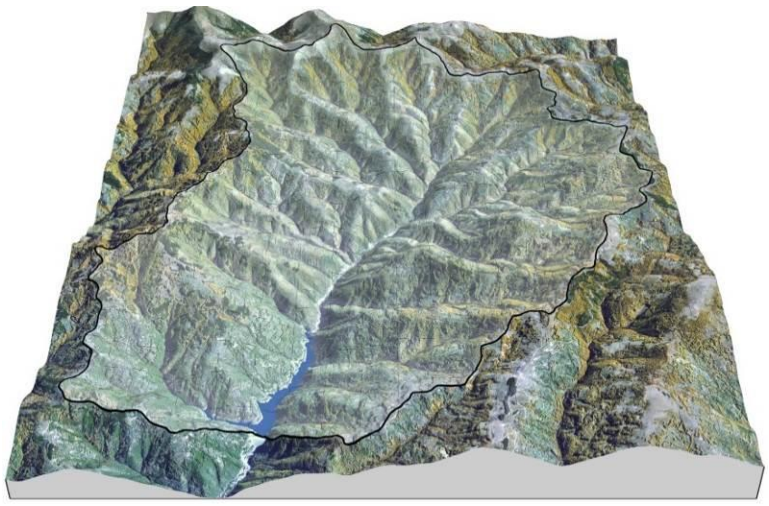
УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

ШУМАРСКИ ФАКУЛТЕТ

Вељко С. Перовић

Процена потенцијалне ерозије земљишта применом USLE и PESERA модела на подручју слива акумулације Првонек

докторска дисертација



Београд, 2015

UNIVERSITY OF BELGRADE

FACULTY OF FORESTRY

Veljko S. Perović

Assessment of soil erosion potential by application of USLE and PESERA models on the territory of Prvonek catchment

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2015

Ментор:

Др **Ратко Кадовић**, редовни професор,

Универзитет у Београду, Шумарски факултет

Коментор:

Др **Станимир Костадинов**, редовни професор,

Универзитет у Београду, Шумарски факултет

Комисија:

Др **Ратко Ристић**, редовни професор,

Универзитет у Београду, Шумарски факултет

Др **Снежана Белановић Симић**, ванредни професор,

Универзитет у Београду, Шумарски факултет

Др **Елмира Саљников**, виши научни сарадник,

Институт за земљиште, Београд

Захвалност

На првом месту захваљујем свом ментору проф. др Ратку Кадовићу на свему што сам од њега научио о науци о земљишту. Такође захваљујем за безусловно поверење које је увек имао у мене, за подстрек и непрестану подршку коју ми пружа од почетка нашег заједничког рада. Задовољство ми је што је у Комисији за одбрану докторске дисертације професор др Станимир Костадинов, чије су многобројне сугестије и савети били од велике користи у настојању да резултати овог истраживања буду представљени на најбољи могући начин. Захваљујем се проф. др Ратку Ристићу, који је указао на грешке и својим сугестијама и саветима допринео значајном побољшању квалитета коначне верзије докторске дисертације. Неизмерну захвалност упућујем професору др Снежани Белановић Симић на безрезервној подршци, корисним саветима и успешној научној сарадњи свих ових година. Хвала и петом члану Комисије, колегиници др Елмири Саљников на изузетно конструктивној и коректној сарадњи.

Посебну захвалност дугујем драгим колегама и пријатељима Дарку Јарамазу, Драгану Чакмаку, Љубомиру Животићу, Мишку Миловићу, Јелени Белоици и Биљани Сикирић због пружене помоћи током израде докторске дисертације.

Највећу захваланост дугујем свакако својој породици која је увек била уз мене.

Аутор

Процена потенцијалне ерозије земљишта применом USLE и PESERA модела на подручју слива акумулације Првонек

Резиме:

Губитак земљишта изазван процесом ерозије је озбиљан проблем у Републици Србији, а процена губитака земљишта као и систем заштите од ерозије представљају неопходни услов за одрживи развој привреде и друштва. Предвиђање губитка земљишта је важно за процену опасности од ерозије и детерминацију одговарајућих мера конзервације и коришћења земљишта у сливу. Широк спектар модела је данас доступан за процену ризика од ерозије земљишта. Избор одређеног модела у великој мери зависи од сврхе истраживања, доступности података, времена и потребних материјалних средстава за његову реализацију.

Степен угрожености земљишта процесима ерозије у овој докторској дисертације, оцењен је применом USLE и PESERA моделима, док је транспорт неких микроелемената са наносом услед ерозионог процеса процењен применом WaTEM/SEDEM модела. Применом USLE и PESERA модела добили су се релативно уравнотежени резултати, са вредностима класификованим у групу умерене угрожености од ерозионих процеса. На основу добијених резултата транспортованих микроелемената применом WaTEM/SEDEM модела, ризична подручја са нешто вишим вредностима транспортованих микроелемената се углавном јављају на локалитетима где су забележене веће укупне количине тешких метала у земљишту, односно, близу подручја са израженијим интензитетом ерозије.

Резултати добијени применом USLE и PESERA модела у проучаваним условима пружају могућност око националног концензуса за избор ерозионог модела. Међутим, ниво њихове примене је првенствено условљен размерама подручја. Резултати указују да је примена USLE модела прикладнија када се ради о процени ерозионих губитака земљишта на мањим сливовима, пре свега због могућности модела да врши процену на детаљнијим резолуцијама. С друге стране, PESERA модел има предност када се ради о проценама губитака земљишта на регионалном

нивоу, зато што боље одражава хидроеколошке параметре, који су од значаја за развој ерозионих процеса. На овакав закључак упућују и резултати примене оба модела, према анализираној литератури, у различитим подручјима у Европи.

Кључне речи: Ерозија земљишта, ерозиони модели, USLE, PESERA, WaTEM/SEDEM.

Научна област: Биотехничке науке

Ужа научна област: Ерозија и конзервација земљишта и вода

УДК: 630*116.2/.3:519.876.5(497.11 Prvonek)(043.3)

Assessment of soil erosion potential by application of USLE and PESERA models on the territory of Prvonek catchment

Resime:

Soil loss caused by the process of erosion is a serious problem in the Republic of Serbia and the estimation of the soil losses as well as a system of protection against erosion are a necessary conditions for the sustainable development of economy and society. Prediction of soil losse is important for assessing the risk of erosion and determination of appropriate conservation measures and land use in the catchment. A wide range of models available today for assessing the risk of soil erosion. The choice of a particular model largely depends on the purpose of intended research, data availability, time and material resources necessary for its implementation.

The degree of soil vulnerability form erosion processes in this doctoral dissertation was evaluated using the USLE and PESERA models, while the transport of certain trace elements from sediment caused by erosion processes by using WaTEM / SEDEM models.

Applying USLE and PESERA models allowed obtaining the relatively balanced results with the values classified into the group of moderate vulnerability to erosion processes. The results of the analyses of transported micronutrients by applying WaTEM/SEDEM models showed that the risk areas with higher values of transported trace elements occur mainly in the spots with higher concentrations of the total amounts of heavy metals in the soil, i.e., close to the areas with pronounced intensity of erosion.

The results obtained using the USLE and PESERA models in the studied conditions provide opportunities around the national synthesis for the selection of erosion models. However, the level of their application is primarily conditioned by the extension of the area. The results indicate that the use of USLE model is more appropriate when it comes to the assessment of soil loss on smaller basins, primarily due to the features of the model that evaluates the detailed resolutions. On the other hand, PESERA model has an advantage when it comes to soil loss estimates at the regional level, because it better

reflects hydrological parameters, which are important for the development of erosion processes. This conclusion is also supported by the results of the application of both models in the reviewed literature, in different areas in Europe.

Key words: Soil erosion, erosion models, USLE, PESERA, WaTEM/SEDEM.

Scientific fild: Biotechnical sciences

Narrow scientific fild: Erosion and Soil and Water Conservation

UC: 630*116.2/.3:519.876.5(497.11 Prvonek)(043.3)

КЉУЧНЕ ДОКУМЕНТАЦИОНЕ ИНФОРМАЦИЈЕ

Редни број (РБ):	
Идентификациони број (ИБР):	
Тип документације (ТД):	Монографска публикација
Тип записа (ТЗ):	Текстуални штампани документ
Врста рада (ВР):	Докторска дисертација
Аутор (АУ):	Велько Перовић
Ментор (МН):	др Ратко Кадовић, редовни професор Универзитет у Београду Шумарски факултет
Наслов рада (НР):	Процена потенцијалне ерозије земљишта применом USLE и PESERA модела на подручју слива акумулације Првонек
Језик публикације (ЈЗ):	Српски / ћирилица
Земља публикације (ЗП):	Србија
Географско подручје (УГП):	Београд
Година (ГО):	2015
Издавач (ИЗ):	Ауторски репринт
Место и адреса (МА):	11 030 Београд, Кнеза Вишеслава 1
Физички опис рада:	8 поглавља, 187 страница, 221 литературна навода, 88 илустрације, 43 табела, 13 прилога
Научна област (НО):	Биотехничке науке
Научна дисциплина (DIS):	Ерозија и конзервација земљишта и вода
Предметна одредница / кључне речи (ПО)	ерозија земљишта, транспорт и акумулација микроелемената, USLE, PESERA, WaTEM/SEDEM
УДК:	630*116.2/.3:519.876.5(497.11 Prvonek)(043.3)
Чува се (ЧУ):	Библиотека Шумарског факултета, Кнеза Вишеслава 1, 11030 Београд, Србија
Важна напомена (ВН):	Нема
Датум прихватања теме од стране ННВ:	
Датум одбране (ДО):	
Чланови комисије (КО):	др Ратко Кадовић, редовни професор Универзитет у Београду Шумарски факултет др Станимир Костадинов, редовни професор Универзитет у Београду Шумарски факултет др Ратко Ристић, редовни професор Универзитет у Београду Шумарски факултет др Снежана Белановић Симић, ванредни професор Универзитет у Београду Географски факултет др Елмира Сањников, виши научни сарадник Институт за земљиште, Београд

KEY WORD DOCUMENTATION

Accession number (ANO):	
Identification number (INO):	
Document type (DT):	Monograph documentation
Type of record (TR):	Textual printed document
Contains code (CC):	Doctoral dissertation
Author (AU):	MSc Veljko Perović
Menthor (MN):	PhD Ratko Kadović, full professor University of Belgrade Faculty of Forestry
Title (TI):	
Language of text (LT):	Serbian/ Cyrillic alphabet
Country of publication (CP):	Serbia
Locality of publication (LP):	Belgrade
Publication year (PY):	2015
Publisher (PU):	The authors reprint
Publication place (PP):	11 030 Belgrade, Kneza Višeslava 1
Physical description (PD):	8 chapters, 187 pages, 221 references, 88 illustrations, 43 tables, 13 appendices
Scientific field (SF):	Biotechnological sciences
Scientific discipline (SD):	Erosion and soil and water conservation
Subject/Key words (CX):	soil erosion, USLE, PESERA, WaTEM/SEDEM
UC:	630*116.2/.3:519.876.5(497.11 Prvonek)(043.3)
Holding Data (HD):	Library of Faculty of Forestry, Kneza Višeslava 1, 11030 Belgrade
Note (N):	None
Accepted by Scientific Board on (ACB):	
Defended on (DE):	
Thesis Defend Board (DB):	PhD Ratko Kadović, full professor University of Belgrade Faculty of Forestry PhD Stanimir Kostadinov, full professor University of Belgrade Faculty of Forestry PhD Ratko Ristić, full professor University of Belgrade Faculty of Forestry PhD Snežana Belanović Simic, full professor University of Belgrade Faculty of Forestry PhD Elmira Saljnikov Institute of Soil Science, Belgrade

САДРЖАЈ

1. УВОД 1

1.1. Основне карактеристике и значај проучавања ерозије земљишта 1

1.2. Научни значај и циљеви истраживања 4

1.3. Основне хипотезе 4

2. ПРЕГЛЕД ДОСАДАШЊИХ ИСТРАЖИВАЊА 5

2.1. Ерозиони модели 5

2.1.1. CORINE (*Coordination of Information on the Environment*) 7

2.1.2. RIVM (*National Institute of public Health and the Environment*) 8

2.1.3. GLASOD (*Global Assessment of Soil Degradation*) 8

2.1.4. INRA (*Institut National de la Recherche Agronomique*) 9

2.1.5. WEPP (*Water Erosion Prediction Project*) 9

2.1.6. EUROSEM (*European Soil Erosion Model*) 10

2.1.7. MESALES (*Modèle d'Evaluation Spatiale de l'ALéa Erosion des Sols*) 10

2.1.8. G2 (*Geoland 2*) 10

2.2. Примена USLE, PESERA и WaTEM/SEDEM модела у свету 11

3. ОПШТЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ПРОУЧАВАНОГ ПОДРУЧЈА 14

3.1. Географски положај 14

3.2. Анализа рељефа 18

3.2.1. Нагиб терена 19

3.2.2. Закривљеност терена 20

3.2.3. Експозиција терена 23

3.2.4. Топографске форме 24

3.3. Климатске карактеристике 26

3.3.1. Температура ваздуха 26

3.3.2. Падавински режим 28

3.3.3. Сунчева осунчаност (инсолација) 30

3.4. Геолошке карактеристике 31

3.5. Педолошке и агрохемијске карактеристике 33

3.5.1. Типови земљишта 33

3.5.1.1. I група – Ранкер на различитим супстратима 33

3.5.1.2. II група – Комбинација Литосола (60) и Регосола (40) на различитим супстратима 34

3.5.1.3. III група: комбинација Регосол (60) – Ранкер (40) на различитим супстратима 35

3.5.1.4. IV група: Флувисол бескарбонатни на различитим супстратима 35

3.5.1.5. V група: Еутрични Камбисол 35

3.5.2. Механички састав земљишта 38

3.6. Вегетациони покривач 40

4. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ РАДА 42

4.1. Припремна и теренска проучавања 42

4.2. Методе лабораторијских проучавања 43

4.3. Примена статистичких метода 43

4.4. Примена геостатистичких метода 45

4.5. Примена USLE модела на проучаваном подручју 46

4.5.1. Фактор ерозионе снаге кише (R фактор) 48

4.5.2. Еродибилност земљишта (K фактор) 49

4.5.3. Топографски фактор (LS фактор) 49

4.5.4. Фактор вегетације и начина коришћења земљишта (C фактор) 51

4.6. Примена PESERA модела на проучаваном подручју 54

4.6.1. Климатски подаци 60

4.6.2. Подаци о вегетационом покривачу..... 61

4.6.3. Параметри особина земљишта..... 63

4.6.4. Топографски подаци 64

4.6.5. Покретање модела 67

4.7. Примена WaTEM/SEDEM модела на проучаваном подручју 69

5. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА 75

5.1. Процена интензитета ерозије применом USLE модела 75

5.1.1. Фактор ерозионе снаге кише (R фактор) 75

5.1.2. Еродибилност земљишта (K фактор) 77

5.1.3. Топографски фактор (LS фактор) 79

5.1.4. Фактор начина коришћења земљишта (C фактор) 80

5.1.5. Средњи годишњи губитак земљишта применом USLE модела 82

5.1.6. Просторна корелација и регресија између ерозионих фактора USLE модела 86

5.2. Процена интензитета ерозије применом PESERA модела 87

5.2.1. Климатски подаци 87

5.2.2. Подаци о вегетационом покривачу 90

5.2.3. Параметри особина земљишта 93

5.2.4. Топографски подаци 94

5.2.5. Средњи годишњи губитак земљишта применом PESERA модела …… 95

5.3. Транспорт неких микроелемената са наносом услед ерозионог процеса применом WaTEM/SEDEM модела 99

5.3.1. Садржај микроелемената (тешки метали) 99

5.3.2. Примена WaTEM/SEDEM модела 104

5.4. Компарација између USLE и PESERA модела 113

5.5. Компарација проучаваних модела са Методом потенцијала ерозије (МПЕ) … 126

5.6. Хармонизација, стандардизација и правци будућих истраживања ерозионих модела 131

6. ЗАКЉУЧАК 140

7. ЛИТЕРАТУРА 146

8. ПРИЛОЗИ 164

„Све природа снабдјева оружјем

против неке необуздне силе,

против нужде, против недовољства;

остро осје одбрањује класје,

трње ружу брани очупати;

зубовах је туште изострила

а роговах туште зашиљила,

коре, крила и брзине ногах“

Петар II Петровић Његош (1813 - 1851)

1. УВОД

1.1. Основне карактерисике и значај проучавања ерозије земљишта

Човечанство мења природну средину да би задовољило своје социо-економске потребе (UNEP, 2005). Интервенције које прате тај процес могу бити радикалне, што често доводи до неуравнотежености екосистема. Потрага за новом динамиком уравнотежења подразумева деловање на природне процесе односно на те промењене негативне околности. Експоненцијални раст бројности људске популације током XX и XXI века у комбинацији са све захтевнијим потребама глобалне потрошње представља јак притисак на све природне процесе (Vrieling, 2007). Глобална свест о последицама таквог деловања на животну средину постепено расте. Широм света предузети су напори да би се ублажиле негативне последице таквог деловања и створили услови у којој коришћење природних ресурса је у равнотежи са њиховим дугорочним еколошким функцијама. Мере управљањем земљишта у XXI веку морају да буду формулисана на бази разумевања концепта екосистема (Кадовић, 1999).

Под појмом ерозије у елементарном смислу треба подразумевати промене на површинском слоју земљишног рељефа, које настају као последица деловања кише, снега, мраза, температурних разлика, ветра и текућих вода или услед антропогеног фактора (Гавриловић, С. 1972).

Ерозија земљишта проузрукује проблеме који су често повезани са важним питањима као што су безбедност хране, складиштење воде и одрживост животне средине (Eswaran et al. 2001; Lomborg, 2001). Самим тим ерозија земљишта има директне негативне економске и еколошке последице. Претпоставља се да је око 1,6 милијарди

хектара обрадивог земљишта угрожено од ерозионих процеса на глобалном нивоу (63 % од водне ерозије и 37 % од ерозије ветра). Подручја угрожених водном ерозијом се процењује на 16 % (105 милиона хектара), ерозијом ветра на 4 % (42 милиона хектара) на територији Европе (EEA, 2012). Губитак земљишта изазван процесом ерозије је озбиљан проблем и у Републици Србији а процена губитака земљишта као и систем заштите од ерозије представљају неопходни услов за одрживи развој привреде и друштва. Ерозиони процеси, различитих категорија разорности, детерминисани су практично на целој територији Републике Србије (Ристић и Малошевић, 2011). Процес ерозије је веома сложен и фактори који утичу на њега су динамични и мењају се у простору и времену. Ерозиони процеси изазвани активношћу човека су типична за области са развијеном пољопривредном производњом, рударством, грађевинарством и интензивним крчењем шума. Ерозија земљишта је учесталија и има већи интензитет у локалним срединама где је повећан економски развој (Ристић et al. 2010). Степен угрожености акумулације наносом условљен је величином сливног подручја и интензитетом ерозије у њему. Као продукт ерозионих процеса на сливу јавља се ерозиони нанос који са падина доспева у речну мрежу и некадашње бистре водотоке претвара у мутне токове пуне блата, камења и песка, наносећи тако огромне штете пољопривреди, водопривреди, енергетици и другим гранама привреде (Костадинов, 2008).

Еродирањем земљишта односе се хранљиви састојци, али и штетни микроелементи (тешки метали). Без обзира на порекло тешких метала у земљишту (природно, антропогено), процесима површинског отицања и таложења, тешки метали са суспендованим честицама земљишта са сливног подручја, доспевају у водне акумулације (Кадовић, 2008).

Предвиђање губитка земљишта је важно за процену опасности од ерозије и детерминацију одговарајућих мера конзервације и коришћења земљишта у сливу. Планирање мера за конзервацију земљишта захтева познавање фактора који узрокују губитке земљишта. То је први корак у контроли ерозије. Широк спектар модела су данас доступни за процену ризика од ерозије земљишта. Ерозиони модели се могу класификовати на више начина. Постоје модели који могу да направе поделу на основу временских скала као и модели који су пројектовани да предвиде дугорочне губитке земљишта. Такође, може бити направљена разлика између модела који предвиђају ерозију на једном локалитету, и оних који предвиђају ерозију кроз просторну

дистрибуцију. Основна подела модела је на физичке, аналогне и дигиталне. Физички модел је хардверски модел урађен у лабораторији, којим се претпоставља динамичка сличност између модела и реланог света. Аналогни модели представљају примену механичког и електронског система. Дигитални модели се заснивају на примени рачунарске технике за обраду великог броја података и могу бити подељени у три групе: стохастички, емпиријски и модели базирани на физичким законитостима (Кадовић, 1999).

Избор за одређени модел у великој мери зависи од сврхе за коју је истраживање намењено, доступности података, времену и потребним материјалним средставима за његову реализацију. Већина ерозионих модела су пројектовани да процене ерозије земљишта на високим резолуцијама, али нису најпогоднији за развој регионалне и локалне стратегије за очување земљишта. За картирање ерозије земљишта у Републици Србије се најчешће користи "Метода потенцијала ерозије" (МПЕ). Ова метода израђена је у Институту за водопривреду "Јарослав Черни", а на основу дугогодишњих проучавања ерозије земљишта у Грделичкој Клисури, коју је предводио професор С. Гавриловић. Метода је показала висок степен поузданости и користи се као стандардна метода за картирање ерозије за водопривредне потребе (прорачуни засипања речних токова, каналске мреже и акумулација). До сада је том методом картирана целокупна територија Републике Србије и значајни делови бивших југословенских република (Гавриловић З., 2001).

Заштита земљишта од процеса ерозије је једна од примарних задатака земаља чланица Европске Уније, на основу чега је 2002. године усвојен VI Еколошки акциони програм, допуњен 2006. године Стратегијом заштите земљишта. У поменутим документима је земљиште квалификовано као део необновљивих ресурса и успостављени су општи циљеви заштите тог ресурса, нарочито у борби против ерозије. Такође, истраживачки центар Европске комисије (*Joint Research Centre - JRC*) који чини окосницу у научно-технолошком развоју и подршци политике Европске уније, предлаже употребу четири модела приликом процене губитка земљишта на нивоу Европе и то: **MESALES, G2, PESERA и USLE**. Наше Министарство животне средине, рударства и просторног планирања усвојило је Правилник о Националној листи индикатора заштите животне средине ("Службени гласник РС", бр. 37/11), где се за процену губитака земљишта у Републици Србији налаже употреба **USLE** и **PESERA** модела.

1.2. Научни значај и циљеви истраживања

Основни циљ израде дисертације јесте да се развије методолошки приступ у процени ерозије земљишта заснован на просторној дистрибуцији на основу истраживања на експерименталном сливу. Предложена методологија би пружила могућност примене и на осталим сливовима, односно да се примени као полазна основа при пројектовању и изградњи инфраструктурних објеката, као и при одређивању конзервационих мера у заштити земљишта од ерозије.

Други циљ је да се проучавани модели компаративно анализирају и утврде њихове предности и недостаци.

Трећи циљ јесте да се идентификују области угрожене од ерозије и квантификује садашњи интензитет ерозије земљишта на проучаваном подручју.

Четврти циљ ове дисертације је примена методологије за прорачун количине неких микроелемената транспортованих са наносом, услед деловања ерозионих процеса.

1.3. Основне хипотезе

- Конфигурација терена и начин коришћења земљишта највише утичу на интензитет ерозије.
- На осетљивост фактора ерозије у примењеним моделима утиче начин обраде улазних параметара.
- Зоне потенцијалних ерозионих жаришта издвојене моделима дефинисаће правце транспорта микроелемената из земљишта у суспендован нанос.

Истраживања која су вршена у оквиру ове докторске дисертације представљају део истраживачких радова за потребе пројеката: „ Проучавање утицаја квалитета земљишта и вода за наводњавање за ефикаснију производњу пољопривредних култура и очување животне средине“ и „Истраживање климатских промена и њиховог утицаја на животну средину: праћење утицаја, адаптација и ублажавање“, који су финансирани од стране Министарства за просвету, науку и технолошки развој Републике Србије у периоду од 2011-2015.

2. ПРЕГЛЕД ДОСАДАШЊИХ ИСТРАЖИВАЊА

2.1. Ерозиони модели

Моделирање у ерозији се заснива на разумевању физичких закона и процеса који се дешавају у природи. Наведени процеси преводе ове компоненте у математичке и друге односе, описујући фундаменталну ерозију кроз процесе транспорта и таложења (Jetten et al. 2003). Успешност сваког модела се може ценити према томе у којој мери задовољава постављане циљеве и захтеве. Са моделима за процену губитка земљишта, ово значи одређивање времена и простора за које се процене врше, као и нивоа тачности (Кадовић, 1999).

Процена интензитета ерозије земљишта се може спровести на више начина, а неки од њих су: мерење интензитета ерозије на различитим локацијама, коришћењем мерних уређаја или мерење интензитета ерозије на експерименталним станицама. Овакав начин проучавања ерозионих процеса изискује већа материјална средства и представља дуготрајан процес, а резултати мерења могу бити веома променљиви. Вредности добијене таквим мерењима се углавном користе за процену утицаја одређених ерозионих фактора, за развој нових ерозионих модела или за сврху валидације, али не и за просторну евалуацију ерозије. Из наведених разлога се најчешће користе методологије које садрже интегрисаност просторних података.

Просторно моделирање ерозионих процеса се може имплементирати кроз два главна приступа (Vrieling, 2007):

- приступ појединачног ентитета и
- приступ вишеструких ентитета.

Први приступ претпоставља да свака тачка у простору може бити окарактерисана помоћу атрибутних вредности чије границе нису јасно дефинисане.

У моделу вишеструких ентитета појаве су састављене од јасно дефинисаних просторних подручја. Основна карактеристика овог приступа је да сваки ентитет је додељен само једном сету категорија или класа.

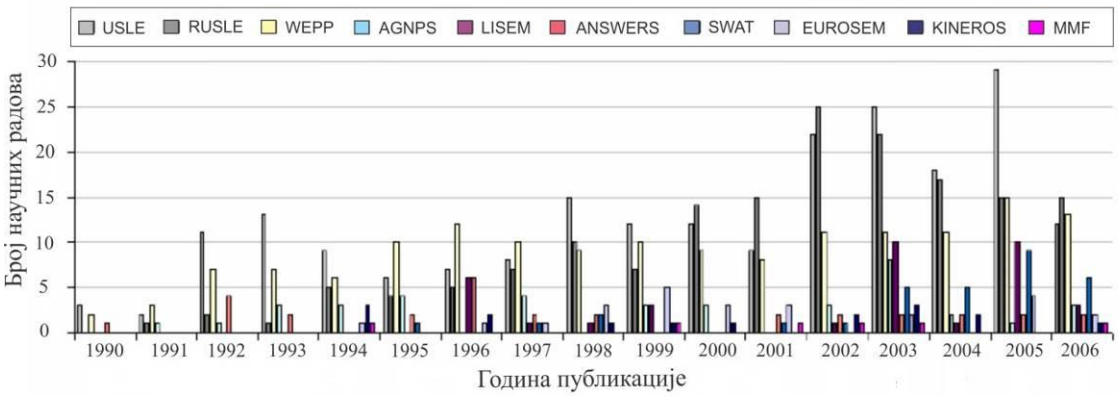
Ерозиони модели се могу класификовати на више начина, али уопштено сви модели могу се поделити у следеће групе (табела 1):

- концептуални модели,
- емпиријски-концептуални модели,
- физички засновани модели.

Табела 1. Најчешће коришћени ерозиони модели

Модел	Тип	Референца
TOPMODEL	Концептуални	Beven и Kirkby (1979)
HSPF	Концептуални	Johanson et al. (1980)
AGNPS	Концептуални	Young (1987)
SWRRB-WQ	Концептуални	USEPA (1994)
LASCAM	Концептуални	Viney et al. (2000)
EPM	Емпиријско-концептуални	Gavrilović (1972)
USLE	Емпиријско-концептуални	Wischmeier и Smith (1978)
RUSLE	Емпиријско-концептуални	Renard et al. (1997)
SEAGIS	Емпиријско-концептуални	DHI (1999)
SWAT	Емпиријско-концептуални	Arnold et al. (1996)
USPED	Емпиријско-концептуални	Mitasova et al. (1996)
SEMMED	Емпиријско-концептуални	De Jong et al. (1999)
WaTEM/SEDEM	Емпиријско-концептуални	Van Rompaey et al. (2001)
MESALES	Емпиријско-концептуални	Le Bissonnais et al. (2002)
STREAM	Емпиријско-концептуални	Cerdan et al. (2002)
G2	Емпиријско-концептуални	Panagos et al. (2012)
CREAMS	Физички засновани	Knisel et al. (1980)
ANSWERS	Физички засновани	Beasley et al. (1980)
ARMSED	Физички засновани	Riggins et al. (1989)
KINEROS	Физички засновани	Woolhiser et al. (1990)
TOPOG	Физички засновани	Haskins и Davey (1991)
PERFECT	Физички засновани	Littleboy et al. (1992)
CORINE	Физички засновани	EEA (1995)
LISEM	Физички засновани	De Roo et al. (1996)
GUEST	Физички засновани	Yu et al. (1997)
WEPP	Физички засновани	Laflen et al. (1997)
EUROSEM	Физички засновани	Morgan et al. (1998b)
SHETRAN	Физички засновани	Ewen et al. (2000)
PESERA	Физички засновани	Kirkby et al. (2000; 2004)

У последњих 15-20 година објављује се све већи број публикација у научно-истраживачким часописима са SCI листе (*енг. Science Citation Index*) у којима су се користили ерозиони модели (слика 1).



Слика 1. Учесталост објављених радова са темом примене ерозионих модела у SCI часописима (López Vicente, 2007)

Најчешће коришћени модели су: USLE (*Universal Soil Loss Equation*), RUSLE (*Revised Universal Soil Loss Equation*), ANSWERS (*Areal Nonpoint Source Watershed Enviroment Response Simulator*) и SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*). Такође, на научном интернет порталу (*http://apps.isiknowledge.com/*) у периоду од 2003. до 2012. године је пронађено 844 наслова са кључним речима као: „Universal Soil Loss Equation“, „USLE“, „RUSLE“ (Auerswald et al. 2014), док тај број на порталу *www.researchgate.net* износи преко 1000 наслова.

Током претходних две до три деценије, покренут је велики број пројеката и модела са циљем да се процени интензитет ерозије земљишта. Неки од тих метода су више на нивоу приступа (CORINE, GLASOD, INRA) који су се користили за картирање ерозије на нивоу Европе (Блинков и Костадинов, 2010). Следећи одељци описују неке од тих приступа и модела.

2.1.1. CORINE *(Coordination of Information on the Environment)*

Картирања земљишног покривача у оквиру CORINE програма има за циљ да кроз CLC базе података о земљишном покривачу обезбеди конзистентне информације о земљишном покривачу европских земаља ради што правилнијег и лакшег управљања животном средином. CORINE је доста базирана на USLE моделу и примењена је на резолуцији од 1km · 1km. Основна анализа се заснива на резултатима на основу којих се еродибилност земљишта сврстава у четири класе, ерозивност кише у три класе и нагиб терена у четири класе. Резултати се затим множе, и добијамо комбиновани резултат који представља потенцијални ризик од ерозије. CORINE приступ треба да у будућности омогући више софистицирани модел него досадашњи, посебно у делу

везаном за побољшање фактора који се користи у обрачуну климатских и земљишних параметара (Soil Erosion Risk in Europe, 2002).

2.1.2. RIVM (*National Institute of public Health and the Environment*)

Процена од ерозије на основу RIVM модела је део великог извештаја о стратегијама за заштиту животне средине у европским оквирима (RIVM, 1992). Наведена процена је у међусобној зависности од климатских, земљишних и економских пројекција. RIVM модел је у основи прилично сличан CORINE моделу, али има доста сличности и са USLE моделом. У RIVM моделу су највише укључене две динамичке компоненте, а то су: месечне падавине и начин коришћења земљишта. Главна предност RIVM приступа лежи у његовом потенцијалу ка компатибилности и интеграцији са другим факторима животне средине. Међутим, тренутно је доступна само резолуција од 50 km, тако да се не може тумачити на националним или регионалним размерама (Soil Erosion Risk in Europe, 2002).

2.1.3. GLASOD (*Global Assessment of Soil Degradation*)

Међународни референтни центар за земљишне и информационе системе (ISRIC) је 1988. године израдио светску студију о деградацији земљишта у сарадња са великим бројем истраживача широм света који се баве том тематиком (Soil Erosion Risk in Europe, 2002.). Пројекат је покривао двадесет један регион широм света, а постојала је сарадња са националним научним кадровима. У изради студије користиле су се регионалне ерозионе карте, које су била полазна основа за комбиновање и корелацију са GLASOD картама. Сама замисао пројекта је била да се према одговорима кроз упитнике који су били послати стручњацима, створи глобална слика о деградацији земљишта. Нажалост нису све земље завршиле и послале попуњене упитнике тако да степен детаљности карата веома варира. Велика мањкавост пројекта се огледала у веома малој контроли или објективности у попуњавању упитника, а касније и у формирању самих карата (Soil Erosion Risk in Europe, 2002). Размера финалне карте је 1:10.000.000 што чини ограничавајући фактор јер се са њом обезбеђује минимална резолуција од само 10 km. GLASOD карта идентификује подручја са сличним субјективним интензитетом ерозије, без обзира на услове који су довели до ерозије. Овај пројекат показује да су доминантни процеси ерозије водом и ветром, који заједно захватају више од 83 % деградираних подручја (Кадовић, 1999). GLASOD карта је још увек у широкој употреби.

2.1.4. INRA (*Institut National de la Recherche Agronomique*)

Овај пројекат (у оквиру којег је реализован модел) разрадио је INRA у Француској. Модел користи комбинацију емпиријских података о коришћењу земљишта (250 m резолуција CORINE Land Cover базе података у размери 1:100.000), еродибилност земљишта (из европске базе података), рељеф (ДЕМ у резолуцији од 1 km) и климатски подаци (дневни метеоролошки подаци у резолуцији 50 km) (Soil Erosion Risk in Europe, 2002.). Просторне јединице за представљање резултата у овом пројекту могу бити дефинисани као административне границе или сливна подручја. Наведени приступ се јасно разликује од стручне процене као на примеру GLASOD модела и заснива се на моделирању помоћу хијерархијске мултифакторске класификације. Модел је могуће лако модификовати и има могућности ажурирања са новим подацима. Као такав је много прецизнији и тачнији од CORINE модела**,** али се као главни извори несигурности у овом моделу јављају параметри везани за земљиште. Разлог томе је што су просторне резолуције и тачност ових података веома мали. Друго ограничење је 1 km резолуција ДЕМ-а, што представља веома грубу мрежу ћелија те је самим тим процена нагиба веома нетачна (Soil Erosion Risk in Europe, 2002.).

2.1.5. WEPP (*Water Erosion Prediction Project*)

WEPP модел је заснован на процесима симулације ерозије земљишта дуж падине или у оквиру слива (Laflen et al. 1991 и 1997; Flanagan et al. 1995). Модел је пројектован у САД и представља један од бољих модела за процену губитака земљишта. WEPP модел укључује следеће компоненте: временску скалу, наводњавање, површинско отицања, биланс вода, подземно отицања, земљиште, раст биљака и остатке распадање биљних остатака и др. Постоје покушаји да се успостави веза између WEPP и географске базе података (*GeoWEPP*). Процес интеграције је у развоју а са циљем да се аутоматизују процеси заштите земљишних ресурса. Генерално, WEPP модел се може сматрати поузданом методом за процену ерозије земљишта и важним инструментом у управљању агроекосистема.

2.1.6. EUROSEM (*European Soil Erosion Model*)

Модел EUROSEM је развијен у Великој Британији са циљем да се примени и у осталим европским земљама, првенствено у земљама Европске уније (Morgan et al. 1998). Модел је заснован на KINEROS моделу (Woolhiser et al. 1990), а улазни

параметри су топографски подаци, физичке особине земљишта, начин коришћења земљишта и подаци о падавинама. EUROSEM има могућнсот израчунавања отицања и губитака земљишта по једноминутним интервалима. Модел је калибрисан у Енглеској, Холандији и Оклахоми (САД), а успешно примењен у Костарики, Никарагви, Мексику и Кини.

2.1.7. MESALES (*Modèle d'Evaluation Spatiale de l'ALéa Erosion des Sols - Regional Modelling of Soil Erosion Risk*)

MESALES (Le Bissonnais et al. 2002) је развијен од стране INRA лабораторије у Орлеану (Француска) ради процене ризика од ерозије земљишта на европском нивоу. Сваки улазни параметар је подељен на класе које својим комбинацијама као резултат детерминишу фактор осетљивости земљишта на ерозију.

Основни улазни параметри који се користе у овом моделу су:

- фактор начина коришћења земљишта (добијен из *CORINE Land Cover (CLC)* у резолуцији растерске ћелије 250 m · 250 m),
- топографски фактор (изведен из ДЕМ-а),
- подаци о земљишту (генерисани из Европске базе података о земљишту),
- фактор ерозивности кише (добијен на основу климатолошких података који су у задњих 25 година прикупљани у оквиру Развојног центра Европске комисије и интерполирани у резолуцији 50 km · 50 km).

2.1.8. G2 (*Geoland 2*)

G2 модел је нови ерозиони модел који је настао као резултат пројекта Geoland 2 (Panagos et al. 2012; Panagos et al. 2014). Модел представља плод сарадње између Управе за конзервацију земљишта и природних опасности и Лабораторије за управљање шумама и примену даљинске детекције на Аристотеловом универзитету у Солуну. Овај модел омогућава процену губитка земљишта у тонама по хектару и структура података који се обрађују кроз овај модел је веома слична USLE моделу. G2 је хармонизован са стандардним улазним подацима из европских и глобалних база података, као што су европска база података о земљишту (ESDB), ASTER сателитски

снимци, ДЕМ скупова података и други. G2 модел је успешно примењен у прекограничном сливу реке Стримонас, која се налази између Грчке и Бугарске.

2.2. Примена USLE, PESERA и WaTEM/SEDEM модела у свету

USLE модел је примењен на малим сливова до 10 km^2 (Jurgens и Fander 1993, Zhang et al. 2008), површинама између 10 и 100 km^2 (Fistikoglu и Haramancioglu 2002; Lee 2004; Millward и Mersey 1999), између 100 и 1000 km^2 (Amore et al. 2004; Bahadur 2009; Dabral et al. 2008), великим басенима од 10 000 km^2 (Irvem et al. 2007; Ma et al. 2003; Mati et al. 2001) и на нивоу Европе (CORINE 1992; Van der Knijff et al. 2000). Примена USLE у ГИС окружењу је такође један од разлога за његову широку примену широм света. Раније је имплементација USLE методе одузимала пуно времена, али је данас уз помоћ ГИС-а олакшана употреба овог модела. Предности ГИС-а су једноставан унос и ажурирање података, лака манипулација подацима и њихово презентовање у најподеснијој форми за корисника. ГИС дозвољава интеграцију широког спектра информација. У последњој деценији постоји широк спектар USLE студија обављених кроз ГИС окружења (Amore et al. 2004; Bahadur 2009; Dabral et al. 2008; Fistikoglu и Haramancioglu 2002; Lee 2004; Irvem et al. 2007). PESERA модел је успешно тестиран на европском нивоу (Kirkby et al. 2008) и националном нивоу (Lilly et al. 2009). Модел је тестиран и у неким деловима Европе, као што су Шпанија (De Vente et al. 2008), Холандија и Италија (Licciardello et al. 2009). У овим проучаваним областима модел је потценио интензитет ерозије, тј. дао је нешто ниже резултате што је била последица слабијих резолуција расположивих параметара коришћених у овим истраживањима (De Vente et al. 2008, Kirkby et al. 2008). Модел је потврђен и у регионалним условима, односно у Нормандији (Француска) (Le Bissonnais и Daroussin 2003). Интегрисани подаци у поређењу са измереним теренским подацима су били прилично уравнотежени. PESERA модел је успешно примењен у Грчкој (Tsara et al. 2005), где је калибрисан са постојећим подацима на основу чега је потврђен добар резултат модела са кореном средње квадратне грешке од 0,06 тона по хектару. Детаљнија примена PESERA модела је спроведена на острву Lesvos (Грчка), у резолуцији 250 · 250 метара. Процес калибрација и валидације модела резултирао је са релативно добром ефикасношћу модела (ME = 0,69) (Kosmas et al. 2003).

Заједничка примена и верификација USLE и PESERA модела и њихова калибрација је извршена у многим деловима Европе, као што су подручја Белгије, Чешке Републике,

Италије, Шпаније и другим земљама (PESERA, Deliverable 7B: Model validation at the catchment scale).

На територији Белгије параметре су обрадили и анализирали Verstraeten и Poesen (2001) из „Лабораторије за експерименталну геоморфологију“ (Heverlee, Белгија). Сет података је анализиран са 15 сливова који се налазе у централној Белгији. Проучавани сливови су распострањени на иловастим и песковитим земљиштима са просечном површином од 10 km². Процене PESERA модела су имале добру корелацију од 0,64 са измереним вредностима, док је USLE модел имао корелацију од 0,53.

Проучавања која је спровео „Департман за наводњавање и управљање земљиштем“ (Универзитет у Прагу) на подручју Чешке Републике, састојао се од пет слива са просечном површином од 180 km². У проучаваним сливовима доминира обрадиво земљиште и површине под пашњацима. Применом PESERA модела процењен је губитак земљишта у овој области са просечним вредностима од 0,14 тона по хектару. Када су се те вредности упоредиле са измереним добијен је одличан коефицијент корелације од 0,95. USLE модел је такође процењен на Чешким сливовима са добијеним просечним вредностима од 0,11 тона по хектару и добром корелацијим од 0,77 (Van Rompaey et al. 2003).

Подаци из Италије су обрађени са 34 сливна подручја, просечне површине од 170 km². Истраживања је вршио „Експериментални институт за проучавање и очување земљишта“ из Фиренце. Процењени просечни губици добијени коришћењем PESERA модела били су 2,77 тона по хектару и у корелацији са измереним подацима износили су свега 0,20 за овај модел. USLE модел је имао још лошију корелацију од свега 0,10 (Van Rompaey et al. 2003).

Verstraeten et al. (2003) су на подручју Шпаније, односно са 22 слива, обрадили податке о земљишњим губицима. Просечна површина анализираних сливова је износила 680 km². Висинска разлика надморских висина се кретала од 500 до 1200 mnv, док су доминантни типови начина коришћења земљишта биле шуме и обрадиво земљиште. PESERA модел је у овим истраживањима имао лошу корелацију са коефицијентом од 0,04, док је USLE модел имао значајно бољу корелацију од 0,61 између измерених и процењених резултата.

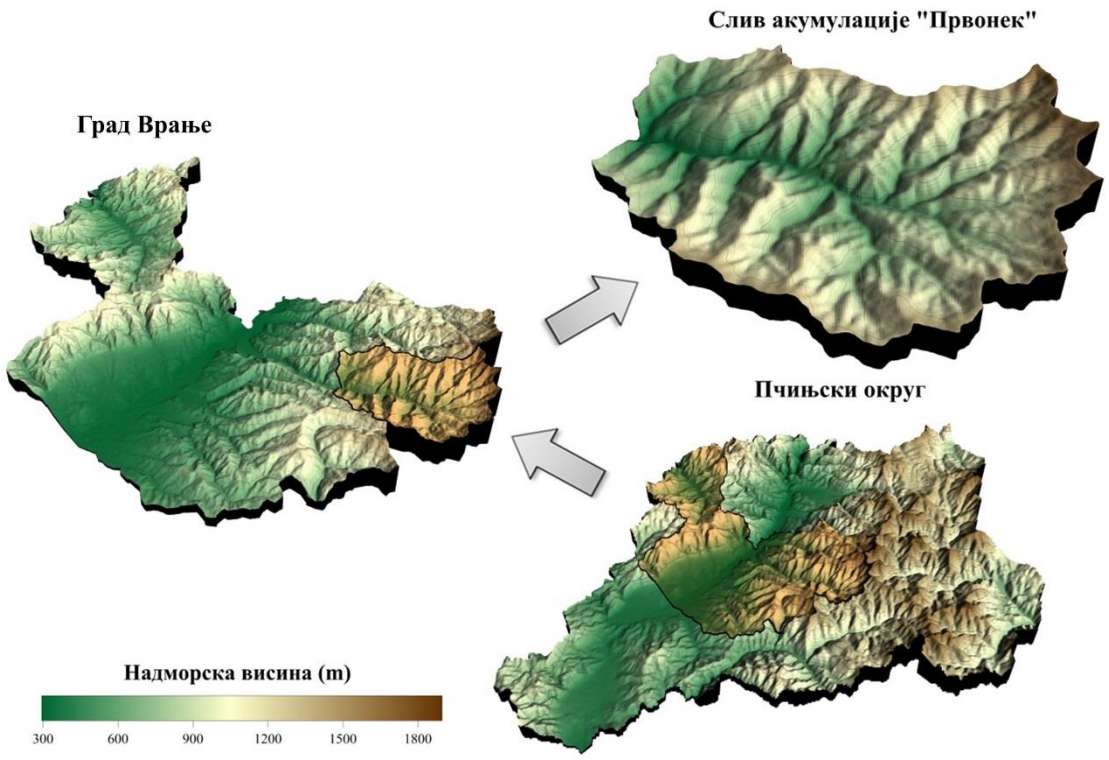
Meusburger et al. (2010) су процењивали однос између PESERA и USLE модела у пределима алпских пашњака. У изради Студије је коришћен фракциони вегетациони покривач (*fractional vegetation cover, FVC*) за одређивање заступљености вегетације. Оба модела су примењени на 0 % и 100 % FVC-а. У прорачунима, проучавани модели су мало потценили интензитет ерозије. Процене губитака земљишта применом PESERA модела су у неким деловима истраживаног подручја били сувише ниже у односу на USLE. Као основни закључак ове студије се наводи да PESERA модел у поређење са USLE моделом, потцењује значај и утицај вегетације на ерозију земљишта у пределима алпских пашњака.

WaTEM/SEDEM модел примењен у анализи губитака земљишта на многим сливовима као што су пољопривредне лесне области централне Белгије (Van Rompaey et al. 2001a; Verstraeten et al. 2002), брдска подручја Републике Чешке (Van Rompaey et al. 2003a), у раличитим екосистемима Италије (Van Rompaey et al. 2005), у шумским областима Јужне Африке (Van Rompaey сар. 2003) и у другим областима. Примена овог модела у транспорту штетних микроелемената је забележен у врло мали број научних радова. Један од ретких примера је представљен у раду Jordan G. и Van Rompaey из 2009. године, где је модел успешно примењен у околини рударског подручја *Recsk* на северу Мађарске. Поменути рад је био добра основа за покретање пројекта „*Contamination risk assessment (RA)*“ који финансира Европска Унија. У оквиру тог пројекта, као његов саставни део, се јавља подпројекат *„Contamination transport – transport & reaction modelling“* који има за циљ да се применом WaTEM/SEDEM модела моделира транспорт штетних микроелемената са акценатом на калибрацију, верификацију и процену грешке модела.

3. ОПШТЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ПРОУЧАВАНОГ ПОДРУЧЈА

3.1. Географски положај

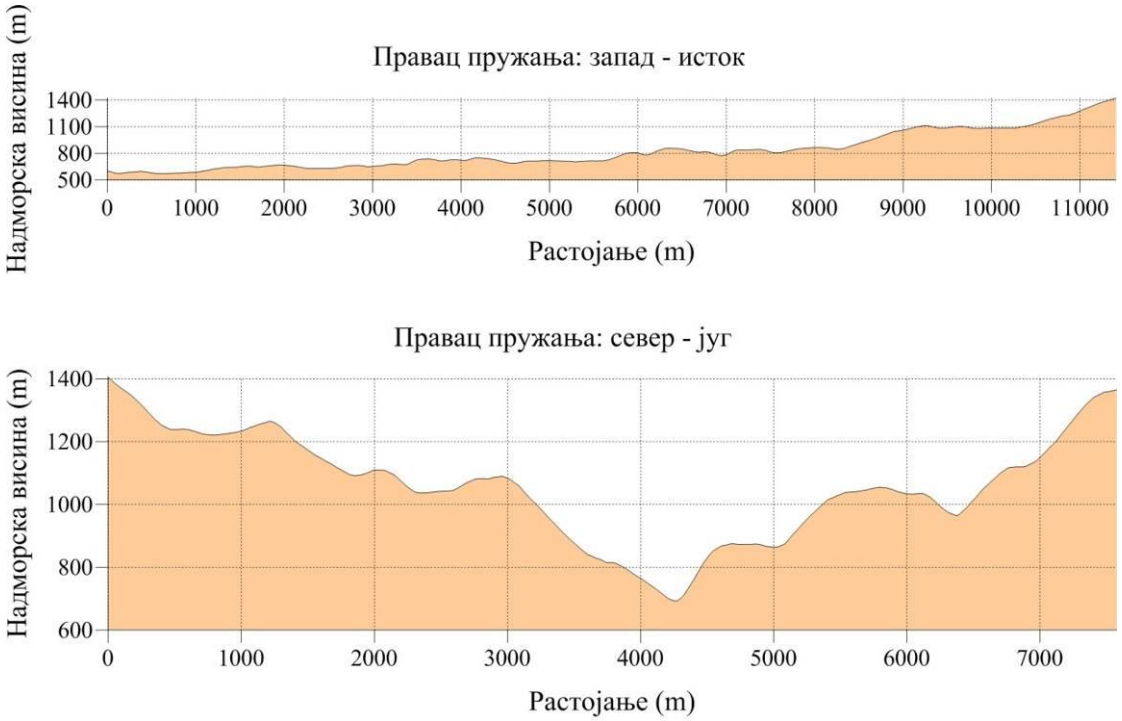
Слив акумулације Првонек чини део административог подручја града Врање, које представља регионално седиште Пчињског округа (слика 2). Слив се налази североисточно од града и удаљен је од њега 22 km. Укупна површина слива износи 115,3 km^2, а површина сливног подручја до профила бране износи око 85 km^2. Слив акумулације Првонек има елипсасту површину и орјентисану у правцу север-југоисток. Основни ток реке је кратак (око 12 km), а слив је под значајним нагибом (39,6 %), тако да се спољни утицаји веома брзо преносе у речни ток*. Основна намена бране и акумулације Првонек је водоснабдевање становништва и индустрије града Врања, Врањске Бање и неколико села на подручју поред реке Јужне Мораве, заштита од поплава као и производња електричне енергије.



Слика 2. Географски положај проучаваног подручја

Слив се простире од 42°26' до 42°32' северне географске ширине и од 22°4' до 22°13' источне географске дужине у висинској зони од 570 до 1780 метара надморске висине са просечном вредношћу од 1075 mnv (слика 3).

** Просторни план подручја посебне намене слива акумулације „Првонек“*



Слика 3. Профилне промене надморских висина проучаваног подручја

Основни параметри слива узводно од бране „Првонек“ су дати у табели 2.

Табела 2. Параметри слива акумулације Првонек (Костадинов, 2010).

Површина слива	**Обим слива**	**Дужина тока**	**Дужина слива**	**Средњи пад слива**	**Средњи пад тока**	**Управ. пад тока**
Asi	O	L	Lsi	Isr	It	Iur
km^2	km	km	km	%	%	%
85,350	42,48	14,63	14,8	39,6	8,39	5,11

Lc	**Кота ушћа**	**Макс. кота тока**	**Мак. кота слива**	**Средња надморска висна**	**Средња висинска разлика**
				Nsr	Dsr
km	mnm	mnm	mnm	mnm	mnm
6,42	615	1777	1806	1075	464,4

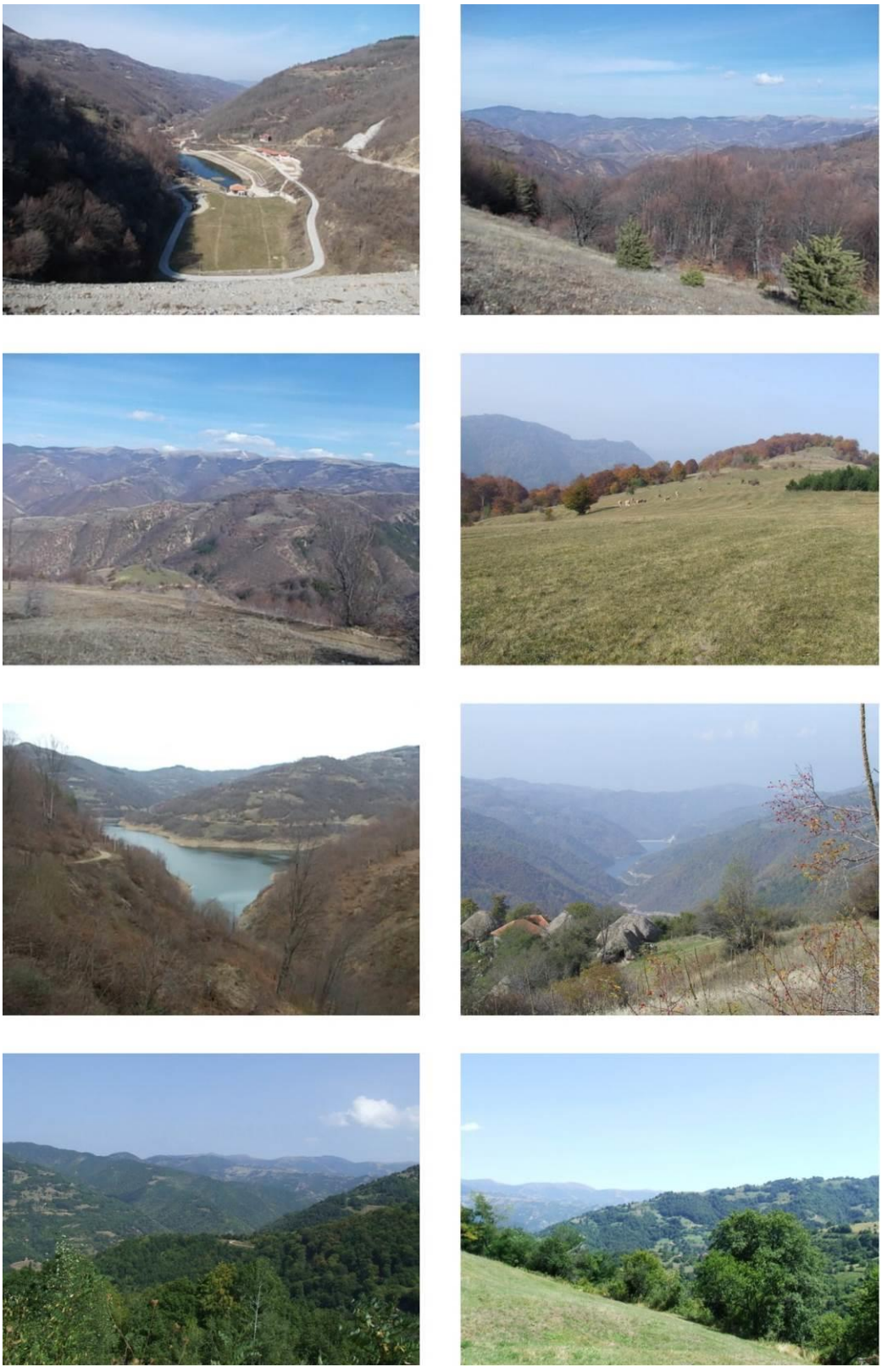
На подручју слива нема већих природних водотокова. То су углавном водотоци бујичног карактера, повремених потока и суводолина. Подручје слива обухвата следеће водотоке: Голема река, Градашница, Црна река, Рашевица, Самар, Црновршки поток,

Базир, Водоварница, Пелариште, Градешиница, Корбулска река, поток Крша, поток Дрварник и поток Моравица. Сви водотоци се уливају у акумулацију „Првонек“.

Подручје слива обухвата двадесетак насељених места, односно седам катастарских општина које улазе у њен састав и то: Првонек, Стара Брезовица, Стари Глог, Бабина Пољана, Црни Врх, Корбул и Сливница. Насеља са проучаваног подручја представљају насеља разбијеног, планинског типа. Према попису из 2011. године, број становника на сливном подручју износио је 335 (табела 3). У периоду од 1948. године када је на тој територији живело 3002 становника, до 2011. тј. за 63 године, становништво у насељима слива се смањило за 2667 лица. Проблем старења сеоског становништва, услед дугогодишње миграције младих ка другим деловима општине, државе и иностранству као и њиховој преоријентацији на индустријска занимања довела је до тога да многа сеоска имања остану необрађена и напуштена. Велики утицај на миграцију становништва у протеклим годинама имали су процеси урбанизације и индустријализације града Врања и Врањске Бање. На територији слива обрадиве површине су врло мало заступљене и на њима се претежно гаје кукуруз и јечам, док се сточарска производња заснива на гајењу крава и коза.

Табела 3. Број становника проучаваног подручја

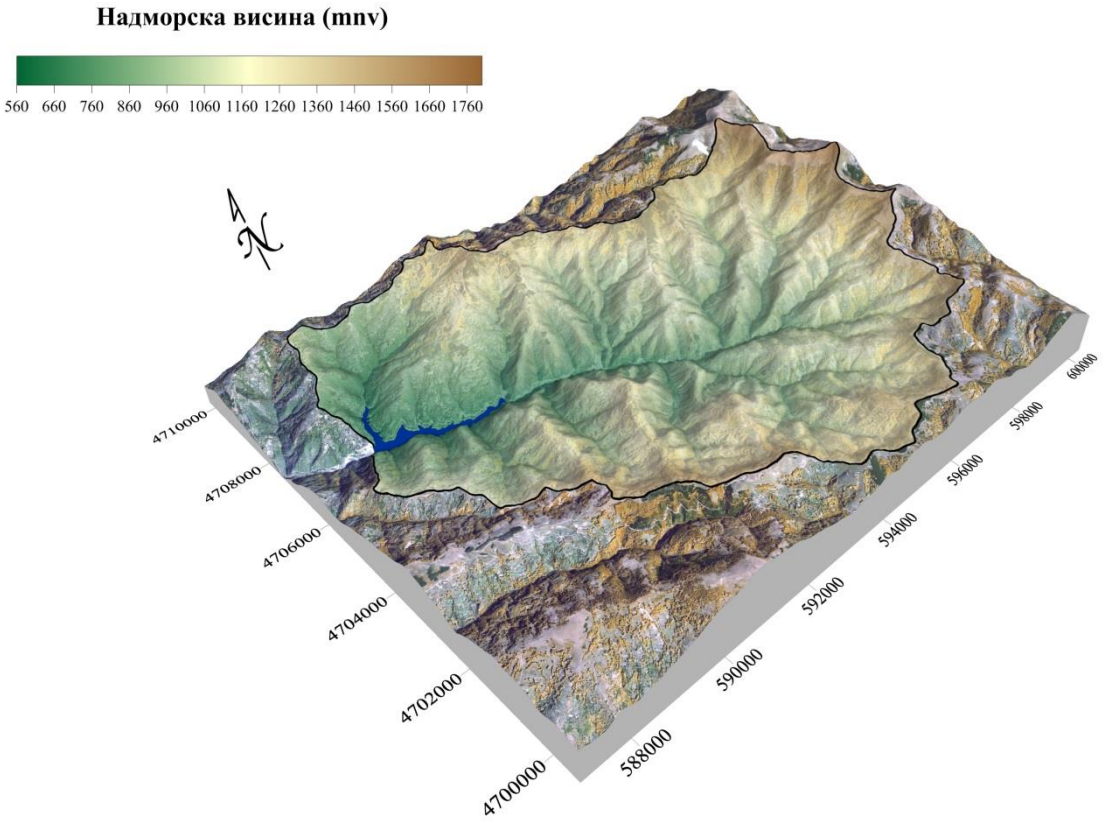
	Катастарске општине							
	Првонек	Стара Брезовица	Стари Глог	Бабина Пољана	Црни Врх	Корбул	Сливница	**Укупно**
Укупан број становника	124	57	18	37	15	6	78	**335**
Укупан број домаћинстава	54	21	9	19	7	3	47	**160**



Фототаблица 1. Предели слива акумулације Првонек

3.2. Анализа рељефа

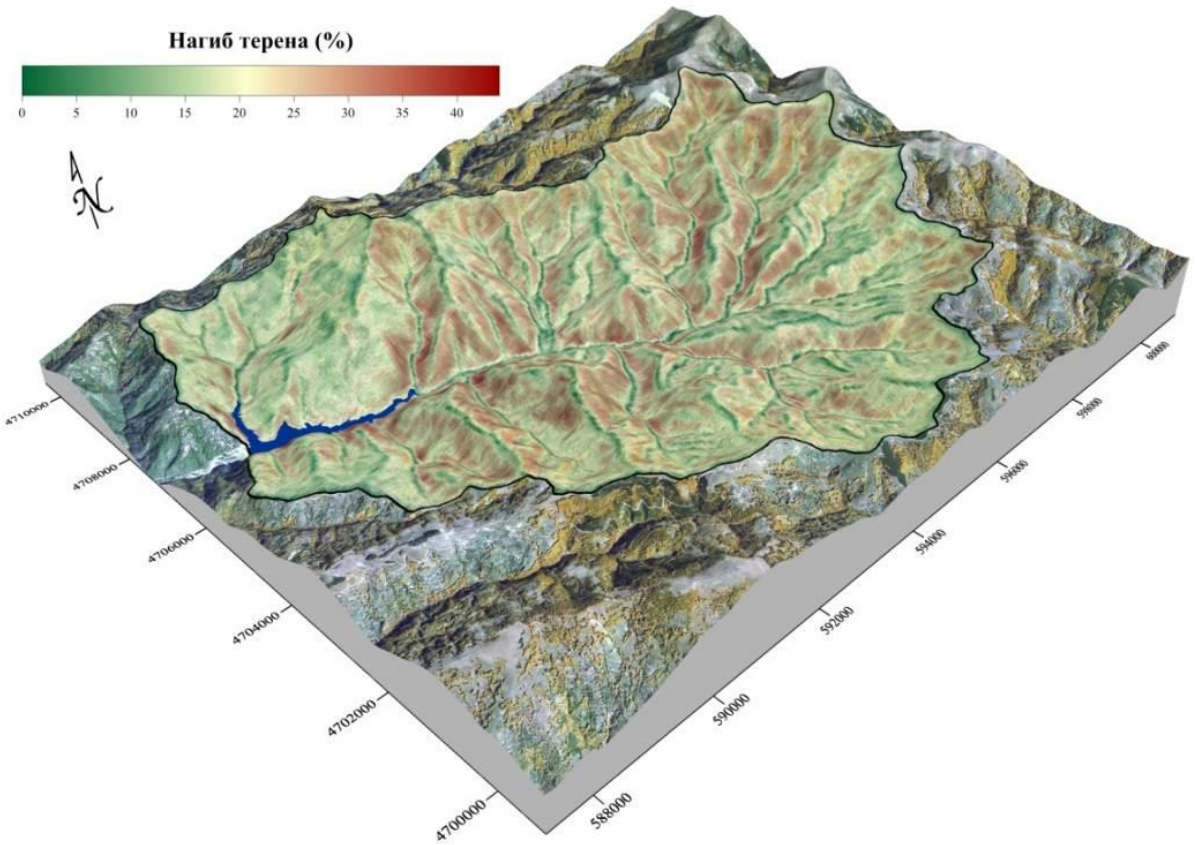
Рељеф има веома значајан утицај на развој ерозионих процеса у случају водне ерозије. Количина и брзина површинског отицања од којег највише зависи интензитет ерозије зависи од карактера и облика рељефа (Костадинов, 2008). Уместо класичних аналогних извора података, све се чешће користе дигитални облици, који уз примену одговарајућих алгоритама омогућавају брзо и прецизно одређивање квантитативних параметара рељефа. Топографске информације изведене из ДЕМ-а се често користе за просторне анализе и моделирање у различитим областима, укључујући и ерозионе процесе. Однедавно, такви подаци се могу бесплатно преузети са интернет портала у резолуцијама које задовољавају потребе пројеката и научних радова, који не захтевају висок степен детаљности (*нпр. SRTM- Shuttle Radar Topography Mission, EU-DEM, Aster GDEM*). Поред примарних (нпр. нагиб и експозиција терена) и секундарних (нпр. индекс влажности) из ДЕМ-а се могу извести и друге карактеристике терена попут: речна топографија, закривљеност терена и друго. Тачност добијених резултата анализом дигиталног елевационог модела зависи од резолуције изворног модела. Основни инпут у анализи рељефа слива Првонек је био 30 метарски ДЕМ (слика 4).



Слика 4. ДЕМ проучаваног подручја

3.2.1. Нагиб терена

Нагиб је дефинисан тангентном равни у било којој тачки површи која је моделирана у виду ДЕМ-а. Рачунање нагиба терена на основу ДЕМ-а дефинисано је променом висина између средишње ћелије и суседних ћелија (Burrought, 1986). Познато је да брзина површинског отицања воде зависи од нагиба падине, те према томе колико је већи нагиб падине, утолико ће бити бржа отицања вода у сливу и тиме ће бити веће могућности за појаву поплавних таласа (Костадинов, 2008). Просторни распоред нагиба терена је израчунат према Станеву (1979), чија подела класификује нагиб терена на пет категорија (слика 5; табела 4).



Слика 5. Нагиб терена проучаваног подручја

Прва и друга категорија нагиба се јавља на контактним деловима слива, где постоје благи прелази у стрмије делове слива, који је углавном прекривен колувијалним и алувијалним земљиштима. Нагиби треће, четврте и пете категорије присутни су на великим површинама слива (97,2 %) и то углавном на вишим подручјима. Такође, се

јављају и на нижим деловима падина на којима је изражено деловање тектонских померања, као и уз бочне стране јаруга.

Табела 4. Просторна расподела нагиба терена

Категорија	Површина	
	ha	%
I (0-3 %)	12,47	0,15
II (3-12,5 %)	216,36	2,53
III (12,5-25 %)	975,95	11,43
IV (25-50 %)	5375,73	62,98
V (>50 %)	1954,49	22,90
Укупно	**8535,0**	**100**

3.2.2. Закривљеност терена

Закривљеност терена подразумева облик падине. Наведени параметар може да послужи у одређивању доминантних процеса у обликовању слива или неког другог подручја. Закривљеност терена се рачуна анализом ДЕМ-а као друга деривација која описује удео промене прве деривације у смеру x и y осе. У геоморфолошким истраживањима, ове анализе могу се применити за израчунавање и процену трендова ендогених и егзогених геоморфолошких процеса (Kennelly, 2008). Анализом ДЕМ-а добија се нумерички низ вредности закривљености из којег је могуће издвојити три типа падина: конкавне, конвексне и праволинијске.

Профилном закривљеношћу се одређују промене нагиба за сваки пиксел. Негативна вредност указује на конвексни уздужни профил падине, а позитивна на конкавни, док вредност нула представља линеарну праволинијску падину.

Табела 5. Просторна расподела профилне закривљености терена

Падине	Површина	
	ha	%
Конвексне	4038,9	47.3
Праволинијске	333,2	3.9
Конкавне	4162,9	48.8
Укупно	**8535,0**	**100**

Подаци о заступљености профилне закривљености приказани су на слици 6 и табели 5. Структурна расподела указује да су подједнако заступљене конвексне и конкавне падине, док су праволинијске падине заступљене у малом проценту. Подаци указују на равномеран утицај тектонских померања, односно, на релативно уједначен однос спуштања и издизања земљине коре сливног подручја.

Слика 6. Профилна закривљеност терена проучаваног подручја

Планарна закривљеност односи се на закривљеност падине ка правцу највећег нагиба. Позитивна вредности указује на конвексни облик падине, а негативна на конкавни, док вредност једнака нули указује на линеарни праволинијски облик падине.

Табела 6. Просторна расподела планарне закривљености терена

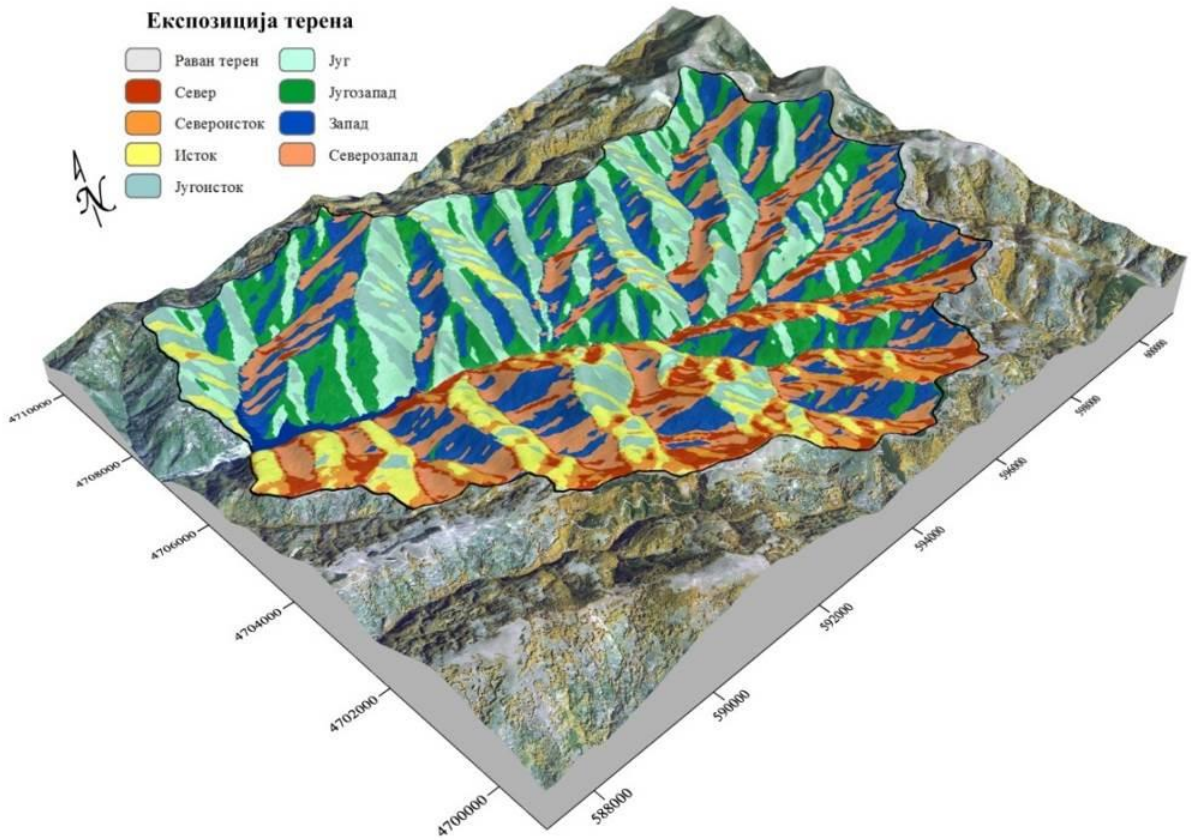
Падине	Површина	
	ha	%
Конвексне	3851,2	45,1
Праволинијске	335,6	3,9
Конкавне	4348,2	50,9
Укупно	**8535,0**	**100**

Из података о структурној закривљености терена, на основу анализе планарне закривљености (слика 7 и табела 6), уочљива је блага предност конвексних у односу на конкавне док су праволинијске падине заступљене са свега 3,9 % површине слива.

Слика 7. Профилна закривљеност терена проучаваног подручја

3.2.3. Експозиција терена

Експозиција терена у смеру највећег нагиба представља оријентацију терена у односу на стране света (Pahernik, 2007). Правац се најчешће одређује из правца севера у смеру казаљке на сату. Карте експозиције терена могу се приказати са девет класа, по једна за сваки од главних праваца и то север, североисток, исток, југоисток, југ, југозапад, запад, северозапад и једном класом за раван терен (слика 8).



Слика 8. Експозиција терена проучаваног подручја

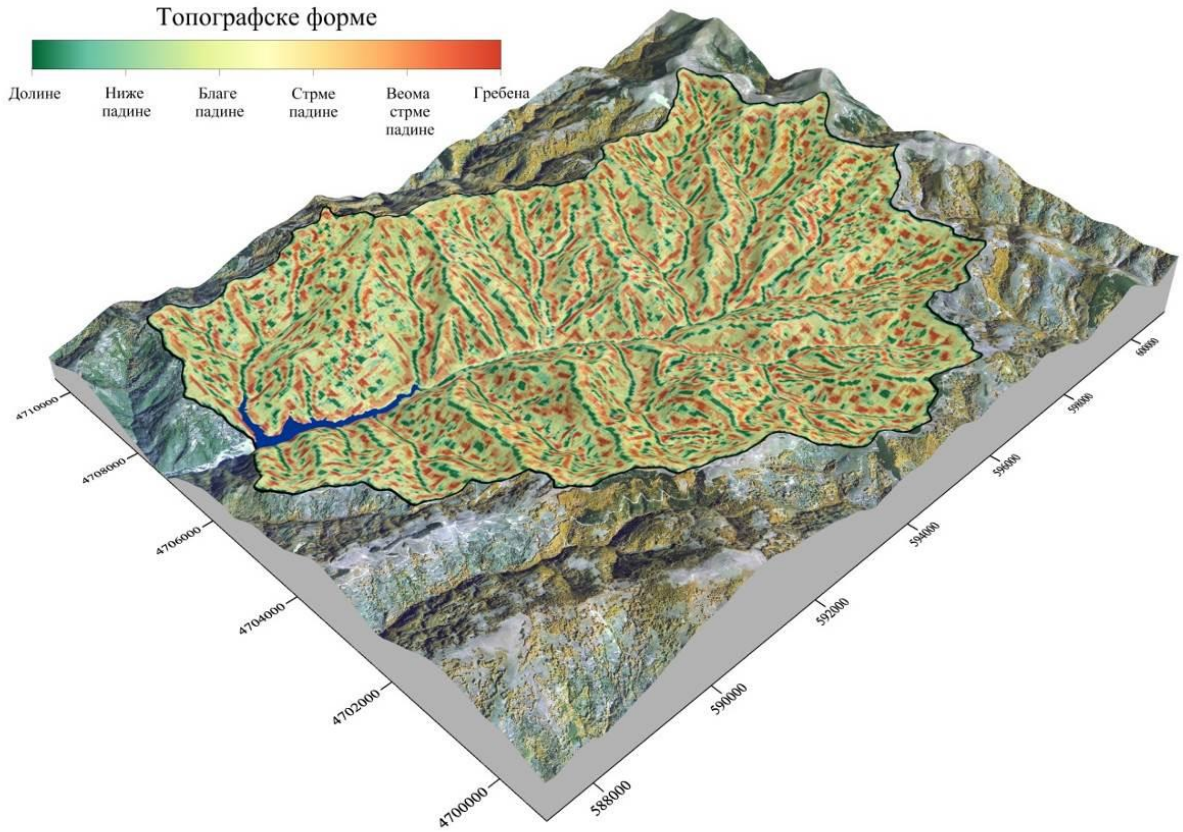
Табела 7. Просторна расподела према експозији терена

Експозиције	Површина	
	ha	%
Раван терен	0,1	0,0
Север	974,2	11,4
Североисток	806,0	9,4
Исток	858,0	10,1
Југоисток	965,7	11,3
Југ	842,3	9,9
Југозапад	1060,3	12,4
Запад	1516,1	17,8
Северозапад	1512,5	17,7
Укупно	**8535,0**	**100**

Падине јужне, југоисточне и југозападне експозиције са топлијом оријентацијом, су заступљене са 33,6 % укупне површине слива (табела 7). Падине са нешто хладнијим експозицијама као што су северна, северозападна и североисточна обухватају 38,6 % укупне површине, док неутралне експозиције (источне и западне) покривају 27,8 % слива (табела 7).

3.2.4. Топографске форме терена

Новија геоморфолошка истраживања рељефа укључују и читав низ других квантитативно статистичких метода за опис и детерминацију појединих рељефних облика и процеса. Једна од таквих метода је анализа топографске форме рељефа (слика 9). Andrew Weiss је 2001. године на Међународној корисничкој конференцији у организацији ESRI-ја (*Environmental Systems Research Institute*) представио истраживање које описује примену Топографског индекса положаја, *енг. Topographic Position Index (TPI).* Коришћење овог индекса омогућава анализу у различитим размерама где корисници могу класификовати терен кроз топографску позицију и форму на нивоу гребена, падина, долина и равница.



Слика 9. Топографске форме проучаваног подручја

Индекс се израчунава за сваку ћелију у оквиру ДЕМ-а. Ћелије које имају веће вредности од ћелија из њиховог окружења биће презентоване позитивном вредношћу, док оне које имају ниже ће имати негативне вредности. Равне површине, као и области сталног нагиба садржаће вредности око нуле (Jenness, 2006). У поступку моделирања се дефинишу вредности индекса у виду стандардних девијација и просторне варијабилности висинских вредности. То значи да ћелије са идентичним вредностима могу бити различито разврстане у зависности од просторне варијабилности у њиховом окружењу.

Табела 8. Просторна расподела према топографским формама

Топографска форма	Површина	
	ha	%
Долине	1122,0	13,2
Веома благе падине	1099,4	12,9
Благе падине	1003,5	11,8
Стрме падине	2743,3	32,1
Веома стрме падине	1801,5	21,1
Гребена	765,4	9,0
Укупно	**8535,0**	**100**

На основу примене овог индекса може се закључити да на сливу преовлађују стрме и веома стрме падине са 53,2 % заступљености, док долине и блаже падине заузимају 26,1 % слива (табела 8).

3.3. Климатске карактеристике

У последњих сто година десиле су се значајне промене у глобалној атмосфери услед антропогених активности, као што су повећање потрошње енергије, индустријализација, интензивна пољопривреда и друго. Процес који се одвија ће неминовно довести до промена у климатским условима и просторне варијабилности климе.

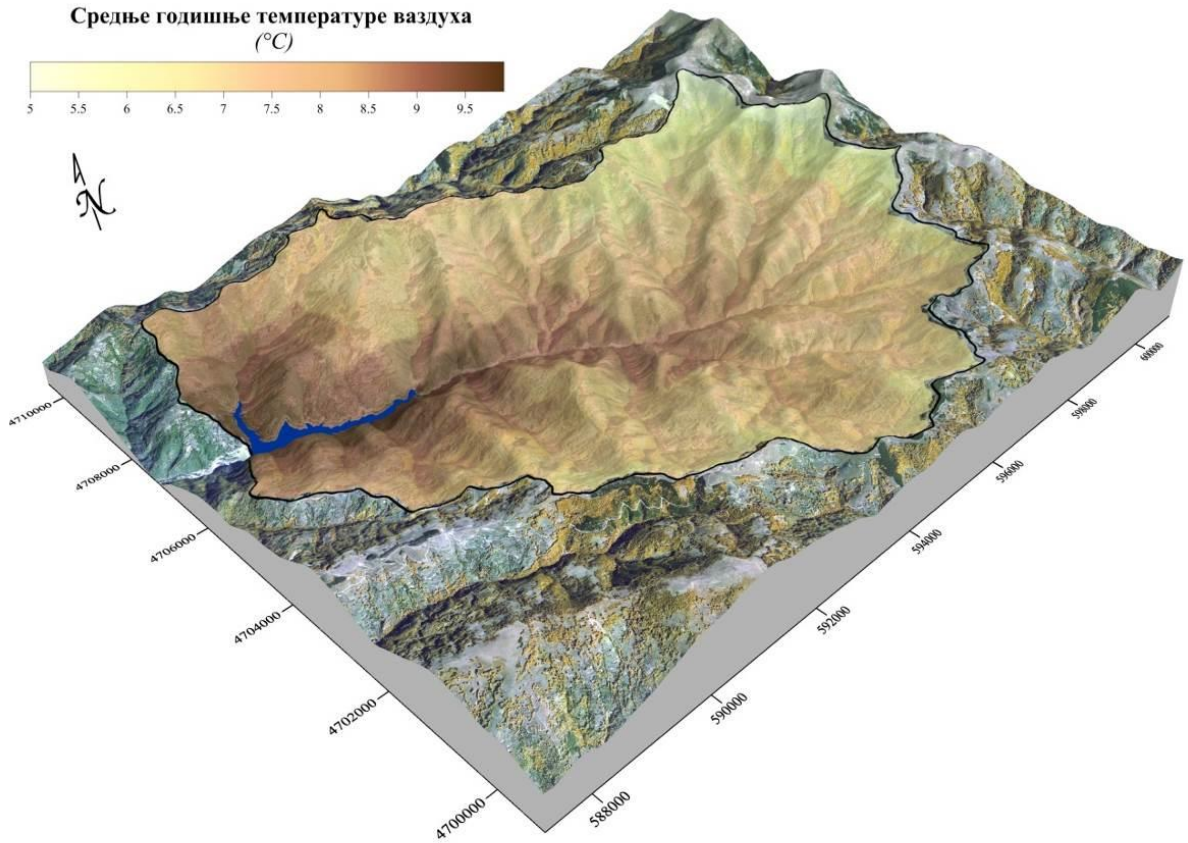
Климатске карактеристике слива су детерминисане на основу анализа метеоролошких података са станица које се налазе у околини слива: Врање, Бујановац, Трговиште, Босилеград и Власина. Климатски подаци за сет података у периоду од 1961. до 2011. године су преузети са сајта Републичког хидрометеоролошког завода, на основу којих је анализирана просторна расподела климатских карактеристика проучаваног подручја.

На основу анализираних података може се закључити да поднебље слива има умерено-континентални карактер са извесним одликама подпланинске климе.

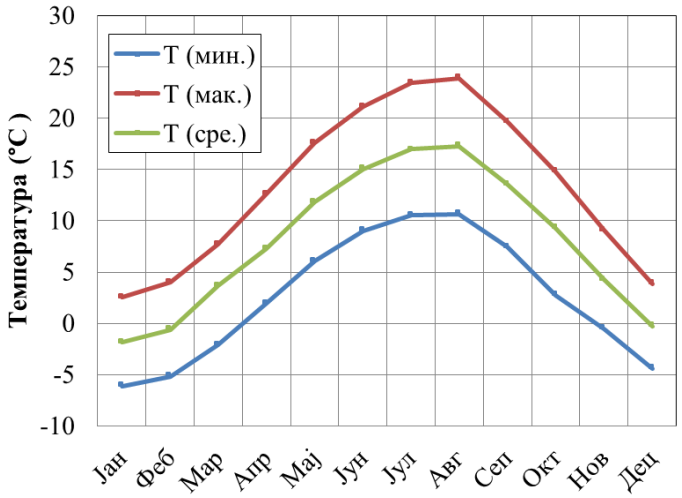
3.3.1. Температура ваздуха

Средња годишња температура ваздуха на сливу износи 8,0°C (слика 10). Најтоплији месеци су август и јул, а најхладнији јануар и фебруар (слика 11). Просечна

температура током лета износи 16,4°C, зиме -0,9°C, пролећа 7,6°C и јесени 9,0°C. Температурни прелаз од зиме према лету је равномернији у односу на прелаз лето-зима, јер је повећање температуре ваздуха од марта до маја за 8,2°C, а смањење од септембра до новембра за 9,3°C.



Слика 10. Средње годишње температуре ваздуха за период 1961. – 2011. година.



Слика 11. Максимална, минимална и средња температура ваздуха

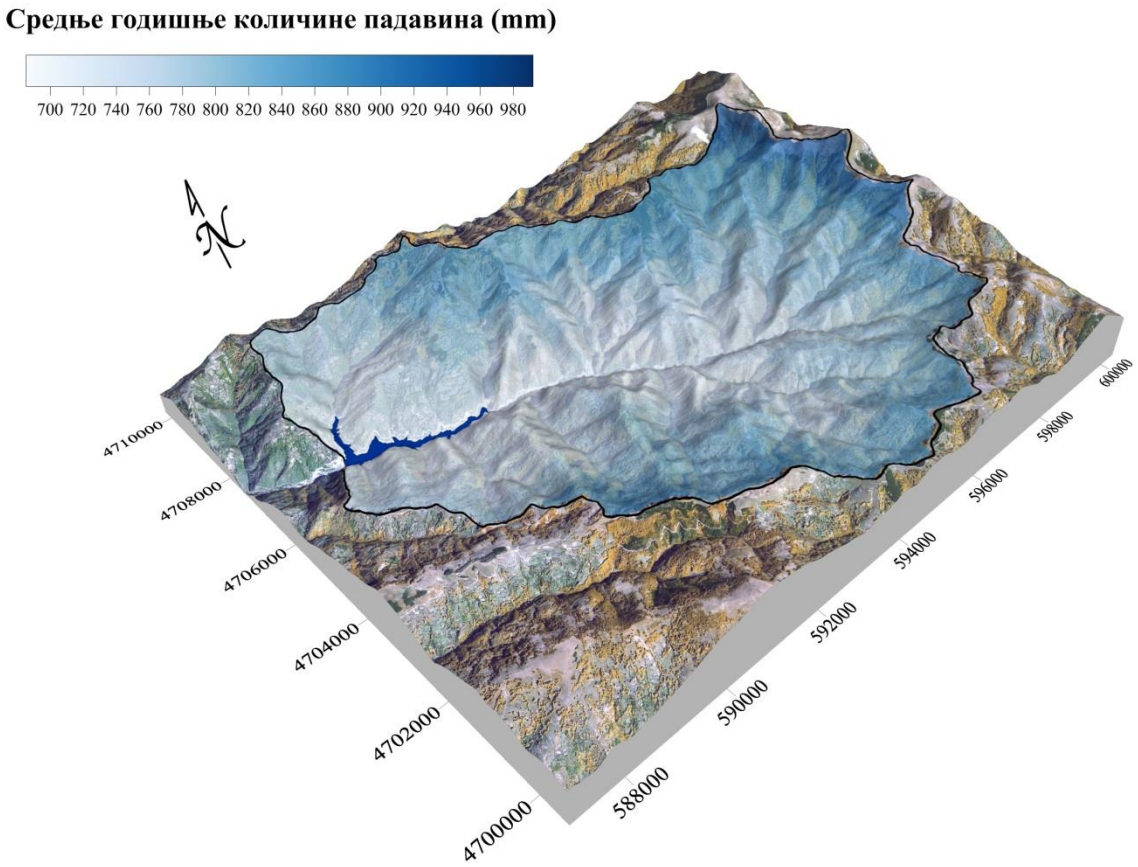
Табела 9. Средње месечне, годишње и температуре у току вегетационог периода проучаваних метеоролошких станица (период 1961. – 2011. година)

Метеор. станица	јан.	феб.	мар.	апр.	мај	јун	јул	авг.	сеп.	окт.	нов.	дец.	год.	вег.
Врање	-0,1	2,1	6,3	10,9	15,6	18,9	20,9	21,0	17,0	12,0	6,3	1,2	11,0	16,6
Бујановац	-0,3	2,1	6,3	10,8	15,7	19,1	20,8	20,8	16,8	11,7	6,1	1,1	10,9	16,5
Босилеград	-1,7	0,2	3,9	8,3	13,2	16,9	19,0	19,0	14,8	9,9	4,5	-0,3	8,9	14,4
Трговиште	-0,6	0,8	4,5	9,0	13,5	16,7	18,6	18,8	15,0	10,5	5,4	0,8	9,5	14,6
Власина	-3,6	-2,5	0,9	5,7	10,4	13,6	15,5	15,7	11,9	7,8	3,0	-1,6	6,4	11,5

3.3.2. Падавински режим

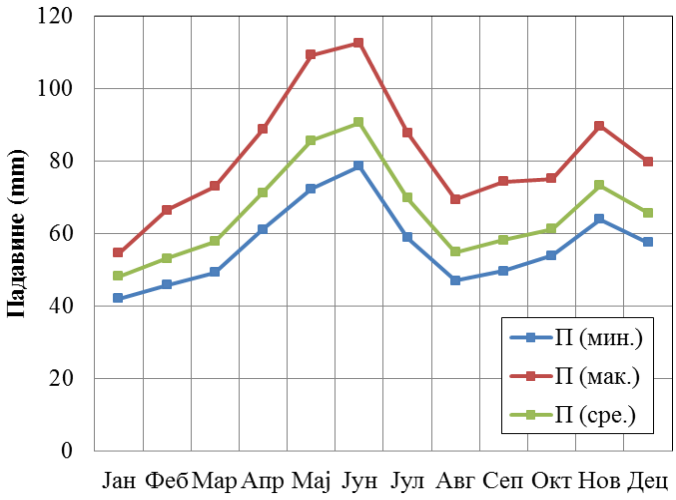
Губици земљишта су тесно повезани са падавинама, делом преко енергије удара кишних капи, којима се откидају честице земљишта са површине и делом преко површинског отицања воде од падавина (Кадовић, 1999).

Слив акумулације Првонек налази се у зони умерених годишњих количина падавина. Средње суме падавина су приказане на слици 13. Просечна количина падавина износи око 794,4 милиметара по квадратном метру (слика 12). Највеће количине падавина имају јун и мај, док су најсушнији август и јануар.



Слика 12. Средње годишње падавине за период 1961. – 2011. година.

Пролеће (214,7 mm) и лето (215,3 mm) имају највећу просечну количину падавина. Снег се најпре јавља на околним планинама, пре свега Бесној Кобили на којој се задржава и по 9 месеци годишње. Средња годишња релативна влага ваздуха износи 75 %, а у вегетационом периоду 68 % (Мијановић et al. 1992).



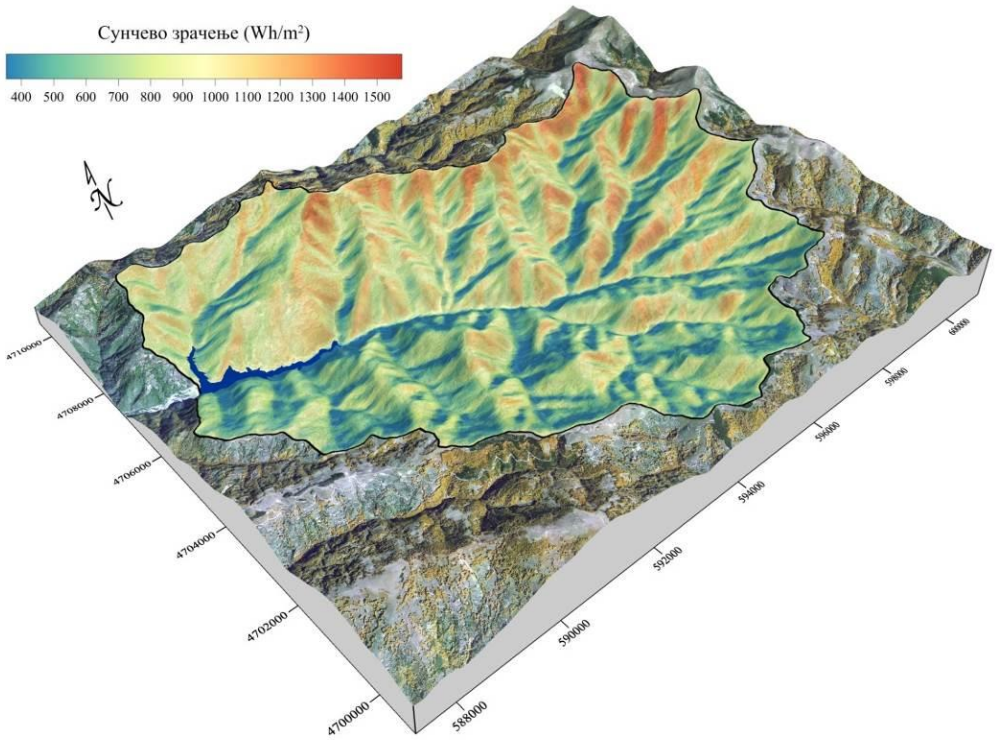
Слика 13. Средња, максимална и минимална месечна сума падавина

Табела 10. Средње месечне, годишње и падавине у току вегетационог периода проучаваних метеоролошких станица (период 1961. – 2011. година)

Метеор. станица	јан.	феб.	мар.	апр.	мај	јун	јул	авг.	сеп.	окт.	нов.	дец.	год.	вег.
Врање	60,8	41,0	43,0	53,2	62,2	68,1	49,0	42,5	48,4	52,7	60,9	53,9	614,4	376,1
Бујановац	39,2	43,4	44,0	54,4	60,6	68,2	51,2	39,4	47,3	53,1	62,1	60,4	625,4	374,1
Босилеград	58,3	41,3	50,8	55,1	75,3	87,7	56,1	46,6	45,2	53,6	63,1	56,5	673,0	419,7
Трговиште	47,0	47,2	51,6	63,3	72,6	77,8	62,9	47,6	50,9	55,5	67,2	60,6	704,7	430,7
Власина	49,9	61,8	67,5	82,3	98,3	100,5	74,8	55,4	63,9	66,2	79,8	73,6	886,7	541,5

3.3.3. Осунчаност

Под Сунчевим зрачењем се подразумева количина енергије која доспе на површину Земље Сунчевим зрацима и изражава се у Wh/m^2. Сунчева радијација зависи од географске локације, удаљености од Сунца, доба дана и доба године. Сунчево зрачење за проучавано подручје добијено је анализом ДЕМ-а на годишњем нивоу као сума Сунчеве радијације за сваки месец. На основу добијених вредности осунчаност слива акумулације Првонек је у опсегу од око 400 - 1500 kWh/m^2 (слика 14).



Слика 14. Сунчево зрачење на проучаваном подручју

3.4. Геолошке карактеристике

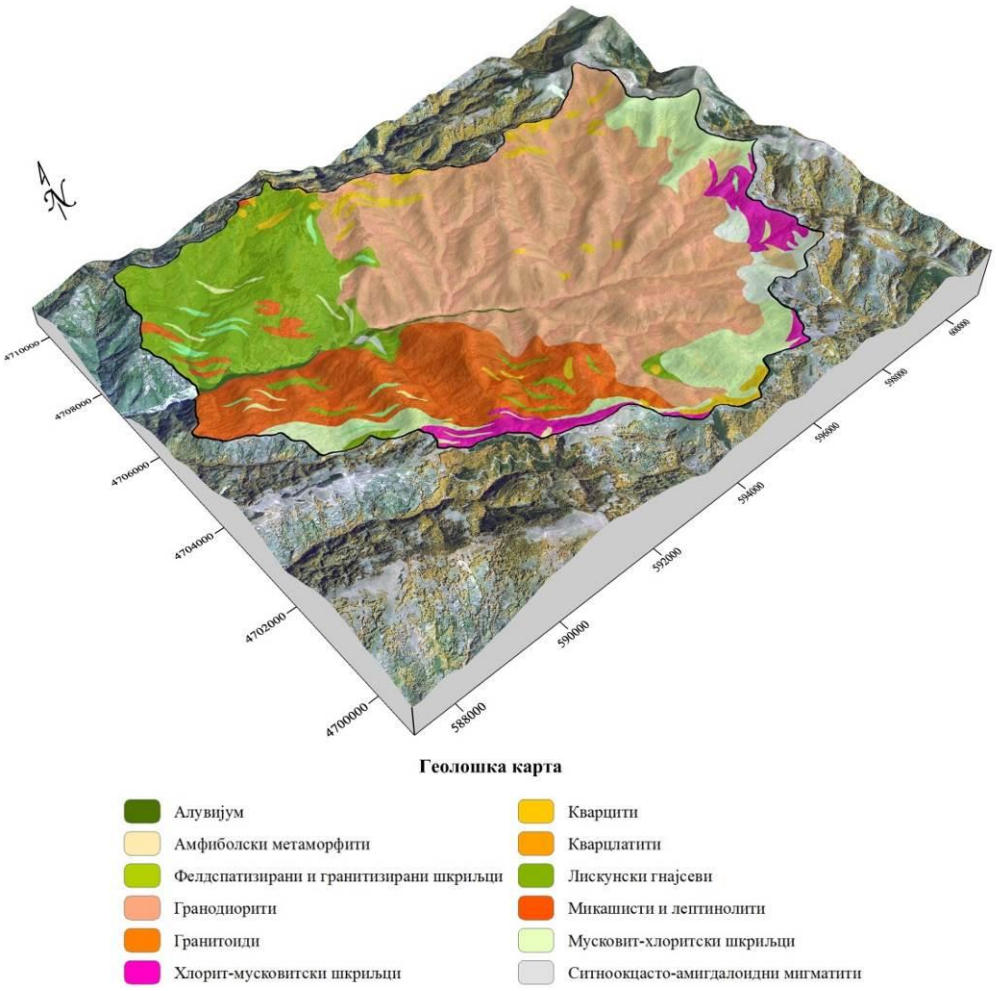
Геолошка подлога терена има одређени утицај на развој ерозионих процеса. Иако је познато да под различитим климатским условима на истој геолошкој подлози настају различити типови земљишта, утврђено је да брзина и облик ерозионих процеса на земљишту у знатној мери зависе од карактеристика геолошке подлоге (Костадинов, 2008). Тумачење геолошке карте слива Првонек обављено је уз помоћ Основне геолошке карте Републике Србије, секција Трговиште (К34-57), која је штампана по листовима гриничке поделе у размери 1:100.000 и пратећег тумача у виду текстуалног објашњења геолошке грађе картираног подручја.

Први геолошки подаци о овим теренима се налазе у делу Ј. Жујовића „Геологија Србије“. Наведени аутор је 1893. године описао терене уз Мораву, спомињући „исконске шкриљце, филите и кварците код Врањске Бање и Св. Илије и граните код Првонека“. Подручје слива је углавном састављено од шкриљаца, претежно старопалеозојске а мањим делом протерозојске старости, у које су утиснути веће и мање масе палеозојских и тријаских гранитоидних и грандиоритних стена (табела 11; слика 15).

Табела 11. Просторна расподела геолошке грађе

Геолошке јединице	**Површина**	
	ha	**%**
Алувијум	59,1	0,7
Фелдспатизирани и гранитизирани шкриљци	162,2	1,9
Гранитоиди	61,2	0,7
Хлорит-мусковитски шкриљци	316,0	3,7
Микашисти и лептинолити	1536,7	18,0
Лискунски гнајсеви	1325,3	15,5
Ситноокцасто-амигдалоидни мигматити	18,2	0,2
Кварцлатити	230,1	2,7
Амфиболски метаморфити	55,8	0,7
Кварцити	58,0	0,7
Мусковит-хлоритски шкриљци	781,6	9,2
Гранодиорити	3930,9	46,1
Укупно	**8535,0**	**100,0**

Алувијум је распострањен у пределу око самог језера проучаваног подручја. Настао је продубљивањем корита и разарањем меких језерских седимената. Вулакногено-седиментне стене и плитки базични интрузиви дали су амфиболске метаморфите на овим подручјима. Углавном се јављајају на источном делу слива, у виду већих или мањих сочива. Фелдспатизовани шкриљци чине појас уз југоисточни део слива и који према периферији постепено прелазе до тракасто фелдспатизованих и нефелдспатизованих делова. Лептинолити и микашисти се на сливу одликују изразито лепидобластичном структуром и сиромаштвом у акцесорним минералима, од којих се једино гранит јавља у већим количинама и крупним порфироблатима. Простиру се углавном на југозападном делу слива. Гранодиорити, који представљају алпске магматске стене, су најзаступљенија геолошка грађа слива и простиру се на 3931 хектара, што чини 46 % укупне површине слива. Кварцити су расути у малим серијама и њихова дебљина не прелази 10 метара.



Слика 15. Геолошка карта проучаваног подручја

3.5. Педолошке и агрохемијске карактеристике земљишта

3.5.1. Типови земљишта

Земљиште представља природни капитал, у смислу значења наслеђа које током времена обезбеђује одрживост животне средине и економског развоја. С обзиром на значај земљишта у одржавању функција екосистема може се дефинисати као ограничен, стратешки и практично, необновљив природни ресурс (Кадовић, 2007). На проучаваном подручју, према истраживањима Института за земљиште из 2011. године издвојени су следећи типови земљишта у размери карте 1:50.000 (слика 16, табела 12): Литосоли, Регосоли, Ранкери, Еутрични Камбисоли и Флувисоли (Шкорић, Филиповски и Ћирић, 1985). Дистрибуција представљених педосеквенци се може поделити на 5 група:

3.5.1.1. I група – Ранкер на различитим супстратима.

Сви представљени ранкери припадају подтипу посмеђеног ранкера и покривају највећи део територије од 4019,4 хектара што представља 47,1 % од укупне површине. Највећи део ових ранкера се формирало на граниту и гранодиориту (1504,4 хектара или 17,6 %), затим на биотитском гнајсу (849,8 хектара или 10,5 %), на микашисту и кварц-серицитским шкриљцима (493,9 хектара или 5,8 %), на амфиболиту и хлорит-серицитским шкриљцима (308,0 хектара или 3,6 %), на мигматиту и гнајсу (101,7 хектара или 1,2 %) и на кварцитима и кварц-латитима који се простиру на 84,7 хектара или 1,0 % укупне површине слива.

На највећем делу територије формирано је специфично хумусно-силикатно земљиште или плитак ранкер, који зависно од морфолошког склопа и прелаза ка геолошкој подлози, може бити литичан или реголитичан. Плитак дистричан ранкер је лаганог текстурног састава, прожет скелетом. У његовом механичком саставу доминира фракција ситног песка која заједно са крупним песком чини преко 50 %. Према текстурној класи сви подтипови посмеђеног ранкера припадају песковитој-иловачи. Овај тип земљишта је као и супстрати некарбонатан, а зависно од природе супстрата и надморске висине може бити неутралан, умерено кисео или екстремно кисео.

Због лаког механичког састава, долази брже до ерозионих процеса, а тиме и брзог одношења незаштићеног земљишта. Плитки солум земљишта (0-30 cm), као и присуство скелета чини да су ова земљишта јако пропусна за воду, а због присуства великих нагиба, вода се у њима слабо задржава.

3.5.1.2. II група – Комбинација Литосола (60) и Регосола (40) на различитим супстратима.

Ова група педосеквенце представља другу по величини групу земљишта на проучаваном подручју која покрива површину од 3232.8 хектара или 37.9 %. У овој групи највећу површину заузима комбинација Литосол – Регосол (60:40) на граниту и гранодиориту, која се простире на 1209 хектара или 14,2 % укупне површине. Остале формације представљене су на: микашисту и кварц-серицитским шкриљцима (1040 хектара или 12,2 % од укупне површине); биотитском гнајсу (заузима површину од 911,9 хектара или 10,7 %); мигматитима и гнајсу (на површини од 60,4 хектара или 0,7 %); албит-мусковит-хлоритским шкриљцима (на површини од 10,1 хектара или 0,1 %), и амфиболиту и хлорит серицитским шкриљцима (на површини од 1,3 хектара или 0,02 %).

Литосол је аутоморфно неразвијено земљиште, састављено претежно од растреситог скелета. Његова дубина није већа од 20 cm, која прелази у компактну или слабо растреситу стену. Овај тип земљишта се ствара in situ, углавном физичким трошењем и еродирањем (миграцијом) финијих честица земљишта. Код ових земљишта педогенеза није напредовала због младости земљишта, јаке ерозије или неопогодних климатских услова. Литосоли се обично јављају на јако стрмим нагибима и подложни су процесима водне ерозије.

Текстура ових земљишта је углавном лаког механичког састава, што класификује овај тип земљишта у класу песковите-иловаче.

Регосоли су неразвијена или слабо развијена земљишта на растреситим супстратима и супстратима који се лако физички распадају. Регосоли су највише распострањени у аридним и планинским регијама. Регосоли немају дијагностичке хоризонте. Настају ерозијом раније створених земљшта и иницијалним процесима педогенезе која није довела до стварања хумусног А хоризонта (моличног). Регосол је плитак, најчешће око 10 cm и представља прву фазу у настанку земљишта, тако да у њему доминирају скелетни одломци матичног супстрата са врло мало процента земљишта. На нешто више нагнутим теренима појава регосола је знак деградације шума или пашњака, што омогућава убрзану ерозију и одношење земљишта све до матичне подлоге. Из наведених разлога, незаштићене површине под регосолом постају право жариште даљих ерозионих процеса.

3.5.1.3. III група: комбинација Регосол (60) – Ранкер (40) на различитим супстратима.

Наведена група педосеквенце је представљена на површини од 1079,0 хектара или 12,7 % од укупне површине. Ова комбинација земљишта се највећим делом формирала на граниту и гранодиориту на 512,6 хектара (6.0 %), затим на биотитском гнајсу на 263,3 хектара (3,0 %), на микашисту и кварц-серијцитсим шкриљцима на 211,0 хектара (2,5 %), на мигматитима и гнајсу на 86,2 хектара (1.0 %) и на амфиболиту и хлорит-серијцитским шкриљцима на 5.8 хектара (0.07%).

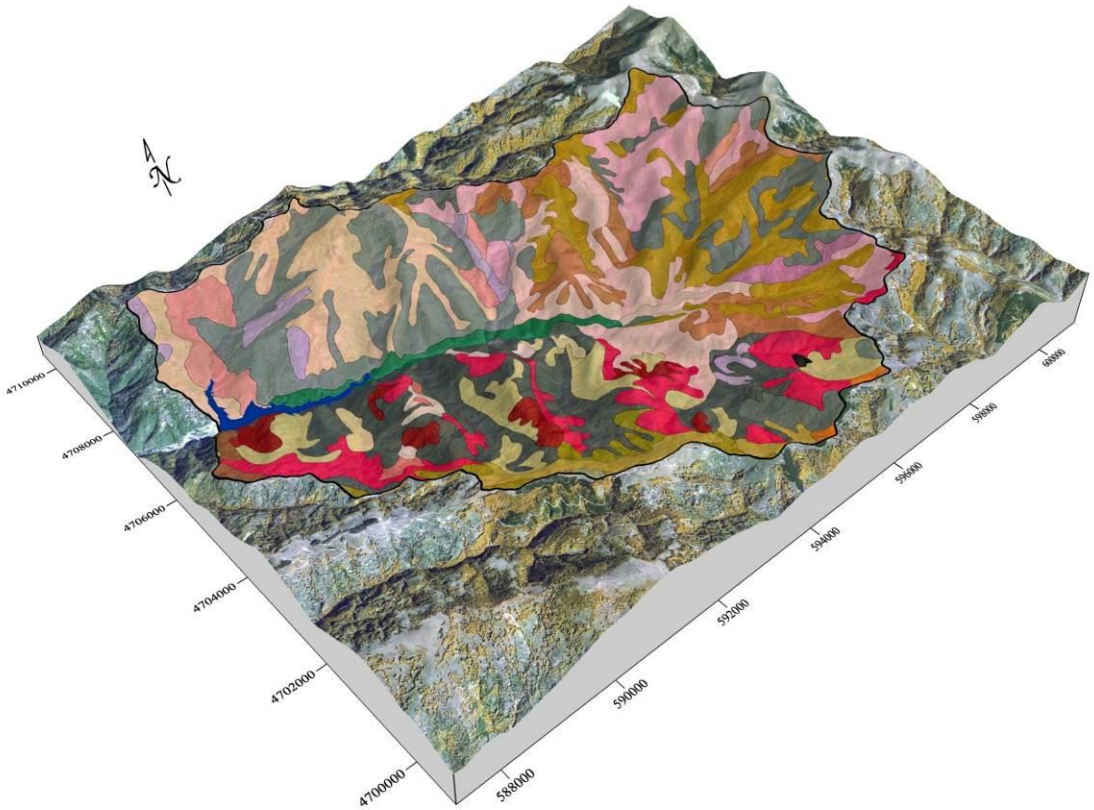
3.5.1.4. IV група: Флувисол бескарбонатни на различитим супстратима.

Ова група земљишта је представљена флувисолом бескарбонатним оглејеним дубоким, на површини од 202,2 хектара што представља 2,4 % од укупне територије. Флувисоли припадају хидрогеном реду, класи неразвијених земљишта са типичним профилом (A)-C1, хетерогеног механичког састава. То су речни наноси са слојевима, и понекад могу имати (A) и Ap, па и G хоризонт. Процеси педогенезе су слабо изражени због младости наноса или због тога што седиментација преовладава процесе педогенезе.

3.5.1.5. V група: Еутрични Камбисол

Еутрични камбисол припада класама камбичних земљишта профила A-(B)-C или A-(B)-R. Еутрични Камбисол је представљен на површини од 1,6 хектара, што представља 0,02 % од укупне проучаване површине.

Наведени тип земљишта је са моличним (Amo) или охричним (Aoh) хумусним хоризонтом, који лежи непосредно изнад камбичног хоризонта типа (B)v. Степен засићености базама је изнад 50 %, а pH у води је изнад 5,5. Образујује се на супстрату богатим базама. Камбисол се карактерише благим или умереним распадањем основног супстрата и одсуством приметних количина илувијалне глине, органске материје, и Al и/или Fe једињења. Камбисоли су углавном добра пољопривредна земљишта, која се интензивно користе за пољопривредну производњу.



Типови земљишта

- Еутрични камбисол
- Флувисол бескарбонатни оглејени дубоки
- Литосол - Регосол на албит-мусковит-хлоритским шкриљцима
- Литосол - Регосол на биотитском гнајсу
- Литосол - Регосол на граниту и гранодиориту
- Литосол - Регосол на мигматитима и гнајсу
- Литосол - Регосол на микашишту и кварц-серицитским шкриљцима
- Литосол - Регосол на амфиболиту и хлорит-серицитским шкриљцима
- Ранкер - Ранкер посмеђен на амфиболиту и хлорит - серицитским шкриљцима
- Ранкер - Ранкер посмеђен на биотитском гнајсу
- Ранкер - Ранкер посмеђен на граниту и гранодиориту
- Ранкер - Ранкер посмеђен на кварцитима и кварц - латитима
- Ранкер - Ранкер посмеђен на мигматитима и гнајсу
- Ранкер - Ранкер посмеђен на микашисту и кварц - серицитским шкриљцима
- Ранкер посмеђен- Дистрични камбисо на граниту и гранодиориту
- Ранкер посмеђен - Дистрични камбисол
- Ранкер посмеђен - Дистрични камбисол на биотитском гнајсу
- Ранкер посмеђен - Дистрични камбисол на мигматитима и гнајсу
- Ранкер посмеђен - Еутрични камбисол на амфиболиту и хлорит - серицитским шкриљцима
- Ранкер посмеђен - Дистрични камбисол на кварцитима и кварц - латитима
- Регосол - Ранкер на граниту и гранодиориту
- Регосол - Ранкер на амфиболиту и хлорит - серицитским шкриљцима
- Регосол - Ранкер на биотитском гнајсу
- Регосол - Ранкер на мигматитима и гнајсу
- Регосол - Ранкер на микашисту и кварц - серицитским шкриљцима

Слика 16. Педолошке формације проучаваног подручја

Табела 12. Површине под различитим типовима земљишта

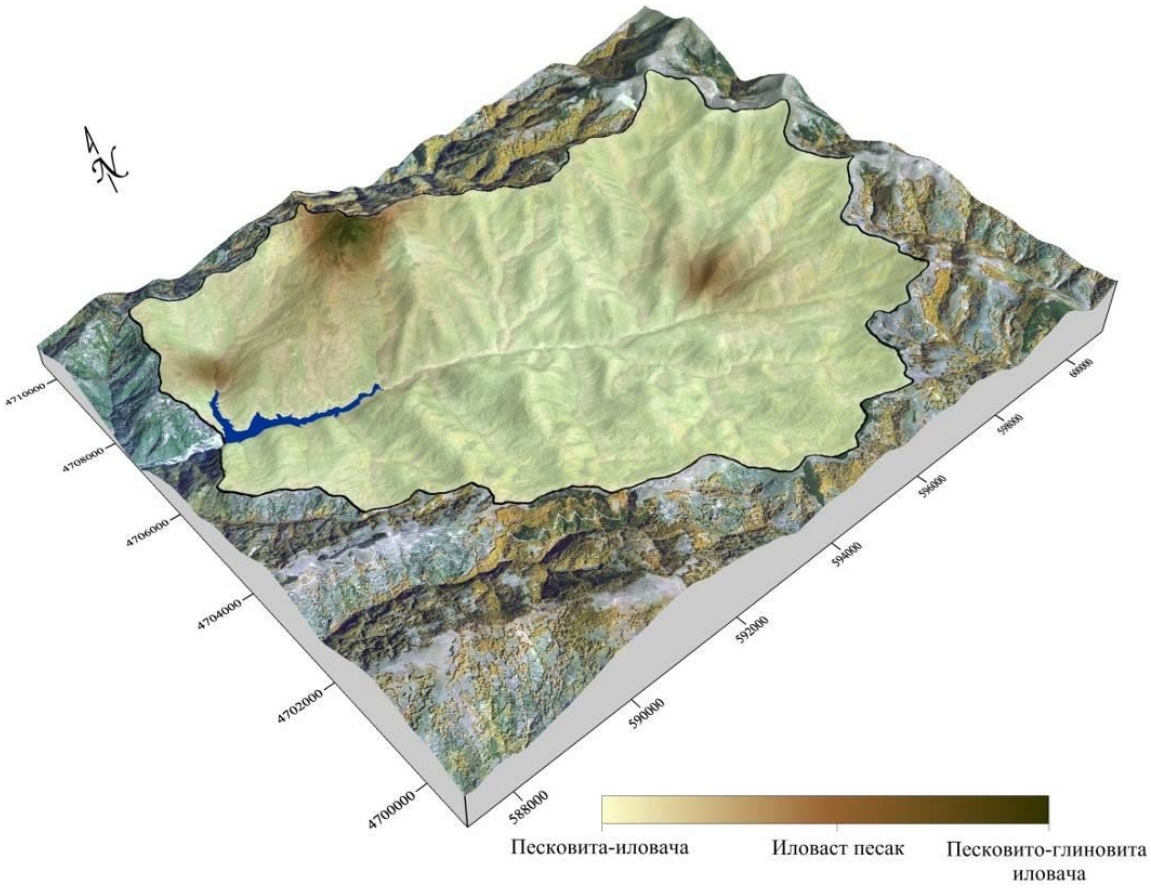
Типови земљишта	Површина	
	ha	%
Ранкер посмеђен на граниту и гранодиориту	1504,4	17,6
Ранкер посмеђен на биотитском гнајсу	894,8	10,5
Ранкер посмеђен	631,7	7,4
Ранкер посмеђен на микашисту и кварц - серицитским шкриљцима	493,9	5,8
Ранкер посмеђен на амфиболиту и хлорит - серицитским шкриљцима	308,0	3,6
Ранкер посмеђен на мигматитима и гнајсу	102,0	1,2
Ранкер посмеђен на кварцитима и кварц - латитима	84,7	1,0
Литосол (60) – Регосол (40) на граниту и гранодиориту	1209,0	14,2
Литосол (60) – Регосол (40) на микашисту и кварц-серицитским шкриљцима	1040,0	12,2
Литосол (60) – Регосол (40) на биотитском гнајсу	911,9	10,7
Литосол (60) – Регосол (40) на мигматитима и гнајсу	60,4	0,7
Литосол (60) – Регосол (40) на албит-мусковит-хлоритским шкриљцима	10,1	0,1
Литосол (60) – Регосол (40) на амфиболиту и хлорит-серицитским шкриљцима	1,3	0,0
Регосол (60)- Ранкер (40) на граниту и гранодиориту	512,6	6,0
Регосол (60)- Ранкер (40) на биотитском гнајсу	263,3	3,1
Регосол (60)- Ранкер (40) на микашисту и кварц - серицитским шкриљцима	211,0	2,5
Регосол (60)- Ранкер (40) на мигматитима и гнајсу	86,2	1,0
Регосол (60)- Ранкер (40) на амфиболиту и хлорит - серицитским шкриљцима	5,8	0,1
Флувисол бескарбонатни оглејени дубоки	202,2	2,4
Еутрични камбисол	1,6	0,0
Укупно	**8535,0**	**100,0**

3.5.2. Механички састав земљишта

Механички састав земљишта (гранулометријски састав) је релативна сразмера честица или релативни проценат честица одређене величине независно од њиховог хемијског или минеролошког састава. Величина земљишних честица се може поделити у три основне групе: песак (> 0,02 mm), прах (0,02-0,002 mm) и глина (< 0,002 mm). Улога механичког састава земљишта састоји се у томе да су крупније честице отпорније на транспорт због веће силе која је потребна да их помери, а да су ситније честице отпорније на одвајање (откидање) због њихове кохезивности (Кадовић, 1999). Еродирана земљишта, стичу низ негативних физичких и физичко-хемијских ствојстава: у горњем хоризонту се често снижава садржај иловасте фракције и повећава учешће песковите фракције, смањује капацитет адсорпције, смањује садржај водоотпорних агрегата, повећава специфична и запреминска маса, смањује порозност, водопропустљивост и капацитет за воду, повећавају губици на евапорацију, смањује укупна резерва воде (Кадовић, 1999). Анализа гранулометријског састава површинског слоја земљишта показује да преовлађују земљишта лаког механичког састава (табела 13). Најзаступљенија је песковита-иловача које се јавља на готово 90% површине слива (слика 17), док се у осталим деловима слива заступљени иловаст песак и песковито-глиновита иловача. Удео фракције песка је променљив и њен удео се значајно повећава код еродираних земљишта, нарочито одношењем најфинијих честица под ударом ерозионих процеса. Честице глине се не могу лако одвојити, али се могу лако транспортовати, док је случај код честица песка обрнут. Генерално, земљишта са високим стопама инфилтрације, високим садржајем органске материје и глине су мање подложна ерозији.

Табела 13. Механички састав земљишта

Статистички параметри	Крупан песак	Ситан песак	Прах	Глина	Укупан песак	Укупна глина
	>0,2mm	0,02-0,2mm	0,02-0,002mm	<0,002mm	>0,02mm	<0,002mm
Сред. вредност	29.29	36.72	19.48	14.508	66	34
Ста. девијација	8.68	7.32	4.15	3.883	7.39	7.39
Минимум	14.10	25.40	10.9	8.10	53.6	19.3
Q1	23.13	31.35	16.60	11.60	60.35	30.38
Медиана	28.90	33.95	19.80	14.75	65.30	34.70
Q3	36.55	41.23	22	18.05	69.62	39.65
Максимум	44.50	53.80	26	21.1	80.7	46.40

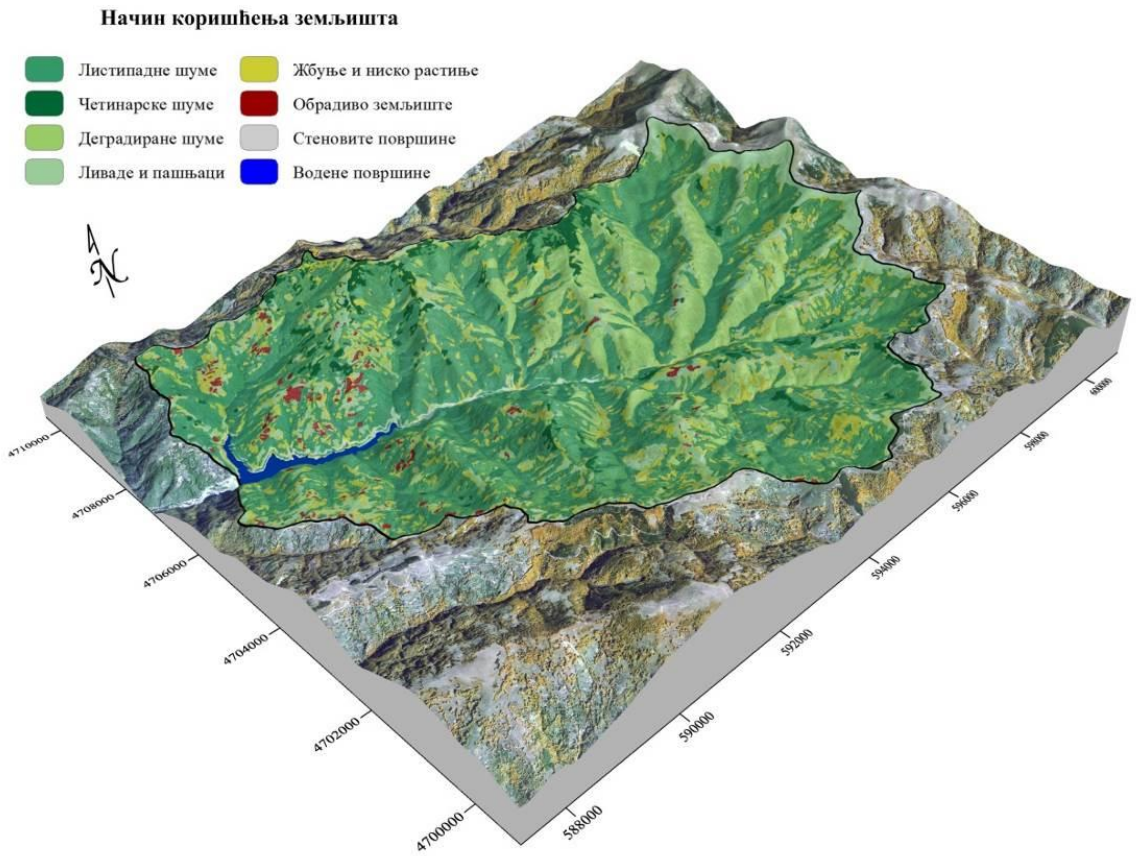


Карта 17. Гранулометријски састав проучаваног подручја

3.6. Вегетациони покривач проучаваног подручја

Специфичности вегетационог покривача слива акумулације Првонек условљене су утицајем климе и геолошко-педолошким карактеристикама. Дисецираност рељефа у сливу доводи до стварања специфичних станишта и микростаништа, а самим тим до велике разноврсности, пре свега шумске вегетације. Карта начина коришћења земљишта проучаваног подручја (слика 18, табела 14) добијена је мултиспектралном анализом сателитских снимака (више у поглављу 4.5.4.). Од Врања до Бујановца доминирају типови храстових шума, међу којима значајну улогу и широко распрострањење имају термофилне храстове заједнице са медунцем (*Quercus pubescens* Willd.), што се врло ретко среће у другим деловима Србије (Мишић et al. 1985). Као посебну карактеристику овог подручја треба истаћи добру израженост специфичних полидоминантних и осиромашених шумских заједница у којима се јављају три терцијерна реликта: мечја леска (*Corylus colurna* L.), црни граб (*Ostrya carpinifolia* Scop.) и Панчићев маклен (*Acer intermedium* Panč.) (Динић et al. 2000). Букове шуме (*Fagetum montonum silicolum* Jov.*)* се углавном налазе на надморским висинама изнад 1000 метара док се у нижим деловима слива мешају са биљкама из заједнице храста китњака (Костадинов, 2010).

Утицај природних фактора, где се првенствено мисли на глобалне климатске промене, довели су до све присутнијих појава сушења шума, па се на сливу налази велики број деградираних површина са храстовим заједницама, нарочитио на североисточном делу. Обиласком терена утврђено је да су на сливу шуме непланski крчене, а нове нису сађене, што је довело до смањења шумског фонда. Тренутно постоји мало комплекса економских шума, које су због конфигурације терена остале ван домашаја деструктивног деловања човека. Наведеном проблему треба повећати пажњу и систематски приступити његовом решењу. Ливаде и пашњаци су у релативно лошем стању и налазе се углавном на падинама са већим нагибима.



Слика 18. Приказ начина коришћења земљишта проучаваног подручја

Површине под ораницама налазе се углавном у западном региону слива. То су мозаичне и мале парцеле на којима се углавном гаји кукуруз, јечам и раж а ретко воће. На јужнијим експозицијама и већим нагибима ова ретка пољопривредна земљишта су изложена процесима ерозије. Због тога на извесним ораницама треба да се изврши преоријентација гајених култура са једногодишњих на вишегодишње, док неке пољопривредне површине треба претворити у ливаде. Такође, екстензивна пољопривредна производња је довела до осиромашења педолошког слоја, тако да су приноси веома мали.

Табела 14. Површине под различитим начином коришћења земљишта

Начин коришћења	Површина	
	ha	%
Четинарске шуме	293,6	3,4
Листопадне шуме	5093,0	59,7
Деградиране шуме	743,4	8,7
Ливаде и пашњаци	957,5	11,2
Жбуње и ниско растиње	1264,1	14,8
Пољопривредно земљиште	92,1	1,1
Голо земљиште	30,4	0,4
Водене површине	61,0	0,7
Укупно	**8535,0**	**100,0**

4. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ РАДА

4.1. Припремна и теренска проучавања

Припремни радови обухватили су набавку векторских и растерских подлога који обухватају проучавану област. Основна подлога за обраду већине вегетацијских карата био је Landsat-ов сателитски снимак просторне резолуције 30 метара, у комбинацији са ортофото снимком ширег подручја слива у резолуцији 2,5 метра. Сателитски снимци су преузети са интернет презентације US Geological Survey (www.*USGS.gov*), где је могуће претраживање и преузимање релативно нових и архивираних сателитских снимака као и осталих растерских сетова података. Ортофото снимак добијен је из Републичког Геодетског Завода, док је одређен број векторских података бесплатно преузет са Global Map сервиса, а у оквиру реализације пројекта "Развој капацитета за израду дигиталне основне државне карте у Републици Србији". У анализи топографских параметара као основа коришћен је дигитални елевациони модел (ДЕМ) величине пиксела 30 · 30 метара.

Теренски радови обухватили су узорковање земљишта у границама слива, на површини од приближно 85 km^2. Обсервације су извршене на унапред одабраним локалитетима. Узорковано је 25 земљишних узорака, у поремећеном стању, за потребе одређивања физичких и хемијских особина земљишта. На свакој локацији узет је узорак земљишта са дубине од 0-30 cm. Узорковање и руковање земљишним узорцима,

чување и припрема узорака обављена је по методи препорученом од стране комисије Југословенског друштва за проучавање земљишта чији је правни наследник Српско друштво за проучавање земљишта. За потребе анализе сателитских снимака, обиласком терена, узети су репрезентовани узорци за сваки вегетациони покривач. Просторно позиционирање узорака извршено је уз помоћ ГПС апарата, подешеног да учитава координате нове државне пројекције UTM (*Universal Transverse Mercator*).

У одређивању просторне резолуцији слива коришћен је методски поступак Томислава Хенгла (2007), заснован на примени *Grid Size Calculator*. На основу резултата који је добијен овим прорачуном, просторна резолуција у анализи ерозионих процеса у сливу је 30 · 30 метара. С обзиром да је у PESERA моделу доња лимитирајућа резолуција 100 метара, у овој резолуцији су генерисани и анализирани сви слојеви у проучаваним моделима. Улазни и излазни параметри за WaTEM/SEDEM модел су калкулисани у резулоцији ћелија од 30 · 30 метара.

4.2. Методе лабораторијских проучавања

У припремљеним узорцима урађене су планиране лабораторијске анализе. У свим узорцима земљишта одређени су: гранулометријски састав, водни капацитети земљишта и укупне концентрације проучаваних микроелемената.

- Гранулометријски састав земљишта одређен је комбинованом методом, просејавања и пипет методом, после припреме са Na пирофосфатом (*Soil Survey Laboratory Staff, 1992*).
- Водни капацитети земљишта одрађени су у Лабораторији Института за земљиште методом по Грачанину.
- Укупне концентрације никла, олова и бакра, одређене су ICP (*Thermo Rlectron Corporation, Cambridge, UK*) методом дигестије у HNO3 и H2O2 (Џамић et al. 1996).

4.3. Примена статистичких метода

У основној статистичкој обради података коришћене су стандардне методе дескриптивне статистике, корелација и корелационе сигнификантности. При утврђивању корелација коришћен је Пирсонов коефицијент корелације.

Приликом утврђивања корелације проверавана је њена сигнификантност, уз чију помоћ је анализирана значајност корелације. Вредност сигнификантности мања од 0,05 ће

нам потврдити да је коефицијент корелације значајан и да се може тумачити, а уколико је та вредност већа од 0,05 навешће нас на закључак да коефицијент корелације није значајан и тада се без обзира на његову вредност резултат не тумачи.

Савремене статистичке методе омогућавају анализу података на растерским скуповима података. Приликом анализе коваријансе и корелације растерских података добијене су матрице основних статистичких параметара, као што су вредности минимума, максимума, средња и стандардна девијација за сваки слој.

Матрица коваријансе садржи вредности варијанси и коваријанси. Варијанса је статистичка мера која показује колико варијација има од просека. Варијанса за сваки слој се може прочитати дуж дијагонале матрице коваријансе (ESRI ArcGIS, 2011).

Следећа формула је коришћена за одређивање коваријансе између слојева *i* и *j:*

$$\mathrm{Cov_{ij}} = \frac{\sum_{k=1}^{N}(Z_{ik}-\mu_i)(Z_{jk}-\mu_i)}{N-1} \qquad (1)$$

Корелација између растерских сетова података представља коефицијент корелације између њих и осликава однос зависности између анализираних слојева. Једначина за израчунавање корелације је:

$$\mathrm{Corr_{ij}} = \frac{\mathrm{Cov_{ij}}}{\delta_i \delta_j} \qquad (2)$$

где варијабле унутар једначине представљају:

Z - вредност ћелије,

i и *j* - слојеви,

μ - средња вредност ћелија,

N - број ћелија,

k - означава одређену ћелију.

Добијене корелације су у опсегу од +1 до -1. Позитивна корелација нам указује на директну везу између два слоја, док негативна корелација означава реципрочност слојева. Корелација нуле представља да су слојеви независни један од другог.

У анализи података, ради добијања просторне регресије, коришћена је метода географске регресије (*Geographically Weighted Regression, GWR*). GWR процењује параметре у простору и доприноси разумевању локалних варијација у проучаваном подручју. Следећа формула је коришћена за добијање GWR:

$$y_{i=\beta o} + \sum_{k=1}^{m} \beta_k \, x_{ik} + \varepsilon_i, i = 1, \dots n \qquad (3)$$

где се члан y_i односи на променљиву величину чију вредност одређујемо, X_{ik} *(k=1,…m)* представља сет независних величина, а члан ε_i остатак на локацији i (Bourennane et al. 2000, Бајат, 2011).

4.4. Примена геостатистичких метода

Примена интерполацијских метода има све више значаја у описивању просторних варијабилности природних појава, попут особина земљишта, метеоролошких података, надморских висина и др. До вредности о таквим појавама долазимо узорковањем на одређеним местима, а њихово картирање, односно процењивање на свим другим локацијама спроводи се интерполацијом (Бајат и Благојевић, 2007).

У изради докторске дисертације коришћени су обични кригинг (*енг. ordinary kriging*) и IDW (*енг. Inverse distance weighted*). Обични кригинг је веома погодна интерполацијска метода због своје једноставности и поузданости. Метода се базира на одређивању оптималних тежинских коефицијената који се придружују познатим (узоркованим) вредностима на основу познавања вариограма. Кригинг се сматра напредном методом за процену вредности регионализиране варијабле у одабраним тачкама мреже. IDW метода попут кригинга додељује одговарајуће тежинске коефицијенте контролним тачкама. Експонент удаљености контролних тачака (*енг. Power*) представља параметар који контролише зависност тежинских коефицијената и удаљености.

4.5. Примена USLE (*Universal Soil Loss Equation*) модела на проучаваном подручју

Највише употребљаван модел за прорачун ерозије представља једначина USLE, која је развијена од стране Wischmeier-a и Smith-a. Универзална једначина губитка земљишта, представља једначину емпиријског типа, која је изведена на основу података отицања и губитка земљишта са више од 10.000 огледних поља-година, на 49 локација у САД, и прорачунатог еквивалента података са око 2000 поља-година, добијеним путем симулатора падавина (Кадовић, 1999). Модел је први пут објављен у Agriculture

Handbook vol. 282 из 1965. године, док је нешто модификована верзија објављена у Agriculture Handbook vol. 537 из 1978. године.

Према USLE моделу, одређују се просечни годишњи ерозиони губици земљишта као производ шест ерозионих фактора (формула 4; слика 19). Величина ових фактора знатно варира у простору и времену. Добро позната USLE једначина је дата као:

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (4)$$

Где је:

A – средњи годишњи губитак земљишта ($t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$),

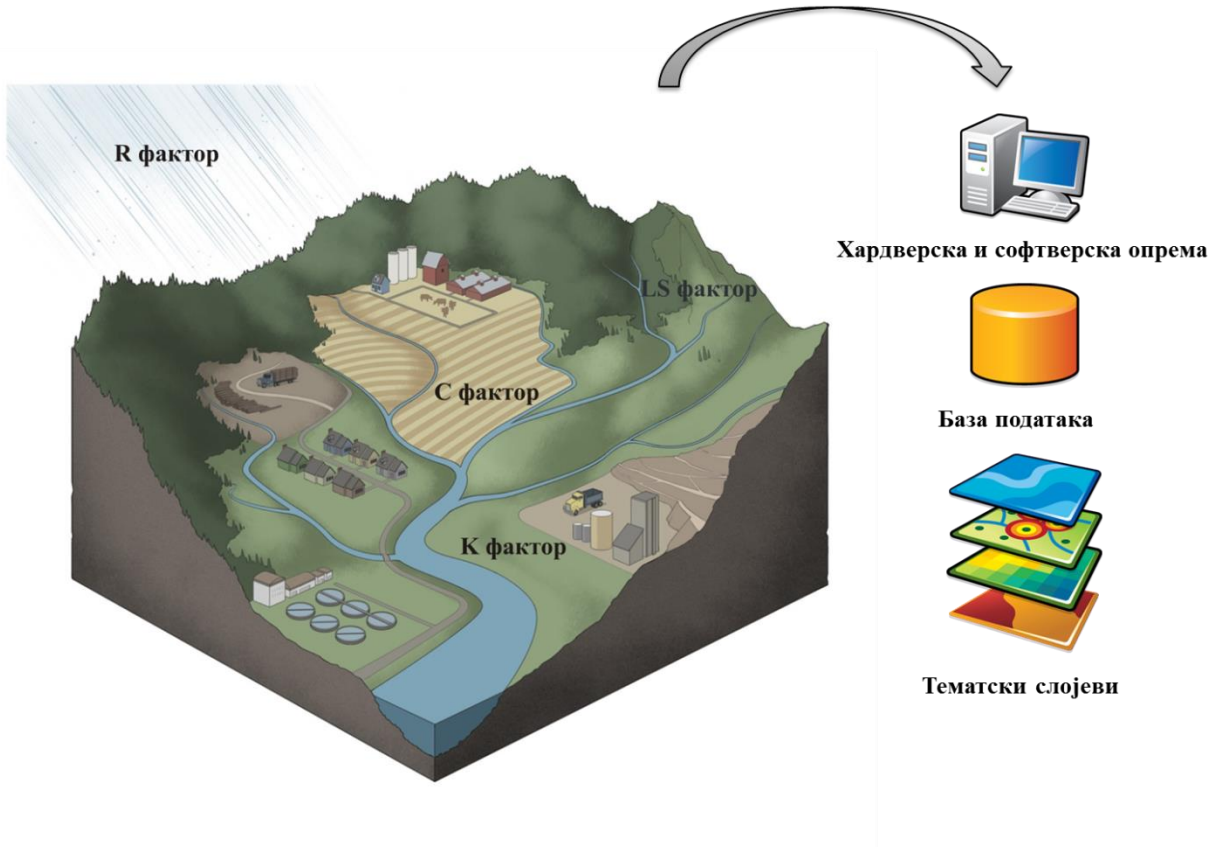
R – ерозивност кише ($MJ\ mm \cdot h^{-1} \cdot ha^{-1} \cdot mesec^{-1}$),

K - фактор еродибилности земљишта ($t \cdot ha \cdot h \cdot ha^{-1} \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$),

LS - топографски фактор (-),

C - фактор начина коришћења земљишта (-),

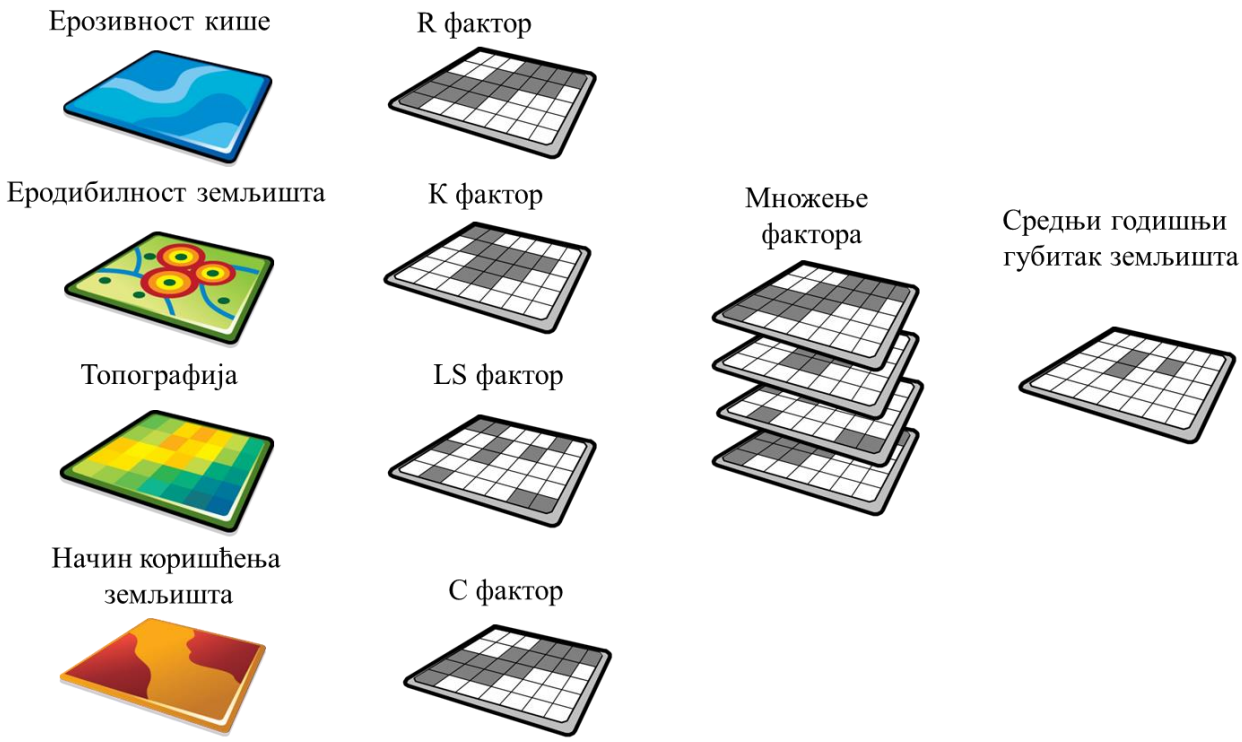
P - фактор конверзационих мера, који је усвојен да има вредност један, јер нису узете у обзир ерозионе мере на испитиваном подручју. Када нема предузетих конзервационих мера вредност фактора P је један, а када постоје онда се ефекат ових мера огледа у смањењу количине земљишта које се еродира и изражава се бројчаним вредностима параметра P, који је тада мањи од 1, чиме се смањује вредност фактора LS (Ђоровић, 2005).



Слика 19. Илустрација USLE модела

У циљу примене USLE једначине у ГИС-у (слика 20) потребно је да сваки фактор буде самостално изведен и организован као тематски слој. Сви слојеви су растерског или гридног типа, што значи да су у облику мреже (матрица). У просторној расподели грида, свака ћелија има јединствен параметар вредности фактора и модел изводи преклапање слојева кроз математичко множење свих параметра. На крају се добија завршни слој који представља просечан годишњи губитак земљишта по хектару у свакој ћелији. Важно је напоменути да се приликом комбиновања и преклапања растерских слојева користи јединствена резолуција ћелија за све слојеве, јер се у супротном могу створити потпуно погрешне представе.

Сви слојеви који су генерисани у овој докторској дисертацији су процењени у 100 · 100 метарској резолуцији ћелија.



Слика 20. Шематски приказ функционисања USLE модела

4.5.1. Фактор ерозионе снаге кише (R фактор)

За израчунавање фактора ерозивности кише коришћени су климатски подаци са мерних станица које се налазе у непосредној близини слива (поглавље 2.3.). Услед недостатака података о тридесетоминутним вредностима интензитета падавина приликом прорачуна коришћен је упрошћен модел GJRM за добијање вредности овог фактора. Van der Knijff et al. (1999, 2002) и Grimm et al. (2003) су усвојили једноставан алгоритам са предлогом да је ерозивност у Тоскани пропорционална годишњој количини падавина. Аутори су затим развили овај модел за цело Апенинско полуострво. Приликом израчунавања коришћени су месечни подаци за период од 1961. до 2011. године у добијању просечне R вредности за сваку станицу. На основу овог модула само вредности средњих месечних количина падавина су потребан уносни податак и онда се R фактор рачуна као:

$$R = b_0 \cdot Pm \qquad (5)$$

Где је: R - ерозивност кише (MJ mm·h^{-1} ·ha^{-1}·mesec^{-1}), Pm – средње месечне падавине (mm·mesec^{-1}), b_0 – емпиријски коефицијент (MJ·h^{-1}·mesec^{-1}) који има вредности од 1,1

до 1,5 и успешно је усвојен на 1,3 за сливно подручје а на основу раније примене у српским условима (Перовић et al. 2012; Белановић et al. 2013).

4.5.2. Еродибилност земљишта (К фактор)

Земљишта се разликују у отпорности на ерозионе процесе, што је функција низа особина земљишта као што су текстура, структура, влажност земљишта, садржај органске материје и друго. Наведене карактеристике земљишта су динамичко својство. Могу се мењати током времена и у условима различитог коришћења и система газдовања земљиштем (Кадовић, 1999). Осетљивост земљишта ка ерозионим агентима се генерално назива еродибилност земљишта (Lal, 2001). Према *European Soil Bureau*, скоро 75 % од укупне површине јужне Европе има низак (3,4 %) или веома низак (1,7 %) садржај органске материје. Садржај органске материје се смањио у последњим деценијама за око 50 %, нарочито због интензивног коришћења земљишта (Le Bissonnais et al. 2006). Губици органске материје у екосистему су првенствено предодређени биолошким (минерализација) и механичким (ерозија земљишта) факторима (Сољников et al. 2014). Само површински хоризонти из педолошких профила се користе за израчунавање овог фактора. У добијању фактора еродибилности земљишта дубина посматраних хоризоната варира од неколико центиметара у планинским крајевима до 20-40 cm на пољопривредним земљиштима.

У овој дисертацији К фактор је израчунат коришћењем једначине Wischmeier и Smit (1978).

$$K = (2.1 \cdot 10^{-7} \cdot M^{1.14} \cdot (12 - OM) + 4.3 \cdot 10^{-3} \cdot (s - 2) + 3.3 \cdot (p - 3)) \cdot 0.1317 \quad (6)$$

Где је: M - величина земљишних честица, OM – органска материја, s - структура земљишта, p – пропустљивост земљишта, 0,1317 за конверзију у SI јединицу.

4.5.3. Топографски фактор (LS фактор)

У USLE моделу, утицај топографије на ерозију се израчунава кроз дужину падине (L) и нагиб (S). Генерисање LS слоја представља можда један од највећих проблема при примени ове методе (Griffin et al. 1988; Renard et al. 1991; Moore и Wilson, 1992). Данас у свету постоје многи развојени алгоритми за израчунавање LS фактора (Hickey et al. 1994; Mitasova et al. 1996; Moore и Wilson 1992; Moore и Burch 1986). Међу алатима који олакшавају израчунавање овог фактора је програм *Usle2D* (Desmet и Govers,1996;

Van Oost et al. 2000), методологија Mitasova et al. (2001) у обрачуну овог фактора у оквиру *ArcGIS* апликације, екстензија *Topocrop Terrain Indices* за ArcView верзија 3 (Schmidt, 2004), програм реализован у C ++ језику од стране Van Remortel et al. (2004) и алат за прорачун LS фактора интегрисан у оквиру *SAGA GIS* модула који је однедавно и саставни део и *QuantumGIS* програма (Olaya, 2012).

LS фактор проучаваног слива је израчунат из односа које су развили McCool et al. (1987), а на основу доле наведене једначине.

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.13} \right)^{m} \quad (7$$

Где је:

λ - хоризонтални пројектовани нагиб,

m - нагиб дужине експонента.

S фактор је израчунат на основу следеће једначине (McCool et al. 1987).

$S = 10.8 \sin\theta + 0.03$ за нагибе $< 9\ \%$ (8)

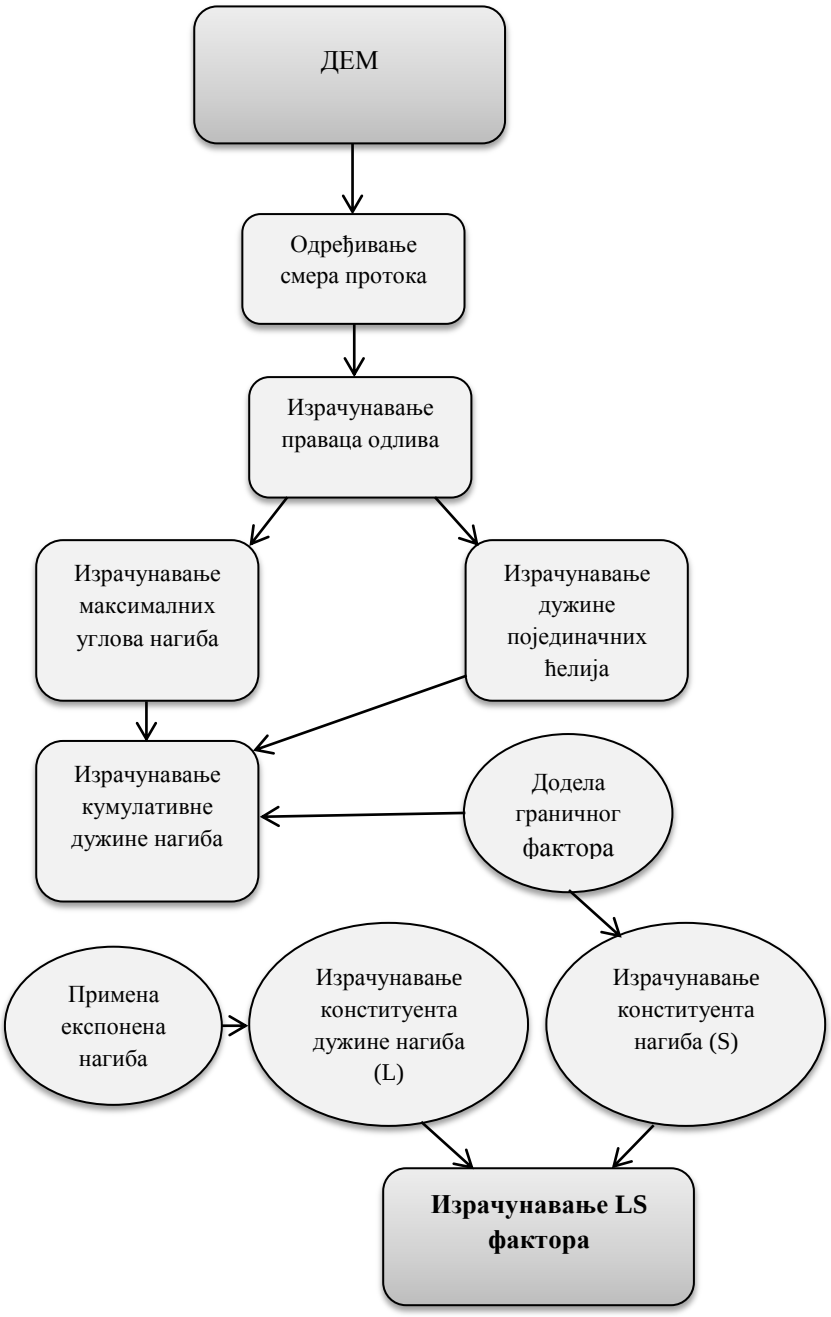
$S = 16.8 \sin\theta + 0.50$ за нагибе $> 9\ \%$

Где је:

θ - угао нагиба

Основни инпут за генерисање LS фактора је био 30 метарски ДЕМ, који обухвата комплетну зону истраживања и који је трансформисан у резолуцију 100 · 100 метара коришћењем *bilinear resampling* технике у оквиру *ArcGIS* апликације. Израчунавање LS фактора, из горе наведених формула, је интегрисано у широко научно прихваћеном модулу, који је описан и објашњен у раду Van Remortel et al. (2004). Програм је првобитно написан у AML (*ArcMacroLanguage*) језику (Hickey et al. 1994; Hickey, 2000), а касније је код ажуриран у *Microsoft Visual C++* језику и *ESRI ArcObjects* интерфејсу да буду ефикаснији у анализи и обради (Van Remortel et al. 2004). На слици 21 приказана је шема основних функција које програм обавља. Да би се покренуо програм, ДЕМ треба да буде у текстуалном облику тј. ASCII формату. Након конверзије, покреће се извршна датотека, након чега се на командној линији попуњавају тражени упити. После завршетка калкулације генеришу се шеснаест излазних фајлова. Фајлови се затим конвертују у текстуални формат, а онда појединачно у растерски облик. Комбиновани LS растерски фајл приказује атрибуте помножен са 100 да би се

вредности могле приказати са два децимална места. Атрибути су затим подељена са 100 да би се добиле реалне вредности фактора.



Слика 21. Израчунавање *LS* фактора (Van Remortel et al. 2004)

4.5.4. Фактор вегетације и начина коришћења земљишта (*C* фактор)

Фактор C, према дефиницији, представља однос губитка земљишта за обрадиве површине која се налази под било којим усевом, или на којој се налази било какав заштитни биљни покривач, према одговарајућим губицима са контролне парцеле, која

се налази под угаром (Кадовић, 1999). Овај фактор се може израчунати на више начина, а најшире прихваћене методе су: конверзија CLC (*CORINE Land Cover*) базе података у кодове C фактора, примењене у српским условима на територији Колубарског округа (Белановић et al. 2013) и општине Пирот (Перовић et al. 2012) и трансформација NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), кроз однос у коме α и β параметри одређују облик NDVI и C односа, примењено у нашим условима у сливу реке Нишаве (Перовић et al. 2012). Међутим, најтачнији начин израчунавања овог фактора је примена даљинске детекције у анализи мултиспектралних сателитских снимака детаљније резолуције и њихове касније конверзије у C фактор У дешифровању вегетационог покривача за потребе израчунавања овог фактора коришћени су сателитски снимци са Landsat 8 мисије (прилог: слика 1). Landsat Data Continuity Mission (*LDCM*) је настала у сарадњи између NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) і USGS (*U.S. Geological Survey*) као осма Landsat-ова мисија. Landsat 8 мисија носи две врсте сензора (табела 15), то су OLI (*Operational Land Imager)* и TIRS (*The Thermal Infrared Sensor)* сензор. OLI сензор је по функцијама доста сличан свом претходнику ETM+, док се TIRS сензор прилично разликује од својих претходника. Ова два сензора обезбеђују сезонску покривеност планете са резолуцијом од 30 метара (*visible, NIR, SWIR*), 100 метара (*thermal*) и 15 метара (панхроматски).

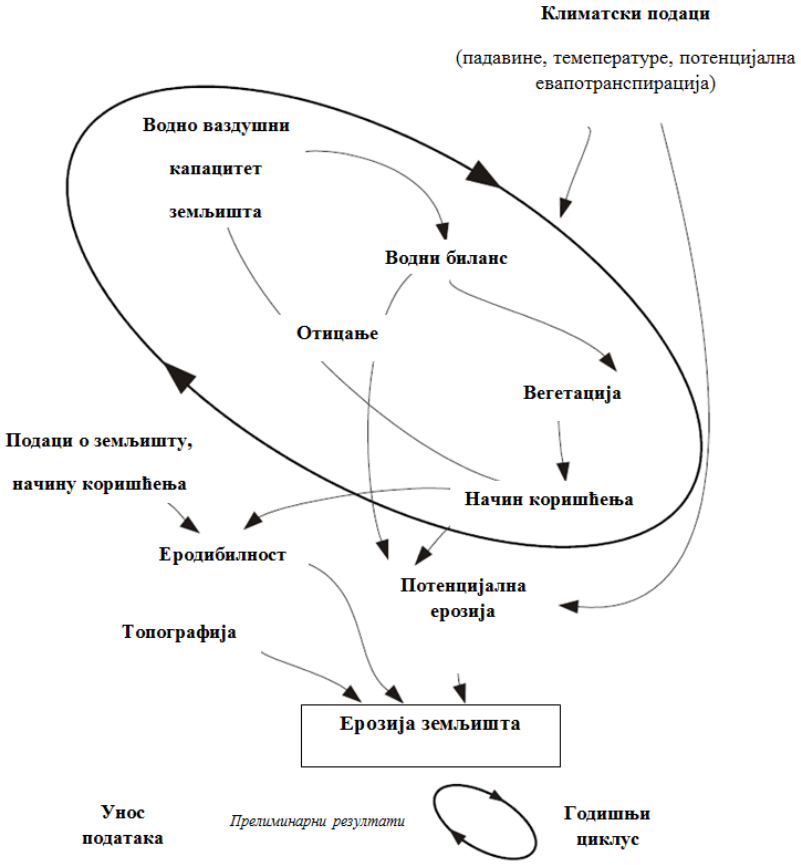
Табела 15. Карактериситке снимка проучаваног подручја

Сензори:	**OLI** *(Operational Land Imager)*	
OLI и TIRS	**TIRS** *(The Thermal Infrared Sensor)*	
Band 1	Coastal/Aerosol	0.43 - 0.45 µm
Band 2	Visible blue	0.45 - 0.51 µm
Band 3	Visible green	0.53 - 0.59 µm
Band 4	Visible red	0.64 - 0.67 µm
Band 5	Near IR	0.85 - 0.88 µm
Band 6	SWIR 1	1.57 - 1.65 µm
Band 7	SWIR 2	2.11 - 2.29 µm
Band 8	Panchromatic	0.50 - 0.68 µm
Band 9	Cirrus	1.36 - 1.38 µm
Band 10	TIR 1	10.60 - 11.19 µm
Band 11	TIR 2	11.50 - 12.51 µm

Назив датотеке са преузетим снимцима је *LC81850302013230LGN00,* са датумом снимања извршеним 18.08.2013 године. Приликом обраде снимака, ради добијања карата начина коришћења земљишта, примењена је надзирана класификација. У процесу надзиране класификације у комбинацији снимака 6-5-3, одређен је сет од осам класа (листопадне шуме, четинарске шуме, деградиране шуме, ливаде и пашњаци, жбуње и ниско растиње, обрадиве пољопривредне површине, стеновите површине и водене површине), које обједињавају вредности пиксела по сцени што је детаљније могуће, приликом чега је креиран узорак растера за сваку класу. Репрезентативни узорци су били они који су узети на терену, чије су локације детектоване помоћу ГПС апарата. Вегетација се различито показује на снимцима и има врло променљив коефицијент рефлексије, што опет зависи од таласног подручја. Рефлектовање је релативно ниско у видљивом делу спектра, али је нешто више у зеленом спектралном подручју, што је последица селективне апсорбције енергије од стране хлорофила. Драстично повећање рефлексије вегетације је на граници видљивог дела спектра и блиског IR спектра. IR зраци се лако пробијају кроз лишће биљака и распршују уз помоћ унутрашње структуре лишћа, тако да резултат тога је висока рефлексија. Мањи пад рефлексије се запажа на почетку и на средини средњег IR зрачења, услед апсорбције воде у листовима (Милановић, 2008). Након примене надзираног класификационог процеса анализиране су све области узорка да би се одредиле статистичке карактеристике класе за селектовани растерски објекат и затим примениле наведене карактеристике за класификацију улазног снимка. После класификације извршено је утврђивање квалитета добијених резултата и поправкама тј. корекцијама које су представљале поновно и прецизније одређивање класа. Добијени резултати класификације у виду растерске подлоге су затим конвертовани у векторски облик података због неопходности примене просторних операција. Конвертовани вектор је грубог облика због чега је извршено модификовање вектора, после чега је добијен геометријски тачнији вектор. Преведени вектор граница полигона је затим смештен у програмски пакет *ArcGIS* и у њему је извршена просторна анализа класификованог вектора, као и преклапање са снимком и топографском картом ради њене допуне. Финални векторски облик је затим конвертован у *C* фактор према вредностима за сваки вегетациони покривач.

4.6. Примена PESERA (*Pan-European Soil Erosion Risk Assessment*) модела на проучаваном подручју

Kirkby et al. (2000) су на регионалном нивоу квантификовали ерозионе процеса кроз примену и модификацију једнодимензионалног SWAT модела (*Soil Wegetation Atmosphere Transfer*). Применом тог модела је направљена повезаност ерозије земљишта са дистрибуцијом дневних падавина, потенцијалном евапотранспирацијом и температурним разликама. Тиме се добила визуелно добра компарација са постојећом картом ерозије, али модел је прецењивао интензитет ерозије у густо обраслим вегетацијским областима. Претходно наведени рад је био основа за каснији развој и имплементацију PESERA модела. PESERA је физички заснован, просторно дистрибуиран ерозиони модел, пројектован да процени ризик од ерозије на нивоу Европе са просторном резолуцијом од 1 km². Доминантни процеси заступљени у овом моделу су транспорт наноса, еродибилност земљишта и топографски потенцијал (слика 22). Модел је намењен као регионални дијагностички алат, замењујући постојеће сличне моделе.



Слика 22. Шематски приказ PESERA модела (Kirkby et al. 2003)

Основни циљеви PESERA пројекта су:

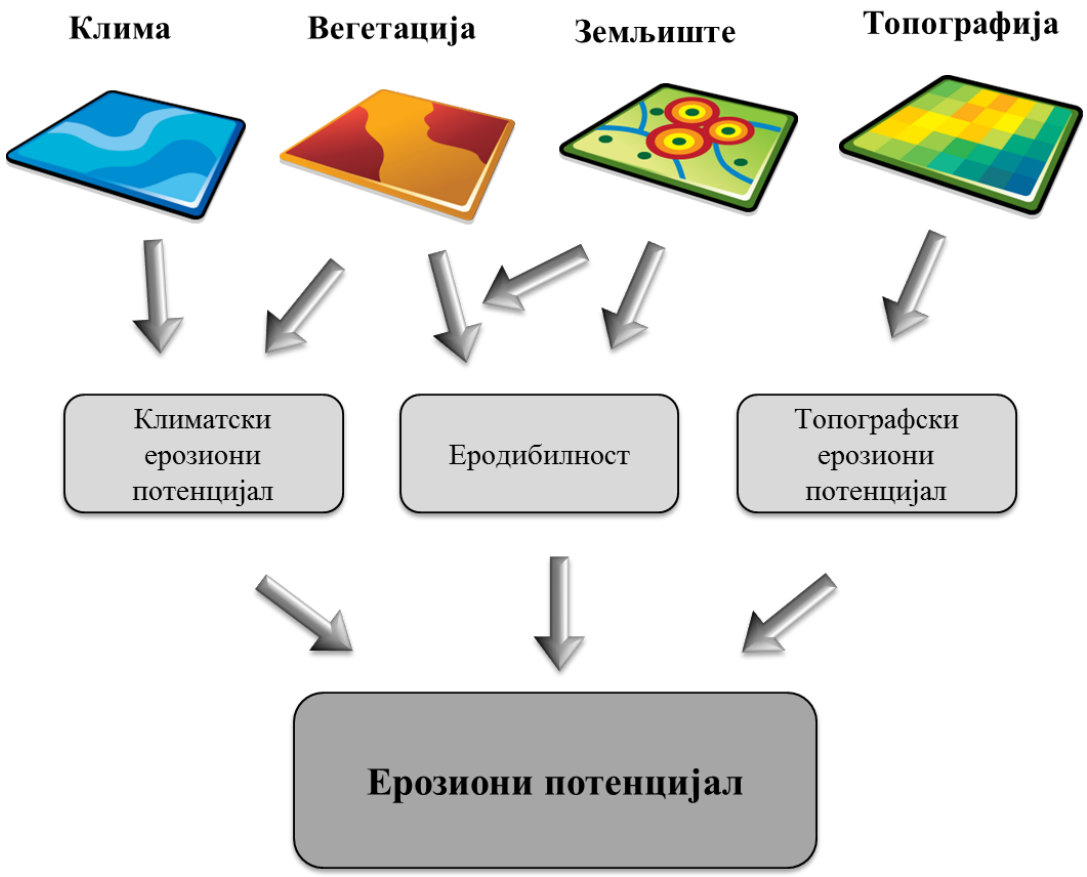
- Да се развије модел заснован на просторној дистрибуцији који може да се примени на регионалном нивоу.
- Да се успоставе просторне и временске везе у оквиру физички заснованог модела.
- Да се развијају статистичке и геостатистичке методе којим ће се омогућити тачнија интерполација података (нарочито везаних за падавине).
- Да се изврши калибрација модела на основу измерених података.

Други главни циљ пројекта је да се модел испроба на ниској и високој резолуцији и у различитим агроеколошким зонама, као и да се упореди са другим моделима и методама које се користе за процену ерозије земљишта.

На европском нивоу, потребно је да се развије ефикасан алат, као компонента система за подршку и одлучивање. Неке специфичности у оквиру PESERA модела су (PESERA user's manual):

- Да се идентификују области угрожене ерозијом и квантификује садашњи интензитет ерозије земљишта у Европи, односно у одређеним земљама, изабраним регионима или пилот зонама.
- Да се предвиде могући ефекти будућих климатских промена и промена начина коришћење земљишта у Европи кроз сценарио анализе.
- Да развије софтвер који ће корисницима омогућити олакшан рад.
- Да се успостави модел корисничких група на два различита нивоа: активни стручни корисници који учествују у научним истраживањима и крајњи корисници који су одговорни за извршење и реализацију одговарајућих противерозионих мера.

Модел комбинује ефекте топографије, земљишта, вегетације и климе (слика 23), док су подаци у оквиру PESERA пројеката мешавине података из јавних и ограничених извора.



Слика 23. Општа структура PESERA модела (Irvine и Kosmas, 2003)

PESERA модел је доступан у две верзије:

- PESERA_VBA (excel): базиран на тачкама кроз кодове
- PESERA_GRID (Fortran90): базиран на гриду кроз кодове

Прорачуни добијени кроз овај модел су за сваку ћелију у оквиру 1 km мреже која покрива читаву Европу. Главни или "гридни" модел даје процену за сваку ћелију у 1km · 1km резолуцији, комбинујући податке у ARC-Grid формату са FORTRAN кодом стварајући излазне карте у ArcGIS или другим ГИС софтверима. Модел приказује губитке у тонама по хектару за сваку ћелију и његова примена у оквиру ГИС-а значи да је модел просторно дистрибуиран.

PESERA модел израчунава губитке земљишта у $t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$ према основној формули (Kirkby et al. 2004).

$$E = k\Delta U \quad (9)$$

где:

- k означава еродибилност засновану на коришћењу земљишта и земљишним параметрима,
- Δ представља топографски потенцијал заснован на дигиталном елевационом моделу и
- Ω ерозиони потенцијал на основу климатских података, начина коришћења земљишта и водног биланса.

PESERA модел је још увек у развоју и тренутно се тестира на мањим површинама на северозападу Европе. Информације и литература, као и обрада и имплементација модела нису често доступне, што значајно отежава ширу примену овог модела. У изради ове докторске дисертације је коришћен PESERA_GRID (Fortran90), верзија модела базирана на гриду кроз кодове. PESERA_GRID модел чита податке из датотеке у ArcGRID формату. У табели 16 су представљене хардверске и софтверске компоненте и просторни формати неопходни за покретање модела. Овим моделом нису предвиђени формални услови за одређивање оптималне резолуције, односно нивоа детаљности. Међутим, творци овог модела не препоручује коришћење PESERA са резолуцијом мањом од 100 m (100 m · 100 m растерска ћелија). Нека досадашња истраживања су показала да су типичне PESERA резолуције 100 m, 250 m и 1000 m (Kirkby et al. 2008). Приликом израде ове докторске дисертације коришћена је резолуција од 100 · 100 метара.

Табела 16. Опрема и формати неопходни за покретање модела

Опрема и формати неопходни за покретање модела	**Напомена**
Софтвер	Инсталиран Arc Workstation и ArcGIS софтвер
Рачунар	најмање 60 Gb празног места на рачунару, инсталиран Win 2000 или XP, процесор јачи од 2.8 GHz
PESERA_GRID	Последња верзија
Просторни сет података	ARC_Grid формат

У случајевима када комерцијални ГИС софтвери нису у стању да анализирају и манипулишу са комплексним просторним симулационим моделима, предлаже се могућност управљања просторним подацима кроз приступ узајамне интеграције, као што је случај и код PESERA модела. Код који се користи у моделу је првенствено развијен за програмски језик Fortran90 са додатком за Arc Micro Language (AML). Произвођачи ГИС софтвера су оставили могућност доградње нових апликација које ће олакшати рад корисницима управо употребом AML програмског кода. Апликације могу бити једноставни скуп подешавања или могу бити веома сложени упити, који се изводе на више група слојева. У оквиру PESERA модела помоћу AML програмског кода се екстрактују локални подаци или комплетне области у ASCII формат. Заглавље улазних слојева проучаваног подручја дато је у табели 17 и представљено је у ASCII формату. ASCII формат је добро средство за дистрибуцију растерских слојева у ГИС-у који представља просторни слој, који је текстуално читљив и хардверски независан. Широко је прихваћан и подржан међу ГИС корисницима и компатибилан је за већину ГИС софтвера. ASCII формат се састоји од заглавља која садрже скуп кључних информација о вредностима ћелија и њиховој просторној дистрибуцији. Број колона (*Nrows*) у заглављу се користи да одреди када почиње нови ред вредности података. Број вредности података (вредности ћелија) мора бити једнак броју редова (*Nrows*) пута број колона (*Ncols*). *NoData value* се додељује ћелијама чија је права вредност непозната и опционо та вредност је једнака -9999.

Табела 17. Заглавље улазног фајла проучаваног подручја

Тражени подаци	**Опис**	**Вредности**
Nrows	Број редова	104
Ncols	Број колона	127
Cellsize	Величина ћелије (m)	100
Xll	X координата	587678
Yll	Y координата	4699555

Сви приступни тј. улазни подаци морају бити састављен у истом формату (ArcGRID). Једначине се независно решавају за сваку растерску ћелију, односно суседни односи

између ћелија се не узимају у обзир (Kirkby et al. 2008). Приликом припреме података за покретење модела треба водити рачуна да се испуне следећи услови:

- пројекција и координатни систем мора да је исти за све слојеве,
- јединице слојева треба да су у складу са описом датим у табелама,
- опсег вредности слојева треба да је у распону са задатим вредностима из табела.

Сет улазних слојева су наведени у табели 18.

Табела 18. Преглед минималног сета података у грид формату неопходних за покретање модела (укупно 93 растерска слоја)

Извор података	**Назив слоја**	**Број слојева**
Вегетација	use	1
	cov_	12
	rough0	1
	rough_red	1
	rootdepth	1
Клима	meanrf130_	12
	meanrf2_	12
	cvrf2_	12
	mtmean_	12
	mtrange_	12
	meanpet30_	12
Земљиште	crust_0702	1
	erod_0702	1
	sws_eff_2	1
	zm	1
Топографија	Std_eudem2	1

4.6.1. Климатски подаци

Потребне податке у обради климатских фактора можемо поделити у три групе: подаци о падавинама, температурама и потенцијална евапотранспирација. Ови подаци се интерполирају на око 50 km грида на нивоу Европе а затим конвертују до резолуције од 1 km. Према наводима PESERA пројекта препоручено је да се користи "*inverse-spline*" математички поступак интерполације. Међутим, интерполирани подаци овом методом потцењују годишњи просек падавина у неким деловима Европе (Jones et al. 2003). Примена побољшаних интерполацијских техника, него што је то "*inverse-spline*", дају боље резултате (Jones et al. 2003), тако да је у интерполацији над сетом података из слива акумулације Првонек коришћена IDW метода. IDW је у широкој употреби у области метеорологије. Примери су интерполација метеоролошких скупова података у комбинацији са линеарном регресијом у радовима Buishand et al. 2008 и Perry и Hollis, 2005. У обради климатских података коришћени су подаци са метеролошких станица које се налазе у близини слива (више у одељку 3.3.). Параметри за климатске факторе дати су у табели 19.

Табела 19. Климатски параметри (неопходни параметри у црној боји, додатни параметри у сивој боји, Irvine и Kosmas, 2003)

Назив слоја	**Ранг вредности**	**Јединица**	**Број слојева**
meanrf130_	0-300	mm	12
meanrf2_	0-50	mm	12
cvrf2_	1-10	/	12
mtmean_	2.4-18.4	°C	12
mtrange_	-32-37.3	°C	12
meanpet30_	0-300	mm	12
newtemp_	/	°C	12
newrf130_	/	mm	12

Климатски фактори су врло важне компоненте улазних слојева у PESERA модел, што захтева унос месечних података о климатским карактеристикама подручја као што су:

- средње месечне количине падавина (meanrf130_),

- средња месечна количина падавина по данима (meanrf2_),
- коефицијент варијације месечних падавина по дану (cvrf2_),
  cvrf2_= стандардна девијација дневних падавина у месецу / средње дневне количине падавина у месецу
- средња месечна температура ваздуха (mtmean_),
- месечни температурни опсег (mtrange),
  mtrange = максималне месечне температуре ваздуха /минималне месечне температуре ваздуха
- средња месечна потенцијална евапотранспирација (meanpet30_).
  Због једноставности у израчунавању meanpet30_ слојева коришћена је Hargreaves-ова једначина. Како подаци о соларној радијацији често нису доступни, Hargreaves et al. (1985) су предложили емпиријски прорачун евапотранспирације на основу података о просечној максималној и минималној температуру ваздуха и вредности екстратерестријалне радијације (екстратерестријалног зрачења).

Добијени растери за све слојеве су након интерполације, ограничени на број редова и колона из заглавља (табела 14), и после тога сачувани под предвиђеним називима (табела 16).

4.6.2. Подаци о вегетационом покривачу

Начин коришћења земљишта је један од одредних чинилаца интензитета ерозије. Подаци о вегетационом покривачу који се користе у PESERA моделу су генерисани према објашњењима датим у приручнику за кориснике PESERA модела (Brian и Costas, 2003). На основу тих препорука постојећа векторска подлога вегетације слива (детаљније у поглављу 4.5.4.) Првонек је рекласификована према кодовима из табела 20, 21 и 22. Вредности слојева за rough_red, rough0 и rootdepth су изведени, сем из приручника PESERA модела и из литературе приказане у раду аутора Richard G. Allen, 1998.

Рекласификовани слојеви су затим конвертовани у растерске формате ради даље обраде. Приликом конвертовања вођено је рачуна да сви слојеви имају исту резолуцију са идентичним бројом колона и редова.

Табела 20. Начин коришћења земљишта са PESERA кодовима (use)

Начин коришћења	**Код**
Урбане целине	100
Обрадиво земљиште	210
Виногради	221
Воћњаци	222
Пашњаци и ливаде	231
Хетерогено пољопривредно земљиште	240
Шуме	310
Жбуње и ниско растиње	320
Стене	330
Деградиране површине	334
Водене површине	400

Табела 21. Начин коришћења земљишта по месецима са PESERA кодовима (cov_)

Начин коришћења	**јан**	**феб**	**мар**	**апр**	**мај**	**јун**	**јул**	**авг**	**сеп**	**окт**	**нов**	**дец**
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
210	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
221	10	10	10	20	25	30	30	30	30	20	15	15
222	10	10	10	20	25	30	30	30	30	20	15	15
231	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
240	50	50	50	60	70	80	90	90	60	50	45	45
310	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
320	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
330	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
334	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
400	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Табела 22. Начин коришћења земљишта са rough0, rough_red и rootdepth кодовима

Начин коришћења	rough0	rough_red	rootdepth
100	0	0	10
210	10	50	200
221	5	0	500
222	5	0	500
231	5	0	300
240	5	0	300
310	5	0	1000
320	5	0	600
330	5	0	10
334	5	0	300
400	0	0	10

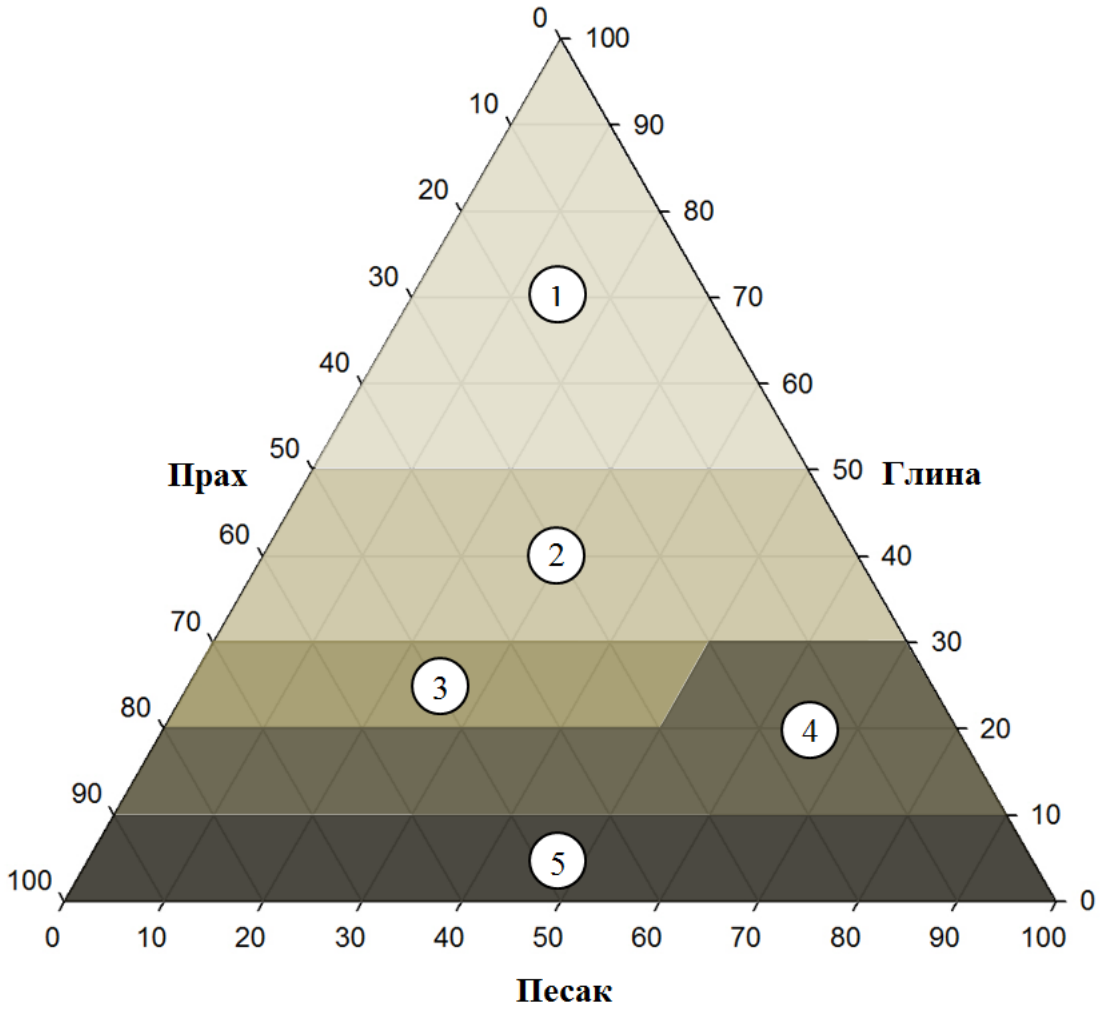
4.6.3. Параметри особина земљишта

Постоји шест параметара везаних за земљиште, који су потребни за покретање PESERA модела (табела 23). Ови параметри се углавном односе на текстуру земљишта и органску материју. Подаци су анализирани на основу гранулометријског састава површинског слоја земљишта (више у одељку 3.5.2.).

Табела 23. Земљишни параметри (неопходни параметри у црној боји, додатни параметри у сивој боји, Irvine и Kosmas, 2003)

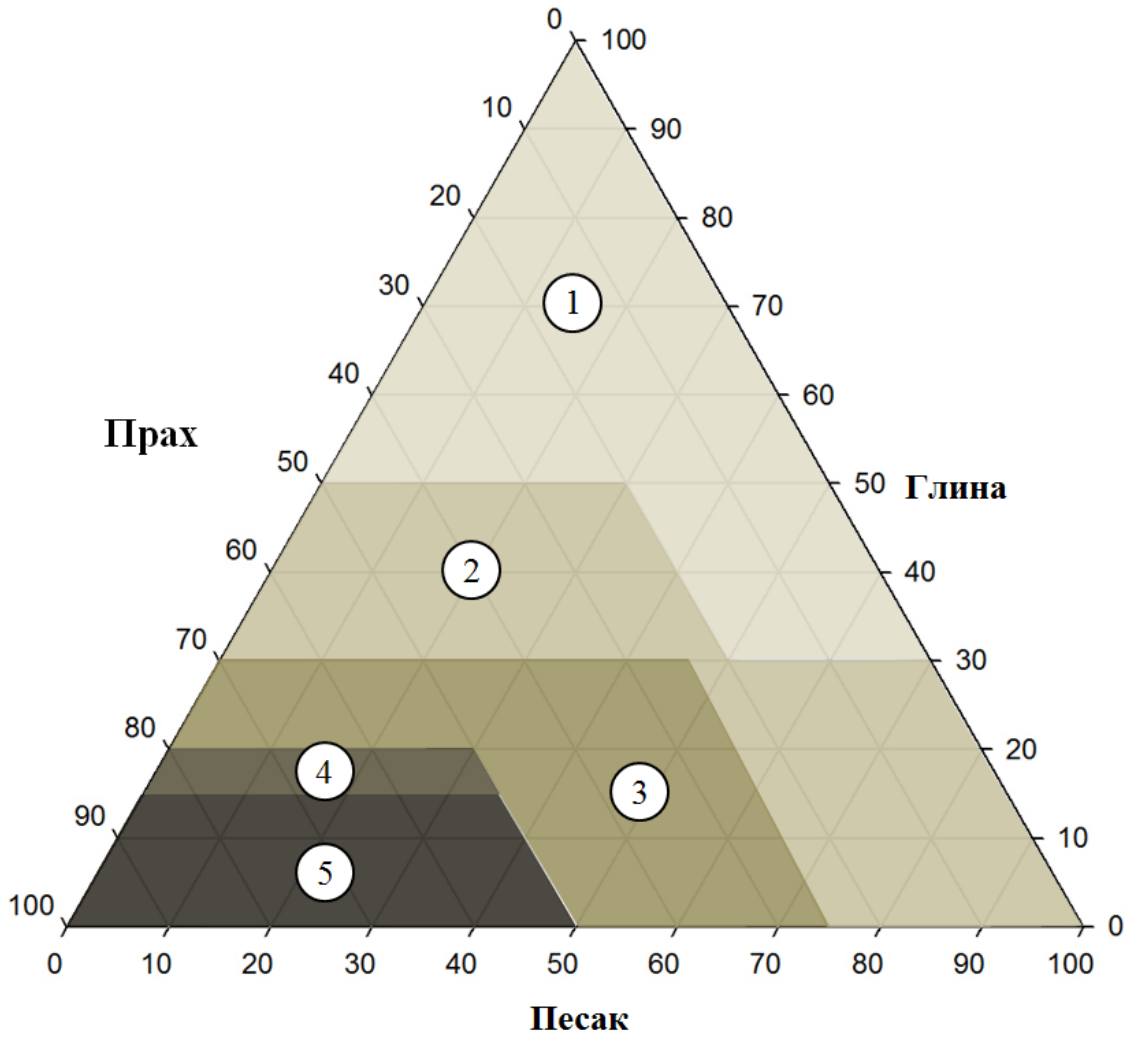
Назив слоја	Ранг вредности	Јединица	Број слојева
crust_0702	1-4	mm	1
erod_0702	1-4	mm	1
sws_eff_2	0-205	mm	1
p1xswap1	0-90	mm	1
p2xswap2	0-154	mm	1
zm	5,10,15,20,30	mm	1

Нека земљишта се лакше еродирају од других, чак и кад су сви остали фактори који утичу на процес ерозије исти. Ова разлика представља резултат својстава земљишта и дефинисана је преко еродибилности (Кадовић, 1999). Еродибилност земљишта је од кључног значаја за процену подложности процесима ерозије, те се сматра као један од кључних параметара (Le Bissonnais et al. 2005). Crusting (покорица) представља процес продирања воде у ниже хоризонте земљишта. Процес који се тада дешава у великој мери смањује капацитет сувог земљишта и вероватно ће повећати отицање површинских вода (Grimm et al. 2001).



Слика 24. Текстурни троугао за одређивање erod_0702 слоја

Приликом примене модела, класе за crusting и еродибилност земљишта су изведене из текстурних класа и типа земљишта (Le Bissonnais et al. 2005; Antoni et al. 2006). Текстура еродибилности и осетљивост на crusting су процењени на пет класа (слика 24 и 25).



Слика 25. Текстурни троугао за одређивање crust_0702 слоја

Дубина земљишта (zm) је обавезан слој који се интегрише у PESESRA-Grid модел. Вредност скале која се користи за одређивање овог параметра је од грубих текстурних земљишта до веома финих (табела 24), а вредности варирају од 30 mm за грубе и 5 mm за веома фине текстурне класе. Ради добијања овог важног слоја коришћена је табела са класама препоручена од стране Европског бироа за земљиште (European Soil Bureau), а на основу истраживања која су спровели Brian и Costas, 2003 (табела 25).

Количина воде у земљишту зависи од падавина, количине инфилтриране воде и порозности. Количина доступне воде биљкама се одређује капиларном порозношћу и израчунава се разликом у садржају влаге између пољског водног капацитета и тачке увенућа. Ова вредност обично се изражава у mm и може се добити интеграцијом доступног водног капацитета земљишта преко ефективне дубине земљишта. Велики водни капацитет подразумева велику годишњу евапотранспирацију и мала годишња

отицања у односу на мали водни капацитет под истим климатским условима. Укупни водни капацитет земљишта који је у PESERA моделу представљен кроз слој sws_eff_2 је одређен у Лабораторији Института за земљиште.

Табела 24. Прорачун за добијање текстурне класе (*European Soil Bureau*)

Текстура	**Опис**
Груба	(18 % < глина и > 65 % песак)
Фина	(35 % < глина < 60 %)
Средња	18 % < глина < 35 % и >= 15 % песак или 18 % <глина и 15 % < песак < 65 %
Средња фина	(< 35 % глина и < 15 % песак)
Веома добра	(глина > 60 %)

Табела 25. Вредности за прорачун дубинске скале земљишта

Текстура	**Скраћеница**	**Вредност (zm)**
Груба	C	30
Фина	F	10
Средња	M	20
Средња фина	MF	15
Органска	O	10
Веома фина	VF	5

Као и код претходних параметара PESERA модела, и код земљишњих фактора се водило рачуна о резолуцији слојева као и о њиховом именовању према препорукама из табеле 23.

4.6.4. Топографски подаци

Слој стандардне девијације коју захтева PESERA модел се углавном израчунава из SRTM података. Оригинална резолуција који пружа овај ДЕМ је 90 · 90 метара, што се сматра прилично ниском резулуцијом, посебно када се проучавају високе планинске области, где се том приликом јављају велике средње грешке у прорачуну. Обзиром да

PESERA сматра стандардну девијацију као улазни параметар, апсолутне грешке које се тада јављају нису од значаја, тако да су релативне грешке између пиксела мање од један (Klose, 2009).

Табела 26. Топографски податак

Назив слоја	Ранг вредности	Јединица	Број слојева
std_eudem2	/	m	1

Просторна резолуција модела на нивоу Европе је постављена на 1 km због ограничења података. Обзиром да је резолуција ДЕМ-а за слив акумулације Првонек боља у односу на резолуцију од 1 km, а на основу препорука које су дали Irvine и Kosmas (2007), приликом израде ове докторске дисертацији коришћен је ДЕМ просторне резолуције 100 · 100 метара. ДЕМ оригиналне резолуције 30 · 30 метара је трансформисан у резолуцију 100 · 100 коришћењем *bilinear resampling* технике, док је стандардна девијација из ДЕМ-а у радијусу од 3 km око сваког пиксела добијена коришћењем *focal statistics* модула у оквиру *ArcGIS* апликације.

4.6.5. Покретање модела

Првобитно, наведена верзија модела развијена на Универзитету у Лидсу је програмирана да ради на UNIKS платформама. Касније модел постаје компатибилан за рад и у DOS окружењу. PESERA_GRID функционише у пет различитих фаза (табела 27). Основна датотека се састоји од неколико извршних фајлова и обавезног "*salflibc.dll*" фајла. Сликовити приказ покретања модела је приказан на слици 26.

Табела 27. Садржај извршне датотеке PESERA модела (PESERA, Deliverable 17)

Извршни фајл	Фазе
xgridascii103.aml	Конвертовање grid у ASCII формат
ftn_input103.exe	Предпроцесне радње
ftn_combined_103.exe	Предпроцесне радње
pesera_grid103.exe	Покретање модела
to_grid_103.exe	Подпроцесне радње
xasciigrid103.aml	Конвертовање ASCII у grid формат

I фаза

Прва фаза започиње конверзијом GRID у ASCII формат, помоћу *xgridascii103.aml* фајла који је смештен у неки радни директоријум персоналног рачунара. Покретањем *ArcinfoWorkstations* уписује се следећи код:

GRID: Arc w c:\"радни директоријум" (нпр. C:\pesera_podaci)

GRID: &run c:\ pesera_podaci \xgridascii103.aml

II фаза

У другој фази врши се предпроцесирање извршног *ftn_input103.exe* фајла. Модел врши генерисање података и ствара нову датотеку *ftn_input.dat*. Покретањем *ftn_combined_103.exe,* ASCII слојеви генерисани у првој фази се интегришу и комбинују у нови *grid_data.dat*.

III фаза

Инсталацијом извршног фајла *pesera_grid103.exe* програм покреће главни сегмент модела и сам процес траје у зависности од броја редова и колона проучаваног подручја, односно калкулације се врши за сваки појединачни пиксел.

IV фаза

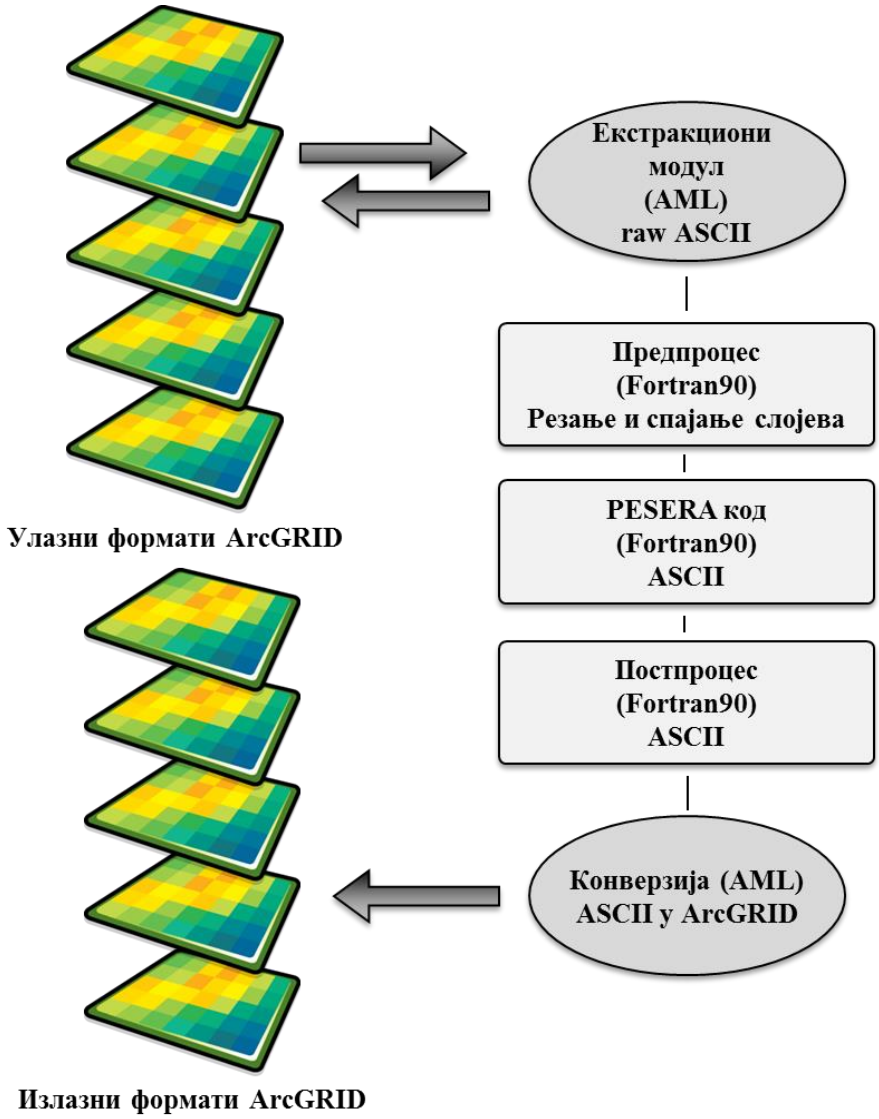
Четврта фаза је део у коме се датотекама додељују заглавља и структура каснијих слојева. Процес почиње покретањем извршног фајла *to_grid_103.exe* и траје у зависности од броја редова и колона.

V фаза

У завршној фази врши се конверзија ASCII у GRID формат. Извршна датотека је *xasciigrid103.aml*. У модулу *ArcinfoWorkstations* се уписује следећи код:

GRID: Arc w c: \ " радни директорији " (нпр. C:\ pesera_podaci)

GRID: & Run c: \ pesera_podaci \ xasciigrid103.aml

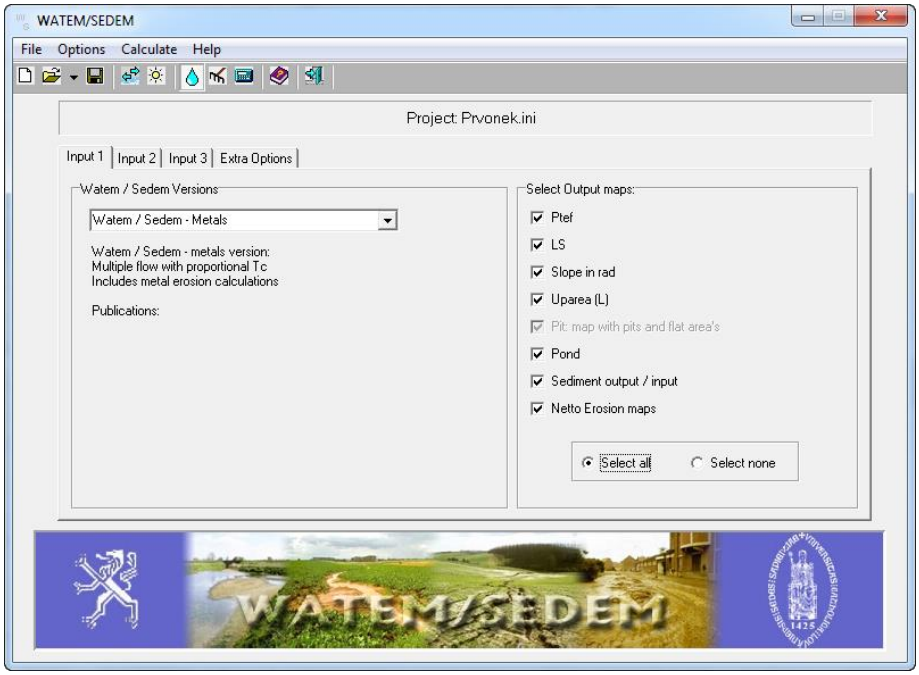


Слика 26. Процеси у фукционисању PESERA модела (Irvine и Kosmas, 2003)

4.7. Примена WaTEM/SEDEM модела на проучаваном подручју

WaTEM/SEDEM је дистрибутивни ерозиони модел развијен дугогодишњим радом водећих европских истраживача из области деградације земљишта у Лабораторији за експерименталну геоморфологију (K.U. Leuven, Белгија) и представља комбиновану верзију два емпиријска ерозиона модела WaTEM (Van Oost et al. 2000) и SEDEM (Van Rompaey et al. 2001). WaTEM/SEDEM модел има просторно експлицитан карактер и растерски засновану структуру која омогућава да се делови екосистема поделе у мале просторне јединице, односно растерске ћелије. Модел омогућава да се за сваку ћелију израчуна продукција и транспорт наноса. Почевши од верзије WaTEM/SEDEM модела из 2004. године, основни пакет је проширен са додатним опцијама помоћу којих је

могуће израчунати количине неких микроелемената (Cd, Cu, Zn, Pb, Ni и Hg) као и једног хранљивог елемента (P_2O_5), транспортованих са наносом услед ерозионог процеса. WaTEM/SEDEM је модел је развијен као *user-friendly* апликација (слика 27), а његово пројектовање и израду апликације је финансирало Министарство Фландрије (административни регион који обухвата северни део Белгије).



Слика 27. Кориснички нтерфејс WaTEM / SEDEM модела

WaTEM/SEDEM модел је релативно тешко обрадити у ГИС окружењу. Упутства за стварање улазних слојева и покретање модела објављени од тима аутора нису детаљни што ствара потешкоће у раду, нарочито за неискусне кориснике. Међутим, када се модел детаљно упозна и анализира, уз прецизне улазне податке и посебне поставке на рачунару, анализа података је брза и појединачни параметри се могу лако мењати. Модел захтева унос различитих константи, као и неколико ГИС слојева. Предуслови који се морају испунити пре покретања самог модела су наведени испод (WaTEM / SEDEM version 2006 Manual):

- Сви ГИС слојеви морају покривати исту област проучавања, што значи да морају имати идентичан број редова и колона.
- Сви растерски слојеви морају да имају исту просторну резолуцију која је приказана у метоподацима *(.RDC фајл*).

- Тип података пре увоза у модел мора да буде *real* или *floating point*, осим за слојеве начина коришћења земљишта, речне мреже, К фактора и других, који морају бити генерисани као *integer* слојеви.

Основни слојеви који су потребни за покретање модела су наведени испод:

- ДЕМ или ДТМ,
- слој речне мреже,
- слој коришћења земљишта,
- слој ерозивности кише,
- слој еродибилности земљишта,
- слој управљање усевима.

ДЕМ има централну улогу у WaTEM/SEDEM моделу. Квалитет ДЕМ-а доста ће утицати на тачност добијених резултата. Најбоља тачност се постиже када ДЕМ има "глатке" површине, односно, када се вредности висина мењају постепено. Квалитет ДЕМ-а се мери присуством деформитета и равних површина и важно је да је тај број што је могуће мањи. Овај проблем је коригован коришћењем софтвера Idrisi (*Clark Labs Inc.*) и његових опција за отклањање деформитета. ДЕМ не би требало да покрива само проучавану област већ и део уз саму границу истраживања. У изради ове докторске дисертације коришћен је ДЕМ у резолуцији од 30 · 30 m, а на основу препорука Van Rompaey et al. (2001a).

Слој са парцелама се може генерисати на два начина, увозом карте парацела или карте начина коришћења. У изради овог слоја коришћена је карта начина коришћења земљишта добијена анализом Landsat-овог сателитског снимка (детаљније описано у одељку 4.5.4.). Ови слојеви се могу креирати у неком ГИС програму или директно у WaTEM/SEDEM моделу. Категорије које су добијене надзираном класификацијом су груписане у пет главних класа:

- обрадиво земљиште,
- шуме,
- пашњаци и ливаде,
- урбана подручја,
- водене површине.

Добијени слој је затим трансформисан за сваку категорију према следећем идентификатору:

- -2: путна инфраструктура
- -1: реке
- 0: изван проучаваног подручја
- 1-n: поља под пољопривредним културама (максимални број (n) означава број поља и ова вредност би требало да буде нижа од 10 000)
- 10 000: шума
- 20 000: пашњаци

Слојеви еродибилности земљишта (одељак 4.5.2.) и вредност за ерозивност кише (одељак 4.5.1.) су преузети из USLE модела.

Речном мрежом се одређује положај водотока на подручју и њихов континуитет. Правац пружања река ће омогућити израчунавање наноса за различите сегменте речне мреже. Наведени слој је креиран из хидрографског векторског слоја који у себи мора да садржи датотеку (*.rou*), а која нам указује на везе између свих сегмента речне мреже чиме се ствара тзв. речна топологија.

Код *Ptef: Parcel* уноса постоји могућност да се користе слој или фиксне вредности. Вредности овог фактор представља допринос датог пиксела транспорту, а у поређењу са референтним узорком (обрадиво земљиште, шума, пашњак). Ако је вредност нула то значи да допринос пиксела износи исто као референтна основа. Са вредношћу од 75 значи да пиксел доприноси 75 % мање него референтна основа. Стандардне вредности које се користе су:

- 0 за обрадиво земљиште и
- 75 за шуме и пашњака.

Вредности фактора *Parcel connectivity* представљају однос повезивања обрадивог земљишта, шума и пашњака. Подразумеване вредности за повезивање варирају између 0 и 100.

Програм нуди четири опције за израчунавање LS фактора:

- Wishmeier и Smith (1978),
- McCool et al. (1987, 1989),
- Govers (1991) и
- Nearing (1997).

Van Rompaey et al. (2001) саветују да се LS фактор израчунава по методи McCool et al. (1987, 1989), где коефицијент m има исту вредност за површинску и браздасту ерозију. Овај прорачун је такође коришћен у изради ове докторске дисертације.

Други део WaTEM / SEDEM је обрачун транспорта наноса. Таложење материја се контролише кроз транспортни капацитет (Tc), који се обрачунава за сваки пиксел. Транспортни коефицијент означава количину наноса која се транспортује низ падину.

$$Tc = kTc \cdot EPR \quad (10)$$

где је:

- kTc коефицијент транспортног капацитета (m),
- EPR потенцијална осетљивост земљишта ка ерозионим процесима ($kg \cdot m^{-2} \cdot god^{-1}$).

EPR је теоретска вредност губитка земљишта и одређује се на основу доле наведене формуле.

$$EPR = EPT - EPIR \quad (11)$$

где је:

- EPT потенцијална ерозија ($kg \cdot m^{-2} \cdot god^{-1}$)
- EPIR потенцијална ерозиона површина ($kg \cdot m^{-2} \cdot god^{-1}$).
-

$$EPT = R \cdot K \cdot L \cdot S \quad (12)$$

$$EPIR = a \cdot R \cdot KIR \cdot SIR \quad (13)$$

при чему су:

- R, K, L, S фактори из USLE модела
- KIR представља фактор K за површинску ерозије
- SIR фактор нагиба који утиче на површинску ерозију.

Из горе изведених једначина произилази укупна једначина за транспортни капацитет (Van Rompaey, 2001).

$$Tc = kTc \cdot R \cdot K \cdot (LS - a\ SIR) \quad (14)$$

У додатним опцијама WaTEM/SEDEM модела су израчунате количине неких микроелемената транспортованих са наносом услед ерозионог процеса. Прорачун је моделиран и примењен за следеће микроелементе: Pb, Ni и Cu. Изворне вредности микроелемената су изражене у $mg \cdot kg^{-1}$ сувог земљишта. Узорци са вредностима су прво интерполирани за цело подручје, а затим конвертовани у погодан формат ради даљег коришћења. Свака ћелија је повезана са интензитетом ерозије земљишта и осталим факторима WaTEM/SEDEM модела, и у зависности од тога ће се десити транспорт или таложење микроелемената (Van Rompaey et al. 2001). Повећање и смањење садржаја микроелемената на еродираном, односно, депонованом земљишту ће зависити од почетне концетрације микроелемента на тим земљиштима.

5. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

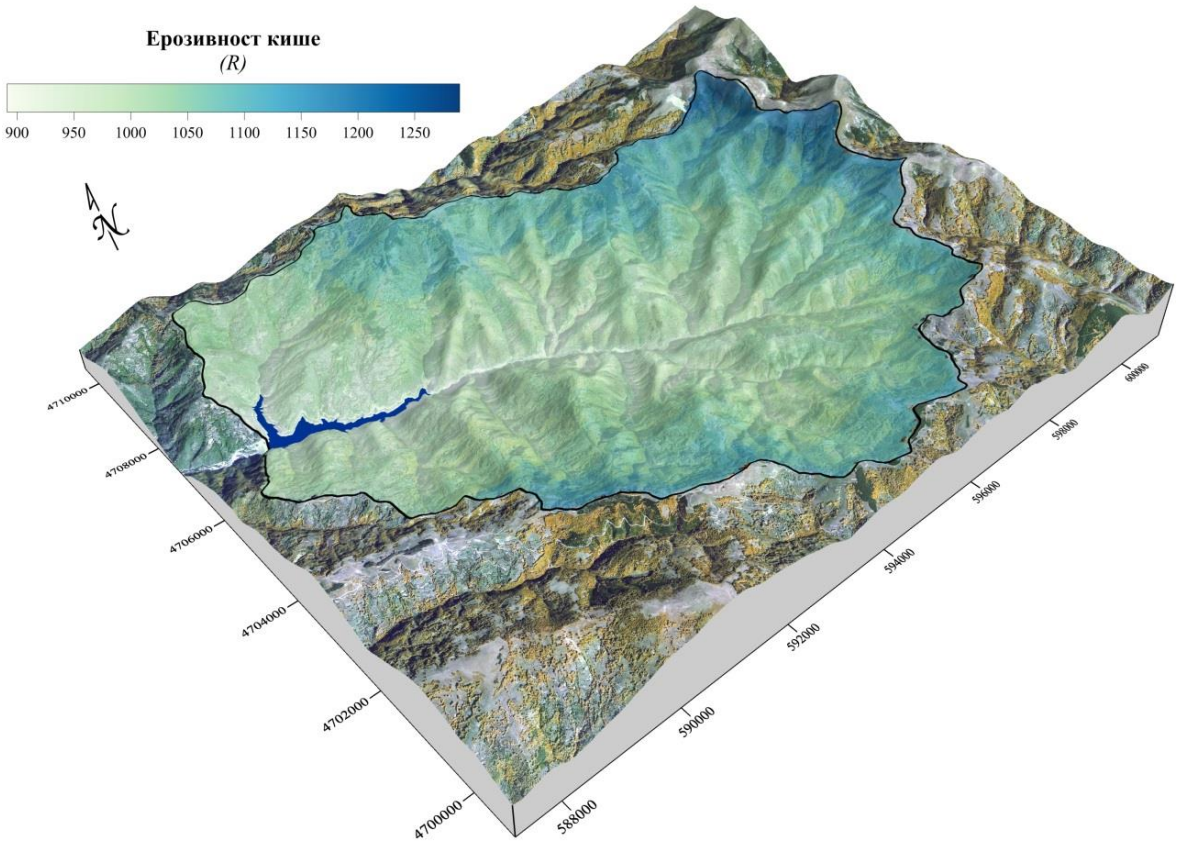
5.1. Процена интензитета ерозије применом USLE модела

5.1.1. Фактор ерозионе снаге кише (R фактор)

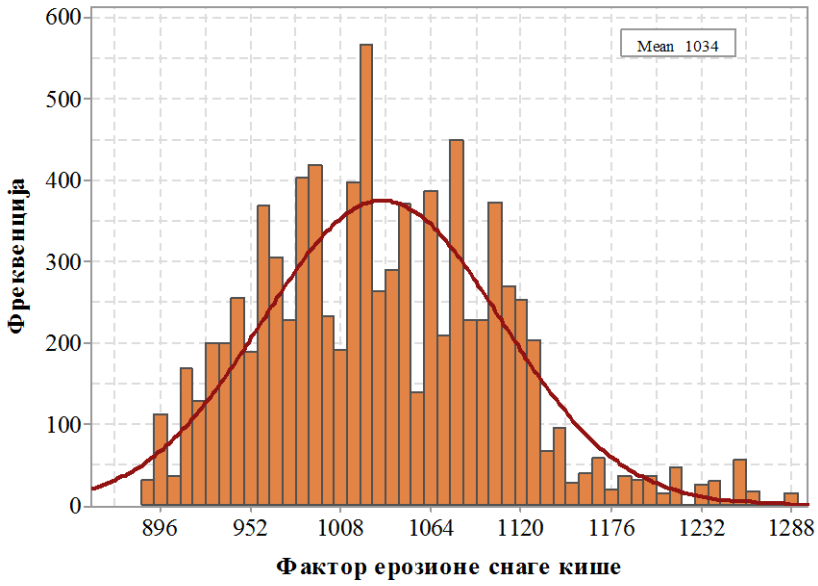
Међу природним факторима који утичу на ерозију земљишта, фактор ерозионе снаге кише има огроман значај. R фактор представља природно-еколошки ограничавајући фактор у коришћењу и управљању земљиштем. Велике неизвесности су повезане са актуелним предвиђањима утицаја климатских промена на интензитет падавина. Larsen et al. (2009) су у својим истраживањима користили регионални климатски модел (RCM) за предвиђање екстремних падавина на територији Европе. IPCC сценарио за период од 2071. до 2100. године је предвидео да ће се интензитет падавина повећати за 1,5 - 2 пута у Балтичком региону, а око 1,2 пута на територији Шпаније. Пројекције према EBU-POM регионалном климатском моделу предвиђају да ће тренд падавина на територији Републике Србије до краја овог века бити негативан. Према сценарију од 2071. до 2100. године падавине ће опадати у интервалу од -15 % до 0 % на годишњем нивоу (SEEFCCA, 2012). Нешто новије пројекције климе (Ruml et al. 2012) показују сличне опште трендове температуре и падавина с тим што предвиђају веће локалне разлике у погледу ефеката климатских промена.

R фактор је имплементиран у бројним ерозионим моделима, као што су: AGNPS, WaTEM/SEDEM, USPED, SEMMED, MMF и други (Bosco et al. 2014). Вредности R фактор на нивоу Европе се крећу од преко 300 MJ mm· ha^{-1}· h^{-1} ·god^{-1} на североистоку континента до преко 2000 MJ mm· ha^{-1}· h^{-1} ·god^{-1} на територији Шпаније, Италије и Швајцарске (European Soil Bureau, 2000; Panagos, 2015). Средња вредност фактора на нивоу европског континента износи 722 MJ mm· ha^{-1}· h^{-1} ·god^{-1} (Panagos, 2015).

Вредност фактора ерозионе снаге кише (R) у сливу акумулације Првонек је одређен на основу алгоритма Grimm et al. (2003). Карта овог фактора приказана је на слици 28. Интензитет R фактора на проучаваном подручју варира од 891,2 до 1289,6 MJ MJ mm·h^{-1} ·ha^{-1}·$mesec^{-1}$ (слика 32) са средњом вредношћу од 1033,53 MJ MJ mm·h^{-1} ·ha^{-1}·$mesec^{-1}$ (слика 29).



Слика 28. Просторни распоред R фактора

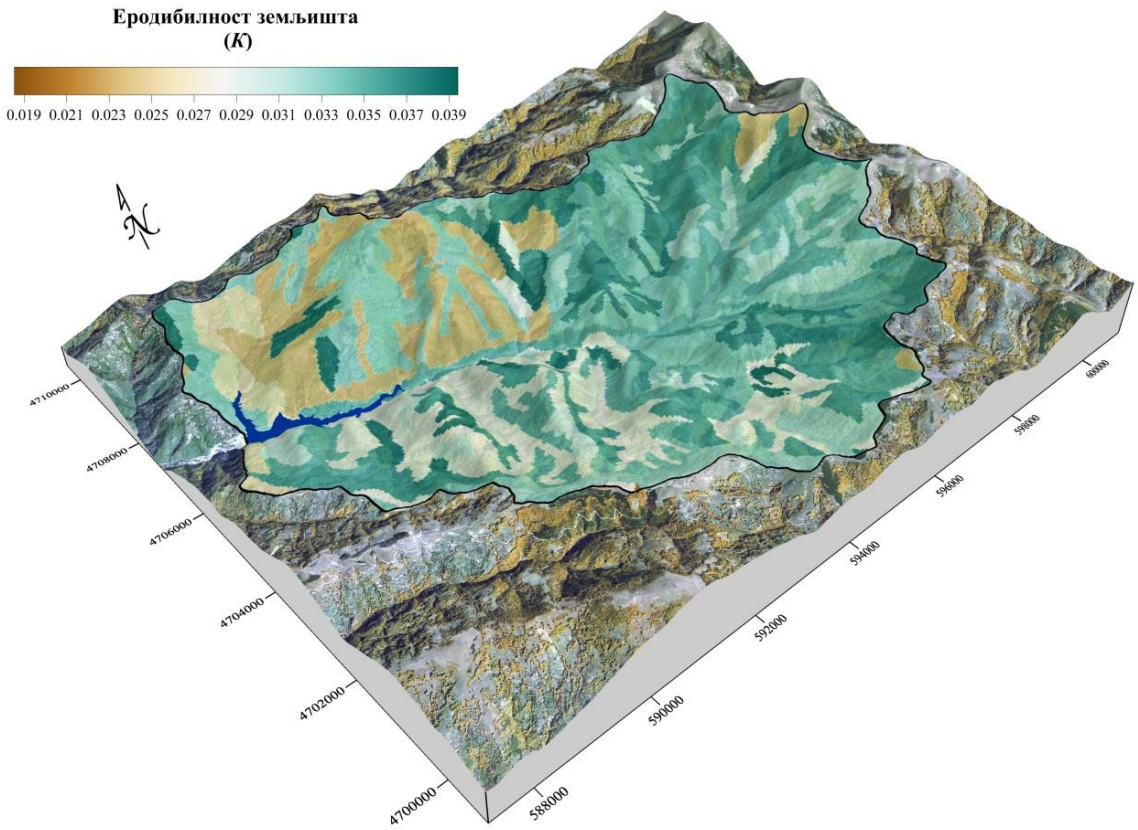


Слика 29. Хистограм дистрибуције R фактора

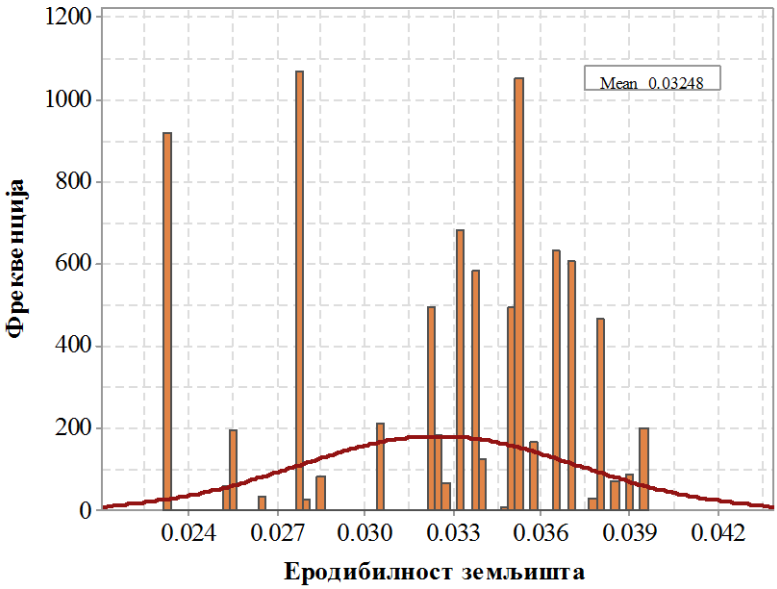
5.1.2. Еродибилност земљишта (K фактор)

Вредности фактора еродибилности се крећу у распону од 0 до 1 пре конверзије у SI јединице. Вредност K фактора од 1,0 одговара водонепропусном земљишту, где површинско отицање одговара укупним падавинама, док вредности овог фактора од 0,01 теоретски одговарају нееродибилном земљишту са скоро 100 % десцедентним током површинских вода (Kisić, 2000). Фактор K се у великој мери користи и у другим ерозионим моделима, као на пример: WaTEM/SEDEM, PERFECT, AGNPS, USPED и други (Bosco et al. 2014). Постоје различите методе израчунавања K фактора у литератури, а неке од њих су: према номограму Wischmeier-a, затим према Römkens et al. (1986), Torri et al. (1997) и Wang et al. (2012). Средња вредност K фактора на нивоу Европе је процењена на 0,032 $t \cdot ha \cdot h \cdot ha^{-1} \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$ са стандардним одступањем од 0,009 $t \cdot ha \cdot h \cdot ha^{-1} \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$ (Panagos, 2014).

Еродибилност земљишта на проучаваном подручју је одређена коришћењем једначине Wischmeier и Smit (1978). Сложеност топографије терена тј. његов висок висински градиент онемогућио је коришћење геостатистичких техника у генерисању карте еродибилности, већ су се вредности везивали за одређене типове земљишта. Просторна расподела K фактора (слика 30) се креће од 0,018 до 0,039, са средњом вредношћу од 0,032 $t \cdot ha \cdot h \cdot ha^{-1} \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$ (слика 31).



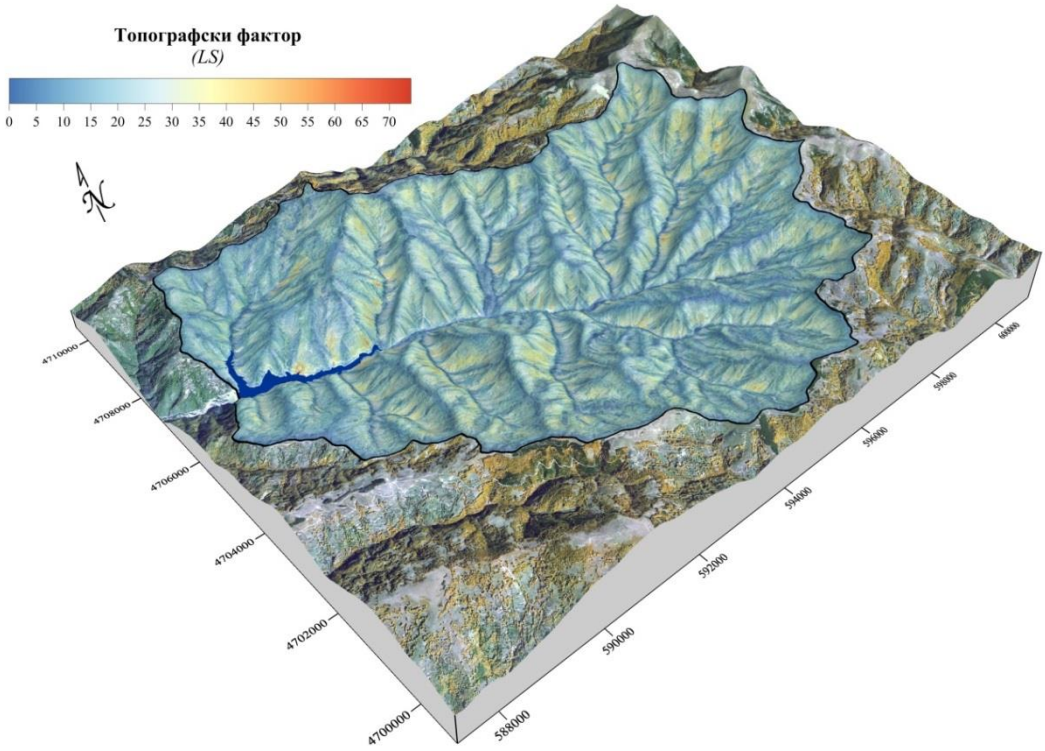
Слика 30. Просторна расподела K фактора



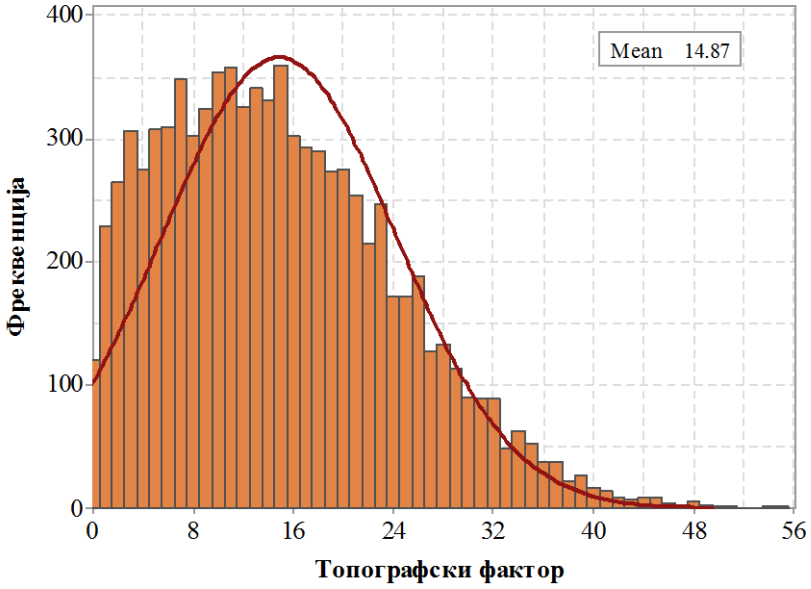
Слика 31. Хистограм дистрибуције K фактора

5.1.3. Топографски фактор (LS фактор)

Нормално се може очекивати да се ерозија повећава са повећањем нагиба и дужине падине, као резултат повећања брзине и запремине површинског отицања (Кадовић, 1999). Утицај топографије на ерозију у овом моделу се израчунава кроз дужину падине (L) и нагиб (S) и обично се представља преко спајања ова два фактора у један (LS). Аутоматска екстракција различитих топографских параметара из ДЕМ-а пружа бржа и прецизнија мерења него традиционалне технике. Wu et al. (2005) наводе да се процена губитка земљишта значајно смањује када је резолуција ДЕМ-а грубља. Просечна вредност LS фактора на нивоу Европске уније износи 1,63 (метода Desmet и Govers, 1996). Вредности наведеног фактора веће од 25 су регистроване на само 0,1 % укупне територије Европске уније, и углавном те површине се налазе на појединим деловима Аустрије, Грчке, Италије и Словеније (Panagos et al. 2015). Вредности топографског фактора слива акумулације Првонек су одређене на основу једначина које су развили McCool et al. (1987). Интензитет LS фактора на проучаваном подручју варира од 0 до 74 (слика 32) са средњом вредношћу од 14,87 (слика 33). Поређење LS фактора са картом нагиба показује да је LS фактор осетљив на стрме падине и његове вредности расту у складу са повећањем нагиба.



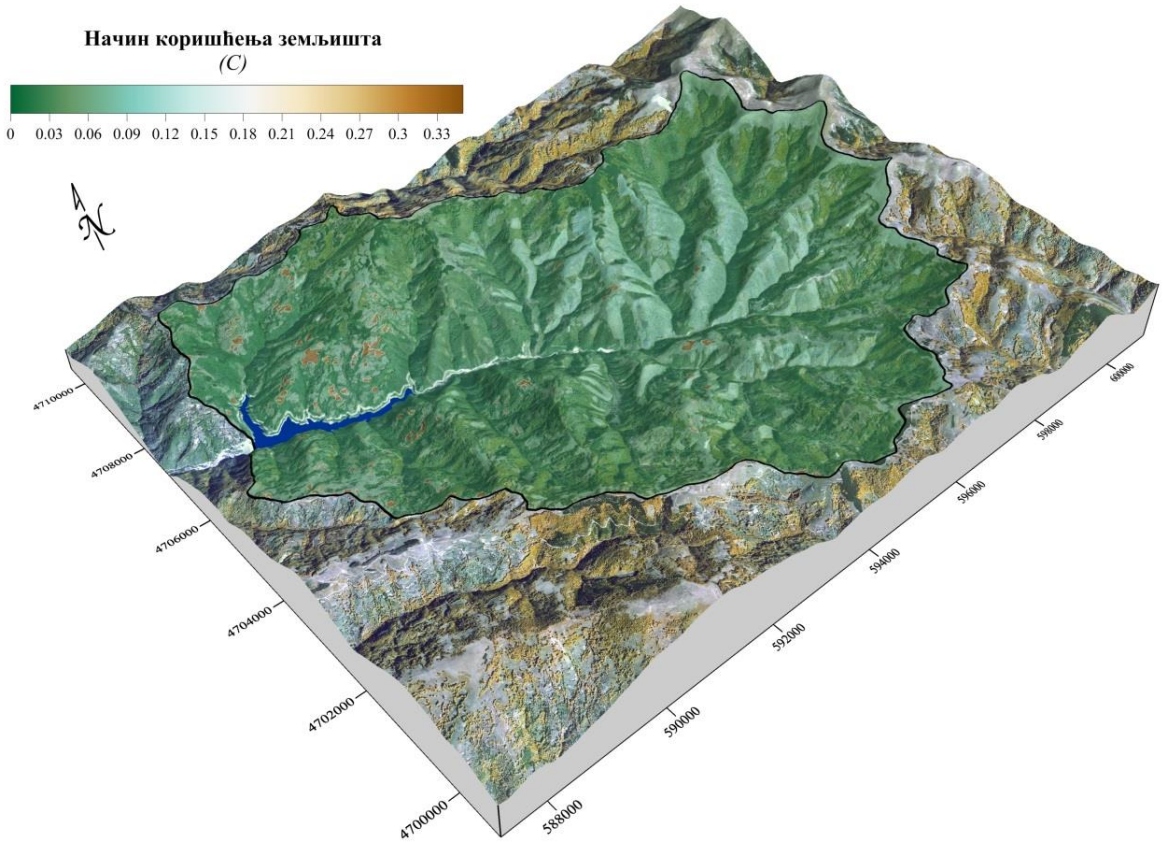
Слика 32. Просторни распоред LS фактора



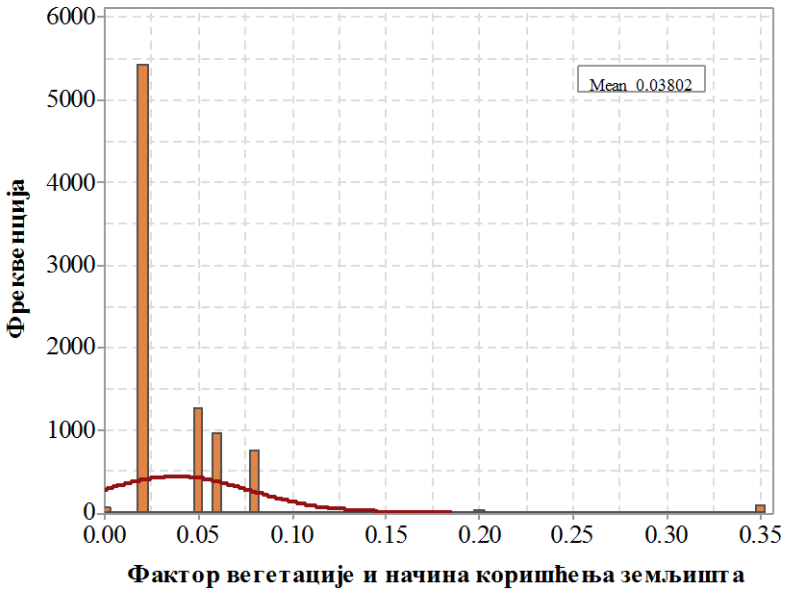
Слика 33. Хистограм дистрибуције LS фактора

5.1.4. Фактор вегетације и начина коришћења земљишта (C фактор)

Теледетекционе методе нам пружају различите информације о стању и квалитету животне средине. Могућности примене сателитских снимака су различите, што првенствено зависи од могућности интерпретације спектралних канала и правилног коришћења специјализованих софтвера за ту намену (Милановић и Љешевић, 2009). За детекцију вегетационог покривача коришћени су снимци са Landsat 8 мисије у комбинацији са аерофото снимком проучаваног подручја. Претпоставља се да фактор коришћења земљишта има највећи утицај на интензитет ерозије у односу на остале факторе (Toy et al. 2002). Просторна дистрибуција C фактора је у опсегу од 0 до 0,35 (слика 34 и 35). Ниже вредности C фактора су заступљене у шумским подручјима. Шуме су свакако најбољи заштитник земљишта и сва досадашња истраживања су показала да је најнижи интензитет ерозије под шумским покривачем (Костадинов, 2008).



Слика 34. Просторни распоред C фактора

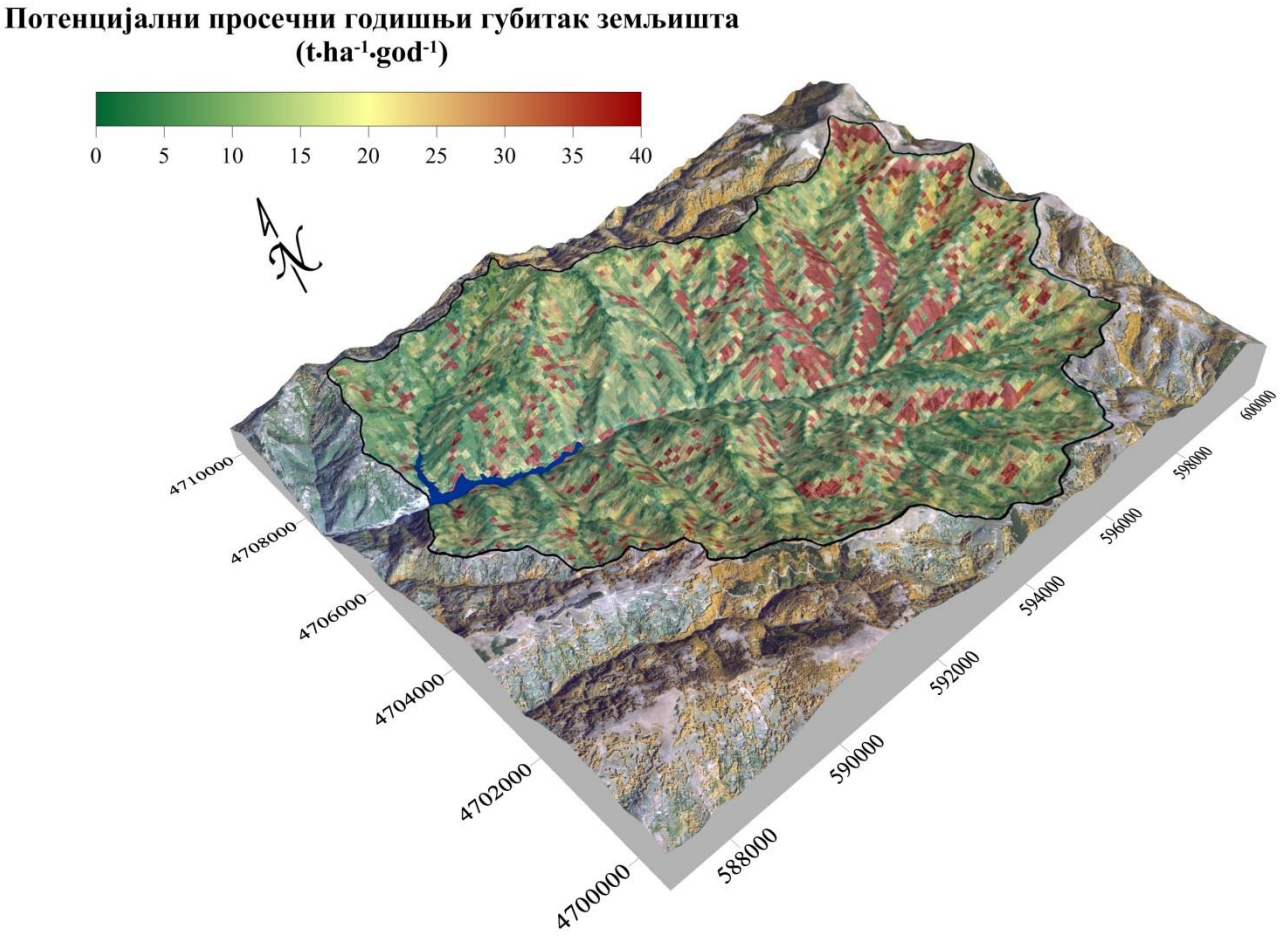


Слика 35. Хистограм дистрибуције C фактора

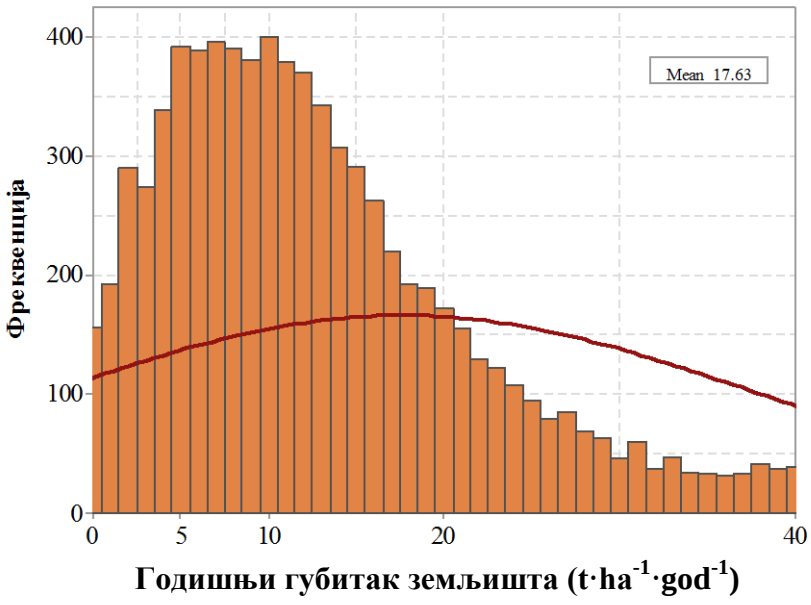
5.1.5. Средњи годишњи губитак земљишта

Сви добијени слојеви фактора моделираних у USLE моделу имају просторну резолуцију од 100 · 100 метара. Растерски слојеви су међусобно помножени ради добијања финалне карте. Добијени резултати су засновани на пикселима и приказују губитак земљишта по сваком приказаном пикселу. Метода која је коришћена у добијању резултата има вишеструку примену, јер се резултати добијени на овакав начин могу поново користити и комбиновати са другим тематским слојевима. Wischmeier и Smit (1978) су утврдили да је највећи потенцијални извори грешке приликом коришћења USLE модела у избору неодговарајућих вредности фактора.

Годишњи губитак земљишта на подручју слива акумулације Првонек применом USLE модела се креће у опсегу од 0 до 522,01 $t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$ (слика 36), са средњом вредношћу од 17,63 $t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$ (слика 37), што овај слив сврстава у групу **умерено угрожених** од ерозионих процеса. Значајан део слива на површини од 3475,99 хектара (40,73 % територије слива) је под утицајем веома слабе и слабе ерозије. Умерена угроженост ерозијом је на површини од 2912,46 хектара, односно на 34,12 % територије слива. Добијени резултати указују да је 2146,55 хектара, односно 25,15 % територије, потенцијално под јаким и веома јаким ерозионим процесима (табела 28). Ерозија земљишта је заступљена на целој површини слива, изузев појединих делова у централном и западном делу слива где густа шума штити земљиште. Ерозија земљишта је посебно изражена у источном делу слива, што је последица топографије, релативно високе годишње количине падавина и утицаја површина под деградираном вегетацијом. Ерозија земљишта је нарочито изражена у околини Црног врха, пре свега у засеоцима Широка Орница и Шоинци. Такође, интензивно одношење земљишта у источном делу слива је уочено на падинама Шиљегарника и засеоку Вити Бор. На западном делу слива повишен интензитет ерозије је на сливу притоке Градашнице, као и у атарима села Барје, Ћурлници и Горња Махала. На ораничним површинама интензитет ерозије је посебно повишен на подручјима: Равни Дел, Коњи Рид, Ристиници и Дубрава.



Слика 36. Просторна расподела потенцијалног просечног годишњег губитка земљишта



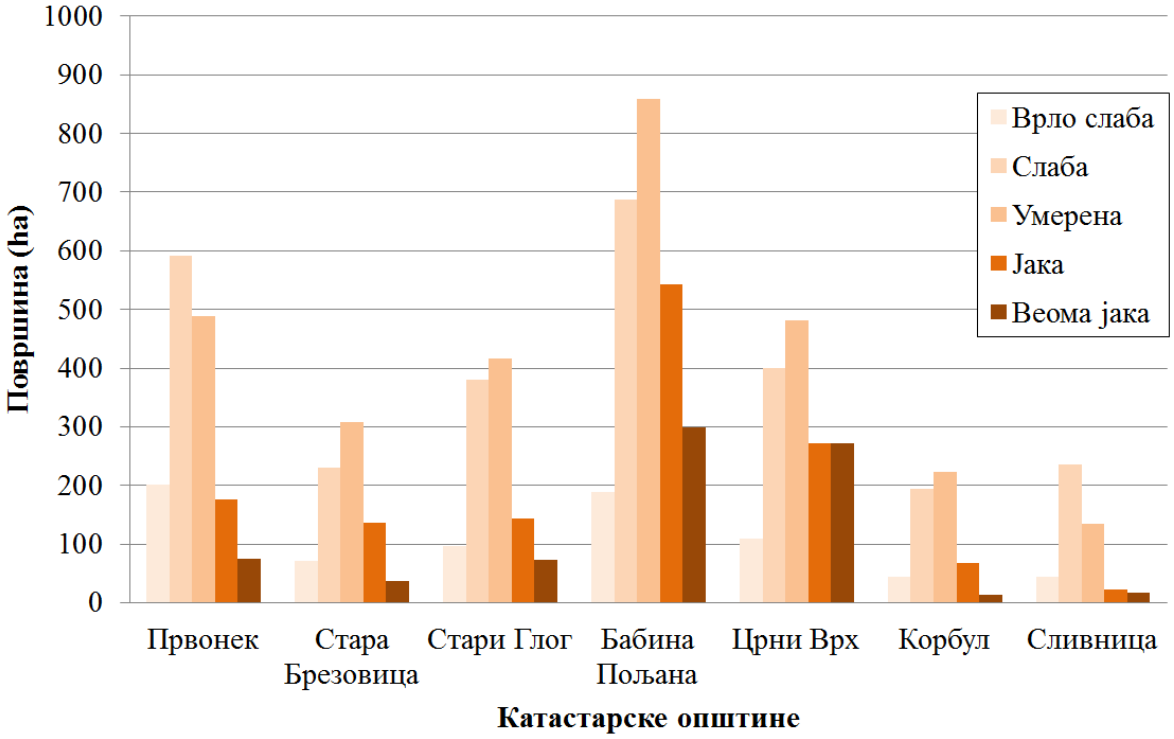
Слика 37. Хистограм дистрибуције годишњег губитка земљишта

Табела 28. Површине под различитим категоријама ерозије земљишта применом USLE модела

Категорије интензитета ерозије ($t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$)	**Површина**		**Просечни интензитет ерозије** ($t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$)
	ha	**%**	
Врло слаба (0 – 3)	758,31	8,88	2,07
Слаба (3 – 10)	2717,68	31,84	7,53
Умерена (10 – 20)	2912,46	34,12	15,23
Јака (20 – 40)	1359,36	15,93	28,36
Веома јака (>40)	787,19	9,22	67,04
Укупно	**8535,00**	**100,00**	**17,63**

Површински (ha) највећи интензитет ерозије је заступљен у катастарској општини Бабина Пољана (слика 38), у којој се 842,12 хектара, односно 32,69 % укупне територије, налази под јаком и веома јаком ерозијом. Следе К.О. Црни Врх са 544,09 хектара под јаким и веома јаким интензитетом ерозије, К.О. Првонек са 251,09 хектара под јаком и веома јаком ерозијом што представља 16,37 % укупне површине.

Најмањи интензитет ерозије је у катастарској општини Сливница, где је 61,73 % територије општине под утицајем веома слабе и слабе ерозије.



Слика 38. Распрострањеност категорија интензитета ерозије по К.О.

Добијени визуелни резултати се могу презентовати у оквиру различитих софтверских апликација без додатних техничких захтева. Google Earth је софтверска апликација која помоћу сателитских снимака приказује земљину површину. Међу многобројним функцијама овај занимљив програм омогућува и приказивање различитих ГИС слојева. За приказивање тематских слојева у Google Earth-у најчешће се користи KML (*Keyhole Markup Language*) формат. Растерски слој интензитета ерозије проучаваног слива је експортован у наведени формат а затим приказан у оквиру Google Earth апликације (прилог: слика 6). Овај приступ приказивања тематских слојева је првенствено намењен корисницима који желе да уз помоћ наведеног програма прегледају и претражују различите податке кроз интерактивне карте на једноставан и интуитиван начин, без предходног инсталирања ГИС десктоп апликација на свом рачунару.

Нажалост у Републици Србији не постоји просторна база података о земљишним и другим природним ресурсима, тако да то отежава примену USLE модела на ширим подручјима, али генерално овакав приступ се може користити и на другим сливовима. Предложени систематски начин праћења ерозионих фактора, који је знатно олакшан употребом сателитских снимака, дигиталних модела терена, геостатистиком и другим сегментима ГИС-а, је непходан за све будуће конзервационе радове, како са аспекта

прецизности и прилагођавања ситуацијама, тако и са аспекта утрошка радног времена. Такође, ова метода је са аспекта финансијског улагања у њену реализацију далеко најјефтинија, нарочито у поређењу са традиционалним методама одређивања интензитета ерозије земљишта, што је још једном препоручује за ширу употребу.

5.1.6. Просторна корелација и регресија између ерозионих фактора USLE модела

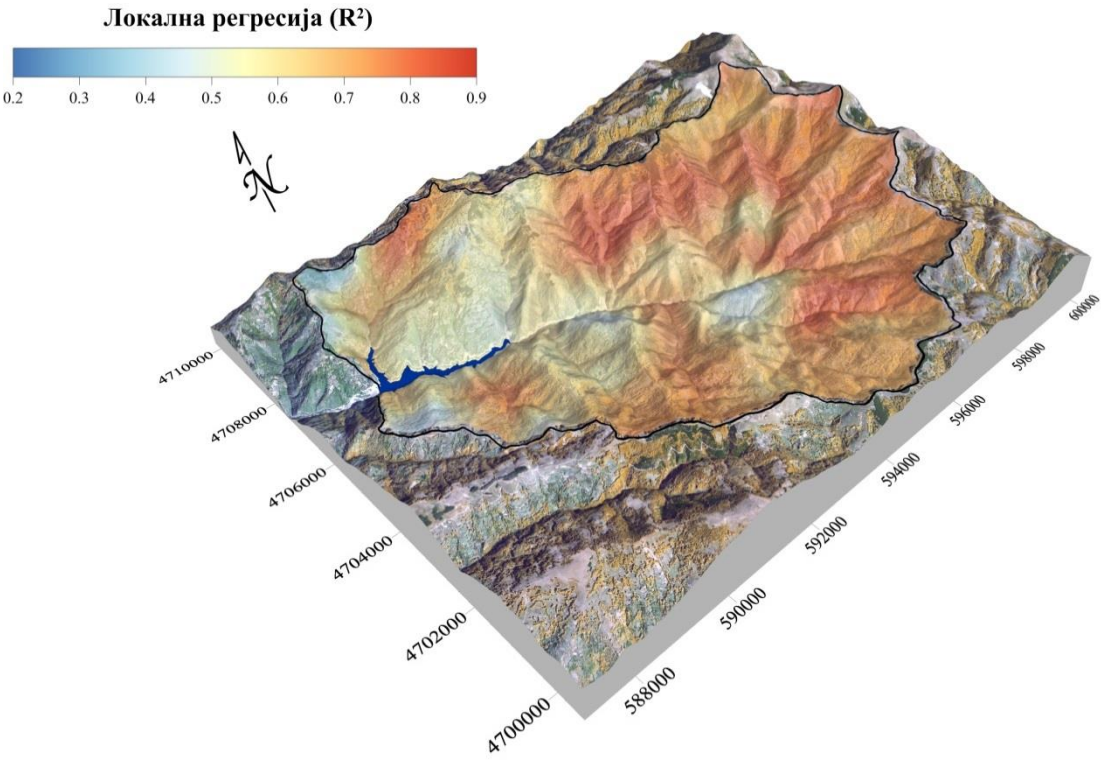
Приликом утврђивања редоследа ерозионих фактора који имају највећи утицај на интензитет ерозије коришћене су статистичке методе које омогућавају анализу података над растерским геопросторним скуповима.

На основу добијених резултата (табела 29) утврђено је да на подручју слива акумулације Првонек, одлучујући фактор који је утицао на интензитет ерозије је фактор C (фактор вегетације и начина коришћења земљишта) са 0,56 коефицијентом корелације. Следећи фактор који има утицај на финални слој је LS фактор (топографски фактор**)** са 0,45, док најмање утицаја има R фактор (фактор ерозионе снаге кише) са корелацијом 0,075.

Табела 29. Просторна корелација између ерозионих фактора

	A	R	K	LS	C
A	1,000	0,075	0,159	0,455	0,569
R	0,075	1,000	0,184	-0,001	-0,018
K	0,159	0,184	1,000	-0,007	0,009
LS	0,455	-0,001	-0,007	1,000	-0,119
C	0,569	-0,018	0,009	-0,119	1,000

Свака локација (тачка) у проучаваном подручју има свој скуп коефицијената, што омогућава да се уз помоћ Geographically Weighted Regression (GWR) израчуна посебна R^2 вредност за сваку локацију (тачку). Ова процедура омогућава посматрање регресије ерозионих фактора у простору. Карта 39 приказује регресиони однос између свих фактора USLE модела и просечног годишњег губитка земљишта. Просечна вредност регресије на нивоу слива износи 0,66 тј. модел са приближно 66 % верификује варијације у односу на зависну варијаблу (просечни губитак земљишта).



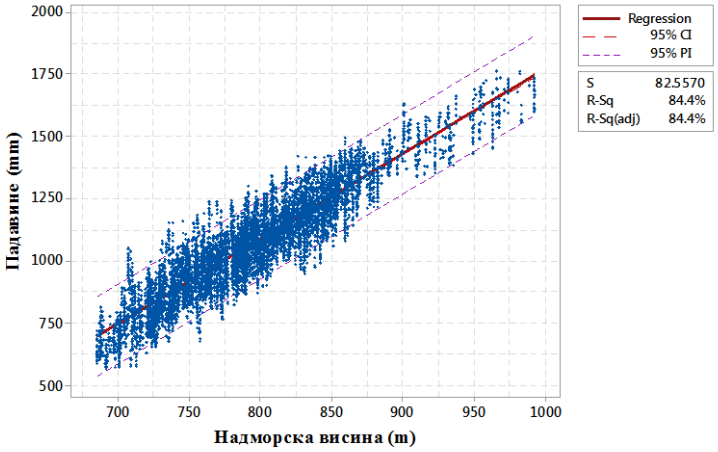
Слика 39. Локална регресија између ерозионих фактора

5.2. Процена интензитета ерозије применом PESERA модела

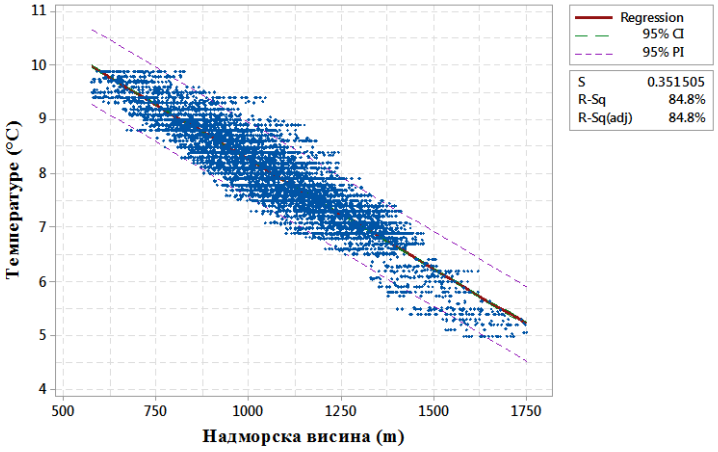
Приликом добијања потребних слојева за покретање PESERA модела коришћена је PESERA_GRID (Fortran 90) верзија. Класична интеракција имплементације PESERA модела у ГИС окружењу је ограниченог нивоа и спроводи се углавном на нивоу команди или скрипти, што значајно отежава коришћење овог модела.

5.2.1. Климатски подаци

Kirkby et al. (2004) указују да климатски подаци представљају значајан и врло осетљив сегмент модела. Сви климатски параметри који су укључени у PESERA модел су обрађени на основу података са метеоролошких станица које се налазе у широј околини слива (описано у поглављу 4). Средње месечне вредности су израчунате периодично за сваку станицу, а приликом генерисања финалних карата контролисана је регресиона зависност између вредности параметара и надморских висина (слике 40 и 41).



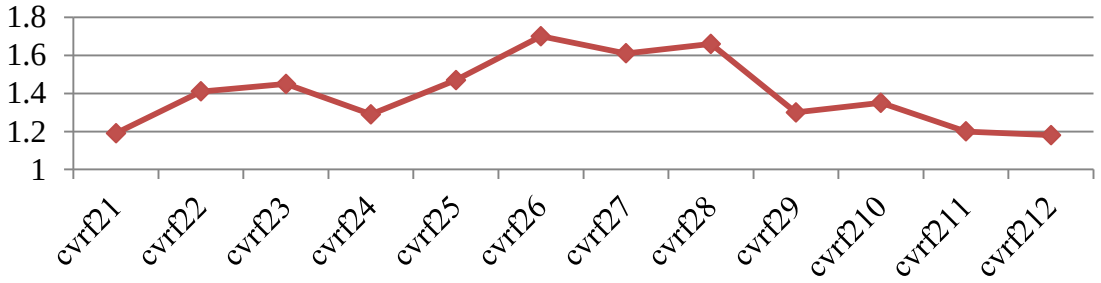
Слика 40. Однос између годишњих падавина и надморске висине



Слика 41. Однос између годишњих температура и надморске висине

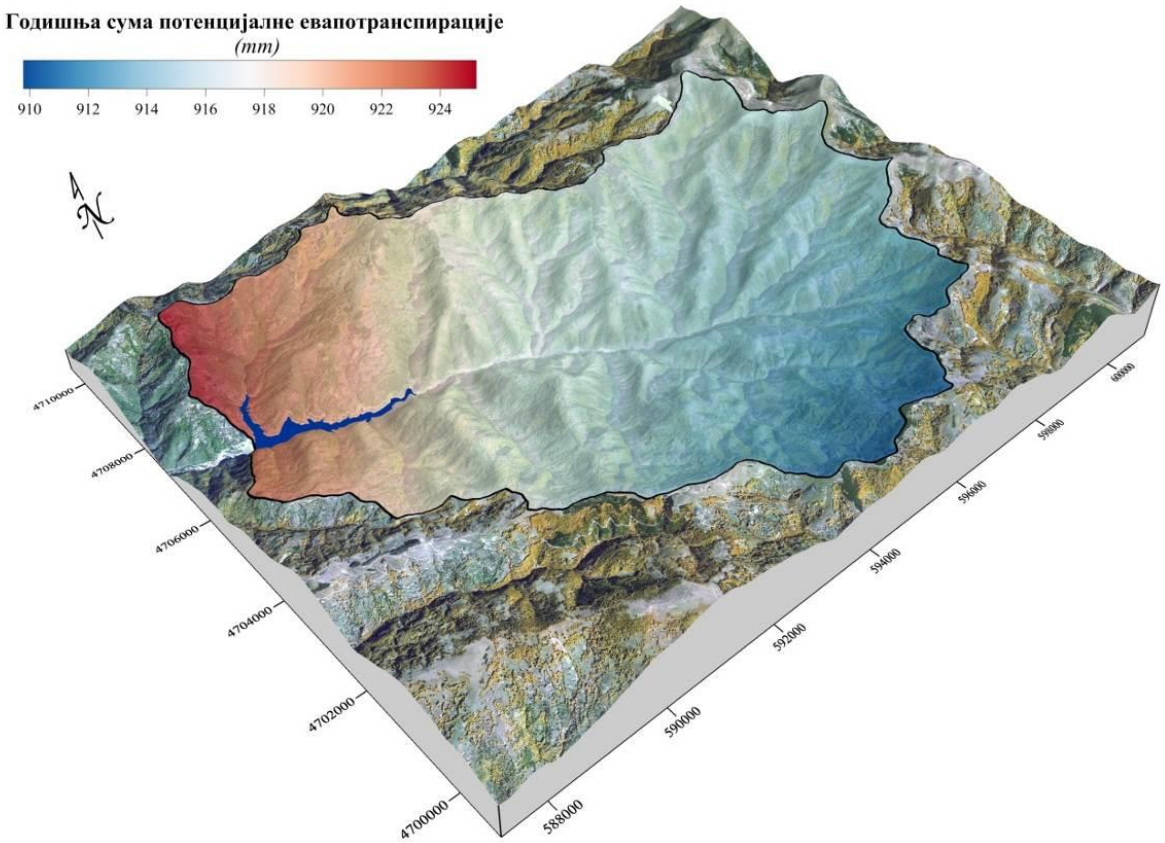
Слојеви просечних месечних количина падавина и средњих месечних бројева дана, су генерисани за свих 12 месеци коришћењем интегрисане гама функције за приказ месечно дистрибутивних фреквенција. Просечни месечни минимум и максимум температура прате исти тренд (mtmean_). Минималне и максималне температуре су коришћење за израчунавање средњег месечног температурног опсега (mtrange), при чему је уочена јасна зависност са надморском висином. Међутим, ово не изненађује јер минималне и максималне температуре опадају са надморском висином на сличан начин. Годишњи ток коефицијента варијације месечних падавина по дану (cvrf2_) је неуравнотежен, али је уочљиво да је нижи у зимским месецима а већи у летњим (слика 42). Годишњи CV падавина варира између 1,18 и 1,7, а годишњи просек је 1,4. Kirkby и Cox (1995) су израчунали годишњи просек од 1,27 са три метеоролошке станице из

Енглеске, Француске и Кеније. Станице показују средњу годишњу количину падавина од 634-1034 mm на основу којих можемо закључити да се CV вредности добијене у сливу Првонек могу сматрати реалним.



Слика 42. Коефицијент варијације месечних падавина по дану

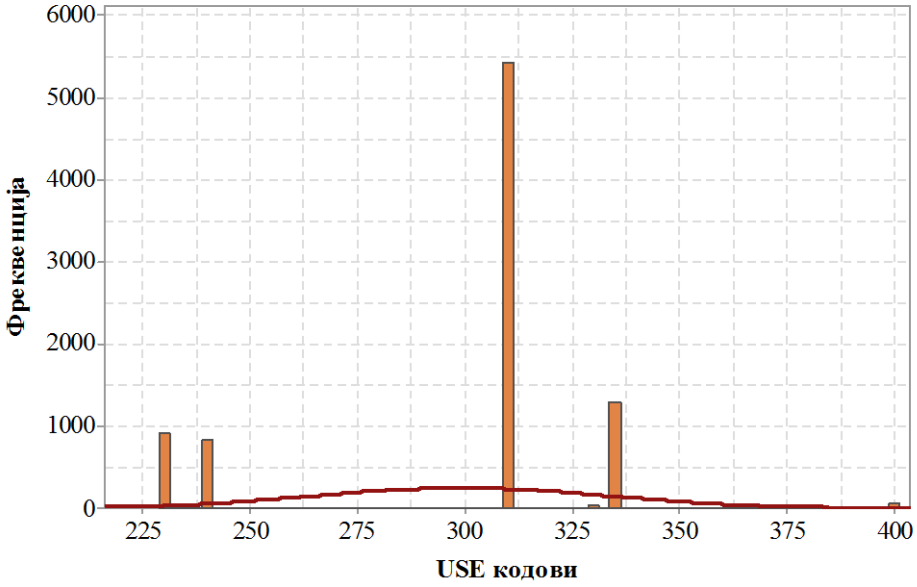
Месечна потенцијална евапотранспирација (meanpet30_) је обрачуната коришћењем *Hargreaves*-ове једначине. Температура ваздуха опада са висином док се релативна влажност повећава, што се одсликава и на потенцијалну евапотранспирацију која такође на вишим надморским висинама опада (слика 43). Међутим, потенцијална евапотранспирација и температура ваздуха нису утицајни на финални слој интензитета ерозије, јер се користе само за модул раста вегетације у PESERA моделу.



Слика 43. Потенцијална евапотранспирација (meanpet30_)

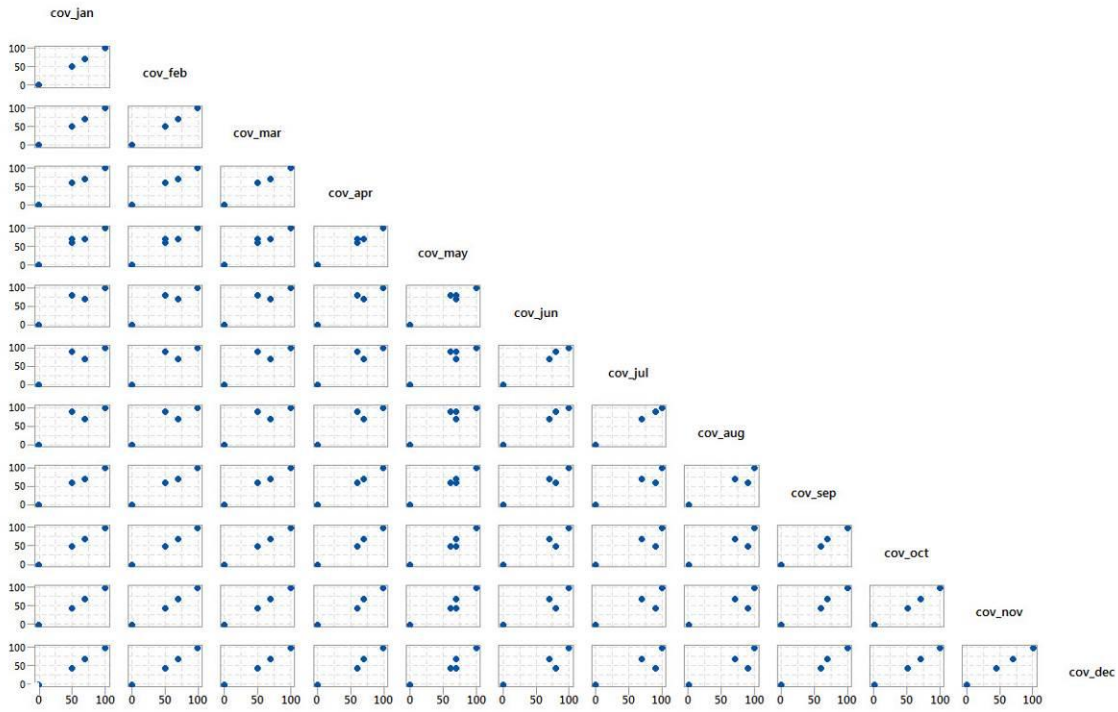
5.2.2. Подаци о вегетационом покривачу

У овој докторској дисертацији коришћени су сателитски снимци Landsat 8 мисије јер су поузданији и тачнији од CORINE слојева, који не идентификују површине мање од неколико хектара. Након класификације извршено је рангирање тематских слојева према вредностима из литературе. У већини подлога сезонска динамика је чинила оквир у класификацији. PESERA модел се може покренути користећи податке земљишног покривача и симулирајући раст усева. Можда и најзначајнији вегетацијски фактор код PESERA модела је фактор начина коришћења земљишта (use) (слика 44). Најзаступљеније су шуме са кодом 334, следе деградиране површине (334), пашњаци и ливаде (231) и др.



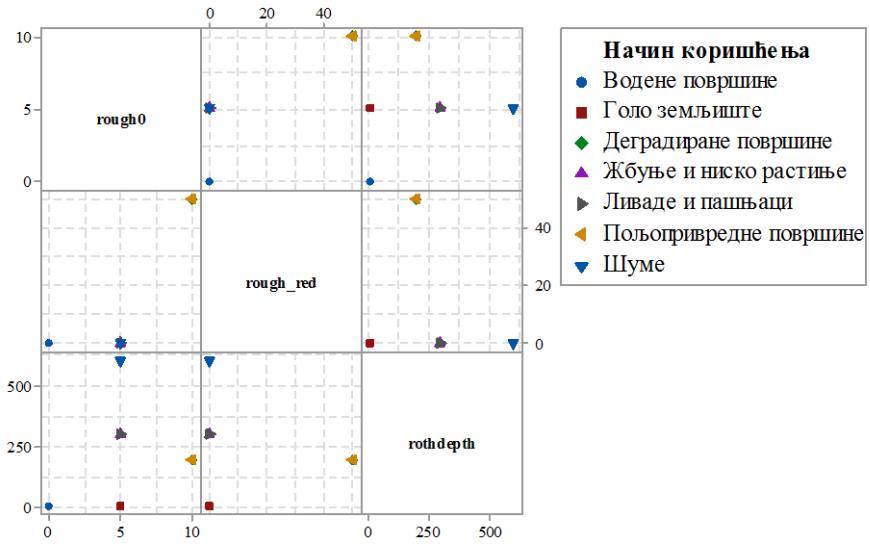
Слика 44. Начин коришћења земљишта (use)

Иницијални слој начина коришћења земљишта представља проценат вегетационог покривача који може да варира од 0 до 100 %, чиме омогућава тестирање утицаја вегетационог покривача на интензитет ерозије. На основу препорука који су дали Brian и Costas (2003) генерисано је свих 12 потребних слојева. У сливу акумулације Првонек проценат cov_ слојева варира од месеца до месеца (слика 45). Просечно највеће вредности су у мају (71,35 %), јуну (75 %) и августу (77,5 %), док су најниже вредности у децембру (43 %) и јануару (41 %).



Слика 45. Иницијални слој начина коришћења слива Првонек (cov_)

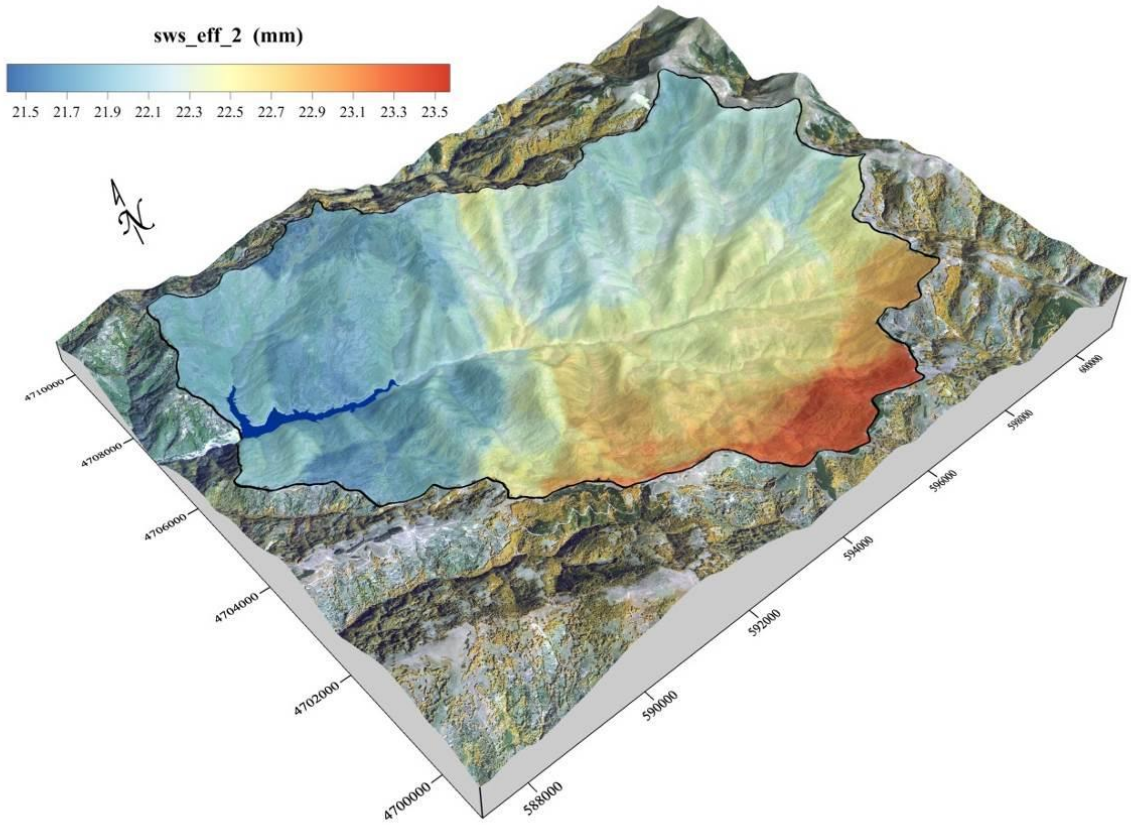
Вредности слоја дубине кореновог система у земљишту (rootdepth), редукција (смањење) површинске неуједначености (rough_red) и површинске неуједначености (rough0) су дефинисани (слика 46) према препорукама који су дали Brian и Costas (2003). Вредности слоја rootdepth се крећу од 10 до 600 mm (прилог: слика 2), rough_red од 0 до 50 % (прилог: слика 3) и rough0 од 0 до 10 mm (прилог: слика 4).



Слика 46. Слојеви rough0, rough_red и rootdepth

5.2.3. Параметри особина земљишта

Осетљивост на еродибилност и стварање покорице земљишта (crusting) је процењена према Le Bissonnais et al. 2005 и Antoni et al. 2006. У наведеним радовима коришћена је европска база података о земљишту и поједностављена FAO (1976) класификација текстурних класа земљишта. Овим приступом се делимично изгубило на квалитету резултата, али обзиром да је у сливу акумулације Првонек механички састав хомогеног карактера, резултати анализе ова два слоја се могу сматрати реалним. У сливу је најзаступљенија песковита-иловача (поглавље 3.5.2.) која покрива већи део слива. Земљишта са садржајем глине између 9-30 % су најеродибилнија (Morgan, 2005). Удео фракције песка у сливу је већи док је садржај глине мањи, што је резултирало да земљишта припадну IV класи еродибилности и crusting слојева. Слој sws_eff_2 симулира расположивост капацитета воде у површинском хоризонту земљишта (0-30 cm). Детаљи обрачуна овог слоја су дати у радовима и техничким упутствима Gobin et al. (2001, 2003 2004 и 2008). Вредности параметера су изражени у mm, и у сливу акумулације Првонек се крећу у опсегу од 21,39 до 23,57 mm, са просечном вредношћу од 22,25 mm. Слика 47 илуструје sws_eff_2 слој пре покретања PESERA модела. Добијене процене могу бити знатно побољшане када се користе директно измерене вредности задржавања воде у земљишту.

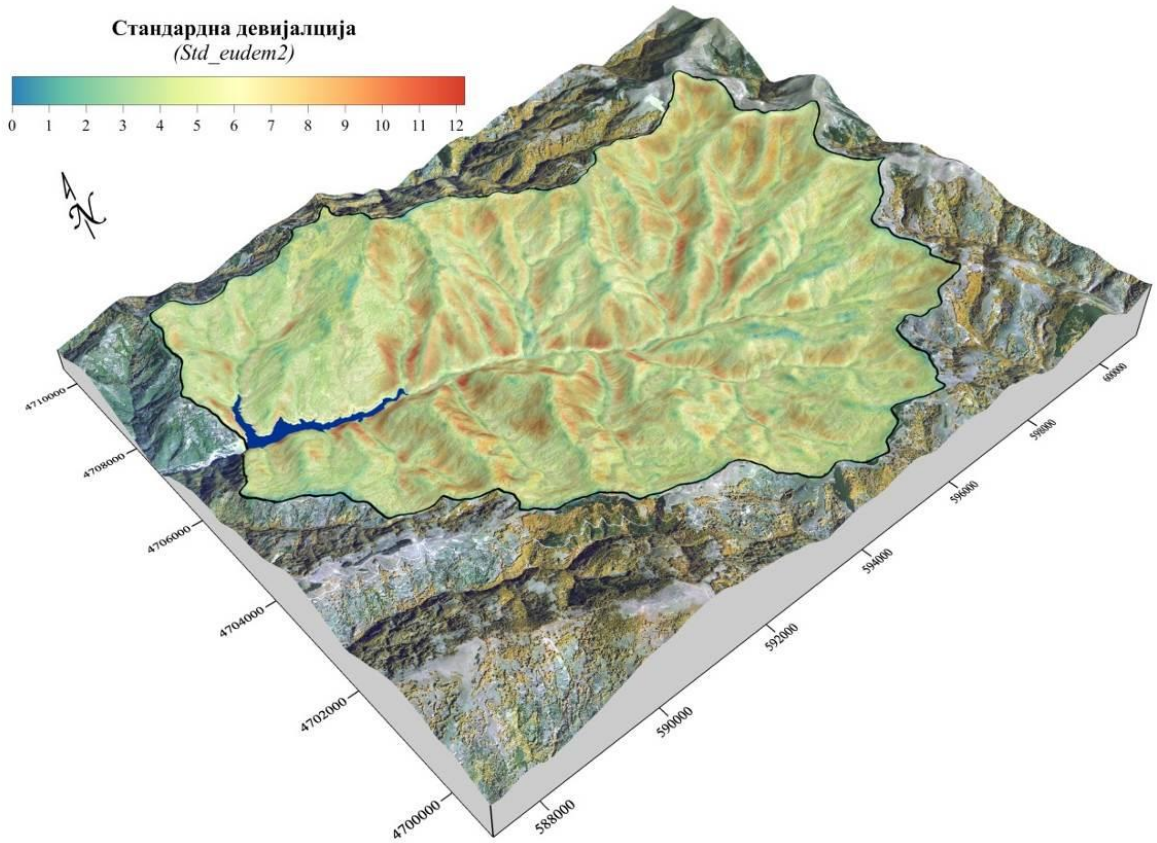


Слика 47. Слој sws_eff_2

5.2.4. Топографски подаци

Стандардна девијација представља једини улазни параметар везан за топографију терена у PESERA моделу. Апсолутне грешке које се јављају нису од значаја јер се претпоставља да се правац грешке (+/-) не мења на кратким растојањима, односно да су релативне грешке између пиксела мање од апсолутних (Klose, 2009). Стандардна девијација генерисана из ДЕМ-а слива акумулације Првонек, у радијусу од 3 km око сваког пиксела, се креће у опсегу од 0 до 12,44 са просечном вредношћу 6 (слика 48). Претходна истраживања указују да ће стандардна девијација генерално бити већа када се оцењује преко већег блока (мрежа) (Mantel et al. 2014). Иста група аутора закључује да су разлике између резолуција од 1 и 10 километара стандардне девијације генерисане из ДЕМ-а безначајне на резултат интензитета ерозије. Из претходно наведеног текста, може се закључити, да се резултати драстично не мењају ако је модел покренут на нешто „грубљим“ резолуцијама std_eudem2, под условом да су сви остали подаци модела у „финијој“ резолуцији. Припремљен и примењен ДЕМ је најбољи извор

података који је у досадашњим истраживањима био на располагању на проучаваном подручју.

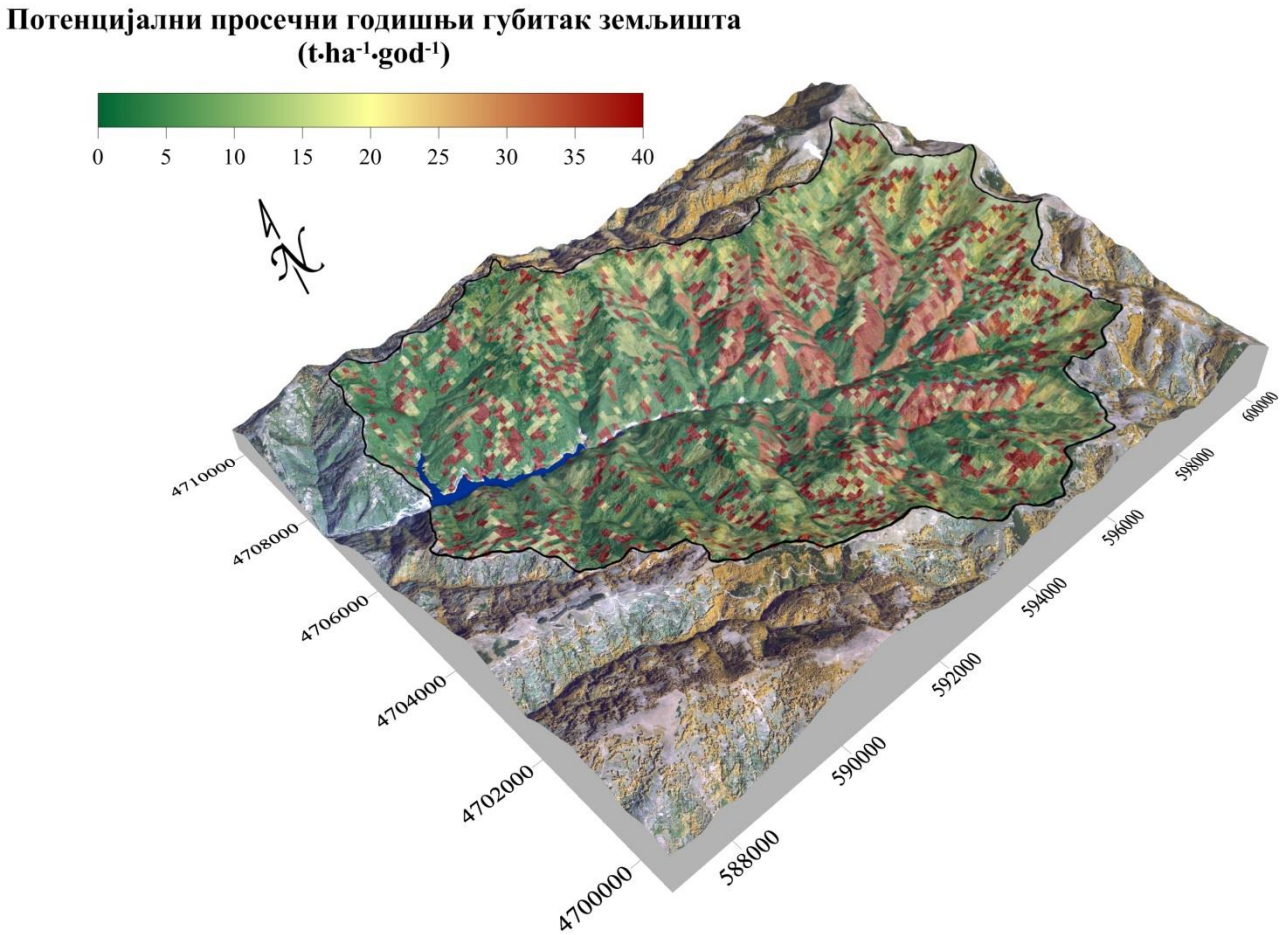


Слика 48. Топографски слој (std_eudem2)

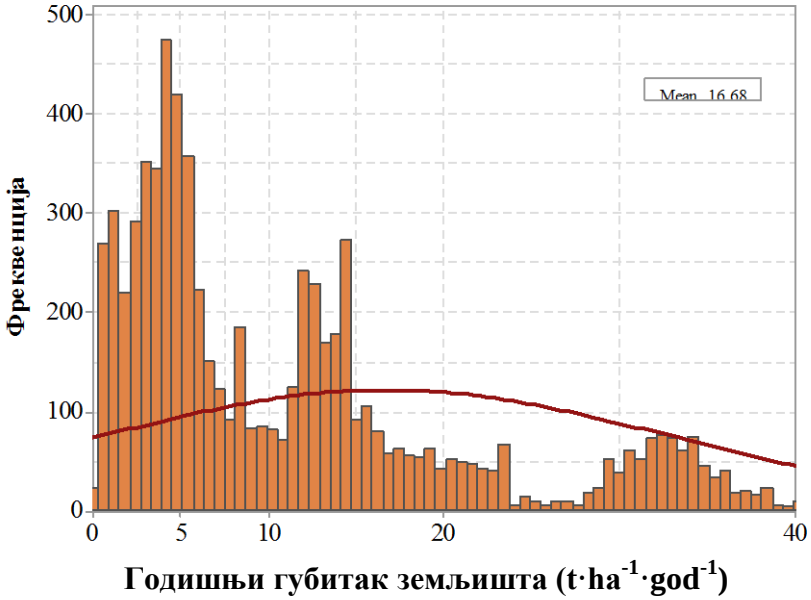
5.2.5. Средњи годишњи губитак земљишта

Годишњи губитак земљишта под утицајем ерозије на подручју слива акумулације Првонек применом PESERA модела , варира у опсегу од 0 до 147,61 $t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$ (слика 49), са средњом вредношћу од 16,68 $t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$ (слика 50) што овај слив сврстава у групу **умерено угрожених** од ерозионих процеса. У табели 30 су приказани резултати годишње ерозије који указују да 16 % територије слива није угрожено ерозијом, односно 1375,03 хектара. Земљиште је слабо угрожено ерозијом на 33,72 % тј. на 2878,25 хектара. Умерена угроженост ерозијом је на површини од 2017,34 хектара, односно на 23,64 %. По класификацији, висока угроженост ерозијом је она код које је интензитет од 20-40 $t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$, а то је површина од 1138,01 хектара или 13,33 % територије слива. Веома висока угроженост земљишта ерозијом је на 1126,36 хектара, односно на 13,20 % територије. Подручја слива са мањим надморским висинама су

идентификована као простори са слабијим интензитетом ерозије, што је у складу са нижим топографским ефектом и ниским интензитетом падавина. Висок и веома висок интензитет ерозије се углавном појављује на свим брдовитим и планинским деловима слива. Нарочито су изражени у пределу Црног врха и Шиљегарника, који се налазе на источном делу слива. Већи интензитет ерозије је у околини села Мусинци и Орница, као и уз Петрогорски поток. Западни део слива се одликује нешто слабијим интензитетом ерозије. На овој страни слива већи интензитет је регистрован у атарима села Јазбине, Дубраве и у потесу Коњи Рид и Горња Махала.



Слика 49. Просторна расподела потенцијалног просечног годишњег губитка земљишта

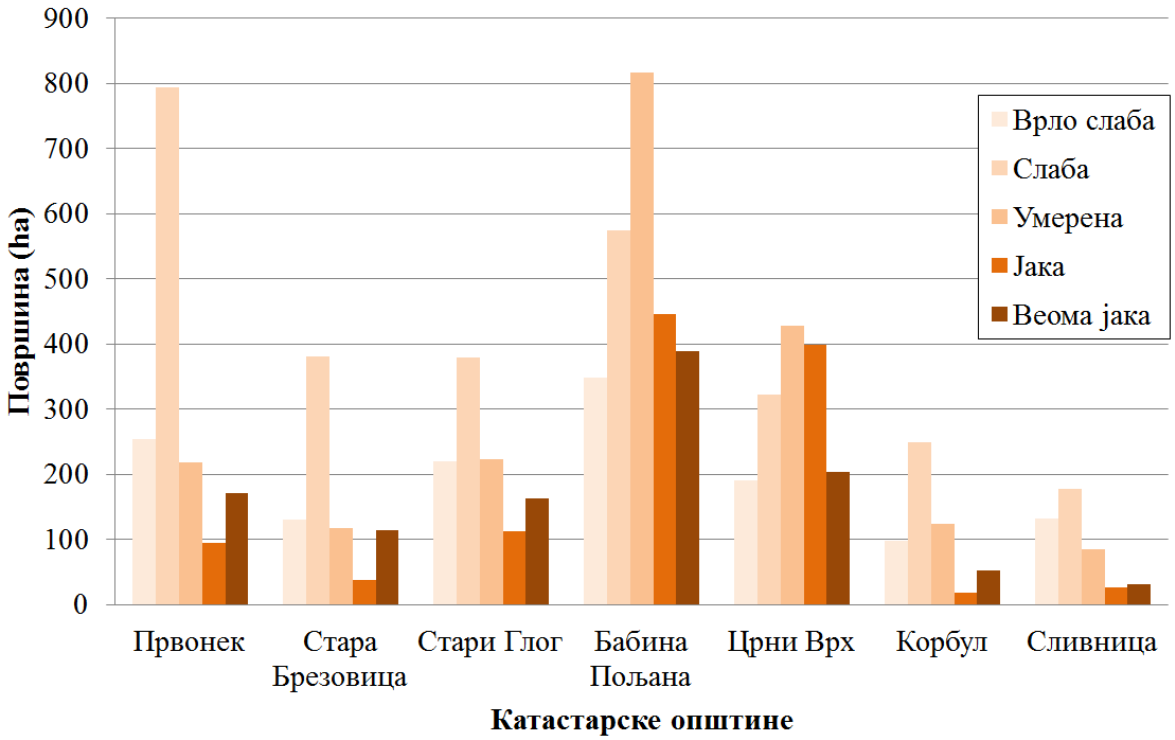


Слика 50. Хистограм дистрибуције годишњег губитка земљишта

Табела 30. Површине под различитим категоријама ерозије земљишта применом PESERA модела

Категорије интензитета ерозије (t·ha^{-1}·god^{-1})	**Површина**		**Просечни интензитет ерозије (t·ha^{-1}·god^{-1})**
	ha	**%**	
Врло слаба (0 – 3)	1375,03	16,11	1,66
Слаба (3 – 10)	2878,25	33,72	5,46
Умерена (10 – 20)	2017,34	23,64	14,06
Висока (20 – 40)	1138,01	13,33	29,73
Веома висока (> 40)	1126,36	13,20	49,16
Укупно	**8535,00**	**100,00**	**16,68**

Најугроженије катастарске општине (слика 51) процесима водне ерозије су: К.О. Бабина Пољана, где је 835,74 хектара, што представља 32,44 % укупне територије под утицајем јаке и веома јаке ерозије, К.О. Црни Врх где је 39,05 % укупне територије, односно 602,88 хектара, угрожено процесима јаке и веома јаке ерозије. Најмањи интензитет ерозије је забележен у катастарској општини Сливница, где је свега 58,91 хектара, што представља 12,95 % територије општине под утицајем веома јаке ерозије.



Слика 51. Распрострањеност категорија интензитета ерозије по К.О.

Добијени растерски слој је експортован у Google Earth апликативни софтвер (прилог: слика 7). На овај начин подаци о интензитету ерозије могу бити презентовани на лако разумљив начин у виду динамичке карте.

PESERA модел је применљив уколико постоји квалитетна база података. Међутим, неопходна је калибрација модела, тако да би од великог значаја били провера модела са стварним губицима земљишта, те би даља истраживања требала да иду у том правцу. Приликом израде ове докторске дисертације је коришћен ограничен број мерних вредности у добијању финалних слојева. Овај процес је захтевао интерполационе технике и подразумева се да тим поступцима може доћи до непоузданости у добијеним вредностима PESERA слојева. Такође, мала несигурност се јавља приликом одређивања вегетационог покривача на месечном нивоу, јер се тај поступак заснивао на препорукама аутора модела.

У оквиру реализације пројекта DESIRE (*Desertification Mitigation and Remediation of Land*) било је у плану да се изврши калибрација и валидације PESERA модела. Ово поређење би требало да послужи као основа индикација у ком правцу треба посветити додатну пажњу ка побољшању модела.

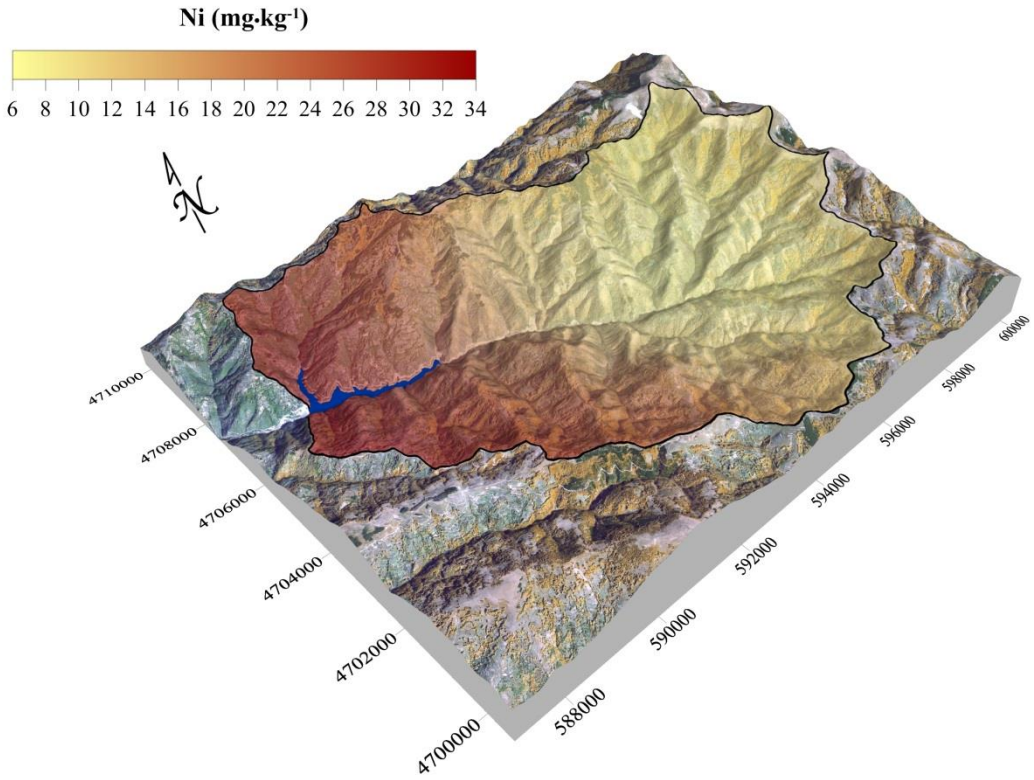
На основу претходног може се закључити да је више процесни приступ PESERA модела, са разноврсним улазним параметрима израженим углавном кроз месечне временске скале, резултирао задовољавајућом применом на сливу акумулације Првонек. Наравно, постоји потреба за даљим развојем наведене методологије, кроз примену и тестирање модела у различитим екосистемима Републике Србије, као и поједностављења у припреми улазних слојева и покретању модела.

5.3. Транспорт неких микроелемената са наносом услед ерозионог процеса применом WaTEM/SEDEM модела

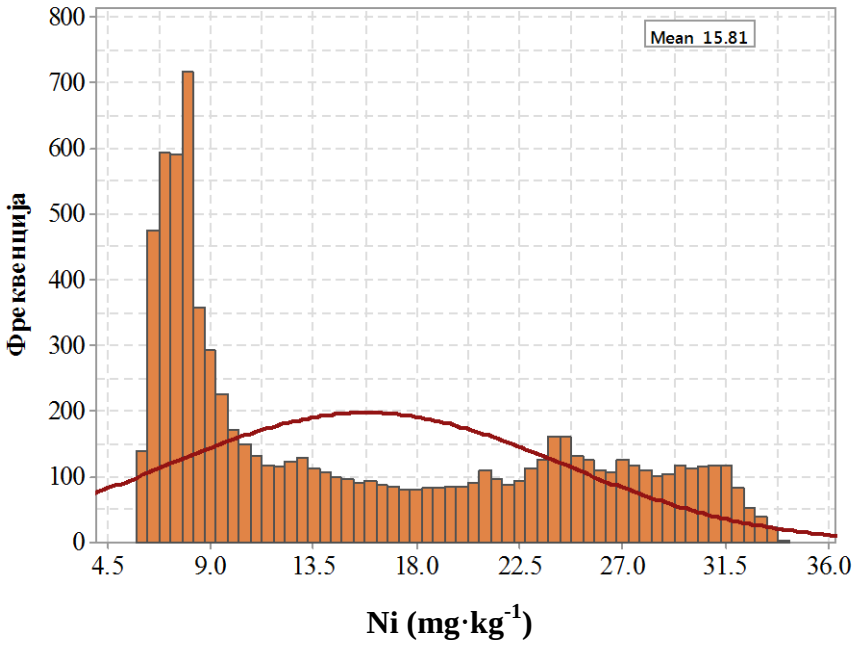
5.3.1. Садржај микроелемената (тешки метали)

Тешки метали су присутни у траговима у антропогено незагађеним земљиштима, као резултат распадања матичног супстрата (Белановић et al. 2004). Нормалне концентрације једног или више елемената, под утицајем антропогеног фактора и даљинског транспорта полутаната, могу се значајно повећати (Кадовић и Кнежевић, 2002). Бројни резултати истраживања, такође, показују да су површински слојеви земљишта изложени како локалним, тако и регионалним (трансграничним) загађењима (Кадовић, 2005). У овој докторској дисертације је анализиран укупан садржај Ni, Pb и Cu у површинском хоризонту према Правилнику о дозвољеном садржају опасних и штетних материја у земљиштима Србије (МДК) (Службени гласник РС бр.23/94) и Уредбе о програму системског праћења квалитета земљишта, индикаторима за оцену ризика од деградације земљишта и методологији за израду ремедијационих програма (Службени гласник РС бр.23/94, бр. 88/2010).

Просторна распрострањеност никла јасно указује на његову повезаност са геолошком подлогом, обзиром да је на западном делу слива већи садржај овог микроелемента у односу на источни део слива. Наведени однос је очекиван обзиром да је западни део слива формиран на шкриљцима, док је источни део слива формиран на граниту. Овако јасан геолошки утицај елиминише све остале факторе који би могли да утичу на његову концентрацију. Укупан садржај никла на комплетној површини (слике 52 и 53) слива не прелази максимално дозвољене концентрације (50 $mg \cdot kg^{-1}$). Међутим, применом једначина за израчунавање граничних и ремидијационих вредности, утврђено је да на 1876,32 хектара, тј. на 21,98 % укупне територије, вредности никла прелазе граничне вредности.



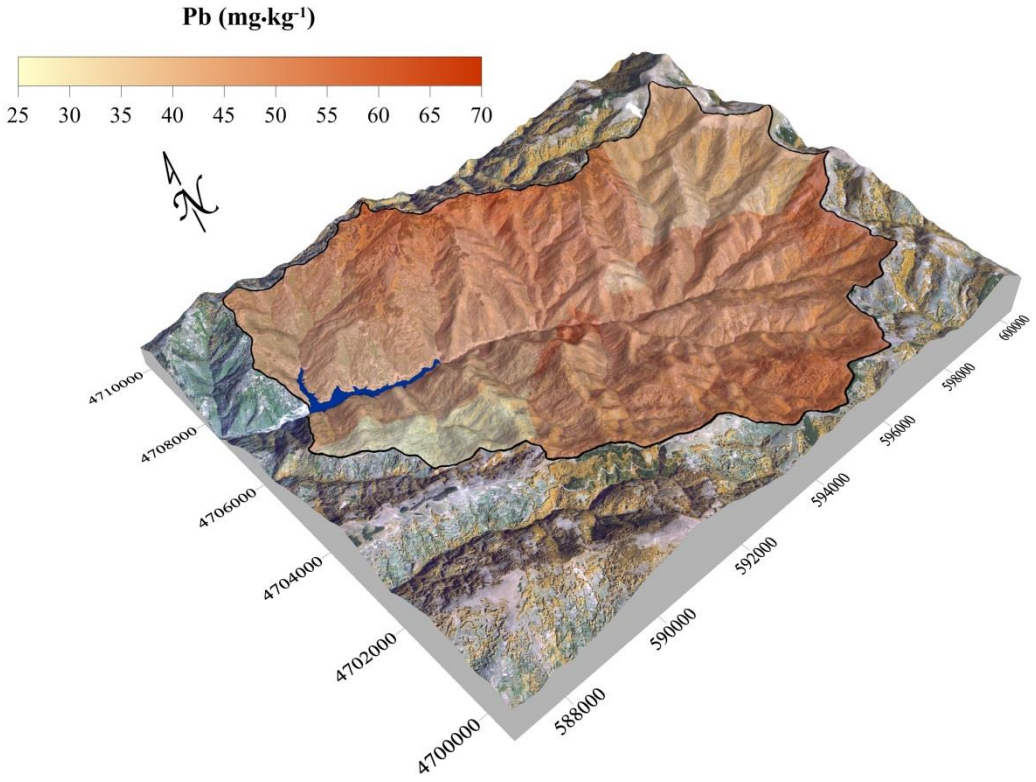
Карта 52. Садржај Ni на проучаваном подручју



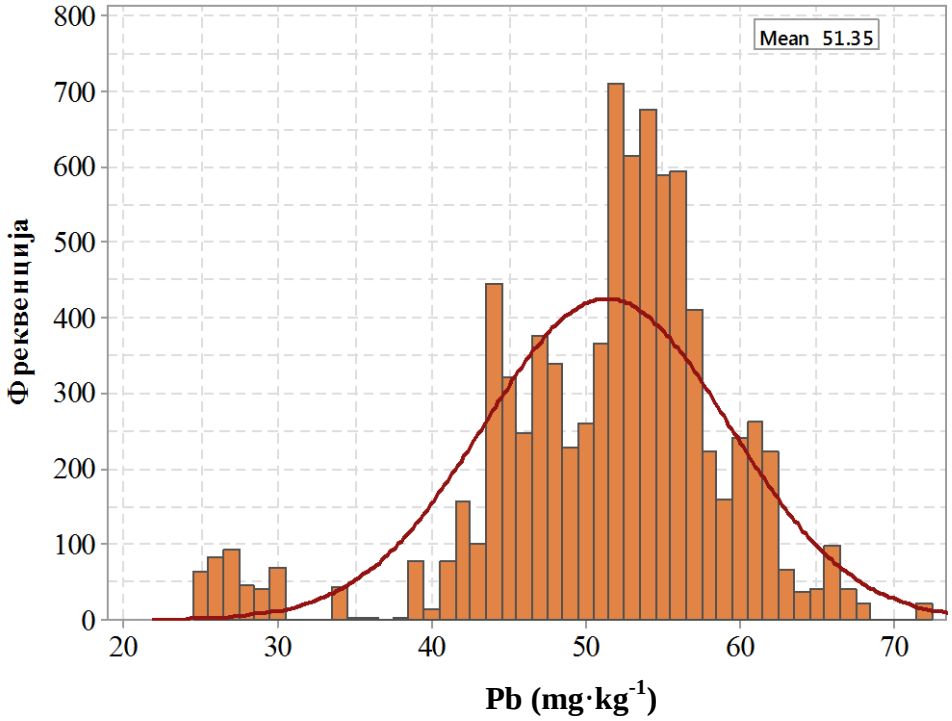
Слика 53. Хистограм дистрибуције садржаја Ni

Олово се врло јако везује за органску материју (Кадовић и Кнежевић, 2002), тако да се често у земљишном хоризонту накупља у горњем акумулационом хоризонту услед

трулења вегетације, што не мора бити повезано са антропогеним изворима (Friedland et al. 1992, Kabata-Pendias, 2001). Захваљујући томе често долази до миграције олова по површини земљишта услед деловање процеса ерозије, што се пресликава на његов неправилни просторни распоред на подручју слива. Као потврда ове тврдње утврђена је регресија између свих интерполираних вредности органске материје и олова, где је добијена регресија од 0,73 (прилог: слика 8). Такође, олово се јавља у вулканским стенама, првенствено у гранитима који су веома заступљени на сливу и његова концентрација се повећава са садржајем силиката (Антоновић, 2008). Садржај укупног олова у земљиштима проучаваног подручја (слике 54 и 55) се налази испод максимално дозвољене концентрације која је 100 $mg \cdot kg^{-1}$ и највећи број узорака има вредности које су око 50 $mg \cdot kg^{-1}$. Количина олова у земљиштима изнад граничног нивоа је установљена на 21,17 хектара, односно, на 0,25 % територије слива.

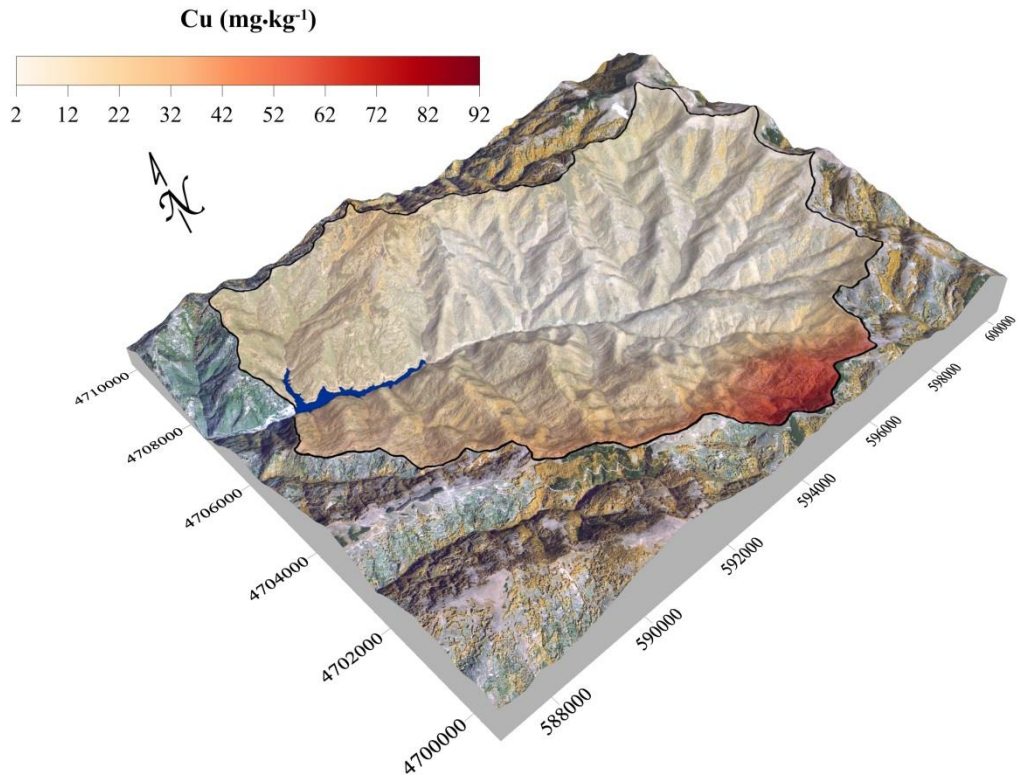


Карта 54. Садржај Pb на проучаваном подручју

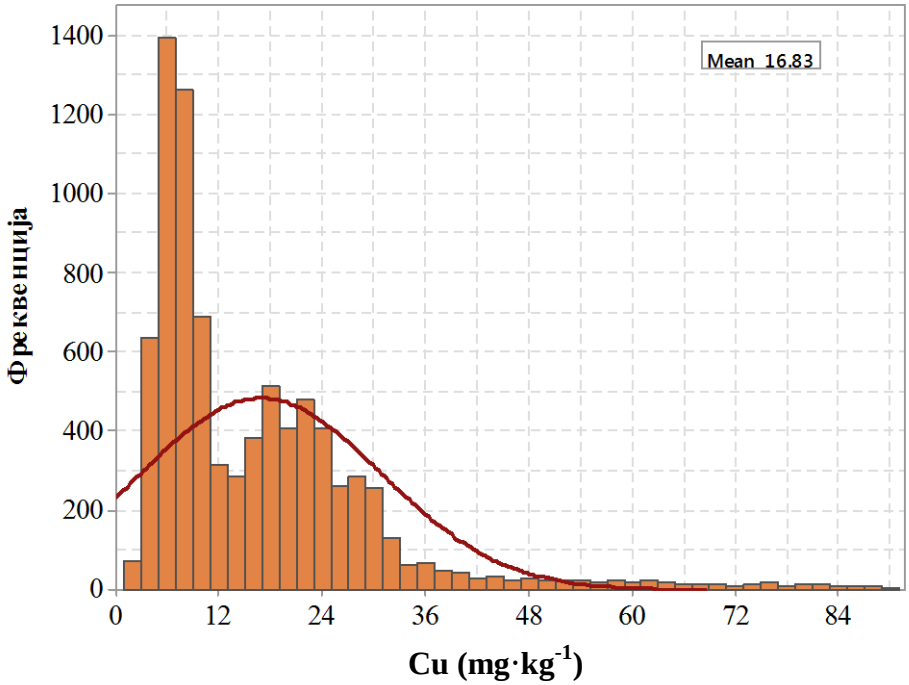


Слика 55. Хистограм дистрибуција садржаја Pb

Бакар се сматра једним од најмобилнијих метала у процесима генезе земљишта. Везује се са неорганским једињењима за Fe и Mn оксиде, аморфна једињења, Fe и Al хидроксиде и минерале глине (Kabata-Pendias, 2001). Бакар са органском материјом ствара хелате, најчешћа једињења у земљишним растворима. Присутни бакар се углавном везује за хуминске и фулво киселине, при чему је маса фулво киселина одговорна за његово премештање по земљишном профилу, што доводи до повећања његовог садржаја са дубином. Садржај укупног бакра у земљиштима проучаваног подручја (слике 56 и 57) се налази испод максимално дозвољене концентрације и највећи број узорака има вредности око 17 $mg \cdot kg^{-1}$. Међутим, применом једначина за граничне и ремидијационе вредности, које су срачунате не само на основу садржаја микроелемената у земљишту, већ и на основу садржаја органске материје и гранулометријског састава, утврђено је да 1492,90 хектара тј. 17,49 % територије слива припада земљиштима у којима је установљен садржај бакра изнад нивоа граничних вредности.



Карта 56. Садржај Cu на проучаваном подручју

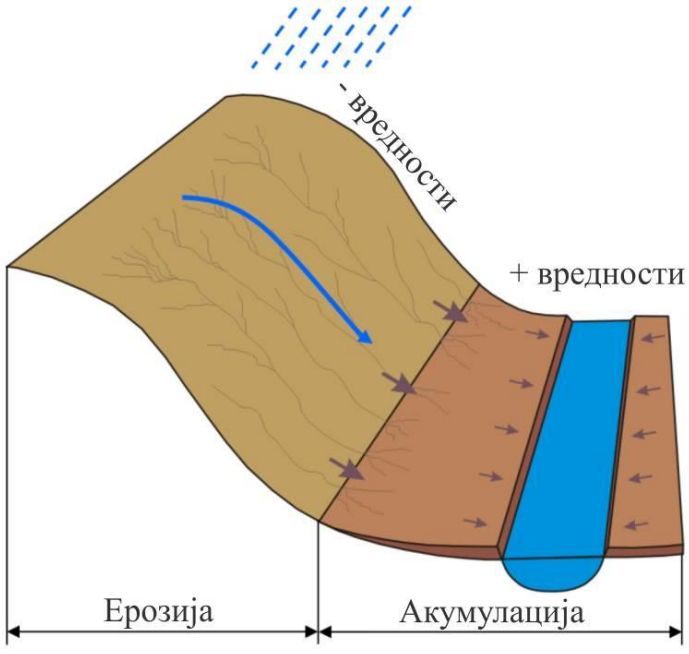


Слика 57. Хистограм дистрибуција садржаја Cu

5.3.2. Примена WaTEM/SEDEM модела

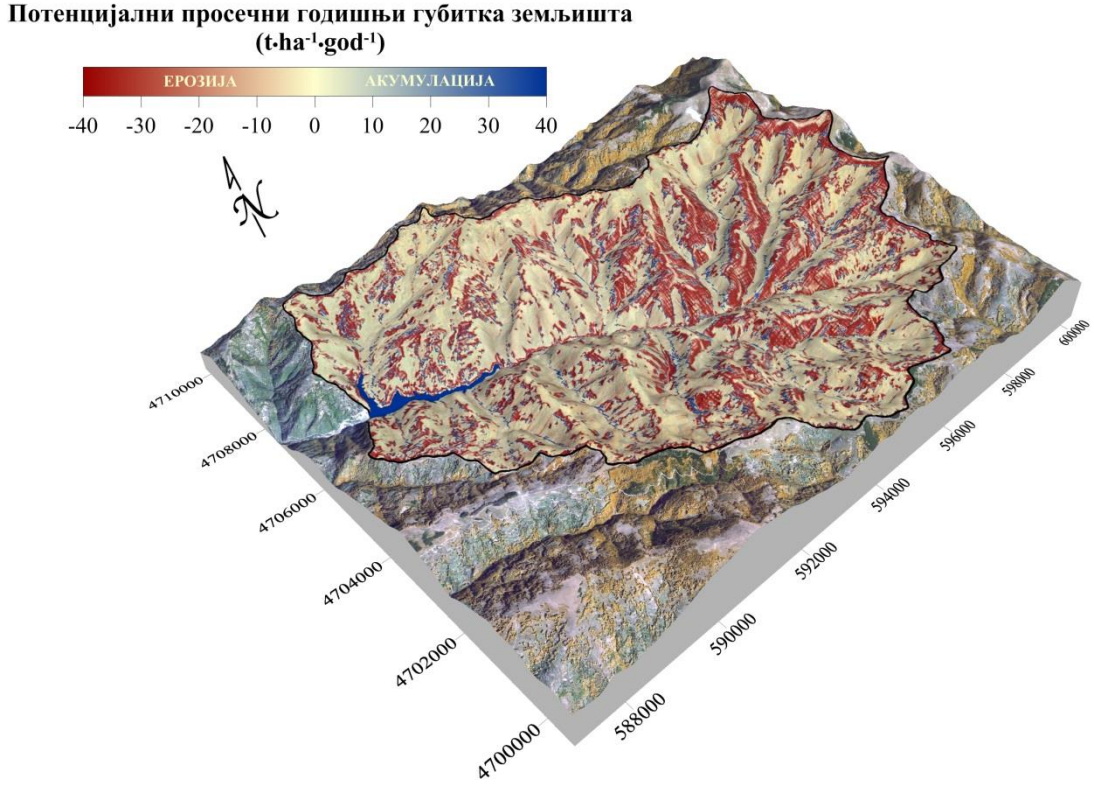
Основна предност просторно дистрибутивних модела, као што је WaTEM/SEDEM, јесте да служе као средство за доношење одлука и спровођење мера за заштиту од ерозије земљишта. Наравно, комплетан потенцијал оваквих модела се једино може постићи ако постоји довољно квалитетних улазних података. Сви улазни растерски слојеви у моделу су георефернцирани у WGS 1984 Zone 34 N координатном систему, просторне резолуције 30 · 30 метара.

Карта ерозије и акумулације земљишта садржи негативне (ерозија) и позитивне (акумулација) вредности (слика 58). Програм сем визуелног приказује резултате и у текстуалном облику који се генеришу након прорачуна у изворној датотеци програма. Неки од текстуалних фајлова су: *Pitdata.txt, Pond Sediment Deposition.txt, Ponddata.txt* и *projectriversediment.txt*. Модел ствара излазне карте у растерском формату *Idrisi32.rst*, чија резолуција одговара резолуцији улазних слојева. Обзиром да су као излазне јединице изабрани $t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$, програм генерише следеће слојеве: *pit.rst, pondnr.rst, uparea.rst, ls.rs, inflowton.rst, outflowton.rst* и *netto water erosionin ton per ha.rst*. Детаљнији преглед слојева са транспортом микролемената се може видети у посебном текстуалном фајлу, односно у *metalen.txt* датотеци. Добијене карте микроелемената су изражени у $kg \cdot m^{-2}$ и такође садрже негативне и позитивне вредности које указују на еродирани или акумулирани део слива.

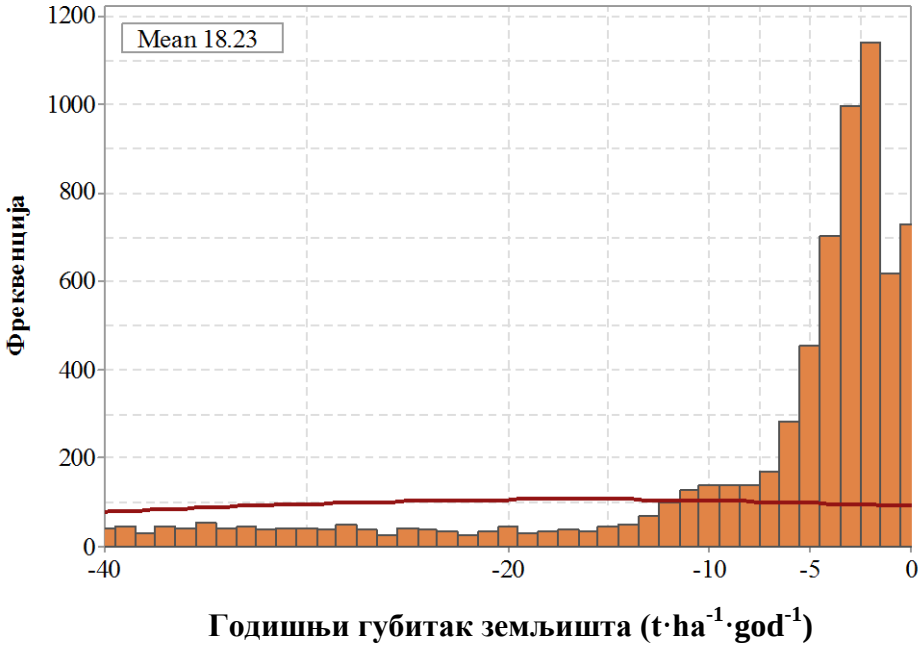


Слика 58. Ерозија и акумулација применом WaTEM/SEDEM модела

Губитак земљишта под утицајем ерозије на подручју слива акумулације Првонек применом WaTEM/SEDEM модела је приказан на слици 59 и просечно износи 18,23 $t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$ (слика 60: хистограм је неправилног облика због издвајања у прорачуну само негативних вредности), што овај слив сврстава у групу **умерено угрожених** од ерозионих процеса. Наведени резултат је очекиван, обзиром да се WaTEM/SEDEM модел у свом прорачуну прилично ослања на USLE модел.



Слика 59. Просторна расподела потенцијалног просечног годишњег губитка земљишта



Слика 60. Хистограм дистрибуције годишњег губитка земљишта

Карте са интензитетом ерозије земљишта и укупним садржајем микроелемената су основне компоненте од којих ће зависити транспорт или таложење испитиваних микроелемената. Капацитет земљишта за везивање микроелемената је врло значајан чинилац (Leivuori et al. 2000). Уколико земљиште има слабији капацитет везивања за било који метал, онда ће имати већи ризик ка транспорту, него код земљишта са јаким капацитетом везивања (SEPA, 2006). Раније је постојао општи став да су микроелементи чврсто везани за земљиште и да је њихов транспорт изузетно спор, међутим, досадашња истраживања показују да се могу лако транспортовати (Boekhold, 1992). Код акумулација, као што је Првонек, предвиђених за водоснабдевање становништва или за неке друге потребе, поред смањења корисне запремине воде, засипање наносом има и хемијске и биолошке ефекте. Приликом спирања земљишта, водним токовима у акумулацију се уносе различити хемијски елементи (Костадинов, 2008).

Количина метала и форми (облик) везивања у којој ће се наћи у наносу зависи од врсте метала и особина седимента (минеролошки састав, садржај органских материја, величина честица и укупних адсорптивних површина, редокс потенцијал, pH, температура итд.) (Крчмар, 2010). Када метали доспеју у акватични систем везују се за суспендоване материје у воденом стубу које се путем седиментације акумулирају и таложе (Kelderman и Osman, 2007). Укупна концентрација метала често није довољна

да дефинише приступачност седимента, јер различити седименти показују различит степен токсичности за исти укупни садржај метала, у зависности од облика везивања метала у наносу (Pertsemli и Voutsa, 2007).

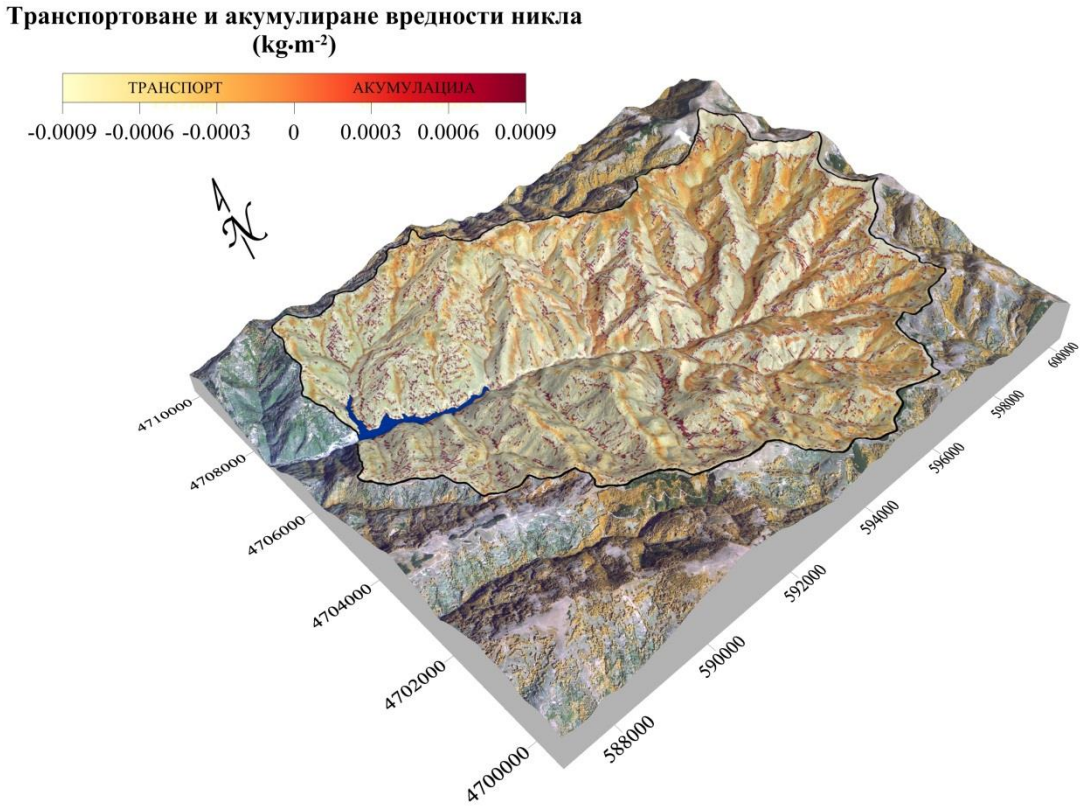
Основни циљ у погледу процене опасности и ризика од појаве метала у седименту је одређивање количине метала која је потенцијално биодоступна. Биодоступност метала из наноса је у функцији дистрибуције метала између растворене и чврсте фазе, са раствореним металима у капиларној води који се генерално сматрају биодоступном фракцијом (Крчмар, 2010). Да би се добили подаци о укупном, доступном и потенцијално доступном садржају микроелемената, а тиме и о мобилности, биолошкој и физичко-хемијској доступности, али и о могућем пореклу тешких метала у седименту, често се користи метод секвенцијалне екстракције (Calmano et al. 1993; Zoumis et al. 2001; Fan et al. 2002; Eggleton и Thomas, 2004; Крчмар, 2010).

Познато је да различити седименти показују различит степен биодоступности за исти укупан садржај метала (Di Toro et al. 1990). Кисели-волатилни сулфид (*acid-volatile sulfide - AVS*) има својства да са неколико металних катјона (Cd, Cu, Hg, Ni, Pb и Zn) гради високо нерастворна једињења, која се сматрају бионедоступним, због чега представља једну од најважнијих хемијских компонената која контролише активност и доступност метала у капиларној води (Крчмар, 2010).

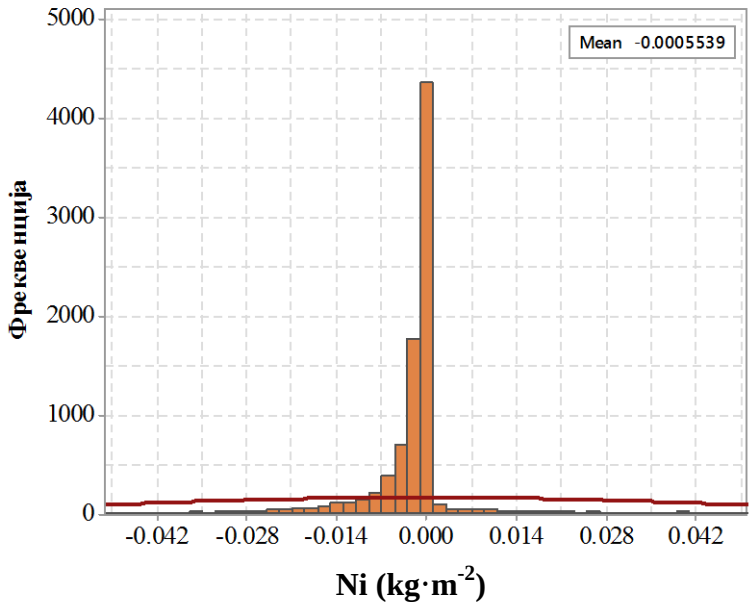
Просторна расподела транспортованих и акумулираних вредности никла изражених у $kg \cdot m^{-2}$ је приказана на слици 61. Просечано на подручју слива се премешта 0,00055 $kg \cdot m^{-2}$, односно 0,55 $g \cdot m^{-2}$ никла (слика 62), док на годишњем нивоу садржај овог микроелемента износи 46942,5 kg тј. 46,94 тона. Просечна површинска миграција никла износи 3,01 $mg \cdot kg^{-1}$. Садржај никла у седиментним наносима у неким деловима Републике Србије износи: Смедерево 46,8 $mg \cdot kg^{-1}$, Рам 116,4 $mg \cdot kg^{-1}$, Велико Градиште 99,9 $mg \cdot kg^{-1}$, Доњи Милановац 69,9 $mg \cdot kg^{-1}$, Текија 74,5 $mg \cdot kg^{-1}$, Кладово 59,2 $mg \cdot kg^{-1}$ и Радујевац 23,7 $mg \cdot kg^{-1}$ (Milenkovic et al. 2005). Компарацијом наведених вредности никла и добијене просечне миграције овог микроелемента на нивоу проучаваног слива, може се закључити да су вредности добијене применом WaTEM/SEDEM модела ниже у односу на поменуте садржаје у наносу.

Повезаност никла са геолошком подлогом (више у поглављу 3.5.3.) се пренела и на карту овог микроелемента транспортованог са наносом услед ерозионог процеса.

Приметно је да се на западном делу слива еродира више овог микроелемента у односу на источни део слива где су нижи садржаји овог микроелемента у земљишту.



Слика 61. Просторна расподела транспортованог и акумулираног садржаја никла



Слика 62. Хистограм дистрибуције транспортованог и акумулираног садржаја никла

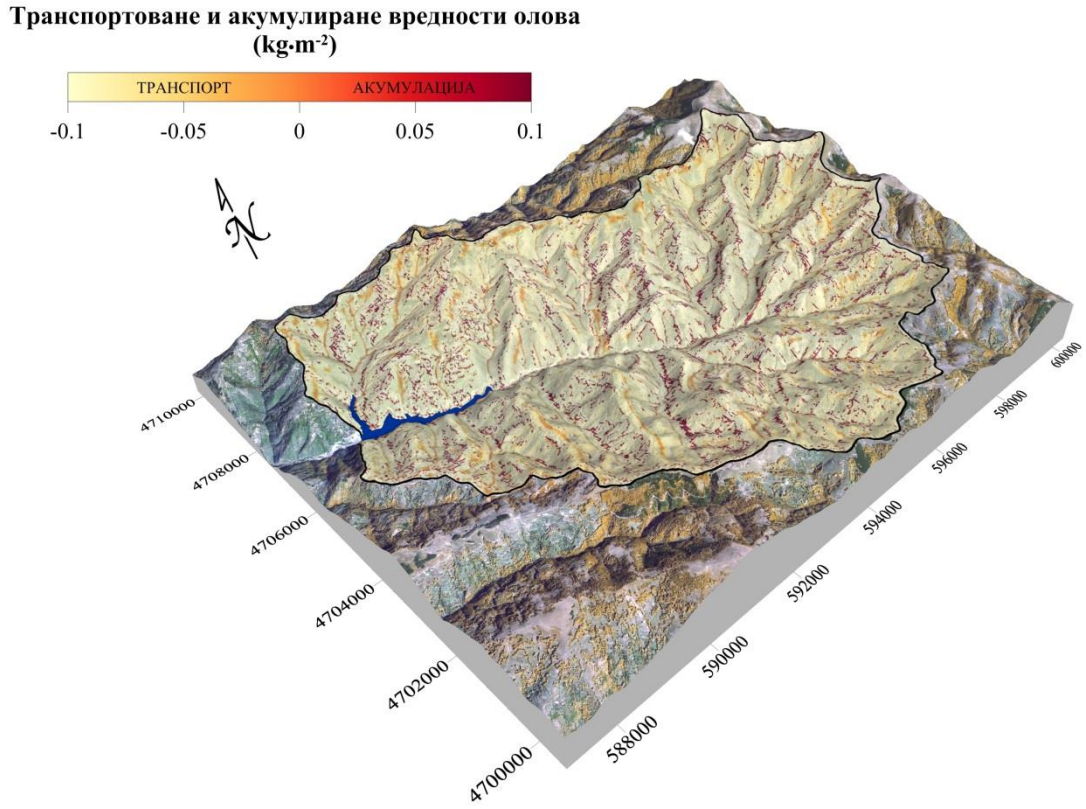
Површине под еродираним и акумулираним садржајем Ni су приказане у табели 31. На значајном делу слива, односно на површини од 8018,4 хектара, што чини 93,9 % територије слива је симулиран еродирани део.

Табела 31. Површине под еродираним и акумулираним садржајем Ni

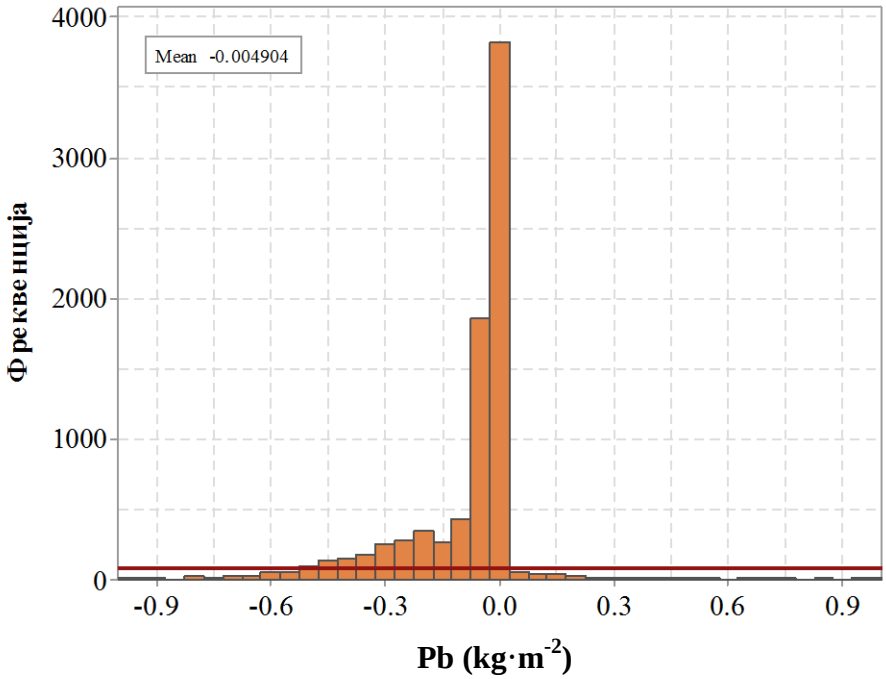
Ni	Површина	
	ha	%
Еродирано	8018,4	93,9
Акумулирано	494	6,1
Укупно	**8535,0**	**100**

Просторна расподела транспортованих и акумулираних вредности олова приказани су на слици 63. Просечно се на подручју слива Првонек премешта 0,0049 $kg \cdot m^{-2}$ тј. 5 $g \cdot m^{-2}$ наведеног микроелемента (слика 64). Укупно се годишње на сливном подручју премешта 418215 kg олова, односно, 418,215 тона, док је његова просечна миграција по површини 27 $mg \cdot kg^{-1}$. Milenkovic et al. 2005 су на подручју Републике Србије испитивали концетрације олова у наносима земљишта, где су добили следеће вредности: Смедерево 19,4 $mg \cdot kg^{-1}$, Рам 40,9 $mg \cdot kg^{-1}$, Велико Градиште 40,9 $mg \cdot kg^{-1}$, Доњи Милановац 25,8 $mg \cdot kg^{-1}$, Текија 43,6 $mg \cdot kg^{-1}$, Кладово 28,0 $mg \cdot kg^{-1}$ и Радујевац 2,85 $mg \cdot kg^{-1}$. Поређењем наведених вредности и просечне миграције олова на сливу, може се закључити да су израчунате транспортоване и акумулиране вредности овог микроелемента у опсегу са поменутим садржајем у наносу.

У поглављу 3.5.3. је констатовано да се олово јако везује за органску материју и да захваљујући томе често долази до миграције олова по површини земљишта услед деловање процеса ерозије. Након примене WaTEM/SEDEM модела на проучаваном сливу наведена констатација је добила још једну потврду. Поређенем карте садржаја органске материје (прилог: слика 5) и карте транспортованог и акумулираног садржаја олова, уочена је велика сличност у њиховој просторној расподели, односно, на деловима слива где је забележен већи садржај органске материје, забележене су и нешто веће дистрибуције транспортованог олова. Такође, органска материја, за метале који имају већу способност према образовању органских комплекса, а нарочито олово, може да делује и у смислу повећања њихове покретљивости, али и као фактор који смањује њихову приступачност (Крчмар, 2010).



Слика 63. Просторна расподела транспортоване и акумулиране вредности олова



Слика 64. Хистограм дистрибуције транспортованог и акумулираног садржаја олова

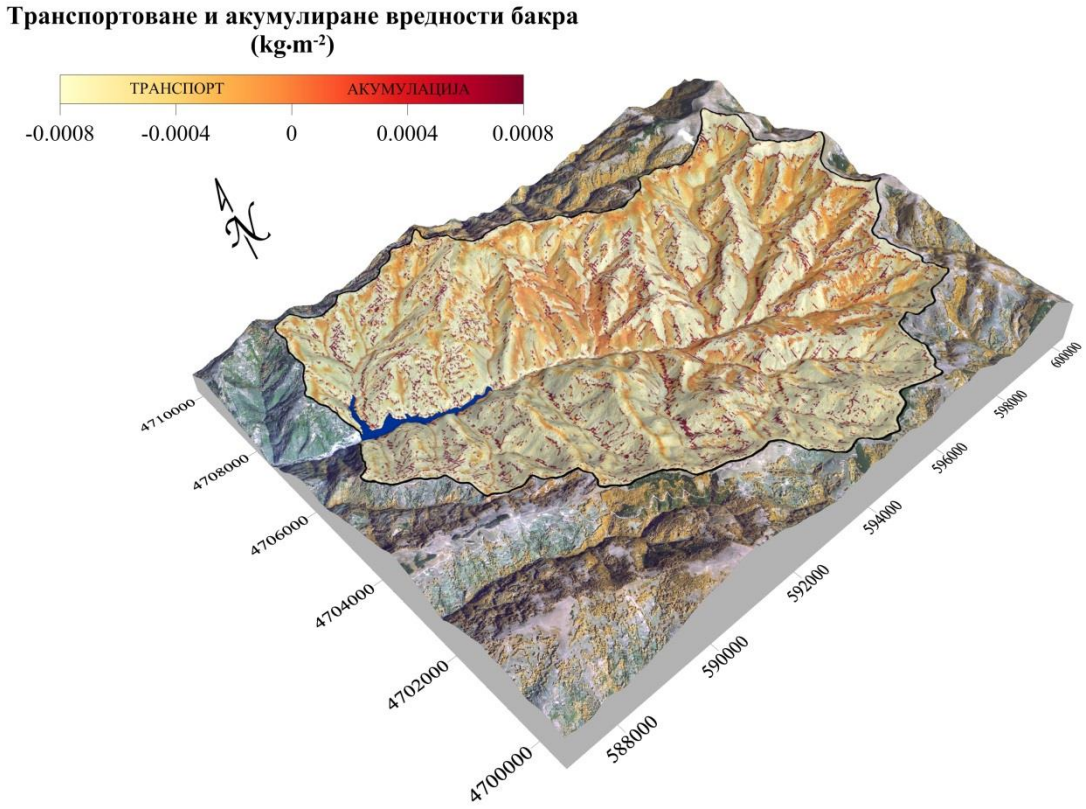
Учешће под еродираним и акумулираним садржајем Pb је приказано у табели 32. Као и у случају Ni значајне површине које чине 8040,6 хектара, представљају део где се еродира садржај олова, док се на 494,4 хектара врши његова акумулација.

Табела 32. Површине под еродираним и акумулираним садржајем Pb

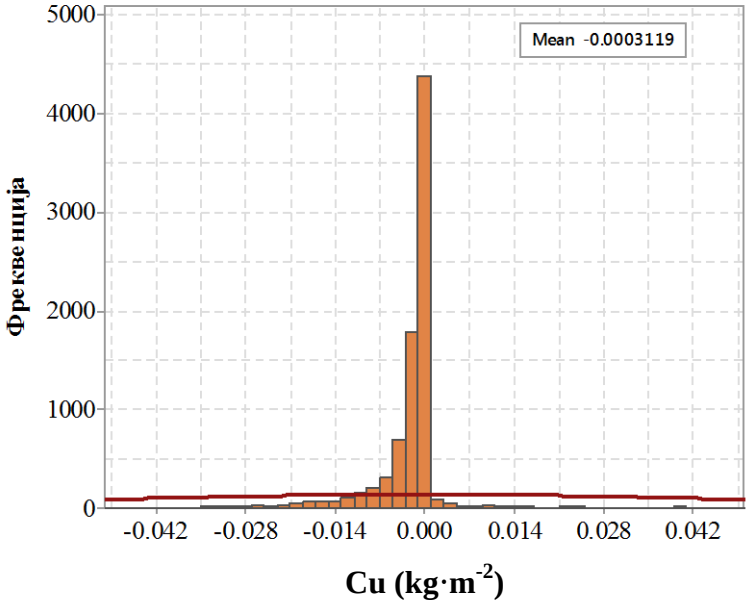
Pb	**Површина**	
	ha	**%**
Еродирани део	8040,6	94,2
Акумулирани део	494,4	5,8
Укупно	**8535,0**	**100**

Расподела транспортованих и акумулираних вредности бакра на проучаваном сливу је приказана на слици 65. Хистограм дистрибуције бакра (слика 66) нам показује да је просечна еродирана вредност овог микроелемента 0,0003 $kg \cdot m^{-2}$, односно, 0,3 $g \cdot m^{-2}$. Годишње се на сливу премешта 25605 kg бакра тј. 25,60 тона, док просечна миграција по површини овог микроелемента износи 1,64 $mg \cdot kg^{-1}$. Вредности бакра у појединим деловима Републике Србије се крећу: Смедерево 23,9 $mg \cdot kg^{-1}$, Рам 36,8 $mg \cdot kg^{-1}$, Велико Градиште 41,0 $mg \cdot kg^{-1}$, Доњи Милановац 45,3 $mg \cdot kg^{-1}$, Текија 57,6 $mg \cdot kg^{-1}$, Кладово 31,6 $mg \cdot kg^{-1}$ и Радујевац 17,8 $mg \cdot kg^{-1}$ (Milenkovic et al. 2005). Поређењем наведених вредности и просечне миграције бакра на сливу, указују на ниже транспортоване и акумулиране вредности садржаја овог микроелемнта, у односу на поменуте садржаје у наносу.

Приметно је да су на источној страни слива искартиране веће еродиране вредности овог микроелемента, што кореспондира са картом укупног садржаја (прилог: слика 2). Просторна дистрибуција бакра зависи од геолошке подлоге и антропогених фактора. Иако се бакар везује за органску материју, његово везивање је углавном усмерено ка фулво киселинама, што условљава испирање и миграцују у дубље хоризонте земљишта који не подлежу процесу ерозије, што се пресликало и на његов неправилни просторни распоред након примене WaTEM/SEDEM модела.



Слика 65. Просторна расподела транспортованог и акумулираног садржаја бакра



Слика 66. Хистограм дистрибуције транспортованог и акумулираног садржаја бакра

Учешће под еродираним и акумулираним површинама слива су приказане у табели 33. Еродирани део чини 94,1 % укупне површине, односно, 8035,7 хектара. Насупрот томе,

део где се акумулура овај микроелемент заступљен је на 499,3 хектара, што чини 5,9 % слива.

Табела 33. Површине под еродираним и акумулираним садржајем Cu

Cu	Површина	
	ha	%
Еродирани део	8035,7	94,1
Акумулирани део	499,3	5,9
Укупно	**8535,0**	**100**

На основу добијених резултата транспортованих микроелемената, може се закључити да је примена WaTEM/SEDEM модела дала добре резултате на проучаваном сливу. Ризична подручја, са нешто вишим вредностима, се углавном јављају на локалитетима где су забележене веће укупне количине микроелемената у земљишту, односно близу подручја са израженијим интензитетом ерозије. Разлика у укупним годишњим транспортованим количинама микроелемената је уравнотежена, са изузетком олова. Велика разлика се јавља, вероватно, идејом твораца овог модела да олово буде тесно везано за садржај органске материје тј. К фактор, који представља стандардни слој WaTEM/SEDEM модела.

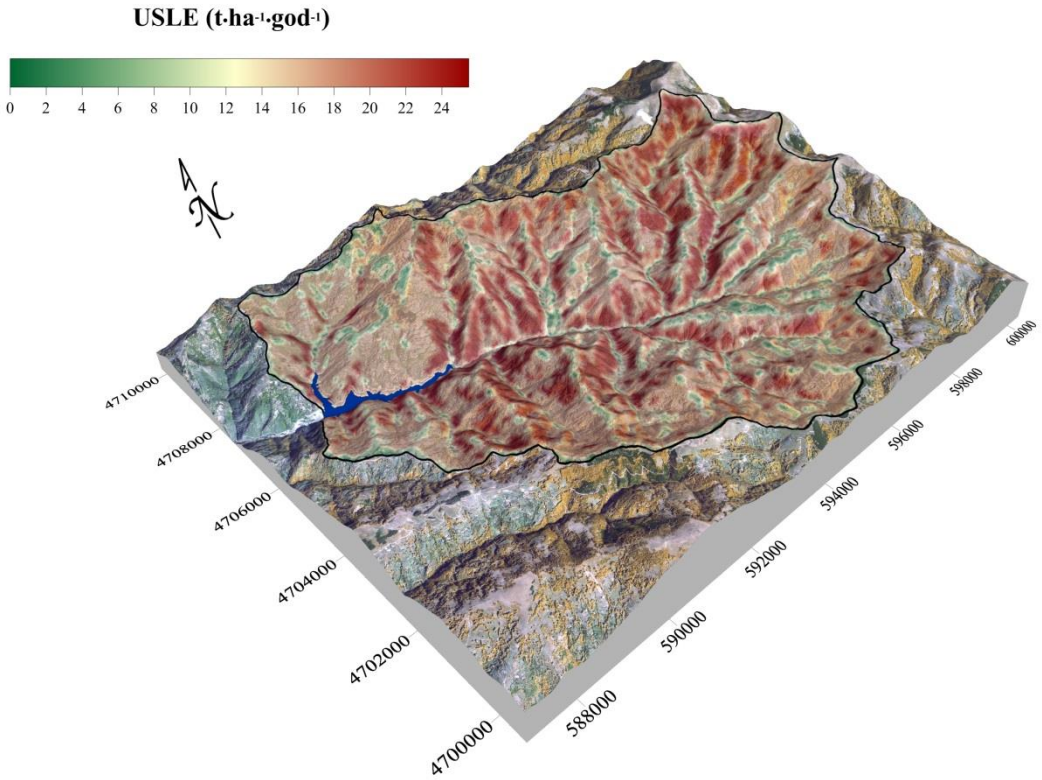
Физичко-хемијске карактеристике наноса утичу на степен везивања органских и неорганских загађивача, који се могу наћи у природним водама, те је од велике важности праћење квалитета суспендованог наноса и вода као важна компонента у програмима заштите и контроле сливова.

5.4. Компарација између USLE и PESERA модела

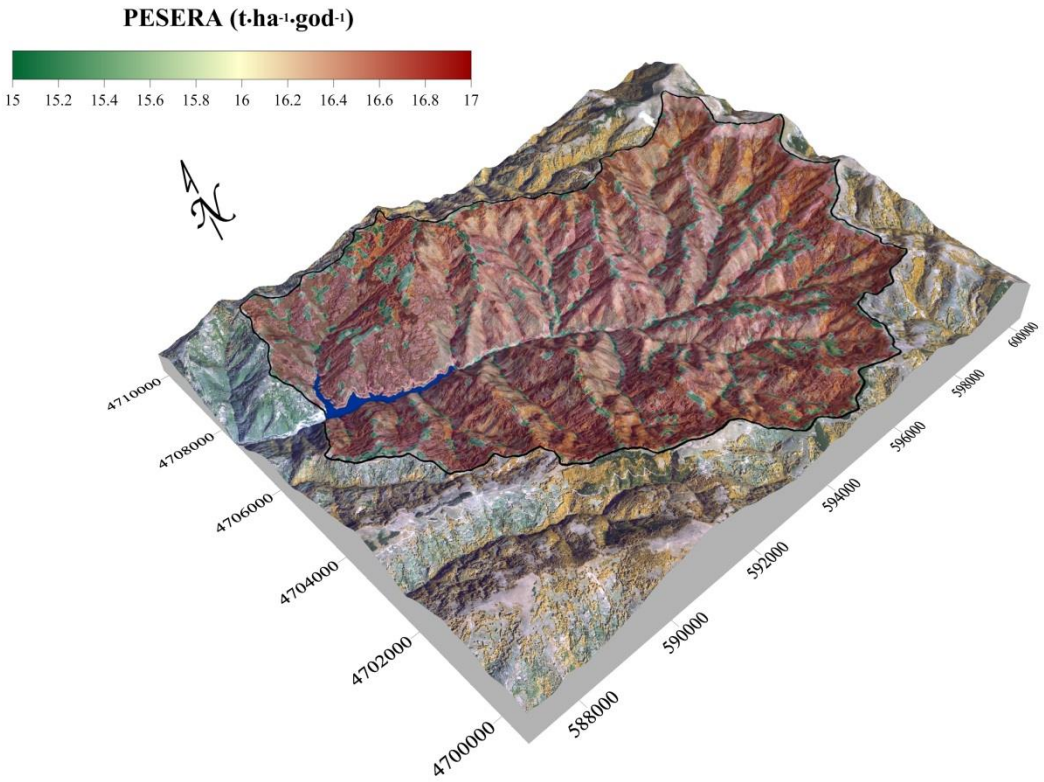
USLE и PESERA модели резултирају различитом проценом интензитета ерозије широм Европе. Док USLE процењује високе ризике ерозије на пољопривредним подручјима и осредње интензитете ерозије у медитеранским областима, PESERA процењује средњи ризик на аграрним подручјима централне Европе и висок ризик ерозије у медитеранским областима (Mantel et al. 2014).

Просечни интензитет ерозије на различитим категоријама нагиба је приказан у табели 34 и на сликама 67 и 68. Регресиони однос између ових вредности је приказан на слици

69 и износи 44 %. Ови резултати не изненађују обзиром да проучавани модели симулирају утицај ефекта рељефа на ерозију земљишта на различите начине. Код USLE модела утицај рељефа се посматра кроз топографски фактор, тј. кроз однос дужине падине (L) и нагиба (S). Насупрот томе, PESERA модел представља стандардну девијацију изведену из ДЕМ-а као улазни параметар. Сходно томе, разлике у нагибу терена имају релативно уравнотежен утицај на интензитет ерозије код PESERA модела, у односу на USLE модел. Евидентно је да PESERA модел би у будућности требало да прошири број улазних топографских параметара, обзиром да се сматра да слој std_eudem2 не задовољава све топографске аспекте у анализи ерозионих процеса.



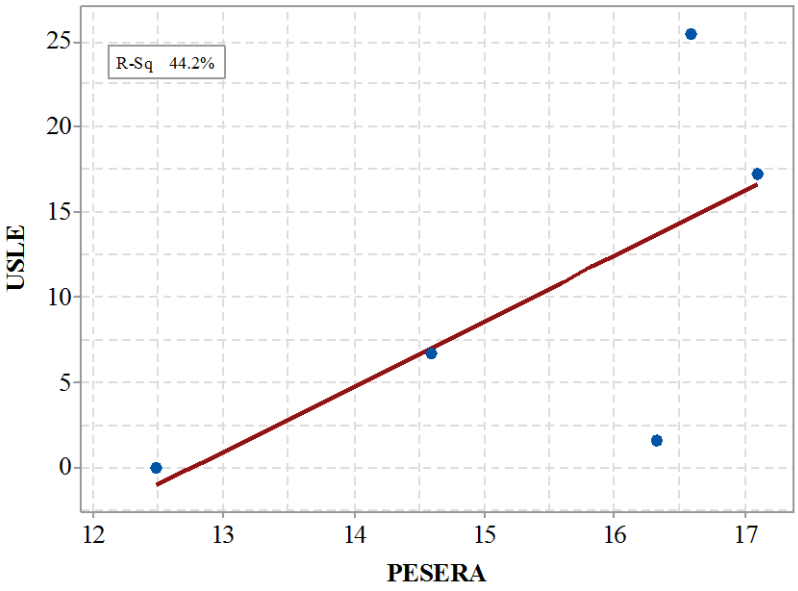
Слика 67. Просечни интензитети ерозије на различитим категоријама нагиба применом USLE модела



Слика 68. Просечни интензитети ерозије на различитим категоријама нагиба применом PESERA модела

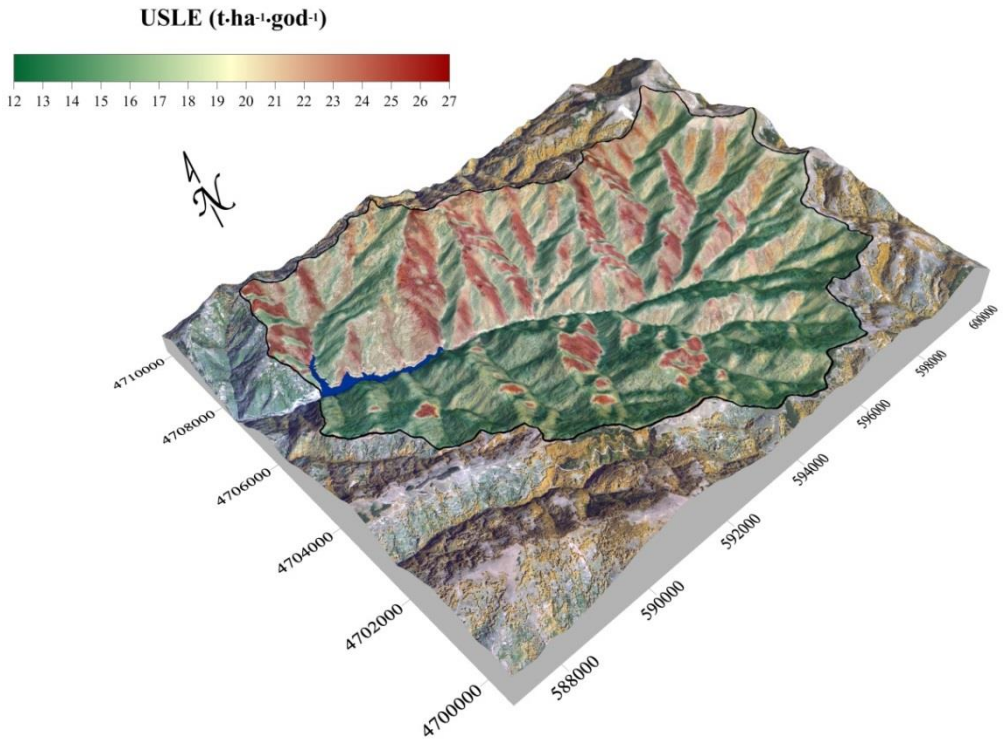
Табела 34. Просечни интензитети ерозије на различитим категоријама нагиба

Категорија	**Површина (ha)**	**Просечни интензитет ерозије ($t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$)**	
		USLE	**PESERA**
I (0-3 %)	12.47	0	12.49
II (3-12.5 %)	216.36	1.63	16.33
III (12.5-25 %)	975.95	6.68	14.6
IV (25-50 %)	5375.73	17.22	17.1
V (>50 %)	1954.49	25.49	16.59
Укупно	**8535,0**	**16,6**	**17,3**

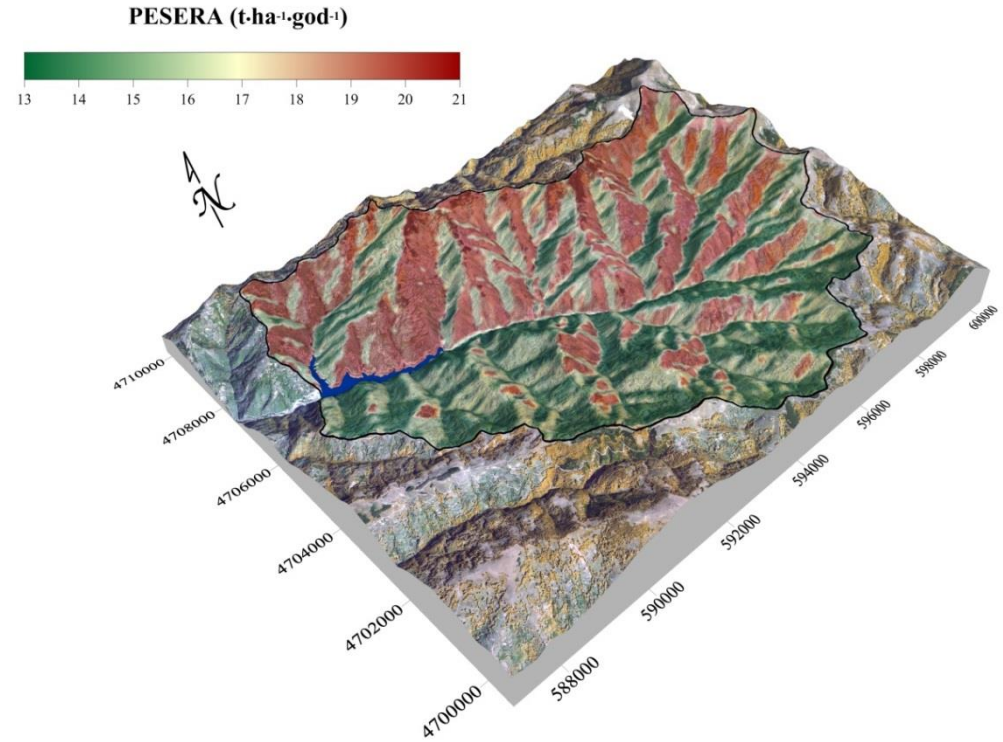


Слика 69. Регресиони однос између проучаваних модела

Однос између просечних интензитета ерозије и експозиција терена применом USLE и PESERA модела, приказан је у табели 35 и на сликама 70 и 71. Регресиони однос између модела је приказан на слици 72 и износи високих 96,2 %. Резултати су веома уједначени на свим проучаваним експозицијима, на основу којих можемо закључити да топлије експозиције имају већи просечни интензитет ерозије у односу на хладније. Истраживања показују да су падине на јужним експозицијима подложне већем интензитету ерозије него падине на северној и источној експозицији (Костадинов, 2008). Такође, опште је познато да је на топлијим експозицијама вегетација слабије развијена, а њено обнављање значајно спорије. Сем тога, земљишта топлијих експозиција се карактеришу слабијим садржајем органске материје (Костадинов, 2008).



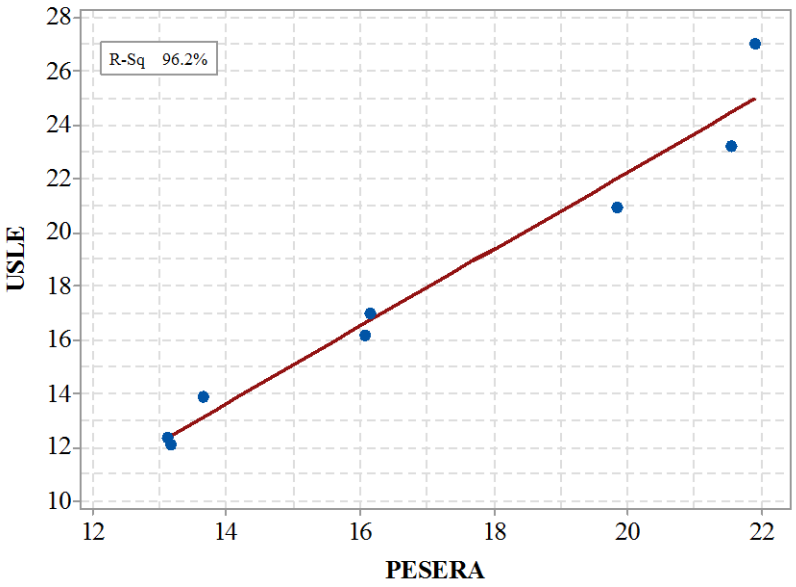
Слика 70. Просечни интензитети ерозије на различитим категоријама експозиција применом USLE модела



Слика 71. Просечни интензитети ерозије на различитим категоријама експозиција применом PESERA модела

Табела 35. Просечни интензитети ерозије на различитим категоријама експозиција терена

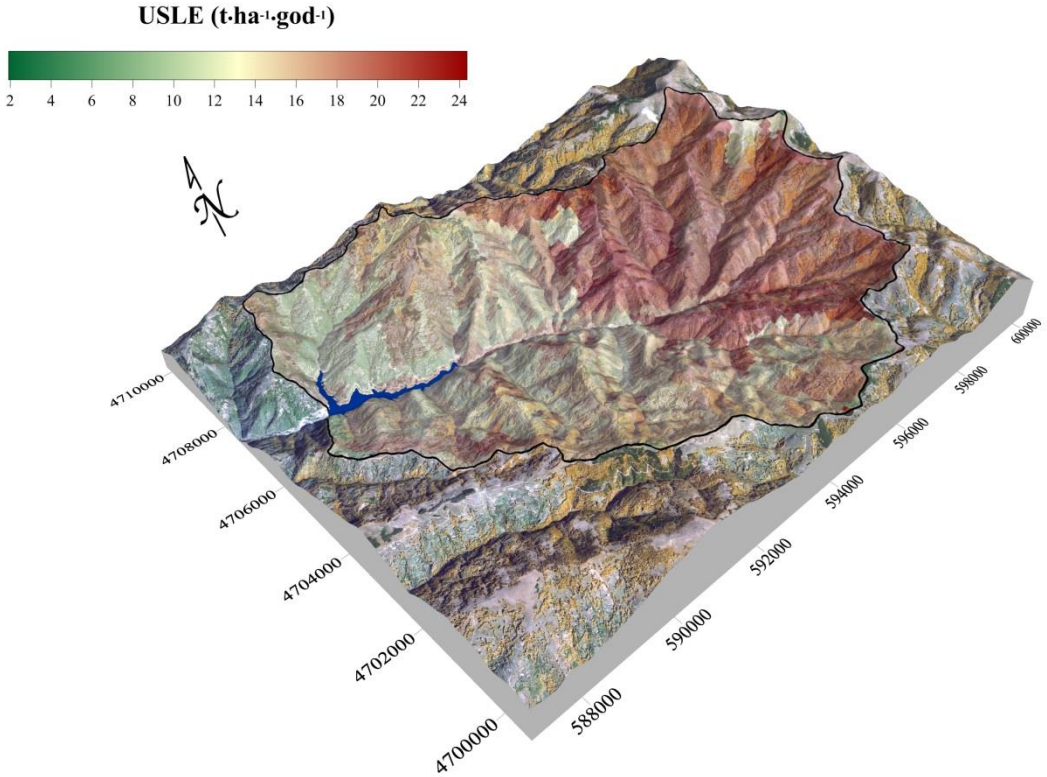
Експозиције	Површина (ha)	Просечни интензитет ерозије ($t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$)	
		USLE	PESERA
Север	974,2	12,37	13,12
Североисток	806,0	12,10	13,17
Исток	858,0	16,19	16,08
Југоисток	965,7	27,02	21,92
Југ	842,3	23,23	21,55
Југозапад	1060,3	20,94	19,85
Запад	1516,1	17,03	16,15
Северозапад	1512,5	13,91	13,66
Укупно	**3550,0**	**16,6**	**17,3**



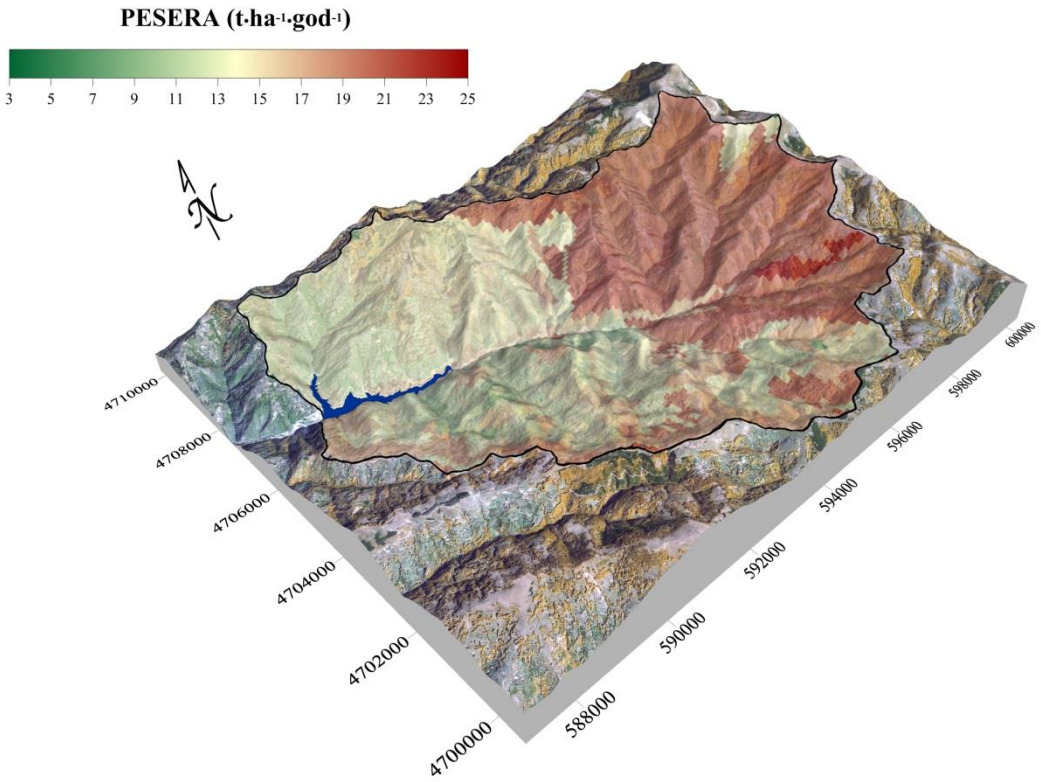
Слика 72. Регресиони однос између проучаваних модела

Табела 36 и слике 73 и 74 приказују однос просечних интензитета ерозије применом проучаваних модела и најзаступљенијих типова земљишта. Регресиони однос између модела и типова земљишта износи одличних 92,4 % (слика 75). Највећи просечни интензитет ерозије код оба модела се јавља на ранкеру - ранкер посмеђен на граниту и гранодиориту који се простире на источном делу слива. Најнижи интензитет ерозије код оба проучавана модела је забележен на литосолу - регосолу на биотитском гнајсу

који се јавља на западном делу слива. Обзиром да је формирање земљишта у директној вези са геолошком подлогом, на основу табеле 33 може се закључити да земљишта формирана на граниту и гранодиориту имају већи просечан интензитет ерозије у односу на земљишта формирана на шкриљцима. На гранитима који представљају киселе и чврсте магматске стене, формирање земљишта тече спорије а самим тим и вегетације, тако да су ерозиони процеси израженији. На шкриљцима, распадање стена је интензивно и услед тога настају дубља земљишта са разноврснијом вегетацијом која штити земљиште од ерозије.



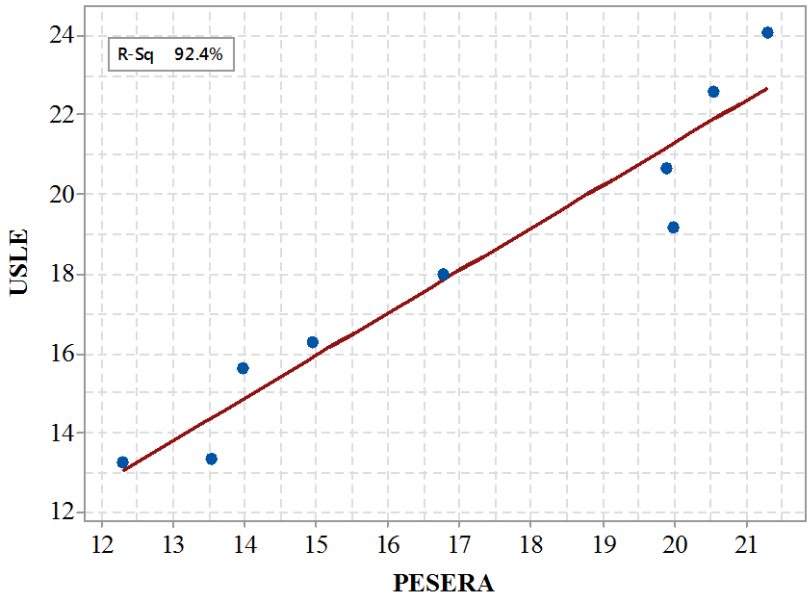
Слика 73. Просечни интензитети ерозије под различитим типовима земљишта применом USLE модела



Слика 74. Просечни интензитети ерозије под различитим типовима земљишта применом PESERA модела

Табела 36. Просечни интензитети ерозије на различитим типовима земљишта

Најзаступљенији типови земљишта	**Просечни интензитет ерозије ($t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$) USLE**	**PESERA**
Литосол - Регосол на биотитском гнајсу	13,37	8,58
Литосол - Регосол на граниту и гранодиориту	22,61	34,39
Литосол - Регосол на микашисту и кварц-серицитским шкриљцима	13,27	17,64
Ранкер - Ранкер посмеђен на граниту и гранодиориту	24,08	38,69
Ранкер - Ранкер посмеђен на микашисту и кварц - серицитским шкриљцима	15,62	13,98
Ранкер посмеђен- Дистрични камбисол на граниту и гранодиориту	20.65	19.88
Ранкер посмеђен - Дистрични камбисол	18.01	16.76
Ранкер посмеђен - Дистрични камбисол на биотитском гнајсу	16.31	14.94
Регосол - Ранкер на граниту и гранодиориту	19.18	19.99
Укупно	**16,6**	**17,3**

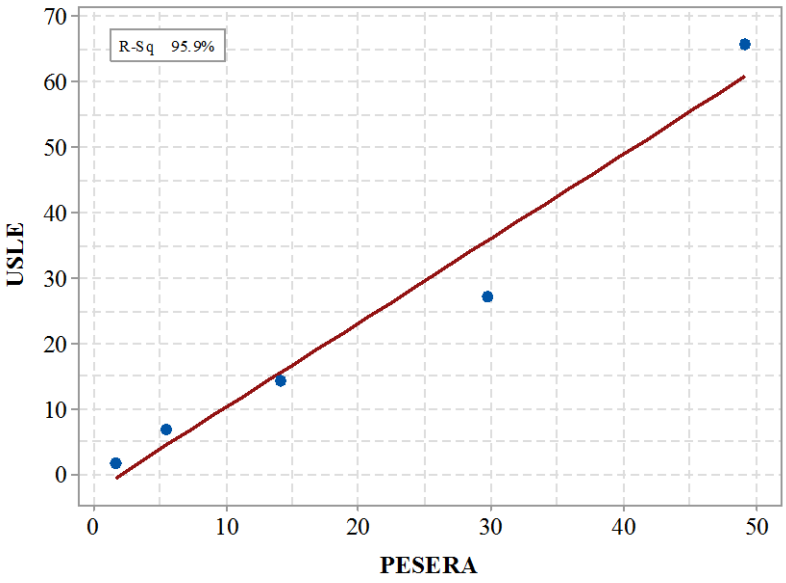


Слика 75. Регресиони однос између проучаваних модела

Анализом просечнних вредности интензитета ерозије добијених применом USLE и PESERA модела, у односу на категорије интензитета ерозије по класификацији, установљен је висок степен подударности (табела 37) са одличним регресионим односом од 96 % (слика 76).

Табела 37. Просечне вредности интензитета ерозије и различите категорије ерозије применом USLE и PESERA модела

Категорије интензитета ерозије ($t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$)	**Просечни интензитет ерозије ($t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$) USLE модел**	**Просечни интензитет ерозије ($t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$) PESERA модел**
Врло слаба (0 – 3)	1,54	1,66
Слаба (3 – 10)	6,66	5,45
Умерена (10 – 20)	14,32	14,05
Јака (20 – 40)	27,19	29,72
Веома јака (>40)	65,75	49,15



Слика 76. Регресиони однос између проучаваних модела

Комплетна корелације између свих предиктованих тачака (пиксела) USLE и PESERA модела је приказана у табели 38 и слици 80. Анализа је извршена над 8304 тачке (без

језера) које кореспондирају резолуцији слива. Поменуте тачке су пре анализе конвертоване из растерског облика у векторски. Коефицијент корелације између USLE и PESERA модела износи 0,451**. Вредност сигнификантности коефицијента корелације је значајан и износи 0,001 на основу чега се може закључити да су вредности резултата и учесталост дистрибуција на задовољавајућем нивоу.

Табела 38. Корелациони однос између свих пиксела/тачака проучаваних модела

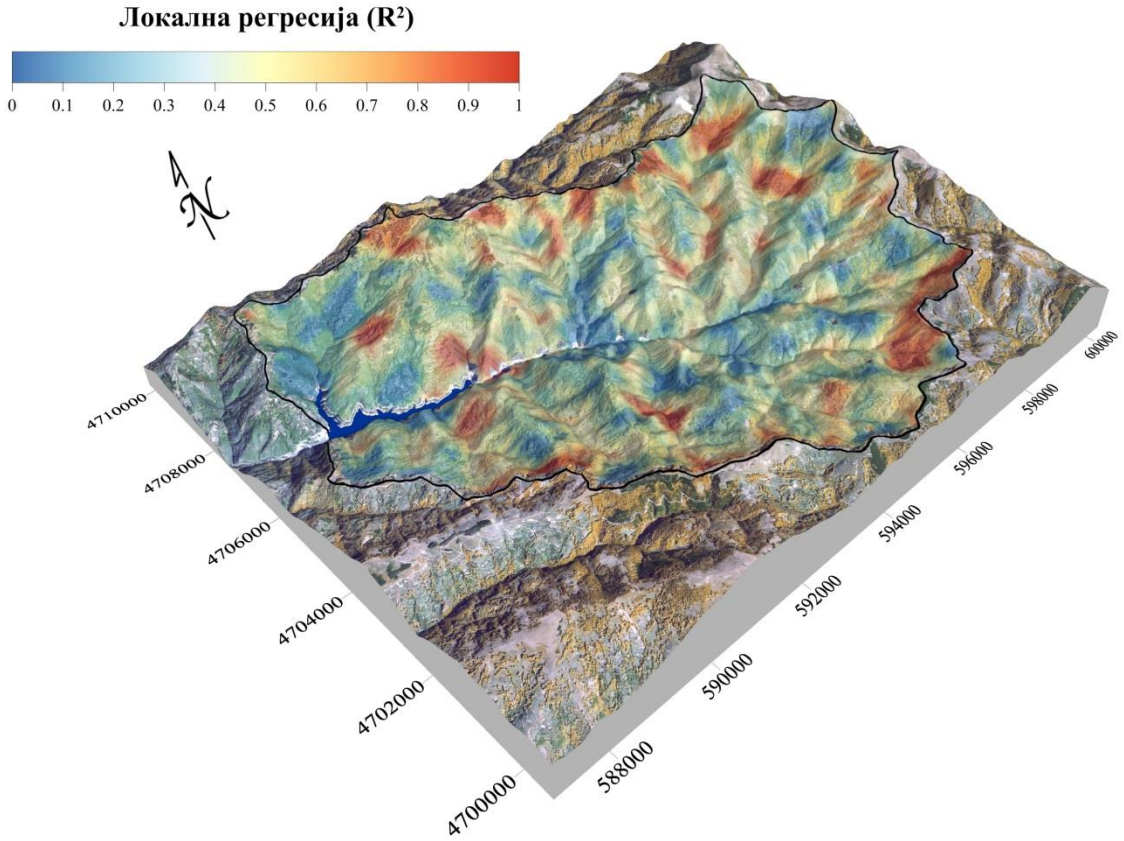
Методе		**USLE**	**PESERA**
USLE	Pearson Correlation	1	.451**
	Sig. (2-tailed)		0
	N	8304	8304
PESERA	Pearson Correlation	.451**	1
	Sig. (2-tailed)	0	
	N	8304	8304

**Корелација је значајна на нивоу 0.01.

Локална регресија комплетног слива применом GWR модула (*Geographically Weighted Regression*) је приказана на слици 77. Опсег GWR је првенствено заснован на *Akaike Information Criterion* (AICc). Табела 39 нам показује укупну регресију између проучаваних модела, која износи 0,73, док је изменљиви R^2 = 0,59. Веома ниске вредности указују на слабу локалну регресију, док веће вредности указују на добри локални регресиони однос. Било је за очекивати да вредности R^2 нису хомогено дистрибуиране на свим деловима слива. Приметно је да се нешто лошија регресија јавља углавном на различитом вегетацином покривачу, вероватно због другачијег утицаја ефекта начина коришћења земљишта на интензитет ерозије приликом примене проучаваних модела.

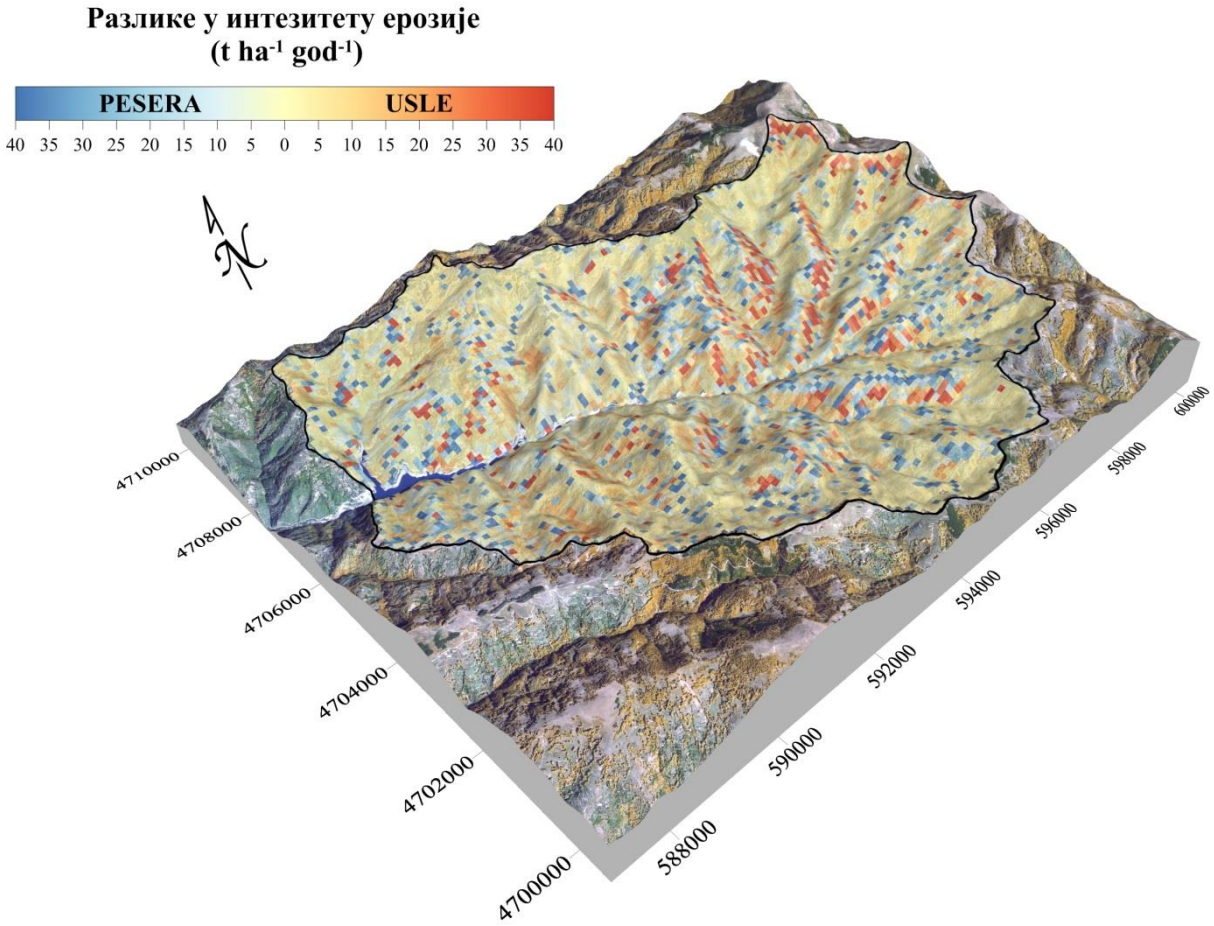
Табела 39. Регресиони однос између свих пиксела/тачака проучаваних модела

Параметри	**Вредности**
Bandwidth	146.7691
ResidualSquares	631375.9975
EffectiveNumber	2829.9314
Sigma	10.7016
AICc	65058.4377
R^2	0.7339
R^2Adjusted	0.5973

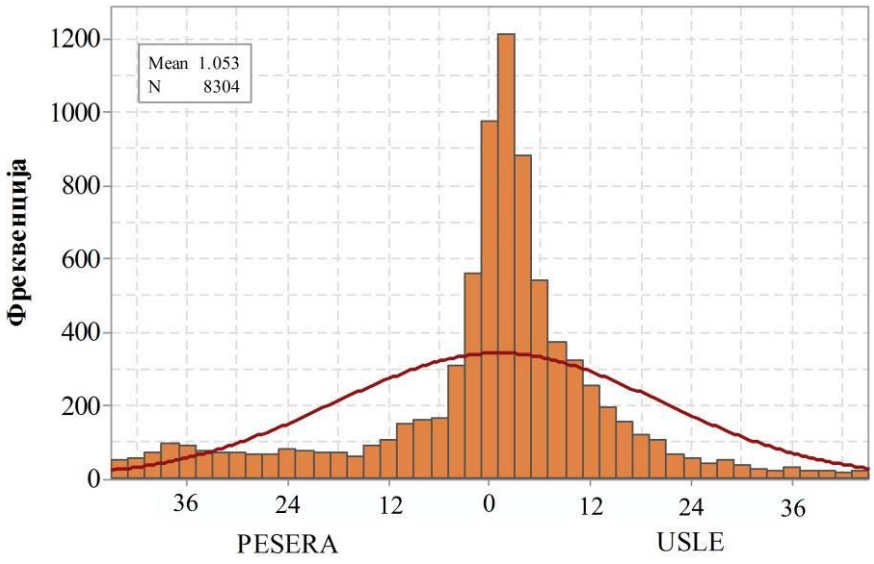


Слика 77. Локална регресија између проучаваних модела

Разлике у интензитету ерозије применом проучаваних модела су приметне на територији слива (слика 78; прилог: слика 9). Плаве нијансе боје указују на локације где се на основу PESERA модела добијају већи интензитети ерозије у односу на USLE, док је обрнут случај са црвеном бојом. Нијансе жуте боје приказују локације на којима су предикције ових модела приближно исте. Просечна разлика интензитета на територији слива није велика и износи око 1 $t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$ (слика 79).



Слика 78. Разлике интензитета ерозије применом USLE и PESERA модела



Слика 79. Хистограм разлика у интензитету ерозије

Приметно је да се модели разликују у томе како ефекат рељефа (топографије) утиче на интензитет ерозије. У случају PESERA модела мале разлике у изражености рељефа имају релативно мање утицаја на интензитет ерозије него у случају USLE модела. Утицаји климатских фактора, где се првенствено мисли на падавине, се другачије симулирају у оквиру два наведена модела. USLE модел узима у обзир падавине на годишњем нивоу, док PESERA модел временску дистрибуцију падавина на месечном нивоу. Такође, USLE модел не узима у обзир остале климатске факторе приликом одређивања интензитета ерозије. Познато је да USLE и PESERA модели користе сличну класификацију земљишног покривача, међутим, параметризација ефекта коришћења земљишта и земљишног покривача је другачија (Mantel et al. 2014). Основни недостатак PESERA модела је што су параметри калибрисани само за европске услове, односно за поједине делове Европе. Неколико нових параметара морају бити дефинисани, параметризовани и калибрисани да би се модел могао користити у еколошким условима на подручју Републике Србије. Евидентно је да постоје супротности у утицају параметара особина земљишта ка интензитету ерозије. Док USLE модел осетљивост земљишта на ерозију првенствено базира на односу садржаја органске материје и глине, PESERA модел то чини кроз физичку стабилност земљишта.

5.5. Компарација проучаваних модела са Методом потенцијала ерозије (МПЕ)

Подаци о интензитету ерозије земљишта добијени коришћењем модела су најпоузданији када су калибрисани и верификовани са измереним подацима, односно непосредним мерењем на терену. Приликом калибрације и верификације ерозионих модела јављају се два основна проблема: прво, потребне су значајне инвестиције, време и стручни кадрови у реализацији наведених мера; и друго, јавља се проблем екстраполирања добијених резултата на веће површине (Stroosnijder, 2003). Вероватно из тих разлога, многе научне студије, радови и др. немају валидационе поступке.

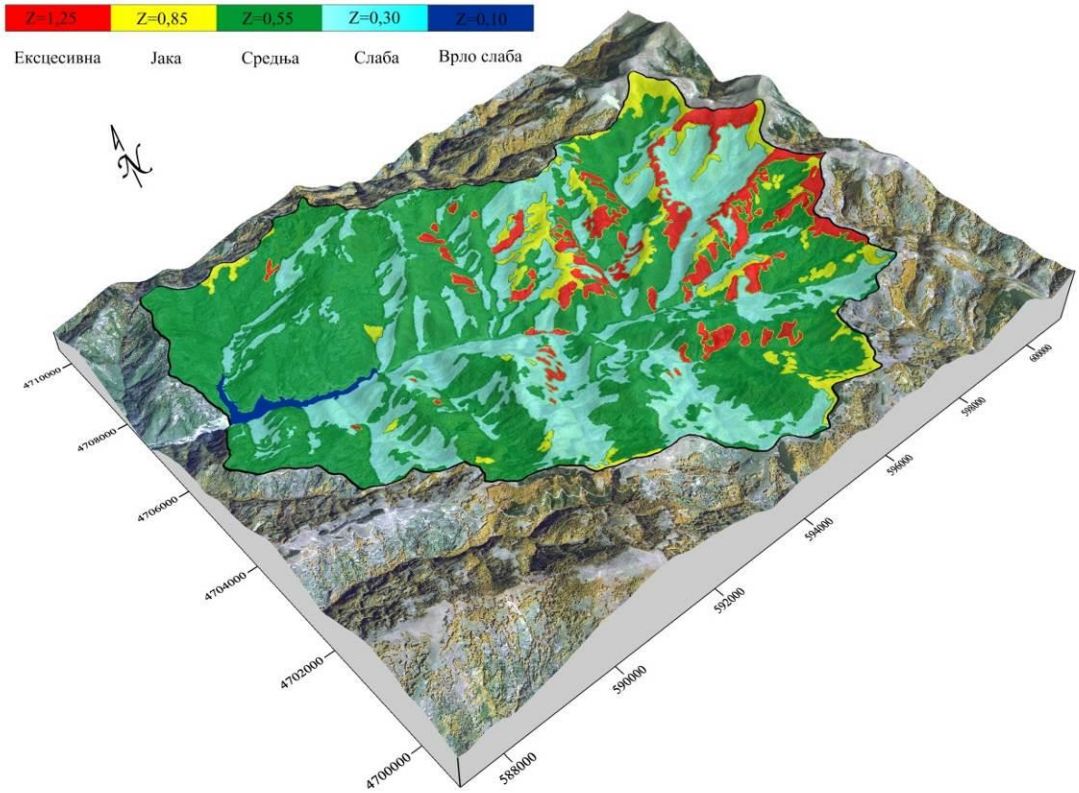
Рачунске методе за детерминисање ерозионе продукције наноса на сливу се заснивају, с једне стране, на директној теренској анализи ерозионих процеса, а са друге стране, на квантификовању утицаја основних ерозионих фактора (геоморфолошких, метеоролошких, хидролошких, вегетационих) (Петковић, 1995). Најраспрострањенији ерозиони модел на западном Балкану је Метода потенцијала ерозије (1962, 1970, 1972) и њене модификације (Лазаревић, 1968, 1985). Основна примена ове методе је теренско картирање ерозионих процеса и њихово класификовање у пет категорија. Свакој

категорији ерозије кореспондира одређена вредност коефицијента ерозије „Z“ и одређени распон продукције наноса (Петковић, 1995). Предности МПЕ, према З. Гавриловићу (1994; 1998), лежи у чињеница је модел развијен за потребе хидро-регулационих радова, као и да је погодан за прорачун ерозије земљишта без обзира на начин коришћења земљишта.

Интензитет и распрострањеност ерозионих процеса на проучаваном сливу дефинисани су према дигитализованој ерозионој карти у размери 1:25000, а на основу теренских истраживања и картирања које је извршио Институт за водопривреду ”Јарослав Черни”.

Просторна расподела ерозионих процеса применом методе ”Потенцијала ерозије” је приказана на слици 80. На сливу се манифестује ерозија у скоро свим видљивим појавним облицима. Према општој развијености ерозионих процеса сливно подручје се на основу класификације бујичних подручја по МПЕ, може сврстати под **средњу ерозију**, са коефицијентом Z=0,5 (Костадинов, 2010). Процеси ексцесивне ерозије јављају се на површини од 572,43 хектара тј. на 6,71 % површине слива (табела 40). Ови процеси ерозије су присутни углавном на горњем делу слива, на сливу притоке Базије, као и у главном току на падинама испод Средње Махале, и на западној падини испод локалитета Видибор (Костадинов, 2010). Приметно је да се процеси ексцесивне ерозије на овом сливу углавном јављају под деградираним шумама. Јака ерозија се простире на 465,38 хектара, највише на источној страни слива, а такође и у изворишном делу главног тока. Средњи интензитет је присутан на 4434,78 хектара, што чини 51,96 % површине слива. Поменути интензитет је доминантан на целом сливу док се слаба ерозија јавља на деловима слива који су под шумским покривачем.

Метода потенцијала ерозије



Слика 80. Просторна расподела ерозионих процеса применом МПЕ

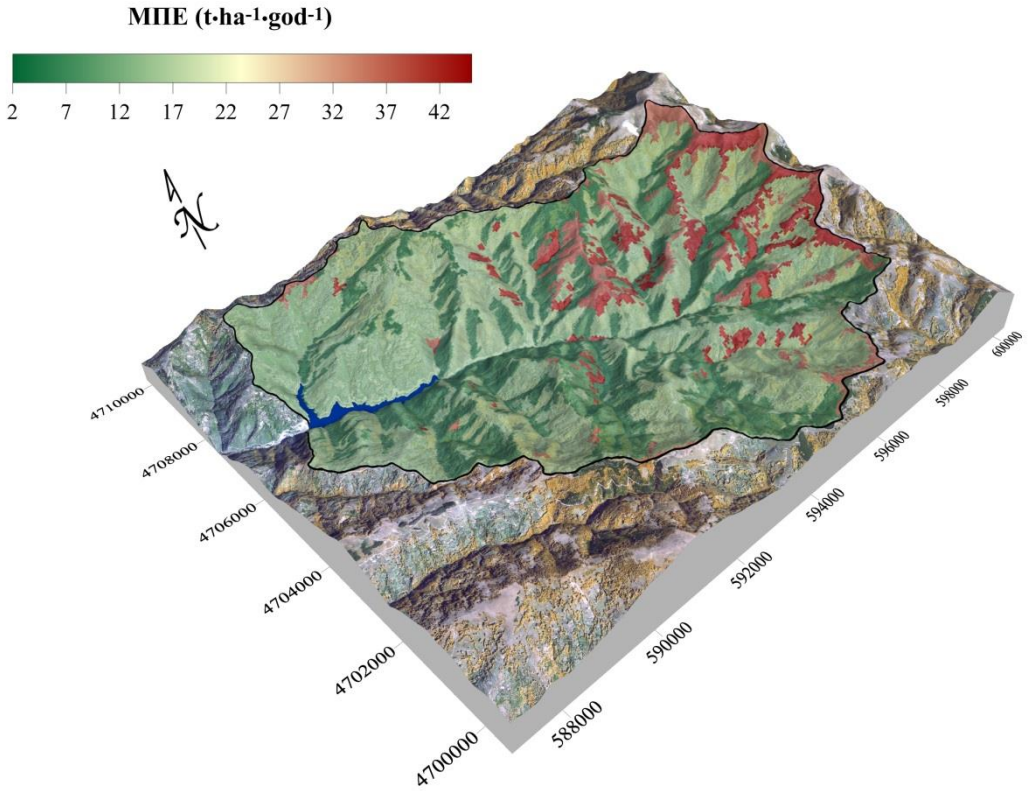
Табела 40. Заступљеност категорија ерозије применом МПЕ

Категорије ерозије	**Површина**	
	ha	**%**
Ексцесивна (Z=1,25), Wsp (m^3 god^{-1} km^{-2}) 3000	572,43	6,71
Јака (Z=0,85), Wsp (m^3 god^{-1} km^{-2}) 2500	465,38	5,45
Средња (Z=0,55) Wsp (m^3 god^{-1} km^{-2})1000	4434,78	51,96
Слаба (Z=0,30), Wsp (m^3 god^{-1} km^{-2}) 500	3020,53	35,39
Врлос слаба (Z=0,10), Wsp (m^3 god^{-1} km^{-2})100	41,87	0,49
Укупно	**8535,00**	**100,00**

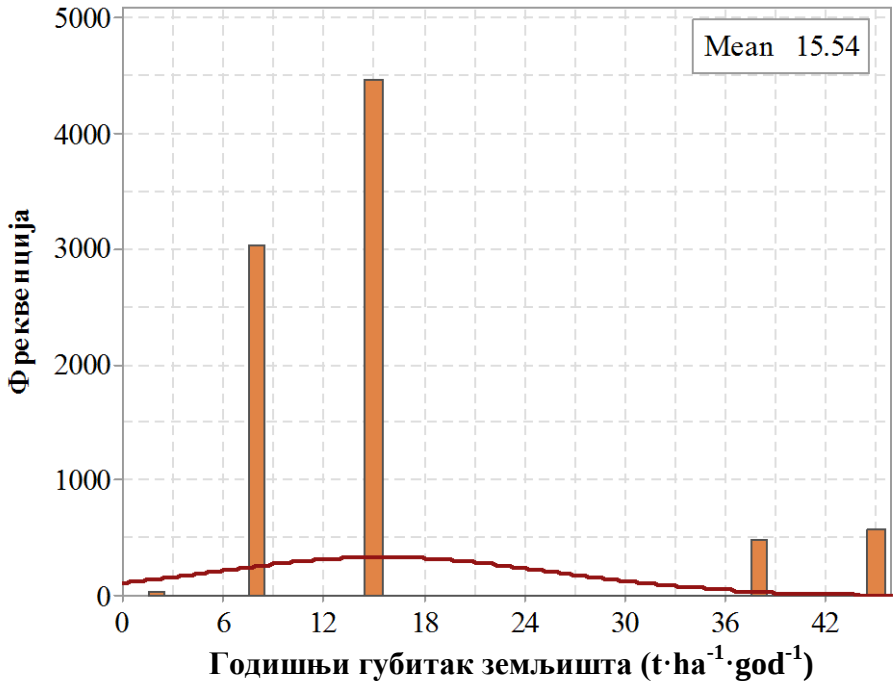
Средња вредност коефицијента ерозије за цео слив износи Z=0,513

С обзиром да се количина земљишног материјала који се губи ерозијом изражава у m^3 km^{-2} по МПЕ, односно у $t \cdot ha^{-1}$ по методама USLE и PESERA, да би се упоредили добијени резултати овим методама, израчуната је запремнска маса земљишта сливног подручја која износи 1,5 g cm^{-3}, преко које је извршена конверзија јединица.

Годишњи губитак земљишта под утицајем ерозије на подручју слива акумулације Првонек применом МПЕ је приказан на слици 81 и просечно износи 15,5 $t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$ (слика 82). Компарацијом наведене просечне вредности губитка земљишта применом методе ”Потенцијала ерозије” и добијених просечних вредности применом USLE и PESERA модела на нивоу проучаваног слива, може се закључити да добијени резултати имају приближне вредности.

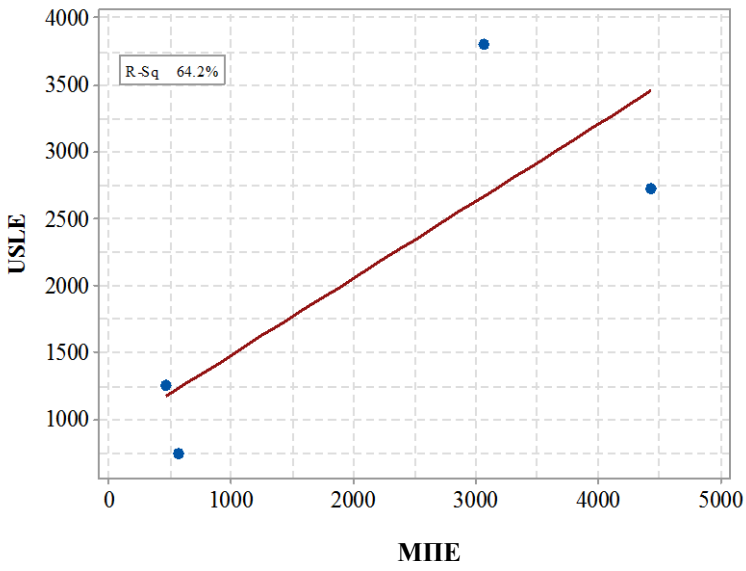


Слика 81. Просторна расподела просечног годишњег губитка земљишта применом МПЕ



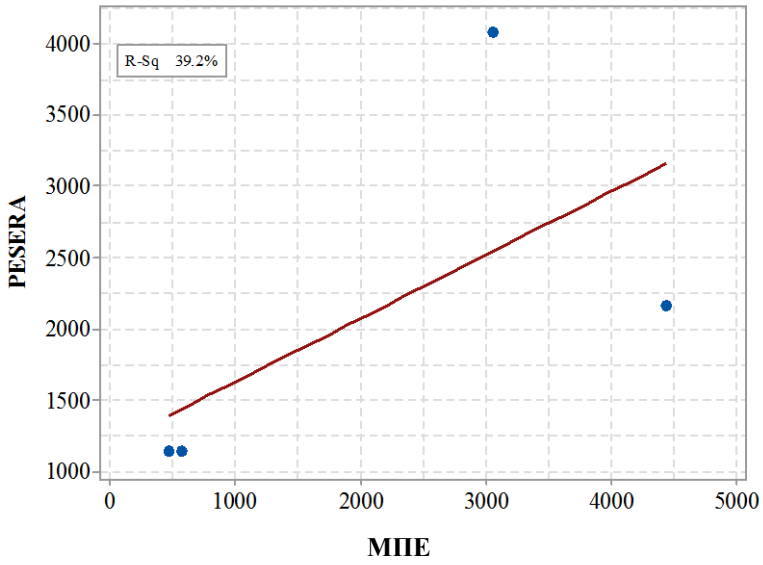
Слика 82. Хистограм дистрибуције годишњег губитка земљишта

Однос између површина изражених у хектарима, под различитим категоријама ерозије МПЕ и USLE модела приказан је на слици 83. Регресиони однос између модела износи 64,2 %.



Слика 83. Регресиони однос између проучаваних модела

Регресиони однос између површина под различитим категоријама ерозије, добијени применом МПЕ и PESERA модела је приказан на слици 84 и износи 39,2 %.



Слика 84. Регресиони однос између проучаваних модела

На основу испитиваних зависности између МПЕ и проучаваних модела, може се закључити да између њих постоји одређан ниво корелације. Међутим, да би модели били компатибилни односно упоредиви, мора се претходно извршити њихова хармонизација, а касније и стандардизација.

5.6. Хармонизација, стандардизација и правци будућих истраживања ерозионих модела

Иако је ерозија земљишта првобитно изазвана природним процесима, људске активности у екосистему често убрзавају те процесе. Сходно томе, социјални, економски и политички фактори су одлучујући при одређивању ризика од ерозионих процеса (Boardman et al. 2003, Gobin et al. 2004, Oñate et al. 2005, Eckelmann et al. 2006).

Постоји више покушаја да се картира интензитет ерозије земљишта на европском нивоу. Pimentel et al. (1995) су установили просечни интензитет ерозије земљишта од 17 $t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$ на обрадивим површинама у Европи. Yang et al. (2003) су примењујући RUSLE модел израчунали 11,1 $t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$, као просечни интензитет ерозије земљишта на европском нивоу. Cerdan (2006) је прикупио базу података са 57 експерименталних станица које се налазе у тринаест држава Европе. Средњи интензитет ерозије који је прорачунат је био 8,8 $t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$. У Бугарској је применом USLE модела утврђено да се

потенцијални ризик од ерозије земљишта јавља на 61,6 % територије земље, док на 29,9 % територије интензитет ерозије прелази 40 $t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$ (Rousseva et al. 2006). На територији северног дела Босне и Херцеговине је применом RUSLE модела прорачунат просечни интензитет ерозије од 9,88 $t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$ (Тошић et al. 2013). На територији Републике Србије USLE модел је примењиван на територији Колубарског округа (Белановић et al. 2013), општине Пирот (Перовић et al. 2012), слива Нишаве (Перовић et al. 2012), појединим парцелама општине Љубовија (Тодосијевић, 2012) и другим подручјима.

Годишњи трошкови конзервационих мера које се спроводе у заштити од ерозије се процењују на 205 милиона фунти на територији Енглеске и Велса (Environment Agency, 2002) и 44 милијарде долара на територији САД (Pimentel et al. 1995), док је на европском нивоу, спровођење ових мера процењено на око 9,3 милијарде еура (Kuhlman et al. 2010).

Централна тема већине стратегија Европске уније о заштити земљишта од последица ерозије земљишта јесте да се идентификују такве области. Тренутне актуелне методе које се користе у тој процени се често разликују и то може довести до различитих перцепција ризика. Препоручне методе од стране The European Commission's Joint Research Centre (поглавље 1), приликом процене губитка земљишта на нивоу Европе, још увек нису обавезујуће, што омогућава земљама чланицама и предприступним државама да користе националне методе. Међутим, те процене морају бити у складу са потребама формулисаним у директивама Европске уније о заштити земљишта, које захтевају да резултати морају бити компатибилни, односно, упоредиви (JRC, 2010). Постоје разни начини да се методе у сагледавању ерозионих процеса упореде и анализирају, и ти поступци се обично описују као "усклађивање" и/или „стандардизација" (Van Beek et al. 2010). Хармонизација односно усклађивање, је термин који ће обезбедити да резултати из различитих метода буду упоредиви. Стандардизација захтева употребу идентичних процедура приликом процена интензитета ерозије. Спровођењем ових мера морају се превазићи значајне разлике у методама, а које се огледају у (Van Beek et al. 2010):

- разумевању и перцепцији ризика,
- методи прикупљања података,

- обради и интерпретацији добијних резултата.

Усклађивање ерозионих модела на основу USLE модела може бити оправдано, јер је један од најкоришћенијих и најиспитиванијих модела. USLE је стандардна метода процене интензитета ерозије на територији Аустрије (Strauss и Klaghofer, 2006), Чешке Републике (Dostál et al. 2006), Немачке (Deumlich et al. 2006), Мађарске (Kertész и Centeri, 2006), Италије (Van der Knijff et al. 2002; Grimm et al. 2003; Torri et al. 2006), Норвешке (Øygarden et al. 2006), Шпаније (Sánchez et al. 1998; Solé et al. 2006), Шведске (Ulén et al. 2006) и Швајцарске (Weisshaidinger и Leser, 2006). Главне предности USLE модела су разумљивост, због релативно једноставне формулације модела и његова широке интегрисаности са ГИС апликацијама. Такође, током прикупљања података за EIONET пројекат (EIONET је партнерство Европске агенције за животну средину (EEA), у чијем пројекту је било укључено више од 350 националних института и око 1000 стручњака), закључено је да су USLE/RUSLE модели најшире прихваћени међу стручњацима који се баве овом тематиком (Panagos et al. 2014). Међутим, под знаком питања је примена у условима за које овај модел није пројектован (нпр. низак интензитета падавина, велика дужина нагиба, стеновитост површина и др.), као и неспособност модела да симулира екстремна предвиђања. Квалитативне процене ризика ерозије земљишта на основу мишљења стручњака, које се примењују у INRA, RIVM, Corine и GLASOD приступима, имају предност када се жели да на један једноставан начин приступити у решавању овог проблема (Van Beek и Gergely Tóth, 2012). Тешкоће које се јављају са овим приступима су, пре свега, недостатак објективности у поређењу стандарда које примењују различити стручњаци из ових области. У оквиру пројекта RAMsoil (*Risk Assessment Methodologies for Soil threats*), Geraedts et al. (2008) су препоручили PESERA модел као опцију за хармонизацију различитих модела. PESERA који је физички заснован модел има предности примене на високим резолуцијама, у раду са различитим подацима предвиђања, што омогућава овом моделу да у научној јавности буде веома признат. У Europian soil bureau се сматра да је PESERA модел одговарајући ерозиони модел за европске услове (ESB, 2006), а до истог закључка су дошли истраживачи у оквиру RAMsoil пројекта. Такође, предност овог модела је могућност примене сценарио анализа у односу на начин коришћења земљишта и климатске промене. Ове предности са друге стране захтевају огроман број временски и просторно дистрибуираних улазних података и компликован систем

покретања модела, што прилично компликује имплементацију овог модела. Осим тога, тачност модела се не може гарантовати без честих калибрација и верификација.

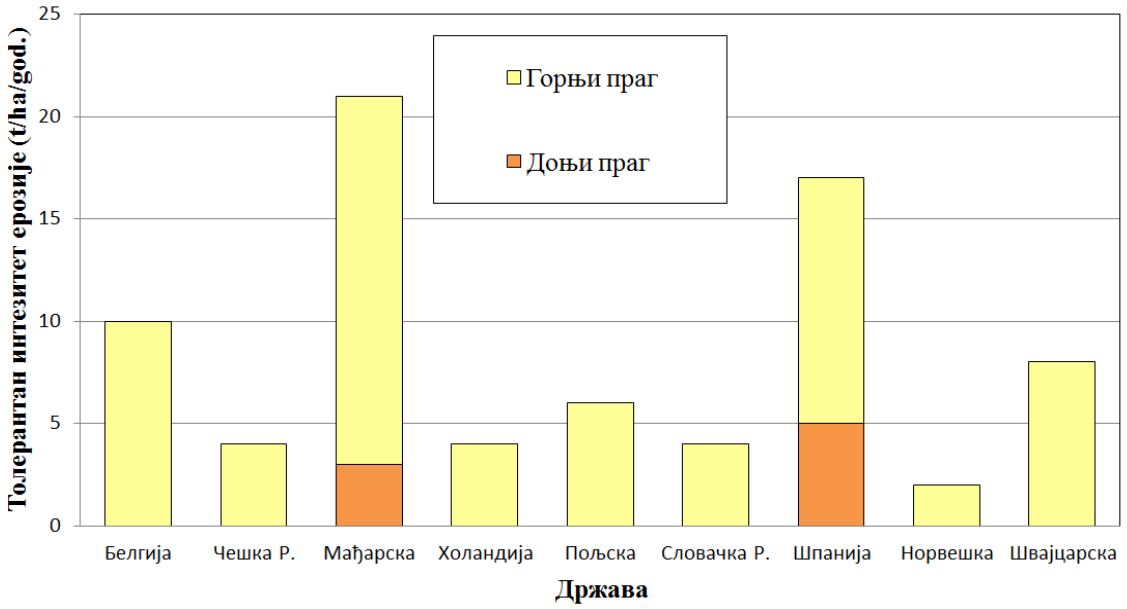
Поређење и усклађивање између различитих, просторно и временски оријентисаних модела, је велики изазов у истраживању ерозионих процеса. Повезивање већег броја истраживача ка овим иницијативама може да обезбеди добар пут ка побољшању методологија у предвиђању ерозионих процеса. Међутим, научна јавност има још много тога да уради у истраживању ка проналажењу „идеалног“ тј. прихватљивог ерозионог модела, као и у процесу хармонизације постојећих модела, јер је ерозија земљишта веома сложен процес са различитим комплексним факторима који утичу на њен развој.

Класификација интензитета ерозије би требало да је прилагођена еколошким условима територије на којој се јавља, самим тим она се разликује од државе до државе. У том смислу класификације могу бити описне и нумеричке, у зависности од тога да ли је интензитет ерозије изражен у квалитативном (нпр. врло слаб, слаб, умерен, висок и веома висок) или квантитативном смислу ($t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$). Од осамнаест европских држава, девет употребљава квантитативни систем класификације интензитета ерозије. Оба система углавном имају четири до шест класа. Међутим, наведене класификације често не дају описе класа односно ограничење класа, што отежава да се интерпретира ризик од ерозионих процеса (European Commission, 2010).

Verheijen (2009), један од сталних сарадника JRC-a, је предложио увођење концепта нивоа упозорења, односно, толерантних прагова према ерозији земљишта. Подношљива или толерантна ерозија земљишта је концептуални термин, којим се може квантификовати интензитет ерозије изражен у $t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$. Толерантан губитак земљишта или "T вредност" је дефинисан као "максималан ниво ерозије земљишта који омогућава висок ниво продуктивности земљишта“ (Wischmeier и Smith, 1978). Први покушаји у израчунавању T вредности наведени су у раду аутора Thompson-a, објављеног 1957 године, цитираног од стране Arsyad (1989). Добијене T вредности су израчунате на основу дубине и пропусности земљишних хоризоната као и карактеристика геолошког супстрата.

Претходно наведени RAMsoil пројекат, је имао као један од циљева имао да прикупи и процени тренутне податке о подношљивим праговима интензитета ерозије на територији појединих европских држава (слика 85). У циљу пружања методолошке

подршке пројекту, две пан-европске методе за процену ризика од ерозије земљишта су биле укључене, а то су CORINE и PESERA.



Слика 85. Толерантни прагови, извор: OECD (2008); Boardman и Poesen (2006)

Larson (1980) је предложио увођење два нивоа толерантних прагова: T1 – који се заснива на специфичној продуктивности земљишта (одређују је педолози и агрономи) и T2 – која се односи на друге последице ерозије, које одражавају друштвене циљеве. Вредност T2 одређују економисти, планери, стручњаци из области заштите животне средине и политичари (Кадовић, 1999).

Посебно разграничење толерантних категорија ерозија изражава различите перцепције овог ризика између држава. У литератури, ерозија земљишта се обично сматра "подношљивом" ако њен интензитет не утиче на дугорочну продуктивност земљишта (Gobin et al. 2004;. Jones et al. 2004; Ђоровић, 2005). Уз врло мале услове за формирање, губитак земљишта од преко 1 $t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$ може се сматрати неповратним у временском року од 50-100 година (European Soil Portal, JRC; EEA, 2008). Код неколико земаља (Аустрија, Чешка, Мађарска, Норвешка) водна ерозија није више подношљива на интензитетима који су опште прихваћени попут стручног заснованог на 2-3 $t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$ (ESBN, 2005; OECD, 2008).

У савременој пракси заштите и коришћења земљишта примењују се дозвољени губици земљишта, који се углавном крећу од 2 - 11,5 $t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$, што одговара губицима земљишта од око 0,2 – 1,0 mm годишње (Кадовић, 1999). OECD (2001) дефинише

губитак земљишта као подношљив када је испод 6 $t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$. У САД вредности толерантних прагова се креће у опсегу од 2 до 11 $t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$ (USDA-SCS). Наведене вредности се занивају на претпоставци да дугорочна продуктивност земљишта зависи од моћности земљишних хоризоната. У EEA (1998) се сматра да подношљив интензитет ерозије варира између различитих дубина земљишта, као и у различитим агроклиматским условима, али типично се креће од око 1 $t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$ на плитким земљиштима до 5 $t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$ на дубљим земљиштима. За Централну Србију, а на бази вешегодишњих истраживања на ерозионим парцелама, Ђоровић М., (1975), је предложио износ ерозионе толеранце за водну ерозију од 2 $t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$.

У сливу акумулације Првонек, прорачун толерантне ерозије је извршен према поступку Wischmeier-a (прилог: табела 4). С обзиром на степен ерозионе угрожености, земљишта се сврставају у пет класа, како је приказано у табели 41.

Табела 41. Степен ерозионе угрожености земљишта

	Степен ерозионе угрожености земљишта				
Назив	Није угрожено	Слабо угрожено	Средње угрожено	Јако угрожено	Веома јако угрожено
Степен	1	2	3	4	5
Индекс	< 1,00	1,01-2,00	2,01-7,00	7,01-28,00	>28,00

Степен ерозионе угрожености земљишта рачуна се на основу формуле:

$$EUZ = A/Gp \quad (15)$$

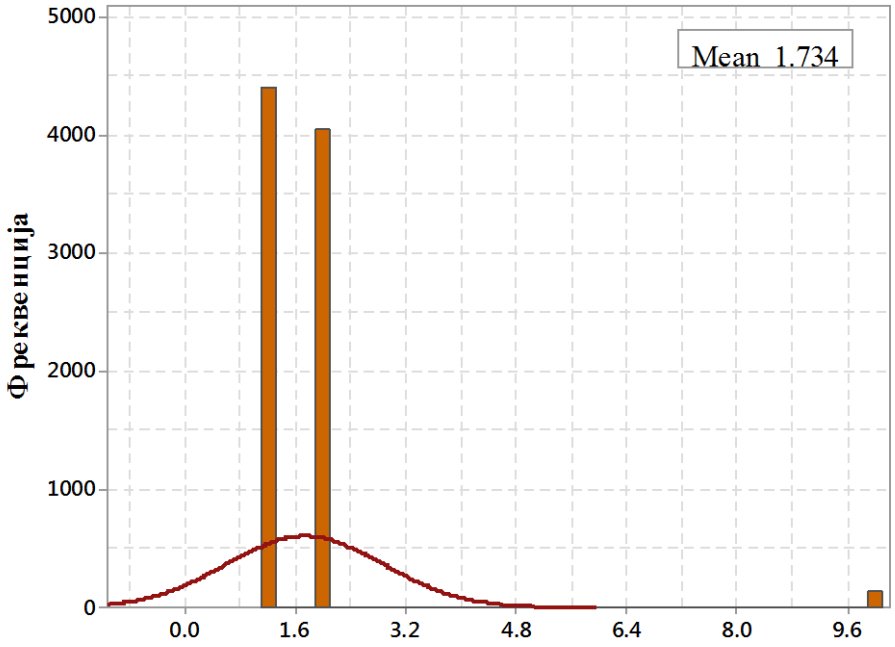
где је:

EUZ – ерозиона угроженост земљишта,

A - губитак земљишта под одређеним начином коришћења земљишта,

Gp - дозвољени (толерантни) губици земљишта.

На основу анализе морфолошких и физичких својстава земљишта, просечни дозвољени, толерантни, губитак земљишта слива акумулације Првонек износи 1,73 $t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$ (слика 86)

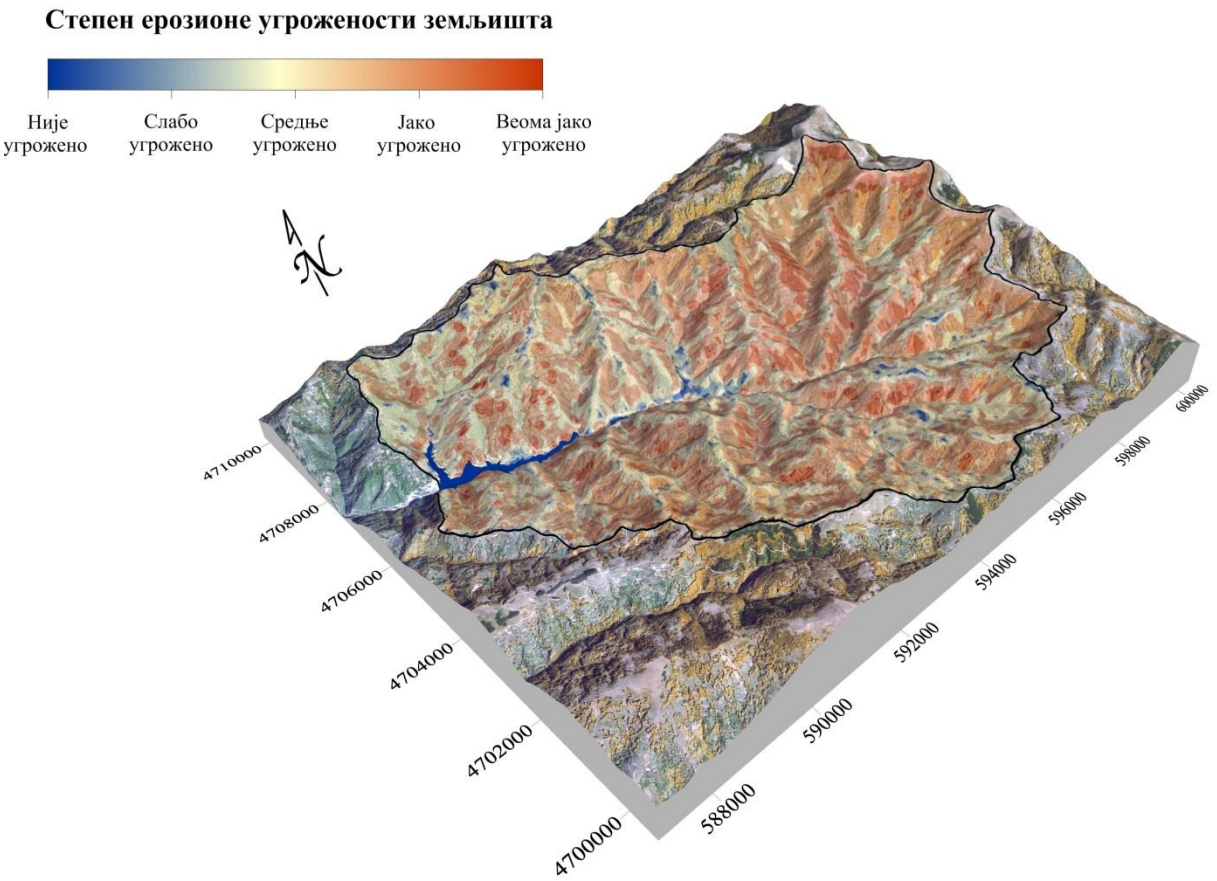


Слика 86. Толерантни губици земљишта проучаваног слива

Слика 87 приказује просторни распоред степена ерозионе угрожености земљишта применом USLE модела. Земљиште није угрожено на свега 112,3 хектара проучаваног слива, што чини 1,3 % укупне површине (табела 42). Земљиште је слабо угрожено ерозијом на 2,4 % тј. на 207,8 хектара. Средња угроженост ерозијом је на површини од 3167,1 хектара, односно на 37,1 %. По класификацији, јак степен угрожености ерозијом је она код које је индекс интензитета од 7,01-28,00, а то је површина од 4483,0 хектара или 52,5 % територије слива. Веома јак степен угрожености земљишта ерозијом је заступљен на 564,9 хектара, односно на 6,6 % територије.

Табела 42. Степен ерозионе угрожености земљишта применом USLE модела

Степен ерозионе угрожености земљишта	Површина	
	ha	%
Земљиште није угрожено	112,3	1,3
Слабо угрожено	207,8	2,4
Средње угрожено	3167,1	37,1
Јако угрожено	4483,0	52,5
Веома јако угрожено	564,9	6,6
Укупно	8535,0	100,0

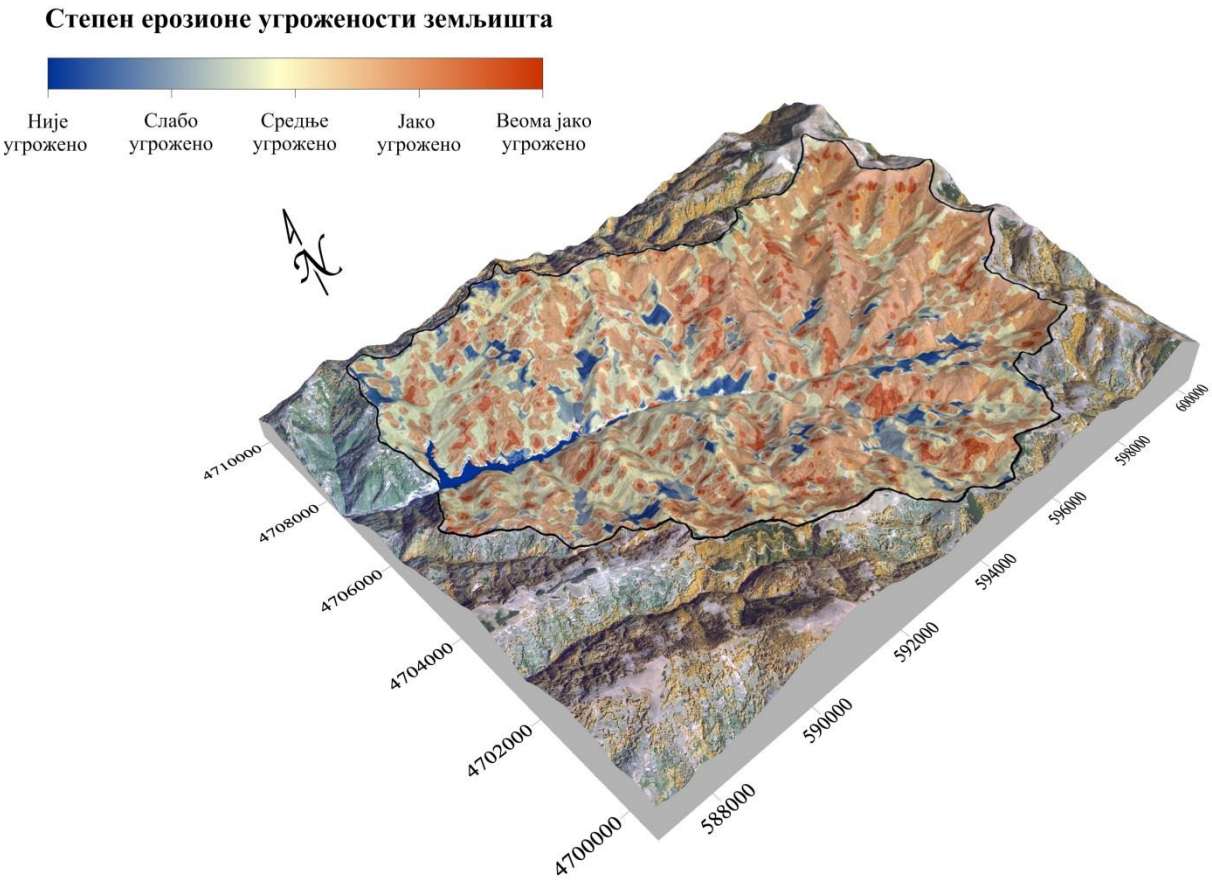


Слика 87. Степен ерозионе угрожености земљишта применом USLE модела

Степен ерозионе угрожености земљишта применом PESERA модела је приказан на слици 88. Земљиште није угрожено ерозијом на површини од 341,8 хектара, односно на 4,0 % територије слива (табела 43). Добијени резултати указују да је 527,7 хектара, односно 6,3 % територије, земљиште слабо угрожено. Средња угроженост земљишта је заступљена на 2964,4 хектара, тј. 34,7 % територије слива. Вредности јаке угрожености земљишта заступљени су на површини од 4270,9 хектара, односно на 50,00 % територије. Веома јака угроженост земљишта је заступљена на 430,2 хектара, односно на 5,0 % територије.

Табела 43. Степен ерозионе угрожености земљишта применом PESERA модела

Степен ерозионе угрожености земљишта	Површина	
	ha	%
Земљиште није угрожено	341,8	4,0
Слабо угрожено	527,7	6,3
Средње угрожено	2964,4	34,7
Јако угрожено	4270,9	50,0
Веома јако угрожено	430,2	5,0
Укупно	**8535,00**	**100,00**



Слика 88. Степен ерозионе угрожености земљишта применом PESERA модела

Утврђивање класификационог система и одређивање толерантних (подношљивих) прагова на територији Републике Србије и њихова имплементација у законске акте и правилнике државних и локалних органа је још један од важних задатака који очекују научне раднике који се баве овом тематиком.

6. ЗАКЉУЧАК

Ерозија земљишта је главни и најраспрострањенији облик деградације земљишта, и као таква, представља озбиљно ограничење одрживом развоју привреде и друштва.

Различити ерозиони модели су развијани широм света са циљем да се лакше квантификује ефекат који стварају ерозиони процеси. Истраживачи су стално у потрази за новим решењима, како би што реалније описали законитости функционисања екосистема. Различит приступ моделирању ерозионих процеса може довести до значајно другачијих резултата, чак и у случајевима када се користи исти ерозиони модел на индентичном подручју. Начин имплементације модела, односно, употреба података са различитим резолуцијама или тачности, извор улазних података, (не)правилна употреба геостатистичких модула и друго, могу имати кључну улогу у тачности добијених резултата.

Рељефом, климом и вегетационим покривачем слив акумулације Првонек представља погодно подручје за развој ерозионих процеса. Висока еродибилност земљишта, велики нагиби, деградиране шуме, неправилно коришћење земљишта условљавају појаве ерозије широких размера.

Проучавањем ерозионих процеса, на сливу акумулације Првонек, дошло се до следећих закључака:

- Годишњи губитак земљишта на подручју слива акумулације Првонек, применом USLE модела се креће у опсегу од 0 до 522,01 $t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$, са средњом вредношћу од 17,63 $t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$, што овај слив сврстава у групу умерено угрожених од ерозионих процеса. Одлучујући фактор који је утицао на интензитет ерозије, применом USLE модела, је фактор C са коефицијентом корелације 0,56. Следећи фактор који има утицај на финални слој је LS фактор са 0,45, док најмање утицаја има фактор ерозионе снаге кише са коефицијентом корелације 0,075. Просечна вредност регресије на нивоу слива, између свих фактора USLE модела, износи 0,66 односно модел са приближно 66 % верификује варијације у односу на просечни годишњи губитак земљишта. Резултати USLE модела указују да подручја са пољопривредним површинама имају највећи губитак земљишта, велике губитке земљишта су имале и деградиране шуме на стрмим нагибима. Нажалост, у Републици Србији не постоји просторна база података о земљишним и другим природним ресурсима, тако да то отежава да се USLE

модел спроведе у дело на ширим подручјима, али генерално, овакав приступ се може користити и на другим сливовима. Предложени систематски начин праћења ерозионих фактора, који је знатно олакшан употребом сателитских снимака, дигиталних модела терена, геостатистиком и другим сегментима ГИС-а, је непходан за све будуће конзервационе радове, како са аспекта прецизности и прилагођавања ситуацијама, тако и са аспекта ефикасности рада. Такође, ова метода је са аспекта финансијског улагања у њену реализацију далеко најјефтинија, нарочито у поређењу са традиционалним методама одређивања интензитета ерозије земљишта, што је још једном препоручује за шире коришћење.

- Годишњи губитак земљишта на подручју слива Првонек, применом PESERA модела, варира у опсегу од 0 до 147,61 $t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$, са средњом вредношћу од 16,68 $t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$, што овај слив сврстава у групу умерено угрожених од ерозионих процеса. Анализа осетљивости главних параметара, који чине основу PESERA модела, указује да је еродибилност земљишта фактор који веома утиче на резултат. Следећи фактори који утичу су начин коришћења земљишта и количине падавина. Недостатак PESERA модела је уочен код неких параметара, нарочито вегетационих, који су засновани на препорукама аутора модела и њиховим искуствима у генерисању тих слојева. PESERA модел је применљив са прецизном и детаљаном базом података, али неопходна је калибрација, и сходно томе од великог значаја била би провера модела са стварним губицима земљишта, тако да би даља истраживања требала да иду у том правцу. Такође, постоји потреба за континуираним напором у даљем развоју наведене апликација, за примену и тестирање модела у различитим подручјима Републике Србије, као и поједностављења у припреми улазних слојева и покретању модела.
- Просечни годишњи губитак земљишта, на подручју слива акумулације Првонек, применом WaTEM/SEDEM модела, износи 18,23 $t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$, што слив сврстава у групу умерено угрожених од ерозионих процеса. Повезаност никла са геолошком подлогом се пренела и на карту овог микроелемента транспортованог са наносом услед ерозионог процеса. Просечно, на подручју слива се премешта 0,00055 $kg \cdot m^{-2}$ никла, док на годишњем нивоу миграциони садржај овог микроелемента износи 46942,5 kg тј. 46,94 тона. Просторна расподела транспортованог олова нам указује да се просечно еродира 0,0049

$kg \cdot m^{-2}$ овог микроелемента. Укупно се годишње на сливном подручју премешта 418215 kg олова, односно, 418,215 тона. Олово се на проучаваном сливу јако везује за органску материју и захваљујући томе долази до миграције олова по површини земљишта, услед деловања процеса ерозије. Расподела транспортованих и акумулираних вредности бакра на проучаваном сливу просечно износи 0,0003 $kg \cdot m^{-2}$. Годишње се на сливу премешта 25605 kg бакра тј. 25,60 тона. Под утицајем фулво киселина миграција овог микроелемента је везана за премештање по дубини земљишног профила, што се пресликало и на његов неправилни просторни распоред на територији слива.

- На основу добијених резултата транспортованих микроелемената може се констатовати да је примена WaTEM/SEDEM модела дала добре резултате на проучаваном сливу. Ризична подручја са нешто вишим вредностима се углавном јављају на локалитетима где су забележене веће укупне количине микроелемената у земљишту, односно близу подручја са израженијим интензитетом ерозије. Физичко-хемијске карактеристике наноса утичу на степен везивања органских и неорганских загађивача, који се могу наћи у природним водама, тако да је од велике важности праћење квалитета суспендованог наноса и вода као важна компонента у програмима заштите и контроле сливова.

- Регресиони однос између просечних интензитета ерозије, на различитим категоријама нагиба, USLE и PESERE модела износи 44 %. Однос између просечних интензитета ерозије и експозиција терена применом наведена два модела износи високих 96,2 %, док код различитих типова земљишта овај однос износи 92,4 %.
- Комплетна корелација између свих предиктованих тачака USLE и PESERA модела је извршена над 8304 тачке, које кореспондирају резолуцији слива. Кофицијент корелације између USLE и PESERA модела износи 0,451** са вредношћу сигнификантности коефицијента корелације од 0,001, на основу чега се може закључити да су вредности резултата и учесталост дистрибуција на задовољавајућем нивоу. Укупна регресија између између свих тачака проучаваних модела износи 0,73, док је изменљиви R^2=0,59. Приметно је да се нешто лошија регресија јавља углавном на различитим типовима вегетационог покривача, вероватно због другачијег утицаја ефекта начина коришћења земљишта на интензитет ерозије приликом примене проучаваних модела.

У погледу сличности и разлика (предности и недостатака), за проучаване моделе је карактеристично:

- Модели се разликују у томе како ефекат рељефа (топографије) утиче на интензитет ерозије. Анализа је показала да PESERA није осетљива на мале промене топографије, односно чини мале разлике у фракционом посматрању овог фактора за разлику од USLE модела.

- Утицај климатских фактора, односно падавина, се другачије симулира у оквиру два наведена модела. USLE модел посматра падавине на годишњем нивоу, док PESERA модел узима у обзир временску дистрибуцију падавина на месечном нивоу, на основу чега модел показује високу осетљивост на климатске карактеристике.

- Иако модели користе сличну класификацију земљишног покривача, њихов утицај на ерозију земљишта није исти због различите параметризације. Сем тога, PESERA модел узима у обзир и друге вегетационе факторе приликом одређивања интензитета ерозије.

- Очигледно је да постоје различитости у утицају параметара земљишта на интензитет ерозије. Док је код USLE модела осетљивост земљишта на ерозију првенствено на бази односа садржаја органске материје и глине, PESERA модел кроз физичку стабилност земљишта одређује осетљивост на ерозију.

- Просторна расподела ерозионих процеса применом МПЕ сврстава проучавани слив у средњу категорију ерозије, са коефицијентом Z=0,5. Регресини однос између површина изражених у хектарима, под различитим категоријама ерозије, применом МПЕ и USLE модела износи 64,2 %, док је овај однос у односу на PESERA модел 39,2 %. Годишњи губитак земљишта под утицајем ерозије на подручју слива Првонек применом МПЕ износи 15,5 $t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$. Компарацијом наведене просечне вредности губитка земљишта, применом МПЕ и добијених просечних вредности применом USLE и PESERA модела на нивоу проучаваног слива, може се закључити да добијени резултати имају приближне вредности. На основу испитиваних зависности између МПЕ и проучаваних модела, може се закључити да између њих

постоји одређан ниво корелације. Међутим, да би модели били компатибилни односно упоредиви, мора се претходно извршити њихова хармонизација, а касније и стандардизација.

- Степен ерозионе угрожености земљишта је израчунат за оба проучавана модела на основу индекса угрожености земљишта ерозијом. На основу анализе морфолошких и физичких својстава земљишта, просечни дозвољени, толерантни, губитак земљишта слива акумулације Првонек износи 1,73 $t \cdot ha^{-1} \cdot god^{-1}$.

Следеће генерације ГИС-а захтеваће нови начин просторног моделирања података. У основи, нови модели ће имати за циљ да комплексније анализирају податке, који ће обезбедити могућности за брже доношење одлука у циљу спречавања или ублажавања опасности од природних катастрофа. Такви модели, који представљају поједностављен опис комплексне стварности, користиће пренос преко савремених комуникационих мрежа чиме ће се њихова ефикасност веома повећати. Данас, 3Д ГИС представља виртуелну реалност у многим истраживањима. 4Д ГИС (x,y,z и време) је следећа велика граница у развитку ГИС-а. Јасно је да су ГИС технологије у великој мери промениле нашу перцепцију стварности. Данашњи професионални изазов је да разуме нове трендове у науци и формулише иновативне апликације које задовољавају сложеност и убрзавање потребе двадесет првог века.

Поређење и усклађивање између тренутно доступних, различитих, просторно и временски оријентисаних модела, је велики изазов у истраживању ерозионих процеса. Повезивање већег броја научних радника ка овим иницијативама може да обезбеди добар пут ка побољшању методологија у предвиђању ерозионих процеса.

Резултати добијени применом USLE и PESERA модела у проучаваним условима пружају могућност око националног концензуса за избор ерозионог модела. Међутим, ниво њихове примене је првенствено условљен размерама подручја. Резултати указују да је примена USLE модела прикладнија када се ради о процени ерозионих губитака земљишта на мањим сливовима, пре свега због могућности модела да врши процену на детаљнијим резолуцијама. С друге стране, PESERA модел има предност када се ради о проценама губитака земљишта на регионалном нивоу, зато што боље одражава хидроеколошке параметре, који су од значаја за развој ерозионих процеса. На овакав

закључак упућују и резултати примене оба модела, према анализираној литератури, у различитим подручјима у Европи.

Међутим, има још много тога да се уради у истраживању ка проналажењу прихватљивог ерозионог модела као и у процесу хармонизације постојећих модела, јер је ерозија земљишта веома сложен процес са различитим комплексним факторима који утичу на њен развој.

7. ЛИТЕРАТУРА

Amore E., Modica C., Nearing MA., Santoro VC., (2004): Scale effect in USLE and WEPP application for soil erosion computation from three Sicilian basins. J Hydrol 293:100-114. doi:10.1016/j.jhydrol.2004.01.018.

Andrew Weiss, (2001): ESRI International User Conference paper, Topographic Position Index (TPI).

Антоновић Г., Мрвић В., (2008): Земљишта слива Нишаве, Институт за земљиште, Београд.

Antoni V., Le Bissonnais Y., Thorette J., Zaidi N. Laroche B., Barthes S., Daroussin J., Arrouays D., (2006): Modélisation de l'aléa érosif des sols en contexte méditerranéen? l'aide d'un Référentiel Régional Pédologique au 1/250 000e et confrontation aux enjeux locaux. Etudes et Gestion des Sols. Vol.13. 3. 201-222.

Arnold, J. G., Williams, J. R., Srinivasan, R., King, K. W., (1996): The soil and water assessment tool (SWAT) user's manual. Tech. rep., Temple, TX. 57, 60.

Arsyad, S. (1989): Konservasi Tanah dan Air. IPB Press. Bogor.

Бајат, Б., Благојевић, Д., (2007): Примена геостатистике у просторним анализама. Гласник Српског географског друштва, вол. 87, бр. 2, стр. 143-152, 2007.

Бајат Б., Крунић Н., Килибарда М., Самарџић М. (2011): Просторно моделовање концетрације становништва методом географске регресије, Зборник радова Географског института „Јован Цвијић“ САНУ 61(3)(151-168).

Bahadur KC., (2009): Mapping soil erosion susceptibility using remote sensing and GIS: a case of the Upper Nam Wa Watershed, Nan Province, Thailand. Environ Geol 57:695-705. doi 10.1007/s00254-008-1348-3.

Beasley, D. B., Huggins, L. F., Monke, E. J., (1980): Answers: a model for watershed planning. Trans Am Soc Agric Eng 23, 938-944. 2, 57.

Belanović, S., Knežević, M., Miličić Bogić, M. i Đorović, M., (2004): Contents of heavy metals and micro-flora in some soils of Mt. Stara Planina. Glasnik Šumarskog fakulteta, iss. 89, pp. 53-61.

Belanovic, S., Perovic, V., Vidojević, D., Kostadinov, S., Knežević, M., Kadović, R., Košanin, O., (2013): Assessment of soil erosion intensity in Kolubara district, Serbia, Fresenius Environmental Bulletin, Vol 22; No. 5.

Beven, K.J. and Kirkby, M.J., (1979): A physically based variable contributingarea model of catchment hydrology. Hydrological Science Bulletin 24(1):43-69.

Blinkov, I. and Kostadinov, S., (2010): Applicability of various erosion risk assessment methods for engineering purposes. University Ss.Ciryl and Methodius, Faculty of forestry, Dept. of Land and Water. Skopje, Republic of Macedonia. University of Belgrade, Faculty of Forestry, Dept. of Ecological Engineering in Soil and Water Resources Protection. Belgrade, Serbia.

Boardman, J., Poesen, J., & Evans, R., (2003): Socio-economic factors in soil erosion and conservation. Environmental Science & Policy, 6 (1), 1-6.

Boardman, J., & Poesen J., (2006): Soil erosion in Europe. John Wiley & Sons Inc. USA.

Boekhold, A.E., (1992): Field Scale behaviour of cadmium in soil. PhD Thesis, Wageningen Agricultural University.

Bosco, C., de Rigo, D., Dewitte, O., Poesen, J., Panagos, P., 2014. Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions 2 (4), 2639-2680. DOI: 10.5194/nhessd-2-2639-2014.

Bourennane H., King D., and Couturier A. (2000). Comparison of kriging with external drift and simple linear regression for predicting soil horizon thickness with different sample densities, Geoderma 97, 255–271.

Brian, I. and Costas, C., (2003): PESERA user's manual.

Buishand, T.A., J.J. Beersma, R. Sluiter & T. Kroon, (2008): Definitiestudie rasterdata meteorologie. De Bilt, KNMI / RWS Waterdienst, 2008.

Burrough, P.A., (1986): Principles of Geographic Information Systems for Land Resource Assessment. Monographs on Soil and Resources Survey No. 12, Oxford Science Publications, New York.

Calmano, W., Hong, J., Förstner, U. (1993) Binding and mobilisation of heavy metals in contaminated sediments affected by pH and redox potential. Water Science and Technology 28 (8 – 9), 223– 35.

Cerdan, O., Le Bissonnais, Y., Couturier, A., Saby, N., (2002): Modelling interrill erosion in small cultivated catchments. Hydrological Processes 16, 3215-3226. 57, 123, 151, 153.

Cerdan O., Poesen J., Govers G., Saby N., Le Bissonnais Y., Gobin A., Vacca A., Quinton J., Auerswald K., Klik A., Kwaad F.J.P.M., Roxo M.J., (2006): Sheet and rill erosion. In: J. Boardman and J. Poesen (Editors), Soil Erosion in Europe. Wiley & Sons, Chichester, pp. 501 – 518.

CORINE, (1992): Soil Erosion Risk and Important Land Resources in the Southern Regions of the European Community. EUR 13233. Office for Offical Publications of the European Communities, Luxembourg 97 pp.

Dabral PP., Baithuri N., Pandey A., (2008): Soil Erosion Assessment in a Hilly Catchment of North Eastern India Using USLE, GIS and Remote Sensing. Water Resour Manage 22:1783-1798. doi 10.1007/s11269-008-9253-9.

De Jong, S.M., Paracchini, M.L., Bertolo, F., Folving, S., Megier, J., de Roo, A.P.J., (1999): Regional assessment of soil erosion using the distributed model SEMMED and remotely sensed data. Catena, 37(3-4): 291-308.

De Roo, A. P. J., Wesseling, C. G., Ritsema, C. J., (1996): LISEM: A single-event physically based hydrological and soil erosion model for drainage basins. I: theory, input and output. Hydrological Processes 10 (8), 1107-1117. 1, 3, 15, 17, 24, 31, 57, 61, 93, 123.

De Vente J, Poesen J, Verstraeten G, Van Rompaey A, Govers G (2008): Spatially distributed modelling of soil erosion and sediment yield at regional scales in Spain. Global and Planetary Change 60, 393-415.

Desmet, P.J.J., Govers, G., (1996): A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. Journal of Soil and Water Conservation 51, 427-433.

Deumlich, D., R. Funk, M. Frielinghaus, W.A. Schmidt, O. Nitzsche, (2006): Review article. Basics of effective erosion control in German agriculture. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 169: 370-381.

Динић Анка, Видак Јовановић, Војислав Мишић, (2000): Шумска вегетација околине Врањске Бање, 6. Симпозијум о флори југоисточне Србије и суседних подручја, Врњачка Бања.

DHI, (1999): Soil Erosion Assessment Using GIS Version 1.0, documentation and user guide, February 1999.

Ђоровић М., (1975): Губици земљишног материјала и воде дејством ерозије с разних типова земљишта у Србији, Институт за шумарство и дрвну индустрију, посебно издање, Београд.

Đorović, M., (2005): Water and wind erosion, Acta Biological Yugoslavia, Yugoslav Society of Soil Science, Commission of water and soil conservation.

Dostál, T., M. Janecek, Z. Kliment, J. Krása, J. Langhammer, J. Váska, K. Vrana, (2006): Czech Republic. In: Boardman J. and Poesen J. (eds.). Soil erosion in Europe. John Wiley & Sons, Ltd. pp. 107-116.

EC, (2006): Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the protection of soil and amending Directive 2004/35/EC, COM(2006) 232.

Eckelmann, W., Baritz, R., Bialousz, S., Bielek, P., Carré, F., Houšková, B., Jones, R.J.A., Kibblewhite, M.G., Kozak, J., Le Bas, C., Tóth, G., Tóth, T., Várallyay, G., Yli Halla, M., & Zupan, M., (2006): Common Criteria for Risk Area Identification according to Soil Threats. EUR 22185 EN. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.

EEA, (1995): Corinne soil erosion risk and important land resources. http://reports.eea.europa.eu/COR0-soil/en.

EEA (1999): Environement in the European Union at the turn of the century. (Environmental assessment report 2). Copenhagen, Denmark: European Environment Agency.

EEA, European Environmental Agency, (2008): Impacts of Europe's changing climate - 2008 indicator-based assessment. Tech. rept. European Environmental Agency, Copenhagen.

EEA, (2012): Soil erosion (CLIM 028) - Assessment published Nov 2012. European Environment Agency. Copenhagen. Denmark (www.eea.europa.eu).

Eggleton, J., Thomas. K.V. (2004): A review of factors affecting the release and bioavailability of contaminants during sediment disturbance events. Environment International 30, 973– 980.

Environment Agency, (2002): Agriculture and Natural Resources: Benefits, Costs and Potential Solutions. Bristol, U.K.

ESB, (2006): Common Criteria for Risk Area Identification according to Soil Threats.

ESBN Plenary, (2005): Identifying Risk Areas for Soil Erosion in Europe.

ESRI ArcGIS Desktop 10 application tutorials, (2011): ArcGIS Desktop, Version 10.0, 378 ESRI, 380 New York Street, Redlands, CA, USA.

Eswaran H, Lal R, and Reich PF. (2001): Land degradation: an overview. In: Bridges EM, Hannam ID, Oldeman LR, Penning de Vries FWT, Scherr SJ, and Sombatpanit S (Editors), Response to land degradation. Science Publishers Inc., Enfield, NH, USA: pp. 20-35.

EU Soil Thematic, (2003): Nature and extent of soil erosion in Europe.

European Soil Bureau (2000): European Soil Erosion Risk Assessment, EUR 19044 EN.

European Commission (2010): Risk Assessment Methodologies of Soil Threats in Europe, ISBN 978-92-79-14291-8, DOI 10.2788/47096.

Ewen, J., Parkin, G., O'Connell, E., (2000): Shetran: Distributed basin flow and transport modelling system. Journal of Hydrologic Engineering 5(3), 250-258. 2, 3, 40, 57, 61.

Fistikoglu O., Harmancioglu NB., (2002): Integration of GIS with USLE in Assessment of Soil Erosion. Water Resour Manage 16: 447-467. DOI: 10.1023/A:1022282125760.

Flanagan, D.C., Nearing, M.A. (Eds.), (1995): USDA-Water Erosion Prediction Project: Hillslope Profile and Watershed Model Documentation. NSERL Rep. No. 10, National Soil Erosion Research Laboratory, USDA ARS, West Lafayette, pp. 298.

Friedland, A.J., Craig, B.W., Miller, E.K., Herrick, G.T., Siccama, T.G., Johnson, A.H., (1992): Decreasing lead levels in the forest floor of the Northeastern USA. Ambio 21, 400-403.

Гавриловић, С., (1962): Прорачун средње-годишње количине наноса према потенцијалу ерозије (A method for estimating of the average annual quantity of sediments according to the potency of erosion). Гласник шумарског факултета 26; 151–168. Београд.

Гавриловић, С. (1972): Инжењеринг о бујичним токовима и ерозији (Engineering of Torrents and Erosion). Београд.

Гавриловић, З., (1994): Важност лабораторијских тестова током експерименталног истраживања ерозије земљишта. Наводњавање и одводњавање у Србији: зборник радова саветовања; 327–331. Свилајнац.

Gavrilović, Z., (1988): The use of empirical method (erosion potential method) for calculating sediment production and transportation in unstudied or torrential streams. In: White, W. R. (ed.), International Conference on River Regime; 411-422. Chichester.

Гавриловић З., М. Стефановић М., Брајковић, (2001): Идентификација ерозионих подручја, Монографија "Управљање водним ресурсима Србије 01", 191-208. Београд.

Geraedts, L., Recatala-Boix L., Ano-Vidal, C. & Ritsema, C.J., (2008): Risk assessment methods of soil erosion by water. RAMSOIL report 2.1.

Gobin, A., Govers, G., (2001): PESERA (Pan-European Soil Erosion Assessment). EC Contract no. QLK5-CT-1999-01323, First Interim Report, 69pp.

Gobin, A., Daroussin J., and Jones R., (2000-2003). Peserauser's manual. Deliverable 17. Pan-european soil erosion risk assessment.

Gobin, A., Govers, G. (2003). Pan European Soil Erosion Risk Assessment – 3th Annual Report – EU 5th Framework Programme, Project No. QLK5-CT-1999-01323. 144 pp. Available at: http://pesera.jrc.it/

Gobin, A., Jones, R., Kirkby, M., Campling, P., Govers, G. Kosmas, C., and Gentile, A.R. (2004): Indicators for pan- European assessment and monitoring of soil erosion by water. Environ. Sci. Policy., 7, 25-38.

Griffin ML., Beasley DB., Fletcher JJ. and Foster GR., (1988): Estimating soil loss on topographically nonuniform field and farm units. J Soil Water Conserv 43:326-331 (http://www.jswconline.org/content/43/4/326.full.pdf?html).

Grimm, M., Jones, R.J.A., Montanarella, L., (2001): Soil erosion risk in Europe. European Soil Bureau. EUR 19022 EN, 38pp.

Grimm, M., Jones, R.J.A., Rusco, E., Montanarella, L., (2003): Soil erosion risk in Italy: a revised USLE approach. European Soil Bureau Research Report No. 11, EUR,EN.

Haskins, G., Davey, (1991): Integrated quantity-quality modelling: Stage 3. Tech. rep., Department of Water Resources, Sydney, pp. 102. 2, 57, 61.

Hargreaves, L. G., Hargreaves, G. H., and Riley, J. P. (1985): Irrigation Water Requirements for Senegal River Basin, J. Irrig. and Drain. Engrg., 111(3), 265-275.

Hengl, T., (2007): Grid size calculator [online]. Available from: http://spatial analyst.net/wiki/index.php?title=Grid_size_calculator.

Hickey R., Smith A., Jankowski P., (1994): Slope length calculations from a DEM within Arc/Info GRID. Comput Environ Urban 18(5):365-380. doi:10.1016/0198-9715(94)90017-5.

Hickey R., (2000): Slope angle and slope length solutions for GIS. Cartography 29(1), 1-8.

Irvem A., Topaloglu F., Uygur V., (2007): Estimating spatial distribution of soil loss over Seyhan River Basin in Turkey. J Hydrol 336:30-37. doi:10.1016/j.jhydrol.2006.12.009.

Irvine and Kosmas, (2003): PESERA Users Manual.

Irvine and Kosmas, (2007): PESERA Users Manual.

Jetten, V., Govers, G. and Hessel, R., (2003): Erosion models: quality and spatial predictions. Hydrological Processes, 17: 887-900.

Jeff Jenness (2006): Topographic Position Index (TPI) v. 1.2, http://www.jennessent.com/downloads/tpi_documentation_online.pdf

Johanson, R. C., Imhoff, J. C., Davis, H. H., (1980): Users manual for the hydrologic simulation program-fortran (hspf) version no. 5.0, epa-600/9-80-105. Tech. rep., USEPA Environmental Research Laboratory, Athens, GA. 57

Joint Research Centre, (2010): Risk Assessment Methodologies of Soil Threats in Europe, European Communities.

Jones et al., (2003): Use of Meteorological data sets at European level for input to the PESERA Grid Model. European Soil Bureau, Soil & Waste Unit.

Jones, R.J.A., Hiederer, R., Rusco, E., Loveland, P.J. and Montanarella, L., (2004): The map of organic carbon in topsoils in Europe, Version 1.2, September 2003: Explanation of Special Publication Ispra 2004 No.72 (S.P.I.04.72). European Soil Bureau Research Report No.17, EUR 21209 EN, 26pp. and 1 map in ISO B1 format. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

Jordan G., A. van Rompaey, A. Somody, U. Fügedi, M. Bats, and A. Farsang, (2009): Spatial Modelling of Contamination in a Catchment Area Impacted by Mining: a Case Study for the Recsk Copper publications Anikó Somody Mines, Hungary. Journal of Land Contamination and Reclamation, 17:415-424.

Jurgens C., Fander M., (1993): Soil erosion assessment and simulation by means of SGEOS and ancillary digital data. Int J Remote Sens 14 (15): 2847-2855. doi:

10.1080/01431169308904313.

Kabata-Pendias, A. & Pendias, H., (2001): Trace Elements in Soils and Plants, 3nd Edition, CRC Press, Boca Ratón, Florida.

Кадовић Ратко, (1999): Противерозиони агроекосиситеми, ИСБН 86-7299-046-3, Шумарски факултет, Београд.

Кадовић Р., Кнежевић М., (2002): Тешки метали у шумским екосистемима Србије, монографија, Шумарски факултет Универзитета у Београду и Министарство за заштиту природних богатстава и животне средине Републике Србије, Београд (1-279).

Кадовић Р.,Кошанин О., Белановић С., Кнежевић М., (2005): Тешки метали у органском слоју земљишта букових шума Србије, Гласник Шумарског факултета 92, Универзитет у Београду - Шумарски факултет, Београд (55-67), ДОИ:10.2298/ГСФ0592055К.

Кадовић Р, Белановић С, Кнежевић М., (2007): Еколошки квалитет земљишта у сливу и утицај на квалитет вода будуће акумулације "Селова". Водопривреда;39(5-6):401-407.

Karl Auerswald, Peter Fiener, Walter Martin, Dirk Elhaus (2014): Use and misuse of the K factor equation in soil erosion modeling: An alternative equation for determining USLE nomograph soil erodibility values, CATENA, Volume 118, Pages, 220-225, ISSN 0341-8162, http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2014.01.008.

Kelderman, P., Osman, A.A. (2007): Effect of redox potential on heavy metal binding forms in polluted canal sediments in Delft (TheNetherlands). Water Research 41, 4251–4261.

Kennelly, P., (2008): Terrain Maps Displaying Hill-shading with Curvature. Geomorphology. 102: 567-577.

Kertész, A. and C. Centeri., (2006): Hungary. In: Boardman J. and Poesen J. (eds.). Soil erosion in Europe. John Wiley & Sons, Ltd. pp. 139-153.

Kirkby, M.J., Morgan, R.P.C., (1984): Erosión de suelos. Ed. Limusa, México D. F.

Kirkby, M.J. and Cox, N.J., (1995): A Climatic Index for Soil-Erosion Potential (Csep) Including Seasonal and Vegetation Factors. Catena 25(1-4): 333-352.

Kirkby, M.J., Irvine, B.J., Jones, R.J.A., Govers, G., Boer, M., Cerdan, O., Daroussin, J., Gobin, A., Grimm, M., Le Bissonnais, Y., Kosmas, C., Mantel, S., Puigdefabregas, J. Van Lynden, G., (2008): The PESERA coarse scale erosion model for Europe. I. Model rationale and implementation. European Journal of Soil Science 59, 1293-1306.

Kisić, I., Bašić, F., Mesić, M., & Butorac, A., (2000): Estimate of erosion risk on soils in the Vinodol Valley. Agriculturae Conspectus Scientificus.

Klose Anna, (2009): Soil characteristics and soil erosion by water in a semi-arid catchment (Wadi Drâa, South Morocco) under the pressure of global change, doctoral thesis, University of Bonn, Bonn.

Knisel, W. G., (1980): Creams, a field scale model for chemicals, runoff and erosion from agricultural management systems. U. C. R. Report USDA 26. 15, 57, 92.

Костадинов Станимир, (2008): Бијични токови и ерозија , ИСБН 8672991478, 9788672991475, Шумарски факултет, Београд.

Костадинов С., Драговић Н., Златић М., Тодосијевић М., (2008): Утицај противерозионих радова у сливу реке Топлице узводно од бране „Селово“ на интензитет ерозије земљишта, Водопривреда 0350-0519, 40 (2008) 231-243 п. 115-126.

Костадинов С., Драговић Н., Миловановић И., Тодосијевић М., (2010): Ерозија и нанос у сливо Врањско-бањске реке узводно од акумулације Првонек, Ерозија, стручни часопис за уређење бујица и заштиту од ерозије, Шумарски факултет, Београд, број 35.

Kosmas C., Yassoglou N., Kosmopoulou P., Kosma D., (2003): In Pan European Soil Erosion Risk Assessment – 3rd Annual Report – EU 5th Framework Programme, Project No. QLK5-CT-1999-01323

Крчмар Дејан, (2010): Утицај промене физичко-хемијских услова и одабраних третмана на мобилност метала у систему седимент/вода. Докторска дисертација, Департман за хемију,биохемију и заштиту животне средине, ПМФ, Нови Сад.

Kuhlman, T., Reinhard, S., Gaaff, A., (2010): Estimating the costs and benefits of soil 298 conservation in Europe, Land Use Policy, 27 (1), 22-32.

Laflen, J.M., Lane, L.J., Foster, G.R., (1991): WEPP-a next generation of erosion prediction technology. J. Soil Water Conserv., vol. 46, pp. 34-38.

Laflen, J.M., Elliot, W.J., Flanagan, D.C., Mayer, C.R., Nearing, M.A., (1997): WEPP-predicting water erosion using a processbased model. J. Soil Water Conserv., vol. 52, pp. 96-102.

Lal R.,(2001): Soil degradation by erosion. Land Degradation & Development 12 (6): 519-39.

Larsen, A.N., Gregersen, I.B., Christensen, O.B., Linde, J.J., Mikkelsen, P.S., (2009): Potential 305 future increase in extreme one-hour precipitation events over Europe due to climate 306 change, Water Science and Technology, 60 (9), pp. 2205-2216.

Лазаревић, Р., (1968): Ерозија у сливу Гвоздачке реке – прилог методици за израду карте ерозије (Erosion in the Gvozdačka reka river basin – supplement to the instructions for erosion map elaboration). Гласник Српског географског друштва 49(2); 75–98. Београд.

Лазаревић, Р., (1985): Нови поступак за одређивање коефицијената ерозије (Z) (The new method for erosion coefficient determination – Z). Ерозија – стручно-информативни билтен 13; 54–61. Београд.

Le Bissonnais Y., Montier C., Jamagne M., Daroussin J. King D., 2002 - Mapping erosion risk for cultivated soil in France. CATENA. 46, 207-220.

Le Bissonnais, Y., Daroussin, J., Kosmas, C., Kosmopoulou, P. and Tsara, M., (2003): Validation of the PESERA model at regional scale. PESERA, European Commission funded fifth framework project - contract QLK5-CT- 1999-01323, 20pp.

Lee Bissonais, Y. und J. Daroussin (2003): Validation of the PESERA model for the normandy area (France). In: PESERA. Validation of the PESERA model at the regional scale. 2-10.

Le Bissonnais, Y., Jamagne, M., Lambert, J-J., Le Bas, C., Daroussin,J., King, D., Cerdan, O., Leonard, J., Bresson, L-M., Jones, R.J.A., (2005): Pan-European soil crusting and erodibility assessment from the European Soil Geographical Database using pedotransfer rules. Advances in Environmental Monitoring and Modelling 2: 1-15.

Lee Bissonnais., Daroussin J., Lecour, A., King, D., Jamagne, M., Lambert, J.J, Le Bas, C. (2006): MESALES (Modle d'Evaluation Spatiale de l'ALéa Erosion des Sols - Regional Modelling of Soil Erosion Risk) - Assessment in Europe. INRA, Ardon, France.

Lee S., (2004): Soil erosion assessment and its verification using the Universal Soil Loss Equation and Geographic Information System: a case study at Boun, Korea. Environ Geol 45 (4), 457-465. doi 10.1007/s00254-003-0897-8.

Leivuori, M., Jokšas K., Seisuma Z., Kulikova I., Petersell V., Larsen B., Pedersen B., Floderus S. (2000): Distribution of heavy metals in the sediments of the Gulf of Riga, Baltic Sea. Boreal Environment Research 5 (2), 165.

Licciardello F, Govers G, Kirkby MJ, Vacca, A Kwaad FJPM (2009): An evaluation of the PESERA model in two contrasting environments. Earth Surface Processes and Landforms 32, 624 - 640.

Lilly A., Grieve I.C., Jordan C., Baggaley NJ., Birnie RV., Futter MN., Higgins A., Hough R., Jones M., Nolan AJ., Stutter MI., Towers W. (2009): Climate change, land management and erosion in the organic and organo-mineral soils in Scotland and Northern Ireland. Scottish Natural Heritage Commissioned Report No.325 (ROAME No. F06AC104 - SNIFFER UKCC21).

Littleboy, M., Grundy, M.J., Bryant, M.J., Gooding, D.O. and Carey, B.W. (1992): Using spatial land resource data and computer simulation modelling to evaluate sustainability of wheat cropping for a portion of the eastern Darling Downs, Queensland. Mathematics and Computers in Simulation, 33, 463-468.

Lomborg B.,(2001): The skeptical environmentalist: measuring the real state of the world. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

López Vicente, M., (2007): Erosión y redistribución del suelo en agroecosistemas mediterráneos: Modelización predictiva mediante SIG y validación con 137Cs (Cuenca de Estaña, Pirineo Central). Facultad de Ciencias. Facultad de Ciencias. Universidad de Zaragoza.

Ma JW., Xue Y., Ma CF., Wang ZG., (2003): A data fusion approach for soil erosion monitoring in the Upper Yangtze River Basin of China based on Universal Soil Loss Equation (USLE) model. Int J Remote Sens 24 (23):4777- 4789. DOI: 10.1080/0143116021000056028.

Mati BM., Veihe A., (2001): Application of the USLE in a savannah environment: comparative experiences from East and West Africa. Singapore J Tropical Geogr 22(2):138-155. DOI: 10.1111/1467-9493.00099.

Mantel S., C.J.E. Schulp and M. van den Berg, (2014): Modelling of soil degradation and its impact on ecosystem services globally, Wageningen.

McCool D.K., Brown L.C. & Foster G.R., (1987): Revised slope steepness factor for the universal soil loss equation. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers 30, 1387-1396.

Meusburger K., Konz N., Schaub M., and 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, 208-215.

Мијановић, О. Ђаконовић, Ф., Вукићевић, Е., (1992): Украсне биљне врсте Врањске Бање. Гласник шумарског факултета, 74: 489-502

Милановић М. (2008): Теледетекциона мултиспектрална анализа у истраживању елемената животне средине, докторска дисертација, Универзитет у Београду, Географски факултет, Београд.

Милановић М., Љешевић М., (2009): „Теледетекционе методе истраживања животне средине“, Универзитет у Београду, Географски факултет, Београд.

Milenkovic, N., Damjanovic, M., Ristic, M., (2005): Study of Heavy Metal Pollution in Sediments from the Iron Gate (Danube River), Serbia and Montenegro, Polish Journal of Environmental, Studies, 14, 781-787.

Millward AA., Mersey JE., (1999): Adapting the RUSLE to model soil erosion potential in a mountainous tropical watershed. Catena 38 (2):109-129. doi:10.1016/S0341-8162(99)00067-3.

Mitasova, H., Mitas, L., Brown, W.M., and Johnston, D., (1996): Multidimensional Soil Erosion/Deposition Modeling. Part III: Process Based Erosion Simulation. Geographic Modeling and Systems Laboratory, University of Illinois, Urbana, IL.

Mitasova, H., Brown, W.M., Hohmann, M., and Warren, S., (2001): Using soil erosion modeling for improved conservation planning: A GIS-based tutorial.

Мишић, В., Динић, А., Јовановић, В., Калинић, М. (1985): Специфичности шумске вегетације јужне Србије од Врања до Прешева, Симпозијум “Стогодишњица флоре околине Ниша”, Зборник радова: 73-80, Ниш.

Moore I., Burch G., (1986): Physical basis of the length-slope factor in the Universal Soil Loss Equation. Soil Sci Soc Am J 50(5): 1294-1298. doi:10.2136/sssaj1986.5051294x.

Moore ID., Wilson JP., (1992): Length-slope factors for the revised universal soil loss equation: simplified method of estimation. J Soil Water Conserv 47(5):423-428 (http://www.jswconline.org/content/47/5/423.full.pdf?html).

Morgan, R. P. C., Quinton, J. N., Smith, R. E., Govers, G., Poesen, J. W. A., Auerswald, K., Chisci, G., Torri, D., Styczen, M. E., (1998): The European Soil Erosion Model (EUROSEM): a dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. Earth Surface Processes and Landforms, Volume 23, Issue 6, pp. 527-544.

Morgan, R.P.C., (2005): Soil Erosion and Conservation, 3rd edition. Blackwell Publishing, Oxford, 304 pp. ISBN 1-4051-1781-8.

Oñate, J.J., & Peco, B., (2005): Policy impact on desertification: stakeholders' perceptions in southeast Spain. Land Use Policy, 22 (2), 103-114.

Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), 2001. Environmental indicators for agriculture. OECD Publications, Paris.

OECD, (2008): Environmental Performance of Agriculture in OECD countries, Organisation for Economic Co-operation and Development.

Olaya, V., (2012): The SEXTANTE framework [online]. Available from: http://www.sextantegis.com/index.html [Accessed 18 Jun 2012].

Øygarden, L., H. Lundekvam, A.H. Arnoldussen, T. Børresen., (2006): Norway. In: Boardman J. and Poesen J. (eds). Soil erosion in Europe. John Wiley & Sons, Ltd. pp. 4-15.

Panagos, P., Karydas, CG., Gitas, IZ., Montanarella, L., (2012): Monthly soil erosion monitoring based on remotely sensed biophysical parameters: a case study in Strymonas river basin towards a functional pan-European service. International Journal of Digital Earth Vol. 5, Iss. 6, 2012, pp. 461-487.

Panagos, P., Karydas, CG., Ballabio, C., Gitas, IZ., (2014): Seasonal monitoring of soil erosion at regional scale: An application of the G2 model in Crete focusing on agricultural land uses. International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation 27PB (2014), pp. 147-155, DOI: 10.1016/j.jag.2013.09.012.

Panagos, P., Meusburger, K., Ballabio, C., Borrelli, P., Alewell, C. (2014): Soil erodibility in Europe: A high-resolution dataset based on LUCAS, Science of Total Environment, 479–480 (2014) pp. 189–200.

Panagos, P., Ballabio, C., Borrelli, P., Meusburger, K., Klik, A., Rousseva, S., Tadic, M.P., Michaelides, S., Hrabalíková, M., Olsen, P., Aalto, J., Lakatos, M., Rymszewicz, A., Dumitrescu, A., Beguería, S., Alewell, C. (2015): Rainfall erosivity in Europe. Sci Total Environ. 511 (2015), pp. 801-814. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.01.008.

Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K. A. (2015): New European Slope Length and Steepness Factor (LS-Factor) for Modeling Soil Erosion by Water.Geosciences 2015, 5, 117-126.

Pahernik, M. (2007). Digital analysis of the slopes of Rab island, Geoadria, 12(1), 3–22.

Perović, V., Đorđević, A., Životić, Lj., Nikolić, N., Kadović, R., Belanović, S.; (2012): Soil Erosion Modelling in the Complex terrain of Pirot Municipality. Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, May 2012, Vol. 7, No. 2, 93 - 100.

Perovic V., Zivotic Lj. , Kadovic R., Đorđevic A., Jaramaz D., Mrvic V., Todorovic M., (2012): Spatial modelling of soil erosion potential in a mountainous watershed of South-eastern Serbia, Environmental Earth Sciences, ISSN 1866-6280, DOI 10.1007/s12665-012-1720-1.

Pertsemli, E., Voutsa, D. (2007). Distribution of heavy metals in Lakes Doirani and Kerkini, Northern Greece. Journal of Hazardous Materials 148 (3), 529-537.

Perry, M. & D. Hollis, (2005): The generation of monthly gridded datasets for a range of climatic variables over the UK. International Journal of Climatology 25, pp. 1041-1054.

Петковић Слободан, (1995): Генеза и транспорт наноса у сливу Јужне Мораве и услови његовог коришћења, Шумарски факултет.

Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., Crist, S., Shpritz, L., Fitton, L., Saffouri, R., Blair, R., (1995): Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. Science 267 (5201), 1117-1123.

Renard KG., Foster GR., Weesies GA., (1991): RUSLE: revised universal soil loss equation. J Soil Water Conserv 46(1):30-33.

Renard KG, Foster GR, Weesies GA, McCool DK, and Yoder DC (1997): Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 703, Washington DC

Richard G. Allen, L.S.P., Dirk Raes,Martin Smith, (1998): Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56.

Riggins, R.E., Ward, T.J., and Hodge, W., (1989): ARMSED: A runoff and sediment yield model for army training land watershed management, Vol. I: Parameter estimation and Vol. II: Program documentation. USACERL TR N-89/12, January.

Ristić, R., Radivojević, S., Radić, B., Vasiljević, N., Bjedov, I., (2010): Restoration of Eroded Surfaces in Ski Resorts of Serbia, CATENA VERLAG, Advances in GeoEcology, No 41, pg. 165-174, Reiskirchen, Germany.

Ристић Р., Малошевић Д., (2011): Хидрологија бујичних токова, Шумарски факултет, Београд.

RIVM, (1992): The environment in Europe: a global perspective. Report 481505001, RIVM, Bilthoven, The Netherlands.

Rousseva S., Lazarov A., Stefanova V., Tsvetkova E., Malinov I. 2006. Soil erosion assessments in Bulgaria. In: M. Morel et al. (eds) BALWOIS 2006 Conference on Water Observation and Information System for Decision Support, 23-26 May 2006, Ohrid, Republic of Macedonia paper No 153).

Römkens et. al., (1986): performed a regression analysis on a world-wide dataset of all measured K-values, which yielded the following equation (revised in Renard et al.,1997)

Ruml, M., Vuković, A., Vujadinović, M., Đurđević, V., Ranković-Vasić, Z., Atanacković, Z., Sivčev, B., Marković, N., Matijašević, S., Petrović, N. (2012): On the use of regional climate models: Implications for climate change for viticulture in Serbia. Agriculture and Forest Meteorology 158: 53-62.

Saljnikov E., Saljnikov A., Rahimgalieva S., Cakmak D., Kresovic M., Mrvic V., Dzhalankuzov T. 2014: Impact of Energy Saving Cultivations On Soil Parameters In Northern Kazakhstan. Energy 77:.35–41.

Sánchez, J., P. Lillo, J.C. Colomer, (1998): Application of the universal soil loss equation (adapted) in Gran Canaria Island. In: Rodríguez A., Jiménez C.C. and Tejedor M.L. (eds). The soil as a strategic resource: degradation processes and conservation measures. Geoforma Ediciones, Logroño: 207-217.

Schmidt, F., (2004): Topocrop documentation [online]. Available from: http://www.fs-privat.de/diss.htm [Accessed 29 May 2012].

Scottish Environment Protection Agency, (SEPA), (2006): Provision of a Screening Tool to Identify and Characterise Diffuse Pollution Pressures: Phase II.

SEEFCCA (2012): Procena ranjivosti na klimatske – Srbija, Beograd, ISBN 978-86-915643-0-8.

Soil survey laboratory methods manual, (1992): pp. 33, 259–266, 347, and 356.

Soil Erosion Risk in Europe, (2002): European Soil Bureau Institute for Environment & Sustainability JRC Ispra, EU.

Solé, A., (2006): Spain. In: Boardman J. and Poesen J. (eds.). Soil erosion in Europe. John Wiley & Sons, Ltd. pp. 311-346.

Станев С.И. (1979): Почвена ерозија и борбата с неја, Д.И. Техника, Софија.

Стратегија за заштиту земљишта Европске комисије, (2006): Proposal of Directive of EU Parlament and of the Counciol establishing a framework for the protection of soil and amending Directive 2004/35/EC.

Strauss, P. and E. Klaghofer, (2006): Austria. In: Boardman J. and Poesen J. (eds.). Soil erosion in Europe. John Wiley & Sons, Ltd. pp. 205-212.

Stroosnijder L., (2003): Measurement of erosion: is it possible? In: Gabriels D, and Cornelis W (Editors), Proceedings of the International Symposium on 25 Years of Assessment of Erosion. Ghent, University, Ghent, Belgium: pp. 53-59.

Тодосијевић М., (2012): Еколошки и економски ефекти одрживог управљања земљишним ресурсима планинског подручја општине Љубовија. Докторска дисертација, Шумарски факултет, Београд.

Torri, D., Poesen, J., Borselli, L., (1997): Predictability and uncertainty of the soil erodibility factor using a global dataset. Catena 31 (1-2) : 1-22.

Torri, D., L. Borselli, F. Guzzetti, M.C. Calzolari, P., Bazzoffi, F. Ungaro, D. Bartolini, P. Salvador, (2006): Italy. In: Boardman J. and Poesen J. (eds). Soil erosion in Europe. John Wiley & Sons, Ltd. pp. 245-261.

Toy, T.J., G.R. Foster und K.G. Renard , (2002): Soil Erosion. Processes, Prediction, Measurement, and Control. John Wiley & Sons, Inc. New York.

Tošić, R., Kapović, M., Lovrić, N., Dragićević, S. (2013): Assessment of soil erosion potential using Rusle and Gis: A case study of Bosnia and Herzegovina. Fresenius Environmental Bulletin, 22(11a): 3415-3423.

Tsara M, Kosmas C, Kirkby MJ, Kosma D, Yassoglou N (2005): An evaluation of the PESERA soil erosion model and its application to a case study in Zakynthos, Greece. Soil Use and Management 21, 377-385.

Ulén, B., (2006): Austria. In: Boardman J. and Poesen J. (eds.). Soil erosion in Europe. John Wiley & Sons, Ltd. pp. 17-25.

UNEP, (2005): One Planet Many People: Atlas of Our Changing Environment. United Nations Environment Programme: 332 pp.

United Nations, (2002): World Summit on Sustainable Development: Plan of Implementation. United Nations, New York, USA

USEPA, (1994): Swrrbwq windows interface users guide. Tech. rep., US Environmental Protection Agency. 57.

Van Beek, C. L., Tóth, T., Hagyó, A., Tóth, G., Recatalá Boix, L., Añó Vidal, C., Malet, J. P., Maquaire, O., Van den Akker, J. J. H., Van der Zee, S. E. A. T. M., Verzandvoort, S., Simota, C., Kuikman, P. J. and Oenema, O., (2010): The need for harmonizing methodologies for assessing soil threats in Europe. Soil Use and Management, 26: 299-309. doi: 10.1111/j.1475-2743.2010.00280.x

Van der Knijff, J.M., Jones, R.J.A., Montanarella, L. (1999): Soil erosion risk assessment in Italy. European Soil Bureau. EUR 19022 EN, 52pp.

Van der Knijff, J.M., R.J.A. Jones, L. Montanarella., (2000): Soil erosion risk assessment in Europe. EUR 19044 EN, 33 pp.

Van Oost K., Govers G., Desmet P., (2000): Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage. Landscape Ecol 15:577-589

Van Oost, K. and Govers, G., (2000): Usle2D: Online manual [online]. from:http://www.kuleuven.be/geography/frg/modelling/erosion/usle2dhome/.

Van Rompaey, A., Govers, G., Waumans, T., Van Oost, K., Poesen, J., Desmet, J., (2000): A regional soil erosion risk map for Flanders (Belgium), @WEL 3 (2000), 1-6 pp.

Van Rompaey, A., Verstraeten, G., Van Oost, K., Govers, G., Poesen, J., (2001): Modelling mean annual sediment yield using a distributed approach. Earth Surface Processes and Landforms 26 (11), 1221-1236. 57.

Van Rompaey, A., Verstraeten, G., Van Oost, K., Rozanov, A., Govers, G., Poesen, J., (2001b): Modelling sediment transport in the Jonkershoek catchment. Part 1: Model calibration and validation. In: Cartographic modelling of land degradation, Proceedings of the Workshop held in Ghent (September 2001) in the framework of the Bilateral Cooperation between Flanders and South-Africa: 75-89.

Van Rompaey, A., Krasa, J., Dostal, T., Govers, G., (2003a): Modelling sediment supply to rivers and reservoirs in Eastern Europe during and after the collectivization period. Hydrobiologia 494, 169-176.

Van Rompaey, A., Bazzoffi, P., Jones, R.J.A., Montanarella, L., (2005): Modelling sediment yields in Italian catchments. Geomorphology 65, 157-169.

Van Remortel R., Maichle R. & Hickey R., (2004): Computing the RUSLE LS Factor based on Arraybased Slope Length Processing of Digital Elevation Data Using a C++ Executable. Computers and Geosciences, 30(9-10), 1043-1053.

Verheijen F.G.A., Jones R.J.A., Smith C.J., Rickson R.J., (2009): Tolerable versus actual soil erosion rates in Europe. Earth-science Reviews. 94, 23-38.

Verstraeten, G., Poesen, J. (2001): Factors controlling sediment yield for small intensively cultivated catchments in a temperate humid climate. Geomorphology 40, 123-144.

Verstraeten G., Van Oost K., Van Rompaey A., Poesen J., Govers G., (2002): Evaluating an integrated approach to catchment management to reduce soil loss and sediment pollution through modelling. Soil Use Manage 18:386-394

Verstraeten, G., Poesen, J., De Vente, J., Koninckx, X. (2003): Sediment variability in Spain: a quantitative and semi-quantitative analysis using reservoir sedimention rates. Geomorphology 50: 327-348.

Verstraeten, G., Poesen, J., Goossens, D., Gillijns, K., Bielders, C., Gabriels, D., Ruysschaert, G., Van der Eeckhaut, M., Vanwalleghem, T., Govers, G., (2006): Belgium. In: J. Boardman, & J. Poesen (Eds.), Soil erosion in Europe (pp. 385-411). Chichester, England: John Wiley & Sons Ltd.

Verstraeten, G., Prosser, I.P., (2008): Modelling the impact of land-use change and farm dam construction on hillslope sediment delivery to rivers at the regional scale. Geomorphology 98, 199-212.

Viney, N. R., Sivapalan, M., Deeley, D., (2000): A conceptual model of nutrient mobilisation and transport applicable at large catchment scales. Journal of Hydrology 240, 23-44. 40, 57.

Vrieling, A., (2007): Mapping erosion from space. Wageningen, Wageningen University, Tropical Resource Management Papers = Documents sur la Gestion des Ressources Tropicales 90, ISBN: 978-90-8504-587-8.

Wang, B., Zheng, F., Römkens, M.J.M., (2012): Comparison of soil erodibility factors in USLE, RUSLE2, EPIC and Dg models based on a Chinese soil erodibility database. Acta Agriculturae Scandinavica Section B: Soil and Plant Science 63 (1) : 69-79.

Weisshaidinger, R. and H. Leser, (2006): Switzerland. In: Boardman J and Poesen J. (eds.) Soil erosion in Europe. John Wiley & Sons, Ltd. pp. 231-244.

Wischmeier and D. D. Smith, (1965): Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: guide for selection of practices for soil and water conservation. Agricultural Research Service, U. S. Dept of Agriculture in cooperation with Purdue Agricultural Experiment Station.

Wischmeier (1978): Predicting Rainfall Erosion Losses. Agriculture Handbook 537. United States Department of Agriculture. Science and Education Administration.

Wischmeier, W.H. and D.D. Smith, (1978): "Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning." Agriculture Handbook No. 537. USDA/Science and Education Administration, US. Govt. Printing Office, Washington, DC. 58pp.

Woolhiser, D. A., Smith, R. E., Goodrich, D. C., (1990): Kineros, a kinematic runof and erosion model: documentation and user manual. ars-77. Tech. rep., USDA-Agricultural Research Service. 2, 15, 17, 57, 61, 92.

Wu, S.; Li, J., Huang, G., (2005): An evaluation of grid size uncertainty in empirical soil loss modeling with digital elevation models, Department of Agriculture, Regina, Saskatchewan, Canada, 2005.

Yang, D., Kanae, S., Oki, T., Koike, T. and Musiake, K., (2003): Global potential soilerosion with reference to land use and climate changes. Hydrological Processes 17, 2913-2928.

Young, P. C., (1978): Modeling, Identification and Control in Environmental Systems. North Holland, Amsterdam, Ch. A general theory of modelling for badly defined dynamic systems, pp. 103-135. 179.

Yu, B., Rose, C. W., Cielsiolka, C. A. A., Coughlan, K. J., Fentie, B., (1997): Towards a framework for runoff and soil loss prediction using guest technology. Australian Journal of Soil Research 35, 1191-1212. 2, 57.

Жујовић, J., (1893): Геологија Србије, I део. Српска краљевска академија, Београд.

Zhang Q., Wang L., Wu F., (2008): GIS-Based Assessment of Soil Erosion at Nihe Gou Catchment. Agri Sci China 7(6): 746-753. doi:10.1016/S1671-2927(08)60110-8.

Zoumis, T., Schimdt, A., Grigorova, L. and Calmano, W. (2001): Contaminants in sediments: remobilisation and demobilisation. The Science of the Total Environment266, 195-202.

Џамић Р., Стевановић Д., Јаковљевић М., (1996): Практикум из агрохемије, Пољопривредни факултет, Београд.

Шкорић А., Ћирић М., Филиповски Г., (1985): Класификација земљишта Југославије, Сарајево.

Интернет презентације:

http://apps.isiknowledge.com

https://www.researchgate.net/

www.USGS.gov

http://www.esri.com/

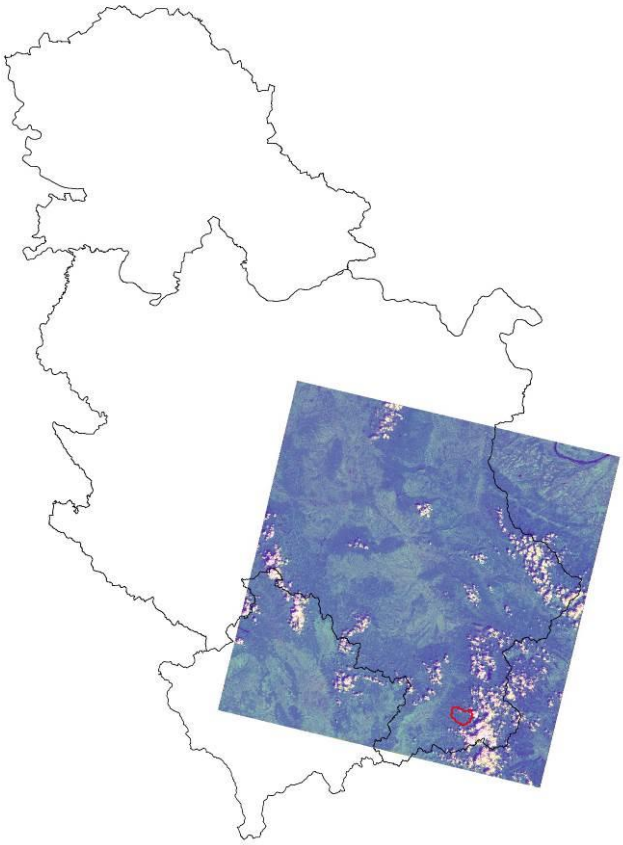
http://www.hidmet.gov.rs/

http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/

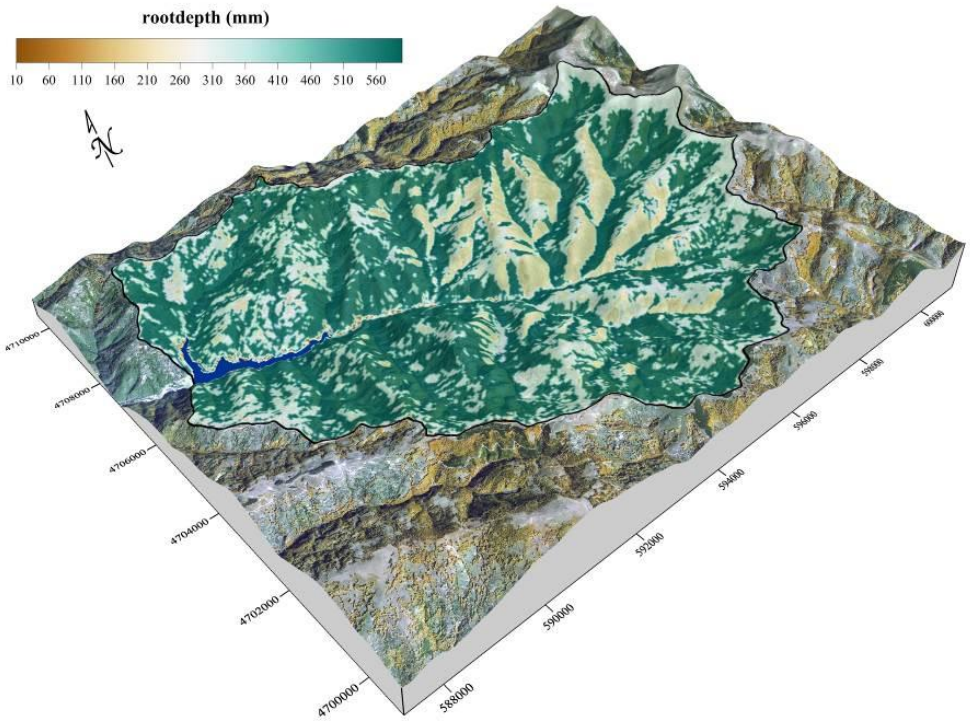
http://geo.kuleuven.be/

http://www.geog.leeds.ac.uk/

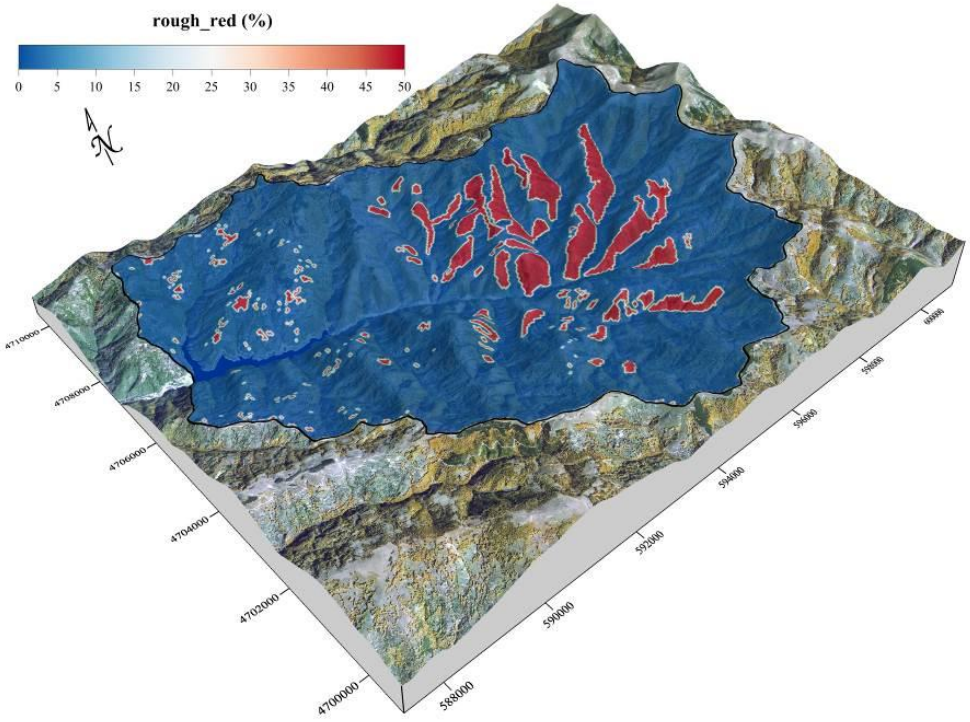
8. ПРИЛОЗИ



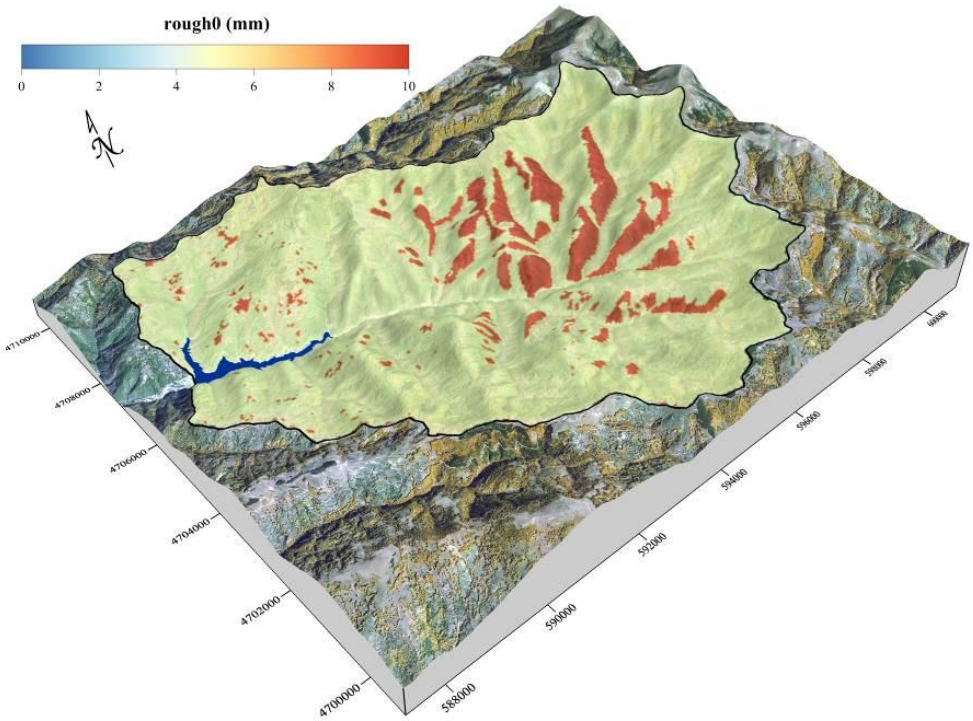
Слика 1. Покривеност територије сателитског снимка



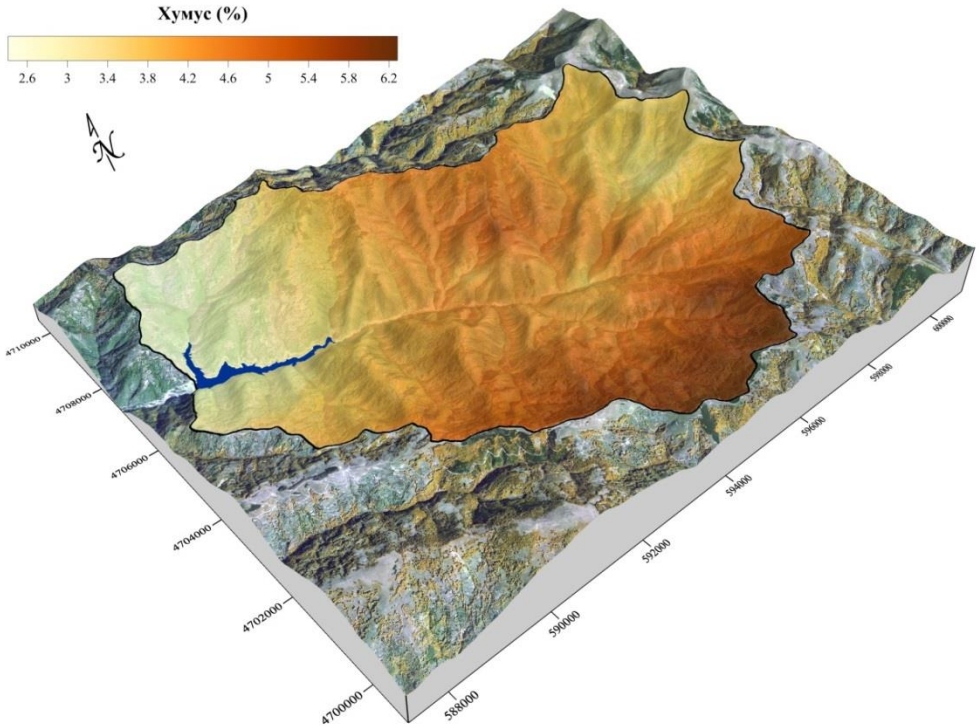
Карта 2. Просторни распоред rootdepth слоја



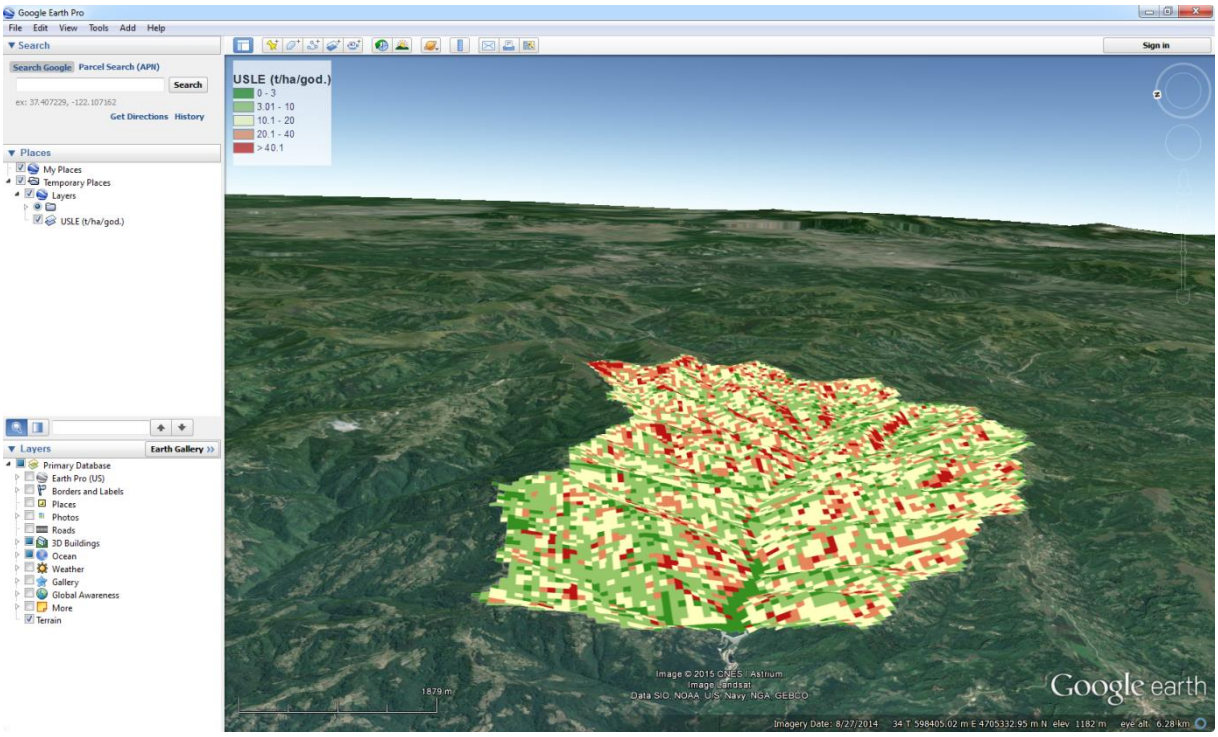
Карта 3. Просторни распоред rough_red слоја



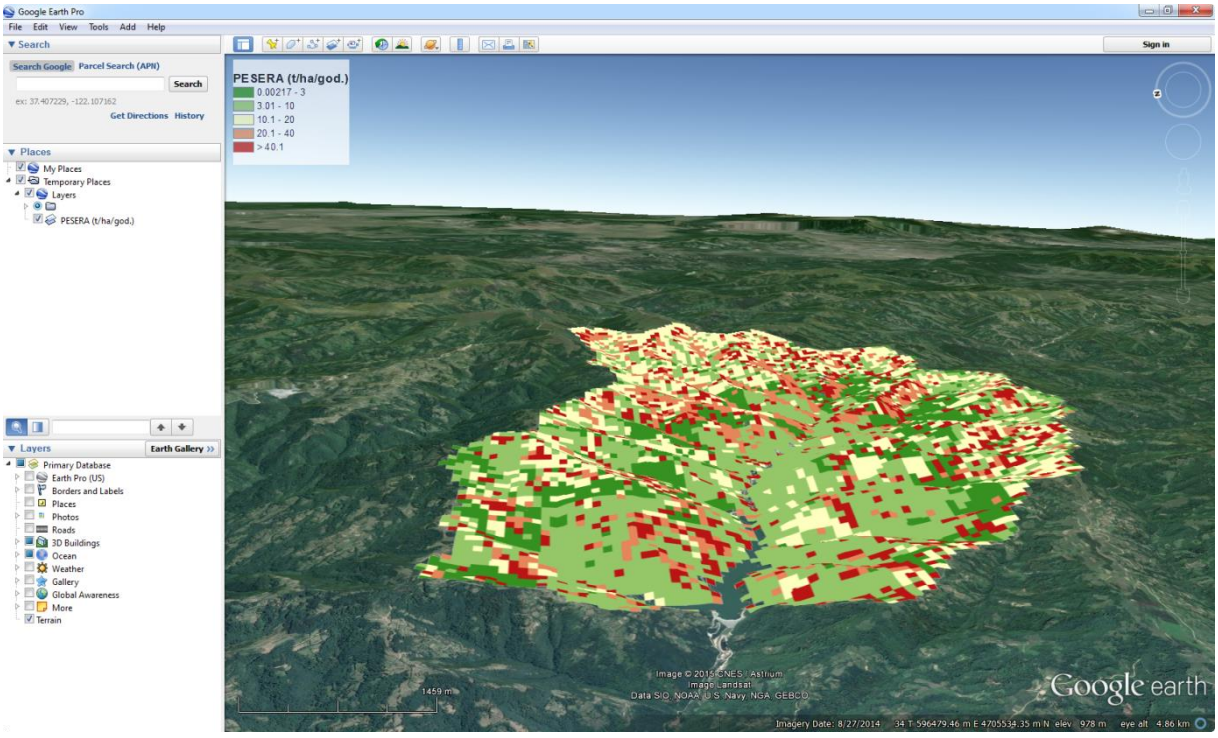
Карта 4. Просторни распоред rough0 слоја



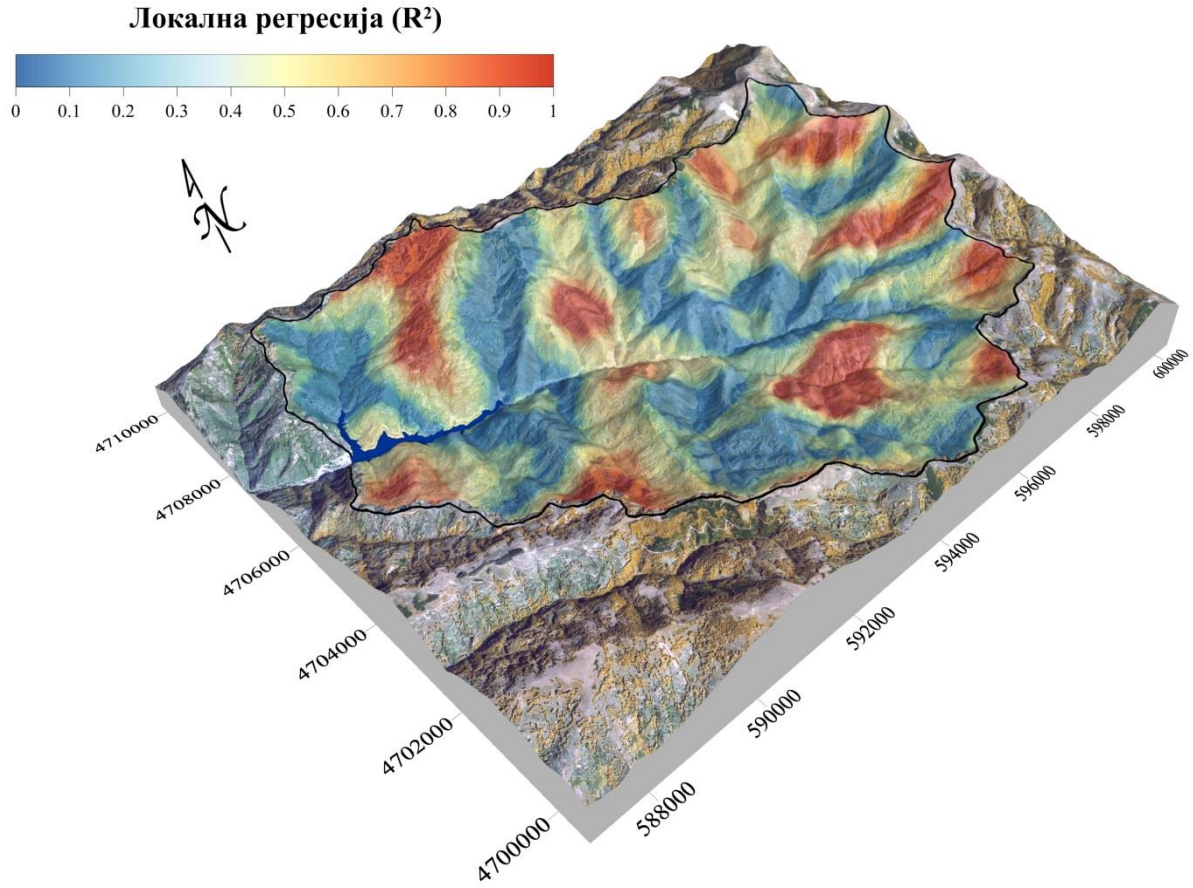
Карта 5. Просторни распоред хумуса



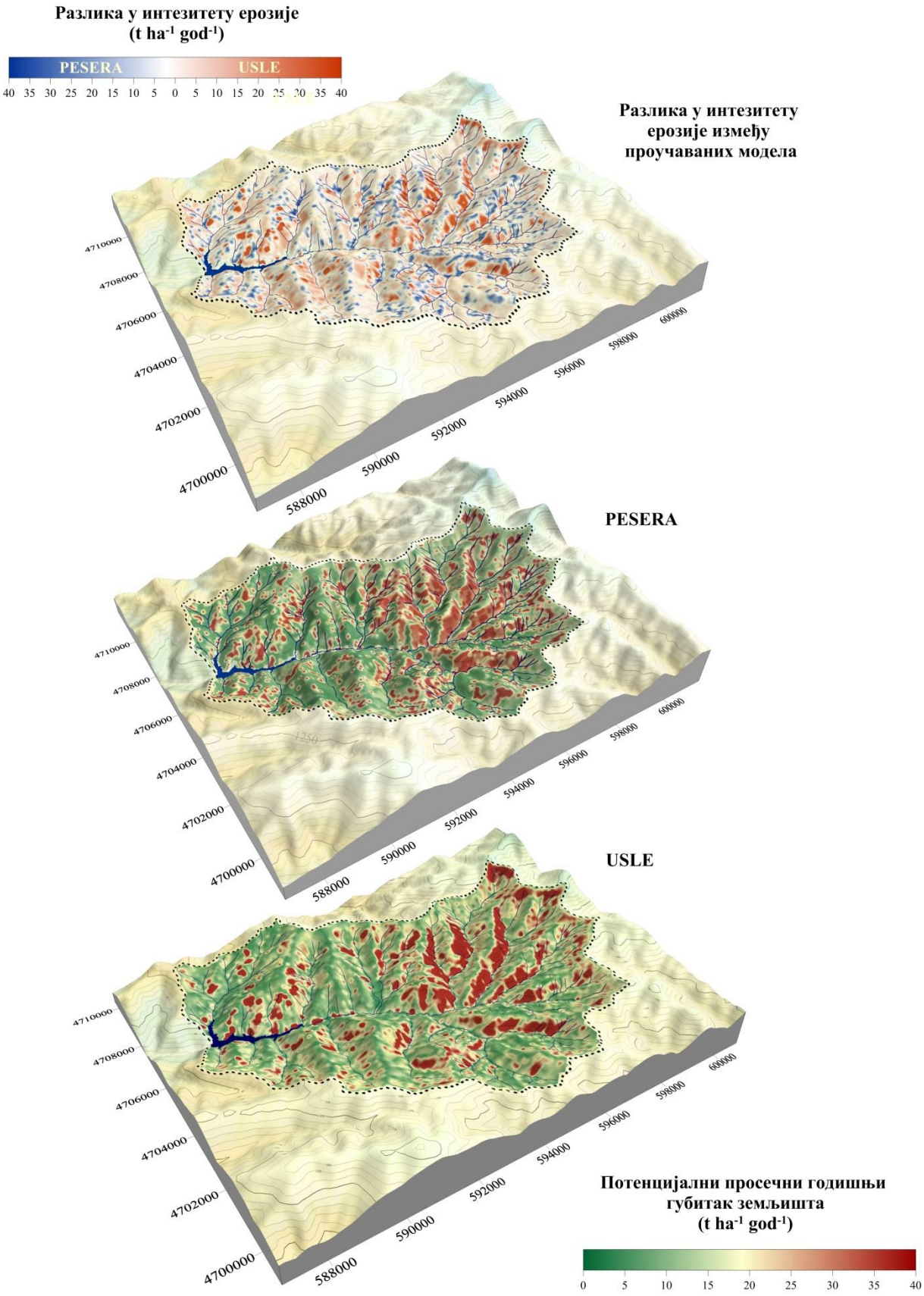
Слика 6. Приказ USLE слоја у оквиру Google Earth апликације



Слика 7. Приказ PESERA слоја у оквиру Google Earth апликације



Слика 8. Локална регресија између садржаја органске материје и олова



Слика 9. Разлике у интензитету ерозије између проучаваних модела

Табела 1. Основни параметри плодности

Редни број	**P_2O_5 (mg/100g)**	**pH у nKCl**	**K_2O (mg/100g)**	**Хумус (%)**
1	0.75	4.5	16.4	2.24
2	6.35	5.04	30.4	2.86
3	7.36	5.13	27.8	2.62
4	0.1	4.61	11.8	1.84
5	9.9	3.89	25.8	2.89
6	0.56	4.6	23.2	4.08
7	2.25	4.6	23.2	4.53
8	0.1	4.42	22	5.01
9	4.58	4.87	40	7.57
10	1.19	4.61	26.2	2.39
11	1.87	4.66	14.2	2.35
12	11.71	5.1	36	5.69
13	0.36	4.13	13	2.53
14	3.42	3.85	18.2	2.51
15	0.78	4.16	20	5.31
16	0.1	4.99	39.6	3.85
17	2.62	4.93	17.4	4.12
18	1.16	4.78	32.6	6.43
19	2.39	4.44	30.8	6.9
20	0.16	3.99	27.8	5.46
21	2.31	4.4	40	7.32
22	15.88	5.27	28.6	3.45
23	7.98	3.8	29.8	4.23
24	2.38	4.76	11	2.37
25	0.1	4.59	12.6	4.01

Табела 2. Гранулометријски састав земљишта

Ред. број	Крупан песак % >0,2mm	Ситан песак % 0,2-0,02mm	Прах % 0,02-0,002 mm	Глина % <0,002 mm	Укупан песак % >0,02mm	Прах + глина % <0,02mm	Текст. класа
1	23.5	44.3	18.6	13.6	67.8	32.2	ПИ
2	32.1	48.6	10.9	8.4	80.7	19.3	ИП
3	23.6	44.4	18.2	13.8	68.0	32.0	ПИ
4	14.1	40.1	25.8	20.0	54.2	45.8	ПИ
5	38.8	32.1	17.5	11.6	70.9	29.1	ПИ
6	22.0	31.6	25.3	21.1	53.6	46.4	ПГИ
7	42.7	25.4	16.6	15.3	68.1	31.9	ПИ
8	39.6	28.9	15.9	15.6	68.5	31.5	ПИ
9	30.3	29.6	21.2	18.9	59.9	40.1	ПИ
10	28.5	34.5	20.0	17.0	63.0	37.0	ПИ
11	35.8	33.4	21.8	9.0	69.2	30.8	ПИ
12	40.0	38.8	12.5	8.7	78.8	21.2	ИП
13	34.8	30.3	21.1	13.8	65.1	34.9	ПИ
14	32.1	33.2	22.6	12.1	65.3	34.7	ПИ
15	27.3	30.6	25.6	16.5	57.9	42.1	ПИ
16	28.1	33.2	24.1	14.6	61.3	38.7	ПИ
17	32.4	39.4	16.6	11.6	71.8	28.2	ПИ
18	14.9	49.1	21.1	14.9	64.0	36.0	ПИ
19	29.3	35.4	17.5	17.8	64.7	35.3	ПИ
20	18.6	40.2	21.7	19.5	58.8	41.2	ПИ
21	27.5	33.0	20.3	19.2	60.5	39.5	ПИ
22	44.5	32.7	13.3	9.5	77.2	22.8	ПИ
23	40.2	28.6	18.5	12.7	68.8	31.2	ПИ
24	23.7	53.8	14.4	8.1	77.5	22.5	ПИ
25	18.4	36.8	26.0	18.8	55.2	44.8	ПИ

Табела 3. Укупан садржај тешких метала

Редни број	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Co (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)
1	7.45	0.78	15.91	31.09	21.65	29.42	53.85	111.95
2	3.22	0.49	16.91	64.45	23.04	32.89	10.81	53.45
3	45.66	0.68	15.90	22.84	26.14	29.09	25.62	85.95
4	10.23	0.60	19.86	58.55	19.78	30.55	17.67	68.65
5	25.49	0.91	10.06	23.79	14.62	22.58	67.05	187.65
6	3.25	0.85	19.18	85.30	25.50	37.57	91.25	116.95
7	1.94	0.37	6.03	8.21	3.32	6.16	50.70	57.10
8	3.48	0.59	5.93	9.51	10.87	6.83	74.00	90.90
9	2.28	0.66	5.25	6.30	6.53	6.04	96.00	93.45
10	1.61	0.21	3.38	7.94	3.23	5.35	29.52	22.92
11	0.88	0.24	5.01	4.97	10.57	3.91	29.43	18.61
12	1.66	0.40	5.08	7.13	6.06	6.51	63.00	69.00
13	0.45	0.36	5.89	12.60	7.67	5.63	26.19	48.96
14	2.21	0.42	7.91	16.18	5.93	10.08	20.23	47.35
15	2.39	0.43	7.70	13.61	5.93	9.85	34.51	41.66
16	6.33	0.42	11.90	23.14	16.48	20.53	22.91	47.23
17	1.31	0.34	4.09	4.45	9.76	4.02	26.23	45.73
18	11.82	0.78	14.43	34.80	25.27	32.90	28.92	222.60
19	1.47	0.58	7.20	7.60	89.15	6.89	40.02	76.40
20	0.35	1.05	12.42	29.88	62.75	19.68	98.50	178.10
21	1.98	0.46	6.96	7.90	9.17	6.66	32.33	41.42
22	0.35	0.29	7.13	4.77	4.76	4.29	32.83	32.02
23	2.12	0.28	3.67	6.90	3.55	4.98	34.88	23.62
24	16.15	0.64	20.58	27.20	30.48	39.98	14.67	103.60
25	0.14	0.67	22.27	38.38	28.81	29.44	16.06	92.30

Табела 4. Дозвољени годишњи ерозиони губици земљишта

Профил земљишта	**Дубина земљишта (cm)**	**Gp t·ha^{-1}·god^{-1}**	**Дозвољени годишњи ерозиони губици земљишта**									
			m^3·ha^{-1}·g^{-1} pri =					**mm·g^{-1} pri =**				
			1,2	**1,3**	**1,4**	**1,5**	**16**	**1,2**	**1,3**	**1,4**	**1,5**	**1,6**
Плитак	< 20	< 0,5	0,417	0,385	0,357	0,333	0,313	0,042	0,039	0,036	0,030	0,031
	20 - 30	1.0	0,833	0,769	0,714	0,667	0,625	0,083	0,077	0,071	0,067	0,063
Средње дубок	30 - 40	2.0	1,667	1,538	1,429	1,333	1,250	0,167	0,154	0,143	0,133	0,125
	40 - 50	3.0	2,500	2,308	2,143	2,000	1,875	0,250	0,231	0,214	0,200	0,188
	50 - 60	4.0	3,333	3,077	2,857	2,667	2,500	0,333	0,308	0,286	0,267	0,250
Дубок	60 - 70	6.0	5,000	4,615	4,286	4,000	3,750	0,500	0,462	0,429	0,400	0,375
	70 - 80	8.0	6,667	6,154	5,714	5,333	5,000	0,667	0,615	0,571	0,533	0,500
	80 - 90	10.0	8,333	7,692	7,143	6,667	6,250	0,833	0,769	0,714	0,667	0,625
	90 - 100	13.0	10,833	10,000	9,286	8,667	8,125	1,083	1,000	0,929	0,867	0,813

Прилог 1.

Изјава о ауторству

Потписани-а: **MSc Вељко Перовић, дипл.инж.**

Број уписа: 2009

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

„Процена потенцијалне ерозије земљишта применом USLE и PESERA модела на подручју слива акумулације Првонек“

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

Потпис докторанда

У Београду, 14. април 2015.

Вељко Перовић

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора: **Вељко Перовић**

Број уписа: **школска 2009/2010**

Студијски програм: **Еколошки инжењеринг у заштити земљишних и водних ресурса**

Наслов рада: **„Процена потенцијалне ерозије земљишта применом USLE и PESERA модела на подручју слива акумулације Првонек“**

Ментори: **др Ратко Кадовић, ред. проф. Универзитета у Београду, Шумарски факултет**

др Станимир Костадинов, ред. проф. Универзитета у Београду, Шумарски факултет

Потписани: **Вељко Перовић**

изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду.**

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања 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 докторанда

У Београду, 14. април 2015.

Вељко Перовић

Прилог 3.

Изјава о коришћењу

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

„Процена потенцијалне ерозије земљишта применом USLE и PESERA модела на подручју слива акумулације Првонек“

која је моје ауторско дело.

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

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

1. Ауторство

2. Ауторство - некомерцијално

3. Ауторство – некомерцијално – без прераде

4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима

5. Ауторство – без прераде

6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је на полеђини листа).

Потпис докторанда

У Београду, 14. април 2015.

Жељко Јовић

1. Ауторство - Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.

2. Ауторство – некомерцијално. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.

3. Ауторство - некомерцијално – без прераде. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.

4. Ауторство - некомерцијално – делити под истим условима. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.

5. Ауторство – без прераде. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.

6. Ауторство - делити под истим условима. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.