 50" N	35	32	28	5	2.645
21° 24' 46" E	45° 08' 13" N	6	27	41	26	2.604
21° 23' 16" E	45° 08' 41" N	30	28	16	26	2.690
21° 23' 19" E	45° 08' 42" N	27	37	25	11	2.594
21° 27' 15" E	45° 05' 37" N	7	21	32	40	2.573
21° 20' 39" E	45° 07' 24" N	10	23	61	6	2.686
21° 19' 47" E	45° 8' 55" N	53.76	22.96	21.63	1.65	2.702
21° 27' 13" E	45° 5' 24" N	33.92	29.32	34	2.76	2.679

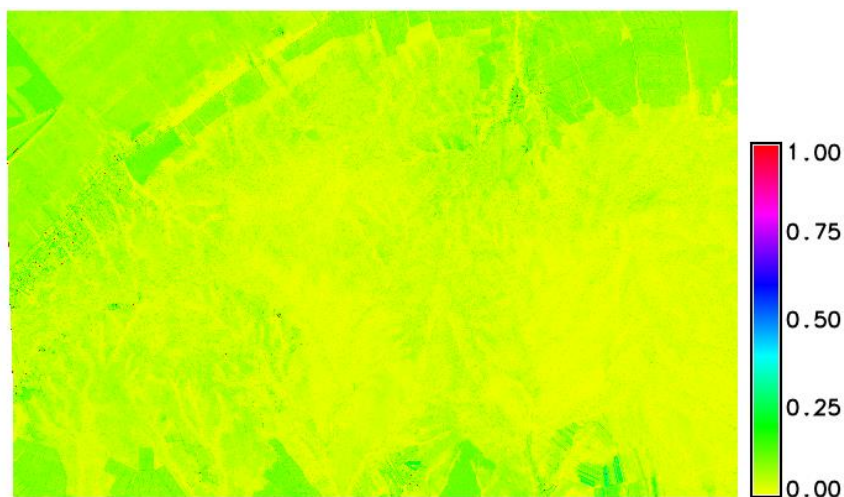
На основу аритметичке средине граничних вредности величина честица и учешћа сваке од фракција у програмском пакету Excel израчуната је геометријска средина пречника честица а затим и фактор  $K$  према функцији бр. (24). Сваки од коефицијената додељен је одређеном типу земљишта према педолошкој карти из 1986. године (Миљковић, Н. С. 1986) која је предходно скенирана, геореференцирана и дигитализована у програмском пакету AutoCAD® Map 3D. Како би се затвореним полигонима могли доделити израчунати коефицијенти за улазну векторску мапу креирана је топологија и подешени метаподаци а затим је она конвертована у растерски формат командом `v.to.rast`.



Слика 23. Коефицијент еродибилности земљишта  $K$  (Штрбац, О., 2014.)

За прорачун топографског утицаја на процес ерозије, осим мапа нагиба и експозиције, командом `r.slope.aspect` генерисане су и карте парцијалних извода висина које представљају промене у протоку наноса у правцу  $x$  и  $y$  осе.

Коефицијент вегетације добијен је применом експоненцијалне функције бр. (34) која у својој основи има NDVI (van der Knijff et al. 2000; Kouli, M. et al. 2008) док је за конзервациони коефицијент усвојена вредност 1 јер нису примењене мере заштите на испитиваном локалитету.



Слика 24. Фактор вегетације  $C$  (Штрбац, О., 2014.)

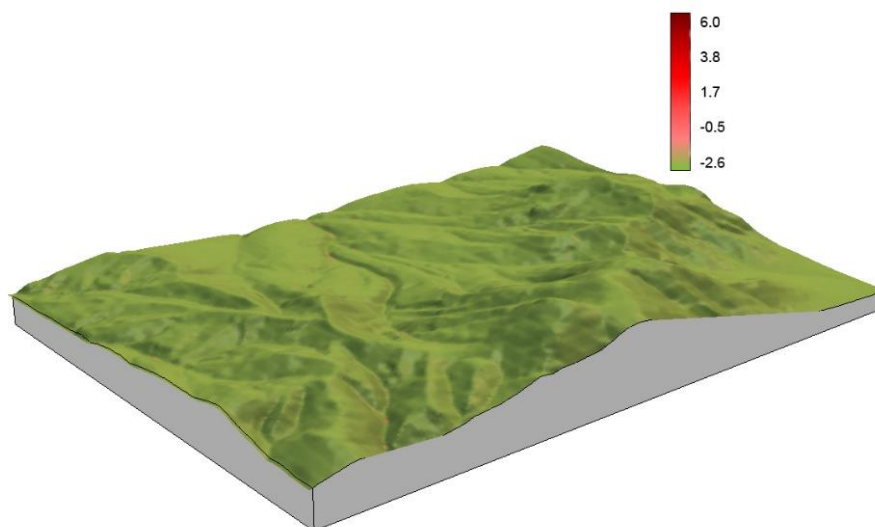
Све мапе коришћене за процену ризика од ерозије прилагођене су резолуцији и региону панхроматског канала сателитског снимка WorldView-2 од 0.5 m, а затим препројектоване из UTM пројекције и WGS84 датума у Gauss–Krüger-ову пројекцију и Hermannskogel-ов датум. С обзиром да током појаве олујних киша потоци на Вршачким планинама попримају бујични карактер за коефицијенте  $m$  и  $n$  из једначине бр. (32) усвојене су вредности 1.3 и 1.2 карактеристичне за подручја са израженим вододеринама ( Mitasova, H. et al. 1995).

Након припреме неопходних улазних параметара добијена је карта денудације и таложења земљишта применом следећег скрипта:

```
r.slope.aspect DMT nagib=slope ekspoz=aspect
r.flow DMT akumulacija=flowacc
r.mapcalc "topografija = flowacc * 0.5 * sin(nagib)"
r.mapcalc "denudacija = pow(flowacc * 0.5,1.3) * pow(sin(nagib),1.2)"
r.mapcalc "A = 274 * K * C * topografija"
r.mapcalc "topografija_x = topografija * cos(ekspoz)"
r.mapcalc "topografija_y = topografija * sin(ekspoz)"
r.slope.aspect topografija_x dx=topografija_dx
r.slope.aspect topografija_y dy=topografija_dy
r.mapcalc "erozija_talozenje = topografija_dx + topografija_dy"
r.colors erozija_talozenje rules=boje.txt
```



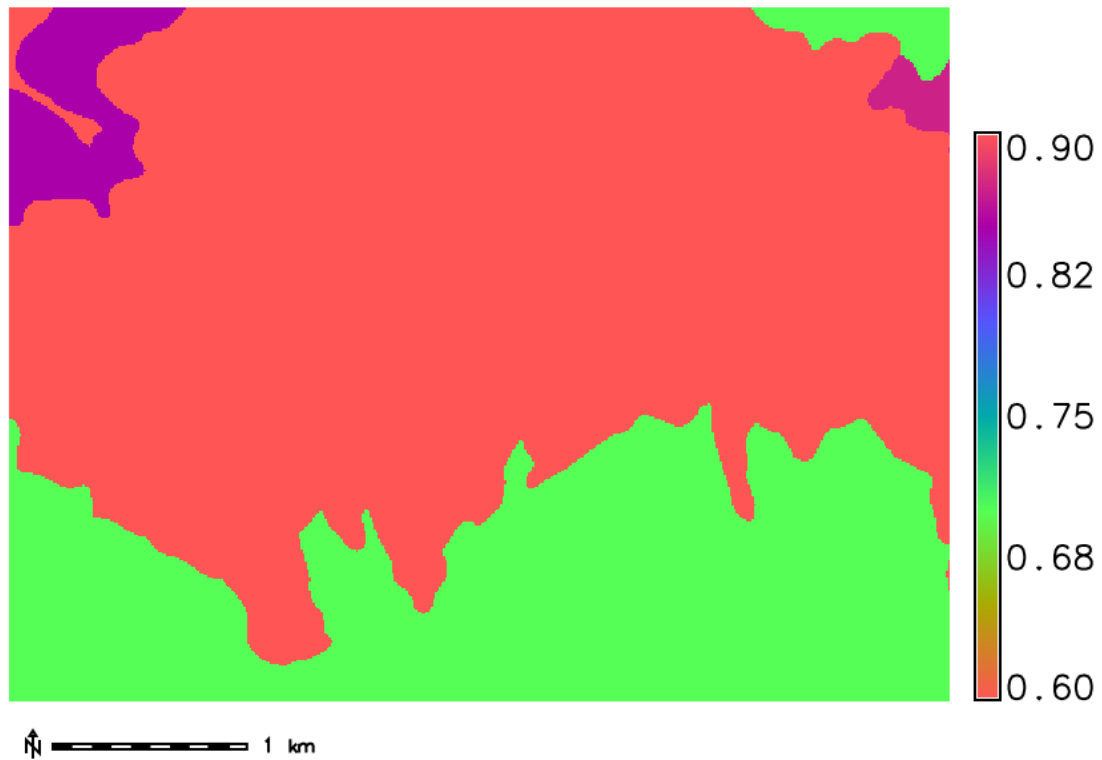
Слика 25. Нанос у пресушеном потоку на локалитету “Широко било” (Штрбац, О., 2012)



Слика 26. Трoдимензиoни приказ денудације и таложења земљишта (Штрбац, О., 2015.)

#### 4. 3. 2. Процена ерозије водом на Вршачким планинама применом методе С. Гавриловића

На основу средње годишње температуре ваздуха и количине укупних годишњих падавина у периоду од 1946. до 2013. године израчунати су температурни коефицијент  $T$  према обрасцу бр. (36) као и аритметичка средина укупних годишњих падавина  $H_{god}$ . Коефицијенти отпорности земљишта на ерозију детерминисани су калибрацијом табеларних средњих вредности по С. Гавриловићу на основу теренских истраживања, док је за коефицијент заштићености земљишта без антиерозионих радова  $X$  употребљен NDVI.



Слика 27. Коефицијенти отпорности земљишта на ерозију  $Y$  (Штрбац, О., 2014.)



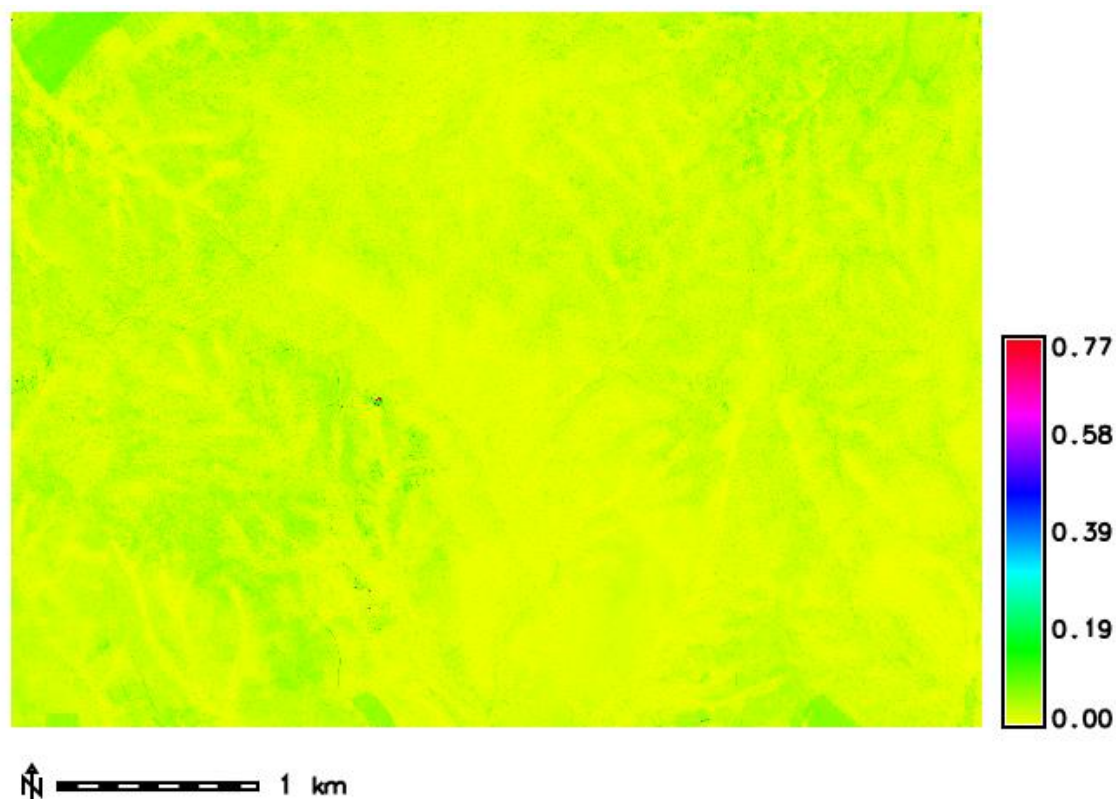
Слика 28. Вегетацијски индекс нормализованих разлика NDVI (Штрбац, О., 2012.)

Како на испитиваном локалитету није било видљивих трагова ерозије за средњу вредност коефицијента видова ерозионих процеса  $\varphi$  усвојена је вредност 0.1.

Просечни пад терена израчунат је командом `r.univar`, као средња вредност нагиба дигиталног модела висина креираног модулом `r.slope.aspect`.

Годишња продукција ерозионих наноса у  $\text{m}^3/\text{km}^2$  добијена је помоћу следеће команде:

```
r.mapcalc "1.178579 * 853.2973 * 3.14 * sqrt(pow(srednagib@gavrilovic,3))"
```



Слика 29. Годишња продукција наноса на локалитету Широко било изражена у  $\text{m}^3/\text{km}^2$  (Штрбац, О., 2015.)

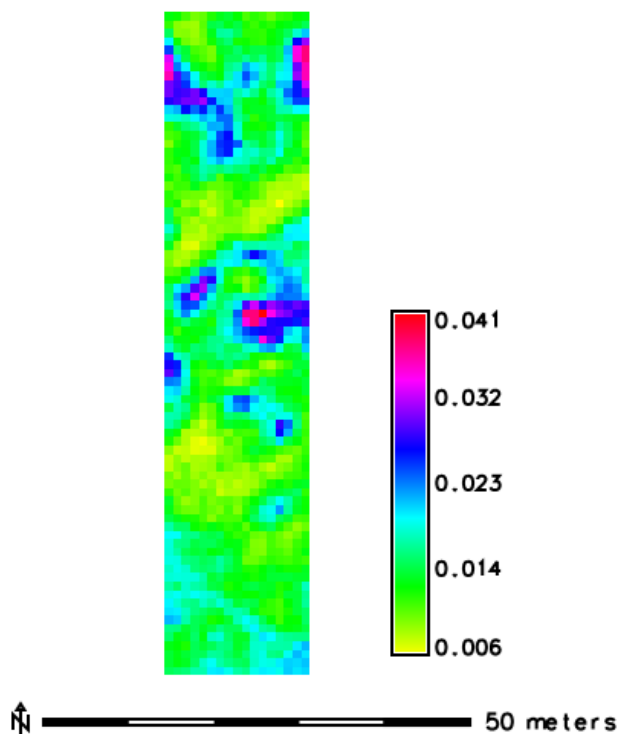
#### 4. 3. 3. Компаративна анализа процена ерозије водом методом С. Гавриловића и применом ревидиниране универзалне једначине губитка земљишта (RUSLE)

Једна од полазних хипотеза истраживања је утврђивање прецизности обе методе процене ерозије водом компарациојм са резултатом добијеним обрачуном ископа из акумулације на брани “Широко било”. Због тога је позиционирање граничног полигона акумулације обављено ГПС уређајем континуираним мерењем њеног

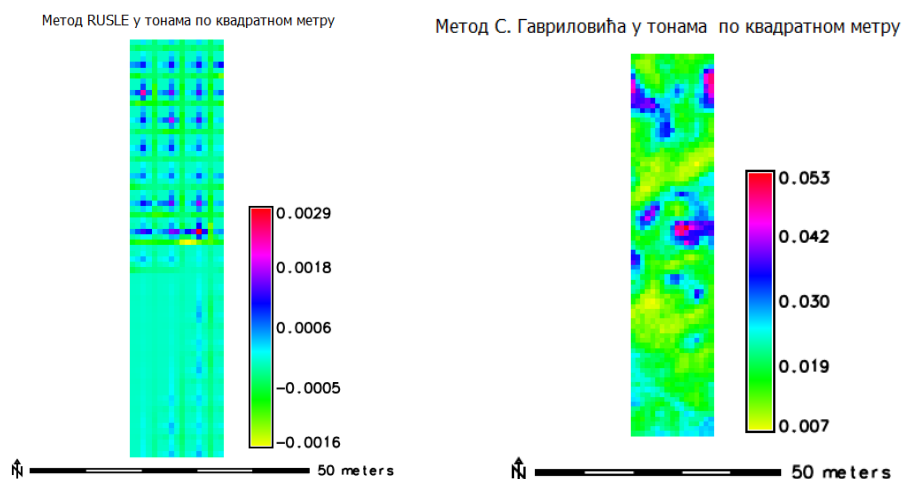


обода у RTK (Real Time Kinematic) режиму рада. Након уноса векторске датотеке у GRASS GIS регион осталих мапа подешен је на површину од око 1325.75 m<sup>2</sup> са браном у централној позицији.

Како би се резултати процене годишње продукције ерозионих наноса методом С. Гавриловића могли упоредити са проценом ризика од ерозије применом ревидиниране универзалне једначина губитка земљишта (RUSLE) вредности пиксела у m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup> трансформисане су у t/km<sup>2</sup>. У ту сврху употребљена је средња вредност масе тла израчуната на основу специфичне тежине  $\gamma_s$  једанаест лабораторијски обрађених узорка изражена у грамима по кубном сантиметру (g/cm<sup>3</sup>). Начин одређивања запреминске масе тла без пора спроведен је према стандарду SRPS U.B1.014:1988. Заостали ваздух из узорка одстрањен је кувањем (Ђоковић, К. и др. 2011). Након што је кумулативна кубатура од 2314.39 m<sup>3</sup> добијена обрачуном геодетски снимљених попречних и подужних профила бране, подељена је површином усвојеног региона од 1325.75 m<sup>2</sup> и помножена израчунавом масом земљишта у тонама. На тај начин добијена је вредност од 0.043 t/km<sup>2</sup> што се сматра врло слабо израженим процесом ерозије.



Слика 30. Годишња продукција наноса по методи С. Гавриловића у акумулацији на Широком билу изражена у m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup> (Штрбац, О., 2015.)



Слика 31. Карта денудације и таложења за локалитет бране на Широком билу изражена у  $t/km^2$  применом ревидиниране универзалне једначине губитка земљишта-RUSLE и методом С. Гавриловића (Штрбац, О., 2015.)

Статистичком анализом модулом *g.univar* израчунате су минималне и максималне вредности, аритметичка средина, варијанса, стандардна девијација и коефицијенти варијације за обе карте. Аритметичка средина вредности пиксела карте процене ерозије ревидираном универзалном једначином губитка земљишта (RUSLE) има негативни предзак и налази се веома близу нулте вредности. Методом С. Гавриловића добијена је карта са аритметичком средином пиксела која има позитивну вредност и износи  $0.020 t/km^2$ . Распон вредности денудације и таложења у пикселу применом ревидиране универзалне једначине (RUSLE) креће се од  $-0.0016$  до  $0.0023$  док је методом С. Гавриловића добијен распон од  $0.0073$  до  $0.053 t/km^2$ . За генерисане мапе не постоји значајна корелисаност а њихова веза може се описати следећом једначином линеарне регресије:

(47)

$$y = 0.0198 - 0.0004x$$

## Закључак

Технологија географског информационог система постала је незаобилазни део процеса управљања заштићеним природним добрима широм света. Без обзира на право богатство природних ресурса и биодиверзитета имплементација ове технологије у Србији још није заживела. Основни циљ овог истраживања био је да се прикажу могућности ГИС-а кроз моделирање шумских пожара и процену ризика од ерозије, два комплексна природна феномена, који представљају највећу опасност по природу Вршачких планина. Специфични циљ био је и промоција и популаризација коришћења бесплатних ГИС програмских пакета који би се могли применити приликом планирања и управљања и у другим заштићеним природним добрима у Србији.

У складу са климатским променама и све већом угроженошћу шума од пожара њихова превенција и сузбијање постали су императив. Симулација шумског пожара под одређени метеоролошким условима пружа могућност планирања његовог сузбијања. Овим истраживањем утврђено је да се применом емпиријског модела насталог у Америци, бесплатним програмским пакетима може успешно визуелно приказати степен ширења ватре. Уз промену улазних параметара као што су брзина и правац ветра у веома кратком времену моделом се може предвидети просторно ширење шумског пожара а самим тим и план његовог сузбијања и евакуације угроженог становништва. Оно што је неопходно за ефикасније реаговање у борби против шумских пожара је истраживање горивог материјала на локалном нивоу применом метода даљинска детекције.

Резултати истраживања показали су да се вредности ерозије и таложења применом обе методе, како ревидиране универзалне једначине губитка земљишта (RUSLE) и С. Гавриловића, сврставају у исту категорију без обзира на методологију и да се зато полазна хипотеза прихвата. Што се тиче прецизности методом С. Гавриловића добијене су вредности ближе референтној вредности насталој геодетским мерењем профила ископа. Ревидирана универзална једначина дала је око 20 пута ниже вредности у односу на израчунате кумулативне кубатуре ископа, због чега је и ова хипотеза прихваћена. Ово се може објаснити чињеницом да је метод RUSLE настао вишегодишњим истраживањима пољопривредног

земљишта у САД-у и да су огледне парцеле имале нагиб од 9% за разлику од испитиваног локалитета на Вршачким планинама. Следећи корак у истраживањима био би калибрација ревидиране универзалне једначине губитка земљишта емпиријским подацима са територије Србије, као и корекција коефицијената вегетације по методи С. Гавриловића на основу вегетацијских индекса добијених сателитским снимцима. Општи закључак је да су могућности ГИС-а многобројне и још увек недовољно истражене у Србији.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Albini, F. A., et Baughman, R.G. (1979). Estimating wind speeds for predicting wildland fire behavior. USDA Forest Service. Research Paper INT-221. Ogden. Utah.
2. Anderson, H. E. (1982). Aids to Determining Fuel Models for estimating Fire Behavior. USDA Forest Service. General Technical report INT-122. Ogden. Utah.
3. Andersen, L. G. (1998). Classification and Estimation of Forest and Variables in Optical High Resolution Satellites: A Review of Methodologies, International Institute for Applied Systems Analysis, Luxemburg
4. Anderson, H. E. (1983). Predicting Wind-Driven Wild Land Fire Size and Shape. USDA Forest Service. General Technical report INT-305. Ogden. Utah.
5. Andrews, L. P. (1986). Behavior: Fire Behavior Prediction and Fuel modelling System-BURN Subsystem, Part 1. Forest Service, Intermountain Research Station. Ogden . Utah. 1-134
6. Andrews, L. P. (2012). Modeling Wind Adjustment Factor and Midflame Wind Speed for Rothermel's Surface Fire Spread Model. USDA Forest Service. General Technical report RMRS-GTR-266. Fort Collins. Colorado. 39 p.
7. Arroyo, A. L., Pascual, C., Manzanera A. J. (2008). Fire models and methods to map fuel types: The role of remote sensing, manuscript, Technical University of Madrid
8. Asner, G. P. (1998). Biophysical and Biochemical Sources of Variability in Canopy Reflectance. Remote Sensing of Environment. 64:234–253. New York.
9. Бајат, Б. и Штрбац, Д. (2003). Анализа квалитета дигиталног модела терена на локацији „Златибор“. Гласник Српског Географског Друштва. Бр. 1, стр. 31-42
10. Bassi, C., Kampa, E. et Cavalieri, S. (2008). Forest Fires: causes and contributing factors in Europe. European Parliament's Committee on the Environment, Public Health and Food Safety. pp. 1-49.

11. Basso, B., Cammarano D., DeVita P. (2004). Remotely Sensed Vegetation Indices: Theory and Applications for Crop Management. *Rivista Italiana di Agrometeorologia* 36-53 (1)
12. Благојевић, Б. (2012). Развој методологије процјене ерозије тла и проноса наноса примјеном ГИС технологија у функцији управљања заштитом животне средине. Докторска дисертација. Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука.
13. Bodrožić, L.J., Marasović, J. I Stipaničev, D. (2005). Fire modeling in forest fires management. ResearchGate.  
<https://www.researchgate.net/publication/228925788>
14. Борота, Д. (2011). Даљинска детекција и аерофотограмetriја-основни принципи и могућности примене у инвентури шума Србије, Шумарски факултет, Београд
15. Brown, L. C. et Foster, G. R. (1987). Storm Erosivity Using Idealized Intensity Distributions. *Transactions of the ASAE*. Vol. 30 (2).379-386
16. Buchanan, T. R. (2010). Comparison of Geographic information system software (ArcGIS 9.9 and GRASS 6.0: Implementation and case study. Fort Hays State University. Hays.
17. Burgan, R. E. (1979). Estimating live fuel moisture for the 1978 national fire danger rating system. USDA Forest Service. Research Paper INT-226. Ogden. Utah
18. Burgan, R. E. et Rothermel R. C. (1984). BEHAVE: Fire Behavior Prediction and Fuel Modeling System-FUEL Subsystem. A Publication of the National Wildfire Coordinating Group. Intermountain Forest and Range Experiment Station Ogden. Utah. pp 1-132
19. Burgan R. E. (1987). Concept and Interpreted Example in Advanced Fuel Modeling. USDA Forest Service. General Technical report INT-238. Ogden. Utah
20. Burrough, A. P. et McDonell, A. R. (2006). Principi Geografskih Informacionih Sistema, Građevinski fakultet, Beograd
21. Butler, W. B., Finney, A. M., Andrews, L. P. (2004). A radiation-driven model for crown fire spread. *Can. J. For. Res.* Vol. 34, pp. 1588-1599

22. Byram, G. M. (1959). *Combustion of Forest Fuels*. McGraw-Hill Book Company. New York.
23. Childs, J. (2011). *Measuring urban air quality using WorldView2 multiangle multispectral band data*. Terrainmap Earth Imaging LLC. Shelburne. Canada
24. Chuvieco, E., Vaughan, P., Riaño, D., Cocero, D. (1999). *Fire danger and fuel moisture content estimation from remotely sensed data*. The Joint Science Conference and Workshop University of Idaho and the International Association of Wildland Fire. Idaho. 1-7
25. Chuvieco, E., Cocero, D., Riaño, D., Pilar, M., Martínez-Vega, J., De la Riva, J., Pérez, F. (2004). *Combining NDVI and surface temperature for the estimation of fuel moisture content in forest fire danger rating*. *Remote Sensing of Environment*. No. 92. pp. 322-331
26. Chuvieco, E., González, I., Verdú, F., Aguado, I., Yebra, M. (2009). *Prediction of fire occurrence from live fuel moisture content in a Mediterranean ecosystem*. *International Journal of Wildland Fire*. No. 18. pp. 430-441
27. Ciolli, M., Sguerso, D., Zatelli, P. (2002). *GIS application with GRASS*. *Proceedings of the Open Source Free Software GIS-GRASS users conference 2002*. Trento
28. Cohen, J. D. et Deeming J. E. (1985). *The National Fire Danger Rating System: basic equations*. Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station. Berkeley.
29. Danson, F. M. Et Bowyer, P. (2004). *Estimating live fuel moisture content from remotely sensed reflectance*. *Remote Sensing of Environment* 92, pp. 309-321
30. Daughtry, C. S. T., Hunt Jr, E. R., et McMurtrey, J. III. (2004). *Assessing Crop Residue Cover Using Shortwave Infrared Reflectance*. *Remote Sensing of Environment* 90. 126-134
31. De Santis, A., Robles, C., Vaughan, J. S. Chuvieco, E. (2006). *Hyperspectral camera: How to analyse the images*. EUFIRELAB
32. Dickinson, H. J. (1990). *Deriving a Method for Evaluating the Use of Geographic Information in Decision Making*. State University of New York at Buffalo. Department of Geography. Buffalo.

33. Dobhal, S. (2008). Performance analysis of high-resolution hyperspectral data fusion for classification and linear feature extraction. Institute for Geoinformation Science and Earth Observation. Enschede
34. Dogandijeva, R. (2008). Forest Fires in Southern Europe: An Econometric Investigation of the Existence of Economic Incentives for Fire Arson. Department of Economics. University of Richmond. Richmond.
35. Дуцић, В., Миленковић, М. и Радовановић, М. (2011). Географски фактори настанка шумских пожара у Делиблатској пешчари. Српско географско друштво. 275-290.
36. Dupuy, J-L. et Alexandrian, D. (2010). Fire Modelling and Simulation Tools. Towards Integrated Fire Management-Outcomes of the European Project Fire Paradox. Editors: Silva, J. S., Rego, F., Fernandes, P., Rigolot, E. European Forest Institute Research Report 23. pp. 61-69. Porvoo.
37. Ђоковић, К., Килибарда, Н. И Милићевић, Р. (2011). Извештај о испитивању бр. Г-0004/11. Институт за испитивање материјала а. д. Београд. Лабораторија за путеве и геотехнику. Београд
38. Ђоровић, М., Петковић, Т., Летић, Ј., Бацкић, Г. И Репеншек, М. (1984). Предходна климатолошка истраживања у Алибунарском риту: „Обрада интензитета падавина (ИТП криве) за мелирационо подручје СИЗ-а одводњавања Вршац, Бела Црква, Алибунар“ (Метеоролошка станица Вршац). Универзитет у Београду, Шумарски факултет. Институт за водопривреду ерозионих подручја. Београд.
39. Eckert, S. (2006). A Contribution to Sustainable Forest management in Patagonia. Object-oriented Classification and Forest Parameter Extraction based on ASTER and Landsat ETM+ Data. Mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät. Universität Zürich. Zürich
40. Efe, R., Ekinci, D. et Cürebal, I. (2008). Erosion Analysis of Şahin Creek Watershed (NW of Turkey) Using GIS Based on RUSLE (3d) Method. Journal of Applied Sciences 8(1). 49-58
41. Elsharkawy, A. , Elhabiby, M. et El-Sheimy (2012). Quality Control on the Radiometric Calibration of the WorldView-2 Data. Proceedings of Global Geospatial Conference 2012 Québec City, Canada, 14-17 May 2012.



42. Ferraz, A., Bretar, F., Jacquemoud, S., Gonçalves. (2009). The Role of Lidar Systems in Fuel Mapping. Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores de Coimbra, Coimbra
43. Ferro, V. et Porto, P. (1999). A comparative study of rainfall erosivity estimation for southern Italy and southeastern Australia. *Hydrological Sciences—Journal—des Sciences Hydrologiques*. 44(1). 3-24
44. Finney, M. A. (1998). FARSITE: Fire Area Simulator-model development and evaluation. Res. Pap. RMRS-RP-4, Ogden, UT: U. S.: Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Ogden.47 p.
45. Finney, M. A. (1999).Mechanistic modeling of landscape fire patterns. Spatial modeling of forest landscape change: approaches and application.Editors: Mladenoff, J. D. et Baker, L. W. Cambridge University Press,. Cambridge
46. Finney, M. A. (2004).FARSITE:Fire Area Simulator-Model Development and Evaluation. . USDA Forest Service. Research Paper RMRS-RP-4 Revised. Ogden. Utah
47. Finney, M. A. (2005). The challenge of quantitative risk analysis for wildland fire. *Forest Ecology and Management* 211. Pp. 97-108
48. Foster, G. R., McCool, D. K., Renard, K. G. et Moldenahauer, W. C. (1981). Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. *Journal of Soil and Water Conseravtion*. Vol. 38. No 6. 355-359
49. Fujioka, F. M. (1985). Estimating Wildland Fire Rate of Spread in a Spatially Nonuniform Environment. *Forest Science*. Vol. 31, No. 1, pp. 21-29.
50. Gandharum, L. (2010). Classification of Oil Palm in Indonesia Using FORMOSAT-2 Satellite Image. National Central University. Taiwan
51. García, S.G., Erena, M., López-Francos, A., Montesinos S., Berthoumieu, J.P. (2012). Assessment of vegetation indexes from remote sensing: theoretical basis. The use of remote sensing and geographic information systems for irrigation management in Southwest Europe. Zaragoza. p. 65-75
52. Гавриловић С. (1972). Инжењеринг о бујичним токовима и ерозији. Часопис „Изградња“.Специјално итдање. Београд.

53. Гбурчик, П., Гбурчик, В. и Лазовић, Н. (2004). Климатски ресурси општине Вршац-прелиминарна оцена стања. Фондација за еколошке акције. Београд.
54. Giannone, F. (2006). A rigorous model for High Satellite Imagery Orientation. University of Rome "La Sapienza".
55. Главендекић, М. (2011). Диверзитет зглавкара у шумама подручја Обедске баре, ЈП „Војводинашуме“, Петроварадин
56. Globevnik, L., Holjević, D., Petkovšek, G. Et Rubinić, J. (2003). Applicability of the Gavrilovic method in erosion calculation using spatial data manipulation techniques. Erosion Prediction in Ungauged Basins: Integrating Methods and Techniques (Proceedings of symposium HS01 held during IUGO2003 at Sapporo. July 2003). IAHS Publ. no. 279. 2003.224-233
57. Gobena, J. Y. (2003). Soil Erosion Assessment Using Remotely Sensed Data and Ancillary Data in the Desert of Tabernas Southeast Spain. Institute for Geo-information Science and Earth Observation. Enschede
58. Gonzales, C. R. et Woods E. R. (2002). Digital Image Processing. Prentice Hall, New Jersey
59. Гучевић, Ј. и Делчев С. (2011). Прикупљање података применом ГПС технологије. Универзитет у Београду. Грађевински факултет. Одсек за геодезију и геоинформатику. Београд.
60. Hashem, N. (2002). The use of high resolution remote sensing and GIS to parameterise spatially-distributed erosion models. University of London. Department of Geography. King's College London
61. Häusler, T., Gomez, S., Ramminger, G. , Siwe, N. R. (2009). GMES Service Element Forest Monitoring Final Report 2003-2009, GAF AG, München
62. Hsieh, P. H. et Landgrebe, D. (1998). Classification of high dimensional data. School of Electrical and Computer Engineering, Purdue University, Indiana
63. [http://eumetrain.org/resources/forest\\_fires\\_2013.html](http://eumetrain.org/resources/forest_fires_2013.html)
64. Huete A. R. (1988). A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT 25:295-309.
65. Jackson, D. R. et Huete, R. A. (1991). Interpreting vegetation indices. Preventive Veterinary Medicine, No. 11, pp 185-200

66. Jacquemoud, J. Et Ustin, S. L. (2003). Application of radiative transfer models to moisture content estimation and burned mapping. 4th International Workshop on Remote Sensing and GIS Application to Forest Fire Management „Inovative Concepts and Methods in Fire Danger Estimation. Chuvieco, E., Martín, P., Justice, C. (Editors). Ghent University, Ghent.
67. Jia, J. G., Burke, C. I., Kaufmann, R. M., Goetz F. H. A., Kindel, C. B., Pu, Y. (2006). *Forest Ecology and Management* 229, pp. 27-38
68. Јурјевић, П., Вулетић, Д., Грачан, Ј. и Селектовић, Г. (2009). Шумски пожари у Републици Хрватској (1992-2007). Шумарски лист бр. 1-2, СХХ III. 63-72
69. Kerekes, P. J. (1994). NDVI Sensitivity to atmospheric Water vapor as a Dunction of Spectral Bandwith. Lincoln Laboratory. Massachusetts Institute of Technology. IEEE. pp. 1506-1508.
70. Kim, H. S. (2006). Soil erosion using RUSLE and GIS on the Imha watershed, South Korea. Colorado State University. Department of Civil Engineering. Colorado
71. Kisić, I., Bašić, F., Mesić, M. et Butorac, A. (2000). Estimate of Erosion Risk on Soils in the Vinodol Valley. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, Vol. 65, No. 4. 199-211.
72. Klima, K. et Wiśniowska-Kielian (2006). Anti-erosion effectiveness of selected crops and the relation to leaf area index (LAI). *PLANT SOIL ENVIRON.*, 52. (1): 35–40.
73. Knorr, W., Pytharoulis, I., Petropoulos, G. P. et Gobron, N. (2011). Combined use of weather and satellite remote sensing information for fire risk, fire and afire impact monitoring. *Computational Ecology and Software*. 1(2):112-120
74. Kouli, M., Soupios, P. et Vallianatos, F. (2008). Soil erosion prediction using Revised Universal Soli Loss Equation (RUSLE) in a GIS framework, Chania, Northwestern Crete, Greece. *Environmental Geology*. Springer-Verlag.
75. Koutsias, N. et Karteris, M. (2003). Classification analysis of vegetation for delineating forest fire fuel complexes in the Mediterranean test site using satellite remote sensing and GIS. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 24, No. 15, 3093-3104

76. Ковач, В. М., Ружић, Н., Е и Пушкаш, В. С. (2000). Физико-хемијске особине храстовог дрвета и његов утицај на хемијски састав и сензорна својства вина. АПТЕФФ. 31. 1-748
77. Ковачевић, Б. и Хабијан-Микеш, В. (2005). Предео изузетних одлика „Вршачке планине“, Завод за заштиту природе Србије, Нови Сад
78. Костадинов, С. (2008). Бујични токови и ерозија. Шумарски факултет, Београд.
79. Kraus, K., Briese, C., Attwenger, M., Pfeifer, N. (2006). Quality measures for digital terrain models. ISPRS Technical Commission II Symposium. Vienna
80. Kunta, K. (200). Effects of Geographic Information Quality on Soil Erosion Prediction. Institute of Geodesy and Photogrammetry. Swiss Federal Institute of Technology. Zürich.
81. Lampin-Maillet, C., Mantzavelas, A., Galiana, L., Jappiot, M., Long, M., Herrero, G., Karlsson, O., Apostolopoulou, I., Lazaridou, T., Partozis, T. (2010). Wildland Urban interfaces, Fire Behaviour and Vulnerability: Characterization, Mapping and Assessment. Towards Integrated Fire Mngement-Outcomes of the European Project Fire Paradox. Editors: Silva, J. S., Rego, F., Fernandes, P., Rigolot, E. European Forest Institute Research Report 23. pp.71 -92. Porvoo.
82. Lanfri, S. (2010). Space Aplication for Emergency Early Warning and Response. High Space Studies Mario Gulich Institute. CONAE. Argentina
83. Лазаревић, Р. (1976). Квантитативне геоморфолошке карте. Први југословенски симпозијум о геоморфолошким картирању. Зборник радова Географског института „Јован Цвијић“, кљ. 27-1976. 31-41.
84. Lee, B. S., Alexander, M. E., Hawkes, B. C., Lynham, T. J., Stocks, B. J. et Englefield, P. (2002). Information systems in support of wildland fire management decision making in Canada. Computers and Electronics in Agriculture 37. 185-198
85. Loomis, J. M. (2009). Depth derivation from the WorldView-2 satellite using hyperspectral imagery. Naval Postgraduate School, Monterey
86. Madden, K. C. (2011). Contribution to remote sensing of shallow water depth with the WorldView-2 yellow band. Naval Postgraduate School, Monterey

87. Маховић Стрелец, Н. (2011). Препознавање конвективних облака, магле и ниских облака те лоцирање шумских пожара мултиспектралном анализом сателитских снимака, Природословно-математички факултет, Свеучилиште у Загребу, Загреб
88. Максимовић, С., Спасова, Д., Поповић, Т., Ђорђевић, С., Јовановић, О., Урошев, Л., Јовановић, Г., Крајиновић, З. и Ђоковић, С. (1994). Климатографија аеродрома Вршац. Савезни хидрометеоролошки завод. Београд.
89. Малиновић Миличевић, С. (2012). Мониторинг нејонизујућег зрачења, загађујућих материја и топлотних индекса у региону Војводине. Докторска дисертација, Универзитет у Новом Саду
90. McConnon, L. C. (2010). High spatial resolution bidirectional reflectance retrieval using satellite data. Naval Postgraduate School, Monterey
91. McDermid, J. G., Coops, C. C., Wulder A. M., Franklin, E. S., Seitz, E. N. (2010). Critical remote sensing contributions to spatial wildlife ecological knowledge and management. Chapter 11, pp. 193-221. S. A Cushman and F. Huettmann (Eds), Spatial Complexity. Informatics and Wildlife Conservation. Springer. Tokyo
92. Merzlyak, M. N. , Solovchenko, A. E., Gitelson, A. A. (2003). Reflectance spectral features and non-destructive estimation of chlorophyll, carotenoid and anthocyanin content in apple fruit. Postharvest Biology and Technology 27. 197-211
93. Merzlyak, M. N. , Solovchenko, A. E., Chivkunova, O. B. et Gitelson, A. A. (2010). Non destructive Estimation Pigment content, Ripening, Quality and Damage in Apple Fruit with Spectral Reflectance in the Visible Range. Fresh Produce 4 (Special issue 1), 91-102. Global Science Books. 91-102.
94. Meusburger, K., Konz, N., Schaub, M., Alewell, C.(2010). Soil erosion modelled with USLE and PESERA using QuickBird derived vegetation parameters in an alpine catchment. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 12 (2010) 208–215

95. Милановић, М. и Љешевић, М. (2009). Теледетекционе методе истраживања животне средине. Универзитет у Београду. Географски факултет, Београд.
96. Милевски, И. (2005). Можности за анализа на современите ерозивни процеси во Република Македонија со користење на сателитски снимки. Зборник на третиот Конгрес на географите во Република Македонија. 74-80. Скопје
97. Milevski, I. (2008). Estimation of soli erosion risk in the uppes part of Brgalnica watershed-Republic of Macedonia, based on digita elevation model and satellite imagery. 5th International Conference on Geographic Information Systems (ICGIS-2008) 2-5 Jully, 2008. Fatih University. Istanbul.Turkey
98. Миљковић, Н. С. (1986). Земљишта Вршачких планина. Монографије Вршачких планина I. Матица Српска. Нови Сад
99. Mitasova, H. et Mitas, L. (1995). Modeling spatially and temporally distributed phenomena: new methods and tools fro GRASS GIS. International Journal of GIS, V (9), No (4). Pp. 1-23
100. Mitasova, H., Hofierka, J., Zlocha, M. at Iverson, L.R. (1996). Modelling topographic potential for erosion and deposition using GIS. International Journal of Geographical information Science, 10 (5), 625-641
101. Mitasova, H., Mitas, L., Brown W. M. et Jonhston D. M. (1999). Geographic Modeling and Systems Laboratory. University of Illinois at Urbana-Champaign. Urbana-Champaign
102. Mutlu, M. (2010). Estimating canopy fuel parameters with in-situ and remote sensing data. Texas A\$M University, College Station.
103. Nelson ,R. M. (2000). Prediction of diurnal change in 10-h fuel stick moisture content. Canadian Journal of Forest Research. No. 30., pp. 1071-1087.
104. Недељков, Б. (2005). Студија о процени на животну средину.Биро Стил. Вршац
105. Nestorov, I. et Protić, D. (2009). CORINE kartiranje zemljišnog pokrivača u Srbiji. CORINE land cover mapping in Serbia.Građevinksa knjiga. Beograd. 1-182.

106. Neteler, M. et Mitasova, H. (2002). Open source GIS-A GRASS GIS Approach. Kluwer Academic Publishers, Boston
107. Nischán, L. M., Joseph M. R., Libby C. J., Kerekes P. J. (2003). Active Spectral Imaging, Lincoln Laboratory Journal, Vol. 14, Num. 1, 131-143
108. Opeyemi, A. Z. (2006). Change detection in land use and data land cover using remote sensing and GIS, University of Ibadan, Ibadan
109. Outcalt, K. et Kennard, D. (online): Encyclopedia of Southern Fire Science.
110. Panagos, P., Meusburger, K, Ballabio, C, Borrelli, P. et Alewell, C. (2014). Soil erodibility in Europe: A high-resolution dataset based on LUCAS. Science of the Total Environment 479–480. 189–200.
111. Parodi N. G. (2002). AHVRR Hydrological Analisis System. WRES-ITC. Roma, Italy.
112. Parveen, R. et Kumar, U. (2012). Integrated Approach of Universal Soil Loss Equation (USLE) and Geographical Information system (GIS) for Soil Loss Risk Assesment in Upper South Koel Basin, Jharkhand. Journal of Geographic Information System. 4, 588-596.
113. Patriche, C. V., Căpățână, V. et Stoica, L. D. (2006). Aspects regarding soil erosion spatial modeling using the USLE/RUSLE within GIS. Geographia Technica, No. 2, pp. 87-97.
114. Пекановић, В. (1991). Шумска вегетација Вршачких планина, Матица Српска, Нови Сад
115. Peñuelas, J., Filella, I, Biel, C., Serrano, L. et Savé, R. (1993). The reflectance at the 950-970 nm region as a indicator of plant water status. Int. J. Remorte sensing. Vol. 14, no. 10, 1887-1905.
116. Penuelas, J. P., Ogaya, R., Filella, I. (1997). Estimation of plant water concentration by reflectance Water Index WI (R900/R970).
117. Pereira, M. C. J. et Govaerts, Y. (2001). Potential Fire Application from MSG/SEVIRI Observation. Instituto de Investigaçao Cientifica Tropical and Instituto Superior de Agronomia, Lisbon, EUMETSAT, Darmstadt
118. Perryman, A, H. (2009). A mathematical model of spot fires and their management implications. Humboldt State University.Arcata.

119. Peterson, E. B. (2005). Canopy fuels inventory and mapping using large-footprint LIDAR. University of Maryland, College Park
120. Петков, А. (2010). Пројекат чишћења бране Широко било на Вршачким планинама. Техничка документација ЈП „Варош“. Вршац
121. Philip, S. (2007). Active fire detection using remote sensing polar-orbiting and geostationary observations: An approach towards near real-time fire monitoring. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede
122. Poli, D. (2005). Modelling of spaceborne linear array sensors. Swiss Federal Institute of Technology, Zürich
123. Pyne, S. J., Andrews P. L., Laven, R. D. (1996). Introduction to Wildland Fire. Second Edition. John Wiley & Sons. Inc. New York.
124. Radovanović, M. M., Pavlović, T. M., Stanojević, G. B., Milanović, M. M., Pavlović, M. A. I Radivojević, A. R. (2015). The influence of solar activities on occurrence of the forest fires in South Europe. Thermal science, Vol. 19, No 2, pp. 435-446
125. Ratknić, M., Bilibajkić, S., Braunović, S et Miletić, Z. (2011). Eroziја zemljišta u Srbiji – In: Tomić, Z., Rakonjac, LJ: et Isajev, V. (2011): Izbor vrsta za pošumlјavanje i melioracije u centralnoj Srbiji, Institut za šumarstvo, Beograd. 62-63
126. Renard, K. G. et Foster, G. R. (1985). Managing Rangeland Soil Resources: The Universal Soil Loss Equation. Rangelands 7(3). 118-122.
127. Renard, K. G. et Freimund, J. R. (1994). Using monthly data to estimate the R-factor in the revised USLE. Journal of hydrology. 287-306
128. Renard, K. G., Foster, G. R. et Laflen, J. M. (1996). Soil Loss Estimation. Soil Erosion, Conservation and Rehabilitation. Soil Erosion Research Station. Soil Conservation and Drainage Division. Ministry of Agriculture. Emek-Hefer, Israel. 169-202.
129. Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G.A., McCool, D. K et Yoder, D. C. (1997). Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Agriculture Handbook No. 703. Tucson. Arizona. 1-384



130. Richards A. J., Xiuping, J. (2006). Remote Sensing Digital Image Analysis, Springer, Berlin, Heidelberg
131. Richter, N. (2010). Pedogenic iron oxide determination of soil surfaces from laboratory spectroscopy and HyMap image data. Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät, Berlin
132. Riggins, J. (2008). Remote sensing of forest decline and *Enaphalodes rufulus* outbreak in the Arkansas Ozarks, U.S.A. University of Arkansas, Fayetteville
133. Rolf, A., Goodwim, N., Merton, R. (2005). Assessing Fuel Loads using Remote Sensing. New South Wales Rural Fire Service Technical Report. University of New South Wales. Sydney
134. Rothermel, R. C (1972). A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. USDA Forest Service. Research Paper INT-115. Ogden. Utah
135. Rothermel, R. C., Wilson, R. A., Morris, G. A., Sackett S. S. (1986). Modeling Moisture Content of Fine Dead Wildland Fuels: Input to the BEHAVE Fire Prediction System. USDA Forest Service. Research Paper INT-359. Ogden. Utah
136. Rothermel, R. C (1991). Predicting Behavior and Size of Crown Fires in the Northern Rocky Mountains. USDA Forest Service. Research Paper INT-438. Ogden. Utah
137. Roy, P. S. (2002). Forest fire and degradation assessment using satellite remote sensing and geographic information system. Satellite remote sensing and GIS Application in Agricultural Meteorology, pp. 361-400
138. Saidi, A. (2002). The use of GIS into the Forest Fires prediction. The Simulation Model. Proceedings of the Open Source Free Software GIS-GRASS users conference 2002. Trento
139. Schmuck, G., San-Miguel-Ayanz, J., Barbosa, P., Camia, A., Kucera, J., Libertá, G. Amatulli, G., Boca, R. (2007). Forest Fires in Europe. Joint Research Centre, Luxembourg.
140. Schopfer, T. J. (2008). Spectrodirectional Ground-Based Remote Sensing Using Dual-View Goniometry-Field BRF retrieval and assessment of

- the diffuse irradiance distribution in spectrodirectional field measurement. Mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät. Universität Zürich. Zürich
141. Schroeder, M. J. et Buck, C. C. (1970). Fire Weather. Agriculture Handbook 360. . USDA Forest Service.Ogden, Utah
  142. Serrano, L., Penuelas, J., and Ustin, S. (2002). Remote Sensing of Nitrogen and Lignin in Mediterranean Vegetation from AVIRIS Data: Decomposing Biochemical from Structural Signals. Remote Sensing of Environment 81. 355-364.
  143. Sherbinin, A. M. (2005). Remote Sensing in Support of Ecosystem management treaties and Transboundary Conservation. Center for International Earth science Information Network.Columbia University. New York
  144. Singh, A. (2009). Characterizing runoff generation mechanism for modelling runoff and soil erosion, in small watershed of Himalayan region. Master thesis. International Institute for Geo-Information and Earth Observation, Enschede. The Netherlands & Indian Institute of Remote Sensing, National Remote Sensing Agency (NRSA), Department of Space, Dehradun. India. 1-75.
  145. Станисављевић, С., Радаковић, М., и Маринковић, П. (1973). Заштита града Вршца од великих вода потока Месић. Водопривредно предузеће ДТД, Водопривредна организација „Вршац“. Вршац
  146. Tagestad, J., Ahn, G. C., Haas, A., Rustay, M., Moore S., Coleman, A., Arimescu, C., Thom, R. (2009). Land Cover Classification for Snohomish County Critical Area Monitoring, Battelle, Washington
  147. Taşel, E. (2003). GIS-based spatial model for wildfire simulation: Marmaris-Çetibeli fire. The graduate school of Natural and Applied Sciences. The Department of Geodetic and Geographic Information technologies. The Middle East Technical University. Ankara
  148. Тошић, Р. и Драгићевић, С. (2012). Иновирање методологије за одређивање коефицијената ерозије (Z). Гласник српског географског друштва, свеска ХСII - Бр. 1. 11-26.
  149. Ubysz, B. et Valette, J-C. (2010). Flammability: Influence of Fuel on Fire Initiation. Towards Integrated Fire Mngement-Outcomes of the European

- Project Fire Paradox. Editors: Silva, J. S., Rego, F., Fernandes, P., Rigolot, E. European Forest Institute Research Report 23. pp. 23-33. Porvoo.
150. Updike, T. et Comp, C. (2010). Radiometric Use of WorldView-2 Imagery, Technical Note, DigitalGlobe
151. van der Knijff, J. M., Jones, R.J.A., Montanarella, L. (2000). Soil Erosion Risk Assessment in Europe. EUROPEAN COMMISSION DIRECTORATE GENERAL JRC JOINT RESEARCH CENTRE Space Applications Institute European Soil Bureau. Luxembourg. 1-38.
152. Van Wagner, C. E. (1977). A method of computing fine fuel moisture content throughout the diurnal cycle. Information report PS-X-69 Petawawa National Forestry Institute. Canadian Forestry service. Ontario. 1-17
153. Van Wagner, C. E. et Pickett, T. L. (1985). Equation and FORTRAN Program for the Canadian Forest Fire Weather Index System. Petawawa National Forestry Institute. Canadian Forestry service. Ottawa. 1-25.
154. Verrelst, J. (2010). Space-borne spectrodirectional estimation of forest properties. Wageningen University, Wageningen
155. Verstraeten, G., Poesen, J., Demarée, G. et Salles, Ch. (2006). Long-term (105) years variability in rain erosivity as derived from 10-min rainfall depth data for Ukkel (Brussels, Belgium): Implication for assessing soil erosion rates. Journal of Geophysical Research, Vol. 11. D22109, doi:10.1029/2006JD007169.
156. Веселиновић, М. и Миленковић, С. (2007). Превенција шумских пожара. Институт за шумарство, Београд
157. Видојевић, Д. и Баћановић, Н. (2016). Извештај о испитивању бр. 353-00-24/4/2015-02. Агенција за заштиту животне средине. 1-4
158. Вуковић, А., Николић, Ј., Ивковић, А., Николић, Ј., Ковачевић, Д., Јовановић, Љ., Андрић, В., Сибиновић, Љ., Поповић, Р., Гагић, Н., Џоџо, Р., Пантић, В., Ђорђевић, К., Такач, Н. (1970). Основна геолошка карта 1:100 000. Тумач за лист ВРШАЦ Л 34-103. Војногеографски институт. Београд
159. Вучковић, М. (1991). Ливадска и ливадско-степска вегетација Вршачких планина, Матица Српска, Нови Сад
160. Wang, Y., Anderson, K. R. et Suddaby, R.M. (2015). Updated source code for calculating fire danger indices in the Canadian Forest Fire Weather

- Index System. INFORMATION REPORT NOR-X-424. Canadian Forest Service. Northern Forestry Centre. Edmonton. 1-26.
161. Wells, G. (2008). The Rothemmel Fire-Spread Model: Still Running like a Champ. JFSP Fire Science Digest.
162. Wischmeier W.H. et Smith D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses a guide to conservation planning. United States Department of Agriculture. Washington.
163. Wilson, R. (1980). Reformulation of forest spread equations in SI units. USDA Forest Service. Research Note INT-292. Ogden. Utah
164. Wordofa, G. (2011). Soil erosion modeling using GIS and RUSLE on the Eurojawi watershed Finland. Tampere University of Applied Sciences. Department of environmental Engineering. Tampere.
165. Wright, Tom. (1997). Geographic information system. The Information and Privacy Commissioner, Ontario
166. Wu, C., Niu, Z., Tang, Q., Hiang W. (2008). Estimating chlorophyll content from hyperspectral vegetation indices: Modeling and validation. Agricultural and Forest Meteorology 148, 1230-1241
167. Wu, J. et Wang, D. (2005). Validating image-based atmospheric correction of Quickbird images against ground measurements. ASPRS 2005 Annual Conference "Geospatial Goes Global: From Your Neighborhood to the Whole Planet. Maryland
168. Yebra, M., Chuvieco, E., Riaño D. (2008). Estimation of live fuel moisture content from MODIS images for fire assessment. Agricultural and forest meteorology 148. pp 523-536.
169. Zachar, D. (1982). Soil erosion. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam  
 Зеремски, М. (1985). Геоморфологија Вршачких планина. Монографије Вршачких планина I. Матица Српска. Нови Сад.
170. Живковић, Б., Нејгебауер, В., Танасијевић, Ђ., Миљковић, Н., Стојковић, Л. и Брезгић, П. (1972). Земљишта Војводине. Институт за пољопривредна истраживања. Нови Сад.

## Биографија

Орхидеја Штрбац рођена је 1969. у Вршцу где је завршила средњу школу гимназију „Борислав Петров Браца“, природно-математички смер. Исте године уписује Шумарски факултет, Универзитета у Београду – одсек Пејзажна архитектура. Дипломирала је 17.04.1997. код професора др. Миодрага Ковачевића на тему „Доношење одлука у пејзажној архитектури Делфи методом”. Просечна оцена током студија је била 8.02. Тада је стекла звање „Дипломирани инжењер шумарства за пејзажну архитектуру”. Постдипломске студије уписала је 1997. године на Шумарском факултету, Универзитета у Београду, на смеру пејзажна архитектура. Последњи испит на постдипломским студијама је положила 19. 7. 2002. године. Просек оцена на постдипломским студијама био је 9.43. Магистарски рад на тему: „Елементи функционалности Градског парка у Вршцу”, одбранила је код професора др. Небојше Анастасијевића 26.03.2004. године. Исте године је стекла звање „Магистар шумарских наука за пејзажну архитектуру”.

Образац 5.

## Изјава о ауторству

Име и презиме аутора Орхидеја Штрбац

Број индекса \_\_\_\_\_

### Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

**МОГУЋНОСТИ ГИС-А У УПРАВЉАЊУ ЗАШТИЂЕНИМ ПРИРОДНИМ ДОБРИМА**

– ПРИМЕР ВРШАЧКИХ ПЛАНИНА –

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да дисертација у целини ни у деловима није била предложена за стицање друге дипломе према студијским програмима других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио/ла интелектуалну својину других лица.

Потпис аутора

У Београду, 5. 7. 2016.

  
\_\_\_\_\_

Образац 6.

**Изјава о истоветности штампане и електронске  
верзије докторског рада**

Име и презиме аутора Орхидеја Т. Штрбац

Број индекса \_\_\_\_\_

Студијски програм \_\_\_\_\_

Наслов рада **МОГУЋНОСТИ ГИС-А У УПРАВЉАЊУ ЗАШТИЋЕНИМ**

**ПРИРОДНИМ ДОБРИМА**

**– ПРИМЕР ВРШАЧКИХ ПЛАНИНА –**

Ментор Др Мишко Милановић

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла ради похрањена у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског назива доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис аутора

У Београду, 5.7. 2016.

 \_\_\_\_\_

## Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

МОГУЋНОСТИ ГИС-А У УПРАВЉАЊУ ЗАШТИЂЕНИМ ПРИРОДНИМ ДОБРИМА

– ПРИМЕР ВРШАЧКИХ ПЛАНИНА –

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)
2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)
3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)
5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)
6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци.  
Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

Потпис аутора

У Београду, 5.7. 2016.

  
\_\_\_\_\_