

# Procjena erozije tla područja Banovine korištenjem RUSLE metode

---

**Luburić, Franka**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:781245>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-31**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET**

Diplomski studij geološkog inženjerstva

**PROCJENA EROZIJE TLA PODRUČJA BANOVINE KORIŠTENJEM RUSLE**  
**METODE**

Diplomski rad

Franka Luburić

GI 441

Zagreb, 2023.



KLASA: 602-01/23-01/158  
URBROJ: 251-70-15-23-2  
U Zagrebu, 5. 9. 2023.

**Franka Luburić, studentica**

## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/23-01/158, URBROJ: 251-70-15-23-1 od 3. 7. 2023. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

### PROCJENA EROZIJE TLA PODRUČJA BANOVINE KORIŠTENJEM RUSLE METODE

Za mentora ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i obrani diplomskog rada Izv. prof. dr. sc. Dario Perković nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Mentor:

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Dario Perković

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za  
završne i diplomske ispite:

(potpis)

Doc. dr. sc. Zoran Kovač

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Borivoje  
Pašić

(titula, ime i prezime)

## **PROCJENA EROZIJE TLA PODRUČJA BANOVINE KORIŠTENJEM RUSLE METODE**

Franka Luburić

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo  
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

### Sažetak

Nakon razornih potresa u prosincu 2020. godine erozija tla postaje ozbiljan problem pogođenog područja Banovine, regije u središnjoj Hrvatskoj. Budući da se erozija tla smatra drugim najznačajnijim ekološkim problemom s kojim se svijet suočava, odmah nakon rasta populacije, mnogim zemljama u svijetu postalo je neophodno točno procijeniti gubitak tla erozijom ili bar rizik od gubitka, uključujući Hrvatsku. U ovom radu prikazana je upotreba RUSLE metode u GIS-u, koja je najčešće korišten model erozije tla na svijetu. Metoda kombinira pet faktora: R, K, LS, C i P faktor kako bi omogućila procjenu gubitka tla u tonama po hektaru godišnje što je vrlo korisno za planiranje i primjenu mjera zaštite tla te održivo upravljanje poljoprivrednim i drugim vrstama zemljišta. Osnovna zamisao ovog rada bila je dobiti intenzitet erozije tla na istraživanom području, a krajnji rezultat pokazao je kako je stopa erozije tla, za područje Banovine, visoka te zahtjeva kontrolne mjere, odnosno primjenu održivih poljoprivrednih i upravljačkih praksi.

Ključne riječi: erozija tla, Banovina, RUSLE, GIS

Diplomski rad sadrži: 70 stranica, 2 tablice, 44 slika, 25 referenci

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: Dr. sc. Dario Perković, izvanredni profesor RGNF  
Ocjenjivači: Dr. sc. Dario Perković, izvanredni profesor RGNF  
Dr. sc. Ivan Medved, docent RGNF  
Dr. sc. Želimir Veinović, izvanredni profesor RGNF

Datum obrane: 18. rujna, 2023., Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu

## **ASSESSMENT OF SOIL EROSION IN THE BANOVINA AREA USING THE RUSLE METHOD**

Franka Luburić

Thesis completed at: University of Zagreb  
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering  
Department of Geology and Geological Engineering  
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

### Abstract

After the devastating earthquake in December 2020, soil erosion has become a serious problem in the affected area of Banovina, a region in central Croatia. As soil erosion is considered the second most significant environmental issue faced by the world, right after population growth, many countries worldwide have recognized the need to accurately assess soil loss by erosion or at least the risk of loss, including Croatia. This study presents the use of the RUSLE method in GIS, which is the most commonly used soil erosion model worldwide. The method combines five factors: R, K, LS, C, and P factors to enable the estimation of soil loss in tons per hectare per year, which is highly useful for planning and implementing soil conservation measures and sustainable management of agricultural and other land types. The main objective of this study was to determine the intensity of soil erosion in the research area, and the final result indicated that the soil erosion rate in the Banovina region is high, requiring control measures and the implementation of sustainable agricultural and management practices.

Keywords: soil erosion, Banovina, RUSLE, GIS

Thesis contains: 70 pages, 2 tables, 44 figures, 25 references

Original in: Croatian

Archived in: The library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

Supervisor: Associate Professor Dario Perković, PhD

Reviewers: Associate Professor Dario Perković, PhD

Assistant Professor Ivan Medved, PhD

Associate Professor Želimir Veinović, PhD

Defence date: September 18, 2023,  
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb

# Sadržaj

1. UVOD.....	1
2. EROZIJA TLA.....	3
2.1. Općenito.....	3
2.2. Faktori.....	4
2.3. Erozijski vjetrom i vodom.....	6
2.4. Problematika erozije u svijetu i na istraživanom području rada.....	8
3. RUSLE METODA.....	11
4. GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI SUSTAV – GIS.....	20
4.1. Povijest GIS-a.....	20
4.2. Definicija i mogućnosti.....	21
4.3. Prednosti i nedostaci.....	24
4.4. ESRI GIS softveri.....	25
5. PROSTORNO MODELIRANJE RUSLE METODOM U <i>ArcGIS</i> SOFTVERU.....	27
5.1. Osnovni pojmovi.....	27
5.2. R faktor.....	27
5.3. K faktor.....	34
5.4. LS faktor.....	39
5.5. C faktor.....	47
5.6. P faktor.....	54
5.7. RUSLE karta.....	62
6. ZAKLJUČAK.....	67
7. LITERATURA.....	70

## POPIS SLIKA

Slika 2-1. Epicentar najjačeg potresa – selo Strašnik 6 km JZ od Petrinje (Bačeković, 2022) ....	10
Slika 3-1. Opći RUSLE model (prevedeno na hrv., Udemý, 2023).....	14
Slika 4-2. Rasterski i vektorski podaci u GIS-u (Perković, 2010.).....	24
Slika 5-2.1. Global precipitation data model od CRU-a (1-3 uvećavanje prikaza Banovine) .....	28
Slika 5-2.2. lijevo: Grafički prikaz funkcioniranja tri osnovna banda. desno:Prikaz bandova u TOC-u ArcMap-a.....	29
Slika 5-2.3. Prikaz ModelBuilder modela za stvaranje izlaznog rastera .....	30
Slika 5-2.4. Prikaz Raster Calculatora u ArcMapu.....	31
Slika 5-2.5. Prikaz ModelBuilder modela za stvaranje izlaznog rastera .....	31
Slika 5-2.6. Karta prikaza R faktora za područje istraživanja (Banovinu) (dobivena korištenjem podataka od Univeristy of East Anglia - Climatic Research Unit-a).....	32
Slika 5-2.7. Prikaz karte Europe dostavljene s podacima GloREDA-e ( <i>GlobalR_NoPol.tif</i> ) .....	33
Slika 5-2.8. Karta prikaza R faktora za područje istraživanja (Banovinu) (dobivena korištenjem podataka od GloREDA – Global Rainfall Erosivity Database-a).....	34
Slika 5-3.1. FOOD and AGRICULTURAL ORGANISATION data karta (DSMW.shp).....	36
Slika 5-3.2. Generalized_SU_Info tablica koja sadrži podatke o dominantnim tipovima tala.....	36
Slika 5-3.3. Rezultat Clip naredbe DSMW karte (DSMW_Clip.shp) .....	37
Slika 5-3.4. Atributna tablica DSMW karte za područje Banovine.....	37
Slika 5-3.5. Atributna tablica DSMW karte za područje Banovine s izračunatim vrijednostima K faktora .....	38
Slika 5-3.6. Karta prikaza K faktora za područje istraživanja (Banovinu).....	39
Slika 5-4.1. ASTER Global Digital Elevation Model (snimci Banovine i okolice).....	40
Slika 5-4.2. Prikaz ModelBuilder modela za stvaranje izlaznog rastera .....	41
Slika 5-4.3. Smještaj istraživanog područja (Banovine) na mozaiku satelitskih snimaka.....	41
Slika 5-4.4. Prikaz ModelBuilder modela za stvaranje izlaznog raster .....	42
Slika 5-4.5. Smještaj Banovine na mozaiku Flow Accumulation-aSlika 5-4.5. Smještaj Banovine na mozaiku Flow Accumulation-a .....	43
Slika 5-4.6. Prikaz <i>mozaic_fill.tif</i> rastera .....	44
Slika 5-4.7. Prikaz izračuna nagiba područja istraživanja rasterom .....	45
Slika 5-4.8. Karta prikaza LS faktora za područje istraživanja (Banovinu) .....	46
Slika 5-4.9. Uvećani prikaz finalne karte LS faktora te pridružena vrijednost (strelica) koja dokazuje da postoje iznimke iako Banovina nije područje jako velikog nagiba .....	46
Slika 5-5.1. lijevo: landsat snimci prije Composite bands-a, desno: landsat snimci nakon uređivanja RGB bandova; poligon obrubljen zelenom predstavlja Banovinu.....	48
Slika 5-5.2. lijevo: Prikaz bandova u TOC-u ArcMap-a, desno: landsat snimci nakon ubacivanja Near Infrared umjesto Red (zeleni rub predstavlja Banovinu) .....	49

Slika 5-5.3. Prikaz NDVI-a na području istraživanja, Banovine .....	50
Slika 5-5.4. C faktor na području Banovine dobiven formulom prema Vatandaşlar et al. (2017) (plava elipsa obilježava dobiveni raspon vrijednosti za ovaj slučaj) .....	51
Slika 5-5.5. C faktor na području Banovine dobiven formulom prema Durgion et al. (2014) (plava elipsa obilježava dobiveni raspon vrijednosti za ovaj slučaj) .....	52
Slika 5-5.6. C faktor na području Banovine dobiven formulom prema Knjiff et al. (2000) (plava elipsa obilježava dobiveni raspon vrijednosti za ovaj slučaj) .....	53
Slika 5-5.7. Karta prikaza C faktora za područje istraživanja (Banovinu) .....	54
Slika 5-6.1. CLC Hrvatske, klasificirano tlo (crni rub označava obuhvat Banovine) .....	57
Slika 5-6.2. Poligon/kvadrat Luisa_100m (crni rub označava obuhvat Banovine) .....	57
Slika 5-6.3. 1.- Simbologija izrezanog shp-a, grupirane klase (pokrovi tla); 2.- Rezultat pod nazivom CLC_clipani.shp.....	58
Slika 5-6.4. lijevo: tif CLC područja istraživanja; desno: TOC istog tif-a (5 klaseva s pripadajućim bojama) .....	59
Slika 5-6.5. <i>P_faktor.tif</i> = rezultat spajanja reklasificiranog rastera i CLC-a naredbom Combine .....	60
Slika 5-6.6. Atributna tablica <i>P_faktor.tif</i> -a.....	60
Slika 5-6.7. Konačna atributna tablica <i>P_faktor.tif</i> -a .....	61
Slika 5-6.8. Karta prikaza P faktora za područje istraživanja (Banovinu).....	62
Slika 5-7.1. RUSLE1 -Karta prikaza pomnoženih faktora- RUSLE modelom, za područje istraživanja (Banovinu) (u ovom slučaju koristi se R faktor dobiven podacima CRU-a) .....	63
Slika 5-7.2.RUSLE 2 - Karta prikaza pomnoženih faktora- RUSLE modelom, za područje istraživanja (Banovinu) (u ovom slučaju koristi se R faktor dobiven podacima GloRED-e) .....	64
Slika 5-7.3. Atributna tablica rastera RUSLE1 - finalnog rješenja .....	65



## **POPIS TABLICA**

Tablica 5-3. Generalized_SU_Info tablica s izračunatim F faktorima i konačnim K faktorom...	38
Tablica 5-6. P faktor za različite pokrove tla (Udemy) .....	55

## 1. UVOD

Svrha ovog diplomskog rada je da se pomoću RUSLE metode u GIS okruženju pokuša dobiti intenzitet erozije tla na istraživanom području, konkretno području Banovine, budući da je, kao posljedica dva razorna potresa, onoga 28. prosinca 2020. magnitude 5.0 stupnjeva prema Richteru te 29. prosinca 2020. magnitude 6.2 prema Richteru, to postao ozbiljan problem ove regije.

RUSLE, što je akronim za “Revised Universal Soil Loss Equation” (hrv. Revidirana univerzalna jednadžba gubitka tla) je metoda koja se koristi za procjenu gubitka tla uzrokovanog erozijom. Razvijena je kako bi se kvantificirala erozija tla na poljoprivrednim površinama, ali se može primijeniti i na druge vrste zemljišta. Kombinira pet faktora ili parametara: R, K, LS, C i P faktor kako bi omogućila procjenu gubitka tla u tonama po hektaru godišnje što je vrlo korisno za planiranje i primjenu mjera zaštite tla te održivo upravljanje poljoprivrednim i drugim vrstama zemljišta.

Za dobivanje rezultata ovog rada korištena je verzija ESRI softvera *ArcGIS 10.1 SP1 for Desktop (Build 3143)* te edukacija *Udemy* edukacijske kuće naziva “Soil erosion spatial modelling with RUSLE in *ArcGIS* software”, odnosno “Prostorno modeliranje erozije tla pomoću RUSLE-a u *ArcGIS* softveru”. U sklopu edukacije nalazi se osam mapa s određenim brojem video edukacija u svakoj a mape su redom:

1. Uvod,
2. Osnovna teorija,
3. R faktor,
4. K faktor,
5. LS faktor,
6. C faktor,
7. P faktor,
8. Završno modeliranje erozije vodom pomoću RUSLE-a.

Ovaj tečaj uči kako napraviti prostornu kartu gubitka tla za bilo koje istraživačko područje primjenjujući najčešće korišteni model erozije tla na svijetu. Osim samog modeliranja, edukacija uči i kako ovladati alatima kao što su nadzirana klasifikacija, NDVI karta, hidrološka analiza, prostorna analiza, *model builder* i neki drugi korisni alati.

Kako bi se suzbila erozija tla u Banovini potrebno je provesti različite mjere zaštite tla. To uključuje uspostavu zelenih pojaseva, izgradnju zaštitnih nasipa, brana i korita te primjenu metoda za zadržavanje tla kao što su terase i nasipi. Važno je uložiti napore u obnovu i zaštitu tla ove regije kako bi se smanjile negativne posljedice erozije i osigurala održiva budućnost za to područje. Do sada nije napravljeno slično istraživanje, odnosno procjena konkretnom metodom na ovom području, stoga je i to bio jedan od razloga za izradu rada na ovu temu.

## 2. EROZIJA TLA

### 2.1. Općenito

Općenito govoreći, pojam erozije (lat. *erosio*: izjedanje, izgrizanje) često se koristi za označavanje općeg egzogenog procesa ili skupine procesa koji imaju za cilj izravnavanje Zemljinog reljefa, u suprotnosti s antagonističkim endogenim procesima (tektonskim pokretima i vulkanizmom) koji ga oblikuju. U ovom vrlo širokom značenju, erozija uključuje: prikupljanje materijala s viših nadmorskih visina, premještanje tih materijala s jednog mjesta na drugo (transport) i njihovo ostavljanje na nizinama (sedimentacija). Zapravo, mišljenje svih znanstvenika je da erozija ne može uključivati sedimentaciju. U stvari, u tehničkom jeziku, pojam erozije - iako se različito definira - obično isključuje procese kojima se preneseni materijali talože. U najširem i najčešćem tehničkom značenju, erozija uključuje sve egzogene procese, isključujući vrijeme i pokrete mase, koji uključuju odnošenje labilnog vremenski obrađenog materijala pomoću pokretnog agensa, uklanjanje čestica stijena udarom prenesenog materijala, međusobno trošenje kamenih fragmenata u tranzitu i prijevoz prikupljenih materijala. Ponekad se pojam ograničava isključivanjem transporta; u tom slučaju denudacija je općenitiji pojam. Rjeđe, erozija označava isključivo odnošenje labilnog materijala pokretnim agentom (Lupia-Palmieri, 2006).

Erozivni procesi obavljaju se putem pokretnih agenasa koji crpe energiju iz solarne radijacije i djeluju na jedan ili više načina, konstantno vođeni silom gravitacije. Glavni erozivni agensi su tekuća voda, ledenjaci, vjetar i morski valovi. U nekim slučajevima oni izvode isti proces, dok je u drugim slučajevima određeni proces obavljen od strane karakterističnog agenta koji djeluje prema svojim fizičkim osobinama. Osim navedenih "prirodnih" agenasa, ljudi su također važan erozivni agens. Danas su antropogene aktivnosti toliko raširene i uočljive da duboko mijenjaju površinu Zemlje, često na neopoziv način.

## **2.2. Faktori**

Erozivne oblike reljefa strogo određuju ne samo način djelovanja egzogenih agenasa, već i niz čimbenika koji kontroliraju prirodu i brzinu erozije. Najvažniji faktori erozije su litologija, tektonika, klima, vegetacija i ljudi.

### ***litologija***

Snažno kontrolira erozijske procese jer ovisi o erozijskoj osjetljivosti stijena, i kao posljedica toga, utječe na brzinu erozijskih procesa. U tom smislu stijene se često nazivaju "tvrdim" ili "otpornim" ili "slabim" i "neotpornim" na erozijske procese. Isti erozijski proces može djelovati na različit način gdje otporne stijene izbijaju pored neotpornih stijena: kako erozijski proces napreduje, stvara se neujednačena površina gdje otporne stijene, koje se polako i teško erodiraju, stoje iznad manje otpornih stijena koje se brže i lakše erodiraju. Koncept više ili manje erozivnih stijena je relativan; zapravo, stijena može biti otporna na jedan proces, a neotporan na drugi. Stoga litologija također utječe na tipologiju erozijskih procesa.

### ***tektonika***

Utječe na erozijske procese na različite načine. Rasjedi (eng. faults) i nabori (eng. folds) mogu dovesti u kontakt stijene s različitom erozivnošću te tako pogodovati diferencijalnoj eroziji. Osim toga, mogu izravno utjecati na odgovor stijena na eroziju, čime uvjetuju brzinu erozije. Naime, erozivnost stijena ovisi ne samo o litološkim karakteristikama već i o položaju stijene (nagibne padine su manje otporne od strmih padina) i o stupnju tektonskih deformacija (što je veća deformacija stijena, veća je njihova erozivnost). Tektonske pukotine i rasjedi mogu utjecati i na intenzitet erozije i na položaj rezultirajućih oblika reljefa.

### ***klima***

Klima kontrolira erozijske procese izravno i neizravno. Izravna kontrola ostvaruje se putem klimatskih elemenata - temperature, oborina i vjetra - koji pokazuju široku varijabilnost

ne samo s jednog dijela našeg planeta na drugi, već i unutar vrlo ograničenih područja, kao što je primjerice s jedne padine planine na njenu drugu padinu. Ova široka varijabilnost klimatskih uvjeta utječe na procese vremenskog razlaganja koji oslabljuju stijene, pripremajući ih za naknadne erozijske procese. Osim toga, pogoduje djelovanju jednog erozijskog agensa u odnosu na druge, npr. fluvijalni erozijski procesi postaju dominantni u oblikovanju površine Zemlje tamo gdje je količina oborina dovoljna da osigura trajni usmjereni protok vode, erozija vjetrom je posebno djelotvorna tamo gdje je vlažnost niska, a glečeri mogu djelovati samo tamo gdje su temperature takve da dopuštaju padanje i nakupljanje snijega. Klima ne utječe samo na tipologiju erozijskih procesa već i na različito ponašanje stijena. Pod različitim klimatskim uvjetima ista stijena može pokazivati različit stupanj otpornosti prema erozijskim procesima i stoga se može oblikovati u raznolike oblike reljefa.

### ***vegetacija***

Neizravan utjecaj klime na eroziju uglavnom je povezan s načinom na koji utječe na količinu i vrstu vegetacije koja kontrolira erozivnost nekih erozijskih agenasa. Gusti vegetacijski pokrov sprječava površinsku odvodnju, čime ograničava djelovanje tekuće vode, nadalje, ometa slobodan protok vjetrova i time smanjuje učinkovitost erozijskih procesa uzrokovanih vjetrom. Korijenske strukture imaju dvostruki utjecaj: mogu pojačati otpornost labilnih materijala prema eroziji ili mogu uzrokovati lom čvrstih stijena, čime olakšavaju eroziju. Sveukupno gledano, vegetacija češće ograničava erozijske procese nego što ih pogoduje. Ograničavajući učinak vegetacije na erozijske procese varira ovisno o vrsti i gustoći vegetacijskog pokrova, a očituje se povećanjem stabilnosti površinske materije.

### ***ljudski faktor***

Istina je da su ljudi danas moćni erozijski agensi, ali isto tako predstavljaju važan faktor erozije. Antropogene aktivnosti ponekad su usmjerene na poništavanje ili smanjenje erozijskih procesa koje provode "prirodni" agensi, kao što je slučaj izgradnje obalnih obrana radi sprječavanja erozije morem. Međutim, češće proizvode suprotan učinak i ubrzavaju stopu erozije: na vrlo gusto naseljenim područjima, na primjer, intenzivna uporaba asfalta i betona potiče površinsku odvodnju i time eroziju uzrokovanu tekućom vodom.

Svi čimbenici koji kontroliraju eroziju igraju svoju ulogu zajedno, stoga njihovi učinci mogu međusobno interferirati na mnoge moguće načine, što rezultira općim kontrolama erozijskih procesa koje su znatno diferencirane i prostorno i vremenski (Lupia-Palmieri, 2006).

### **2.3. Erozijska vjetrom i vodom**

Među dva najčešća tipa erozije tla nalaze se erozija vjetrom i vodom, u sljedeća dva paragrafa pobliže su objašnjeni ti procesi kao i njihovi faktori, posljedice te mjere zaštite.

Erozija tla vjetrom je proces u kojem dolazi do gubitka tla zbog djelovanja vjetrova koji podižu i prenose čestice tla. Postoje tri glavna mehanička procesa koji su odgovorni za ovaj proces: udarne sile, abrazija i deflacija. Udarnim silama vjetra čestice tla udaraju jedna o drugu ili o tvrde površine, što može rezultirati lomljenjem i usitnjavanjem čestica. Abrazija je proces u kojem vjetar otkida i nosi čestice tla. Deflacija je proces u kojem vjetar uklanja finije čestice tla, dok teže čestice ostaju nepomične. Vjetrovi snažno utječu na izložene, suhe površine tla, kao što su poljoprivredna zemljišta ili površine koje su lišene vegetacije. Ovaj proces je posebno izražen u suhim i polupustinjskim područjima. Na primjer, suho tlo s labavom strukturom ima veću sklonost eroziji jer je manje povezano i otporno na pokrete vjetra. Erozijska tla vjetrom može imati ozbiljne posljedice kao što su smanjenje plodnosti tla, degradacija tla i smanjenje prinosa. Osim toga, erozijska tla vjetrom može dovesti do onečišćenja zraka i vode, širenja invazivnih biljnih vrsta, smanjenja biološke raznolikosti te povećanja rizika od širenja pustinja. Neki od faktora koji utječu na eroziju tla vjetrom su brzina vjetra, vrsta tla, pokrov tla, nagib terena i količina izloženog tla. Vjetrovi podižu i prenose male čestice tla, koje mogu putovati na velike udaljenosti i taložiti se na drugim područjima. U cilju zaštite tla od erozije vjetrom, postoje različite metode i prakse koje se mogu primijeniti. Neke od tih mjera uključuju:

- Korištenje vjetrootpornih prepreka poput ograde, nasipa ili vegetacijskih pojaseva kako bi se smanjio brzi protok vjetra.
- Primjena agrotehničkih praksi kao što su plodored, sjetva usjeva s pokrovnim usjevima ili postavljanje *mulch-a* (pokrov tla koji služi za zaštitu tla od korova, isušivanja i erozije) radi očuvanja tla i smanjenja izloženosti vjetru.

- Primjena konzervacijskih metoda kao što su terase, izgradnja bunara za zaustavljanje erozije ili primjena sustava navodnjavanja kako bi se održala vlažnost tla (Shao & Li, 2019).

Erozija tla vodom je proces u kojem dolazi do gubitka tla zbog djelovanja oborinskih voda, rijeka ili potoka. Ovaj oblik erozije tla je široko rasprostranjen, jedan je od najčešćih i najdestruktivnijih, te može imati značajne posljedice na okoliš, poljoprivredu i infrastrukturu i može se dogoditi na različitim terenima i geografskim područjima. Postoje nekoliko mehaničkih procesa koji su odgovorni za ovaj fenomen. Prvo, pada obilna kiša ili snijeg, što povećava hidrataciju tla i omogućuje vodi da prodre u površinski sloj tla. Zatim, brza površinska voda, koja se stvara zbog velikog intenziteta oborina, izaziva eroziju gornjeg sloja tla i stvara brazde i jarke. Konačno, voda može prenositi suspendirane čestice i nanositi ih na druga područja, čime se povećava rizik od zagađenja vodnih resursa. Faktori koji doprinose eroziji tla vodom uključuju intenzitet i količinu oborina, nagib terena, tip tla, pokrov tla i sadržaj organske tvari u tlu. Bez odgovarajućih mjera zaštite tla, erozija tla vodom ima širok spektar negativnih posljedica. Gubitak plodnog gornjeg sloja tla smanjuje plodnost i produktivnost tla, što može dovesti do smanjenja prinosa usjeva. Također, erozija može uzrokovati zamućenje vodnih resursa i sedimentaciju rijeka i jezera, što utječe na kvalitetu vode i ekosustave vodenih staništa. Povećana erozija može rezultirati i promjenama u hidrološkim ciklusima, povećanju poplava i smanjenju rezervi podzemnih voda. Kako bi se smanjila erozija tla vodom, važno je provoditi odgovarajuće mjere zaštite tla. Neki od primjera mjera zaštite uključuju:

- Održavanje vegetacijskog pokrova: Održavanje prirodnog ili umjetno uspostavljenog vegetacijskog pokrova pomaže u smanjenju utjecaja oborina na tlo, sprječava eroziju površine i poboljšava sposobnost tla da zadržava vodu.
- Kontura oranja i terase: Oranje polja u konturi i izgradnja terasa smanjuje brzinu protoka oborinskih voda, smanjuje eroziju i pomaže u zadržavanju vode na poljoprivrednim površinama.
- Uporaba zaštitnih barijera: Izgradnja fizičkih barijera kao što su kameni oblozi, zemljani branici ili drenažni kanali mogu smanjiti brzinu površinske vode i zaštititi tlo od erozije (Zhang, 2020).



## 2.4. Problematika erozije u svijetu i na istraživanom području rada

Erozija tla smatra se drugim najznačajnijim ekološkim problemom s kojim se svijet suočava, odmah nakon rasta populacije. Pimentel et al. (2009) otkrili su šokantne brojke o fenomenu erozije, navodeći primjere u kojima se većina tla s poljoprivrednih površina ispire otprilike 10-40 puta brže nego što se nadoknađuje. Navode da Sjedinjene Američke Države gube tlo 10 puta brže od uobičajene stope nadoknade, dok se u Kini i Indiji gubi tlo čak 30-40 puta brže. Trend erozije tla povećao se tijekom 20. stoljeća. Degradacija tla u svijetu iznosi oko 85%, a povezana je s erozijom tla, većina koje se dogodila nakon završetka Drugog svjetskog rata, što je rezultiralo smanjenjem produktivnosti usjeva za 17% (Angima et al., 2003).

Erozija tla uključuje mnoge procese, a jedan od njih je transport i taloženje čestica s jedne lokacije na drugu. Iako se javlja prirodno, često se, kako je spomenuto, pogoršava ljudskim aktivnostima. Na eroziju tla utječu vjetar, oborine i povezani procesi otjecanja, osjetljivost samog tla na eroziju te karakteristike pokrova zemlje i upravljanja. Upravljanje i razumijevanje erozije i povezane degradacije ključni su zbog mogućih učinaka: gubitak hranjivih tvari, zasljanjivanje rijeka i akumulacija sedimenata u rezervoarima, degradacija kvalitete vode te smanjenje produktivnosti tla. U pregledu troškova erozije tla, Pimentel et al. (1995) izvijestili su o stopama erozije tla za različite regije svijeta: Azija, Južna Amerika i Afrika s prosječnom vrijednosti od 30 do 40 tona/ha/god i prosječna vrijednost od 17 tona/ha/god za Sjedinjene Američke Države i Europu. Za usporedbu, stopa erozije tla za netaknute šume iznosi od 0,004 tona/ha/god do 0,05 tona/ha/god globalno (Pimentel et al., 1995). Unutar krajolika, erozija uzrokovana vodom može biti rezultat nekonzentriranog otjecanja (eng. sheet erosion - ravničarska erozija), erozija u malim kanalima (eng. rills - brazde), udar kiše i površinskog otjecanja (eng. inter-rill - međubrazdna erozija) te erozija u većim koncentriranim kanalima (eng. gullies - žljebovi). Razumijevanje kako se ti procesi odvijaju i koja su područja osjetljiva na eroziju od velike je važnosti za upravljanje zemljištem, a napredak tehnologije je pomogao u ubrzanju i poboljšanju preciznosti ovog procesa (Benavidez et al., 2018).

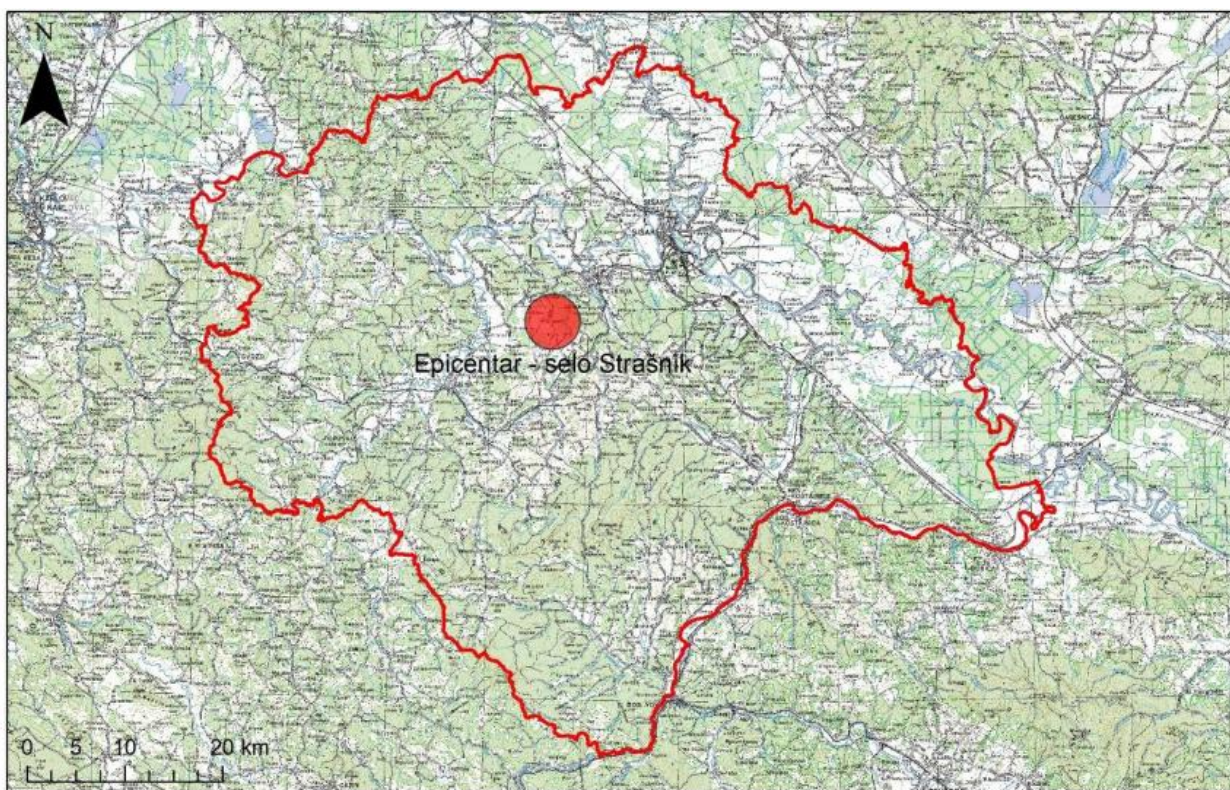
Opseg erozije tla također pokazuje da je to globalni ekološki problem, pri čemu su neka područja poput južne Europe i mediteranskog područja posebno podložna eroziji zbog produljenih sušnih razdoblja i obilnih erozivnih oborina koje padaju na strmim padinama s osjetljivim tlima, što rezultira značajnom erozijom. Erozijska tla zahvaća 3,5 milijuna hektara (čak 26,5%) ukupne površine Grčke. U zemljama poput Malezije, obilne kiše često uzrokuju eroziju tla i klizišta, posebno na strmim područjima gdje se odvija intenzivan poljoprivredni i urbani razvoj. Himalaja u jugoistočnoj Aziji i Ande u Južnoj Americi suočavaju se s nekim od najviših stopa erozije na svijetu zbog planinskih područja (Jahun et al., 2015).

Literatura je pokazala da erodirana tla, prenose pesticide, hranjive tvari i druge štetne kemijske tvari s poljoprivrednih površina u potoke, u rijeke te onečišćuju površinske i podzemne vodne resurse, smanjuju produktivnost i prinos usjeva te uzrokuju onečišćenje zraka emitiranjem plinova poput ugljikovog dioksida ( $\text{CO}_2$ ), metana ( $\text{CH}_4$ ) i dušikovog oksida ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Zbog erozije tijekom proteklih 40-ak godina, 30% obradivog zemljišta na svijetu postalo je neplodno. Erozijska tla javlja se kada je tlo izloženo kiši ili vjetrovima, kada kišne kapi snažno udaraju izloženo tlo i lako premještaju čestice tla s površine. Erozijska tla ima trofazni proces koji uključuje odvajanje, prijenos i taloženje. Utjecaj se intenzivira na zemljištu koje je pod određenim nagibom, gdje se često više od polovice površinskog tla odnosi nizbrdo u doline i vodotoke uslijed udara vode. Stopa erozije stoga ovisi o sastavu tla, nagibu zemljišta i pokrivenosti vegetacijom (Jahun et al., 2015).

Zbog svega gore navedenog, mnogim je zemljama postalo neophodno pravodobno i točno procijeniti gubitak tla erozijom ili bar rizik od gubitka. Također je korisno napraviti procjenu koliko brzo se tlo erodira prije nego što utječe na bilo koju od strategiju očuvanja. Zbog same prirode procesa erozije, kontrola erozije zahtijeva kvantitativnu i kvalitativnu procjenu potencijalne erozije tla na određenom mjestu, kao i poznavanje terena, uzgojnog sustava, tla i praksi upravljanja. Modeli erozije tla tu pomažu u upravljanju zemljištem tako što pomažu razumjeti transport sedimenta i njegove učinke na krajolik. Ti modeli se kreću od relativno jednostavnih empirijskih modela i konceptualnih modela do složenijih modela zasnovanih na fizici (Benavidez et al., 2018).

Erozijska tla na Banovini postala je ozbiljan problem nakon razornih potresa koji su pogodili ovu regiju u 28. i 29. prosinca 2020. godine (Slika 2-1.). Snažni potresi uzrokovali su

poremećaje u tlu, što je dovelo do povećane osjetljivosti na eroziju. Oštećene građevine, infrastruktura i promjene u hidrološkom sustavu rezultirale su naglim povećanjem erozijskih procesa. Obilne kiše koje su pogodile područje nakon potresa dodatno su pogoršale situaciju, jer su otežale zadržavanje tla i potaknule odnošenje tla s padina. Erozijska tla na Banovini ima ozbiljne posljedice na poljoprivredu, okoliš i gospodarstvo. Gubitak plodnog tla smanjuje poljoprivredne prinose i otežava obnovu poljoprivrednih površina. Osim toga, erozija pridonosi onečišćenju rijeka i potoka, smanjujući kvalitetu vode i ugrožavajući biljni i životinjski svijet.



Slika 2-1. Epicentar najjačeg potresa – selo Strašnik 6 km JZ od Petrinje (Bačeković, 2022)

### 3. RUSLE METODA

Erozija tla je jedan od svjetskih ekoloških problema s kojima se suočava svijet u 21. stoljeću, te utječe na ljudsko društvo. Navedena je kao jedno od glavnih pitanja okoliša s kojima se svijet suočava, zajedno s povećanjem ljudske populacije, nestašicom vode, gubitkom biološke raznolikosti, energetskim problemima i ljudskim bolestima. Procjenjuje se da je oko 10 milijuna hektara poljoprivrednih zemljišta degradirano i pretvoreno u nepogodna područja za obradu zbog erozije tla, što rezultira smanjenom proizvodnjom hrane za 3,7 milijardi neuhranjenih ljudi prema podacima Svjetske zdravstvene organizacije (eng. World Health Organization).

U posljednjih nekoliko desetljeća razvijen je niz modela erozije tla. Većinom se oni dijele na empirijske, konceptualne i fizičke modele. USLE - Universal Soil Loss Equation, je empirijski model za godišnju procjenu erozije tla, koji je dalje modificiran kao RUSLE i MUSLE. To je jednostavan model za predviđanje erozije tla koji uzima u obzir podatke o oborinama, erozivnosti tla, vrsti krajolika, topografiji i brzini protoka (u slučaju MUSLE-a). Neke od prednosti i mana USLE-a su te da on nije model utemeljen na događajima i ne može kvantificirati događaje koji se vjerojatno mogu dogoditi kao rezultat velike erozije na velikim površinama. Nadalje, upotreba faktora duljine nagiba (u RUSLE-u) omogućuje predviđanje gubitka tla uslijed otjecanja preko površine, ali se uglavnom primjenjuje na poljoprivredno zemljište blagog nagiba s kutom koji nije veći od  $25^\circ$  i ne procjenjuje eroziju u obliku žljebova ili kanala koja je posljedica kišnih kapi (Udemy edukacija, 2023).

Univerzalna jednadžba gubitka tla, hrvatski naziv za USLE, smatra se jednim od najznačajnijih dostignuća u zaštiti tla i voda u 20. stoljeću. Ta empirijska tehnologija primjenjuje se diljem svijeta za procjenu erozije tla pod utjecajem kišnih kapi i površinskog otjecanja. Razvoj USLE-a bio je vrhunac desetljeća istraživanja erozije tla koje su provodili sveučilišni profesori i znanstvenici iz federalnih institucija diljem Sjedinjenih Američkih Država. USLE kao potpuna tehnologija prvi put je objavljena 1965. godine u publikaciji USDA Agriculture Handbook-a 282. Ažurirana verzija objavljena je 1978. godine u publikaciji Agriculture Handbook-u 537. Revidirana univerzalna jednadžba gubitka tla (RUSLE), koja je računalna verzija USLE-a s poboljšanjima u procjeni mnogih faktora,

prvotno je puštena u javnu upotrebu 1992. godine. Rad se nastavlja na daljnjoj poboljšanoj verziji softvera za Windows poznatij kao RUSLE2. (USDA Agricultural Research Service).

Glavna jednažba za grupu USLE modela je sljedeća:

$$A = R * K * L * S * C * P \quad (3-1)$$

gdje su:

**A** - prosječni godišnji gubitak tla (Soil Loss) ( $t \text{ ha}^{-1} \text{ god}^{-1}$ )

**R** - faktor oborina i otjecanja ili erozivnosti oborina (Rainfall Erosivity) ( $\text{MJ} * \text{mm} * \text{ha}^{-1} * \text{h}^{-1} * \text{god}^{-1}$ )

**K** - faktor erozivnosti tla (Soil Erodibility) ( $t * \text{ha} * \text{h} * \text{MJ}^{-1} * \text{h}^{-1} * \text{mm}^{-1}$ )

**L** - faktor duljine nagiba (Slope Length) (nema mjernu jedinicu)

**S** - faktor strmine nagiba (Slope Steepness) (nema mjernu jedinicu)

**C** - faktor upravljanja zemljištem i pokrovnosti (Cover and Management) (nema mjernu jedinicu)

**P** - faktor prakse upravljanja usjevima (Support Practices Factor) (nema mjernu jedinicu)

USLE je prvobitno razvijen za Sjedinjene Američke Države, ali se od tada koristi i u mnogim drugim zemljama. Radovi Panagosa et al. (2015) primijenili su oblik RUSLE-a na geografsko područje Europske unije. Dodatak ovog rada sastavlja neisključiv popis studija koje su primijenile USLE i RUSLE modele na slivovima diljem svijeta. Nesigurnosti iz modeliranja erozije tla također proizlaze iz (ne)dostupnosti dugoročnih pouzdanih podataka za modeliranje, što je problem koji nije jedinstven samo za USLE/RUSLE-a i koji je hitniji za složenije modele koji zahtijevaju visoke ulazne podatke. Stoga, sveprisutna upotreba USLE/RUSLE-a može se pripisati njegovim relativno nižim zahtjevima za podacima u usporedbi s kompleksnijim modelima gubitka tla, što ga potencijalno čini lakšim za primjenu u područjima s oskudnim podacima (Benavidez et al., 2018), što bismo mogli reći za Banovinu.

RUSLE je ustvari nadograđena i točnija verzija USLE-a. Taj model jest jednadžba koja procjenjuje prosječni godišnji gubitak tla pločastom erozijom (eng. sheet erosion) i erozijom brazda (eng. rill erosion) na područjima gdje se dogodila erozija, ali ne i taloženje (Udemy, 2023). U početku RUSLE model je razvijen kako bi se procijenio rizik od erozije tla za male lokalne vododijelnice. Međutim, s prostornom raširenošću i ubrzanim procesom erozije tla te problemima kvalitete vode, upotreba RUSLE modela nosi fundamentalne nedostatke u smislu troškova primjene, reprezentativnosti mjesta i pouzdanosti predviđenih rezultata. Stoga je mapiranje prostorne distribucije erozije tla često problematično s tradicionalnim RUSLE modelom (Jahun et al., 2015). Dakako osim nedostataka postoje i prednosti, neke od prednosti RUSLE-a su, npr. proširene informacije o erozivnosti tla, faktor duljine nagiba koji varira prema osjetljivosti tla na eroziju brazda, poboljšane vrijednosti faktora za utjecaje konturiranja ili terasiranja, usjevnih usitnjavanja ili za upravljačku praksu/mjere za pašnjake (Udemy, 2023). Usprkos svemu ranije navedenom u ulomku, dolaskom GIS tehnologije potaknut je eksplozivni porast primjene modela baziranih na sam GIS na regionalnoj razini. Kombinacija GIS tehnologije s modelima za procjenu erozije kao što je RUSLE poboljšala je učinkovitost procjene prostorne distribucije i veličine rizika od erozije uz razumne troškove te veću točnost, kako je dokumentirano od strane nekoliko istraživača u literaturi.

RUSLE model izračunava prosječni godišnji gubitak tla erozijom uzimajući u obzir pet faktora definiranih u jednadžbi 3-1 (Renard et al., 1997) te je ispod i grafički prikaz općeg modela za lakše razumijevanje uloga faktora (Slika 3-1.). Na temelju razne i mnogobrojne literature, opća metodologija primjene RUSLE-a je procjena svakog od faktora u modelu. Prethodni istraživači razvili su nekoliko tehnika za procjenu tih faktora, koje uključuju upotrebu klimatskih podataka, tla i geoloških karata, satelitskih snimaka dobivenih daljinskim istraživanjima, empirijskih formula i digitalnih modela elevacije (DEM) dobivenih iz različitih izvora (Jahun et al., 2015). Tehnike koje se koriste za generiranje faktora modela opisani su u narednim poglavljima ovog naslova, a dobiveni rezultati se nalaze u poglavljima 5.2. - 5.6.

$$\text{RUSLE izraz: } \mathbf{A} = \mathbf{R} * \mathbf{K} * \mathbf{LS} * \mathbf{C} * \mathbf{P} \quad (3-1)$$

**A** - prosječni godišnji gubitak tla ( $t \text{ ha}^{-1} \text{ god}^{-1}$ )

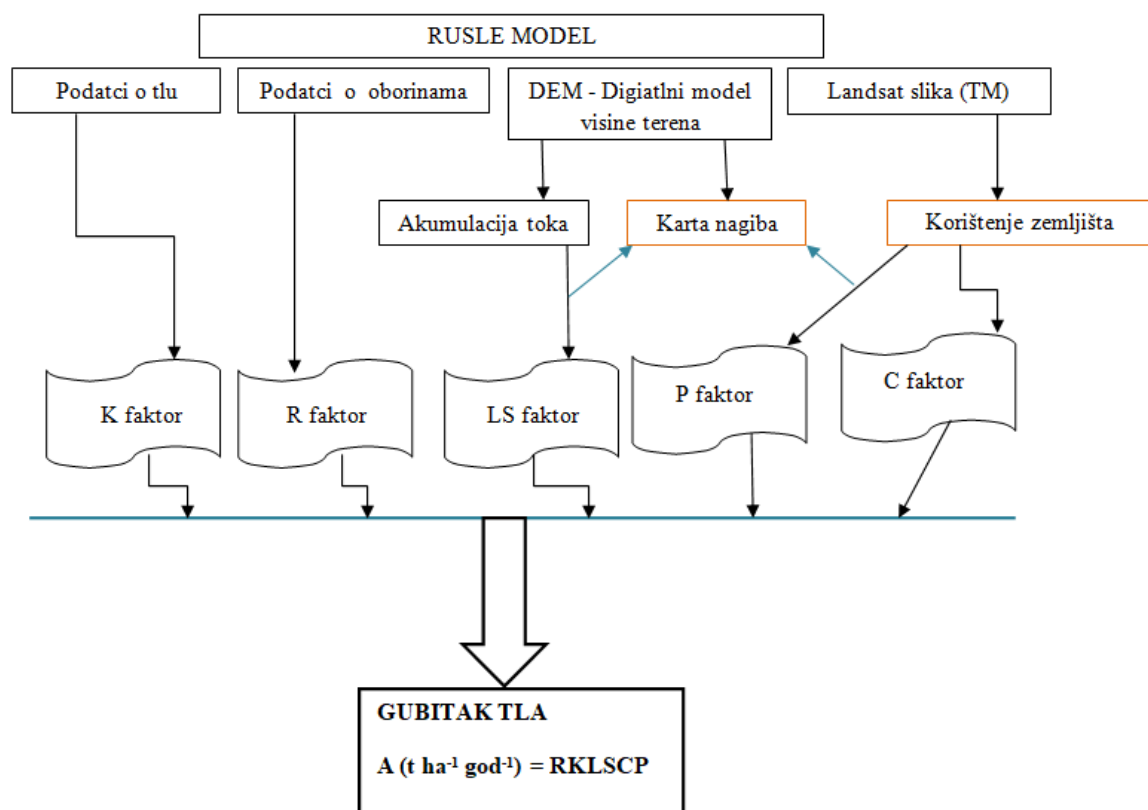
**R** - faktor oborina i otjecanja ili erozivnosti oborina ( $\text{MJ} * \text{mm} * \text{ha}^{-1} * \text{h}^{-1} * \text{god}^{-1}$ )

**K** - faktor erozivnosti tla ( $t \cdot ha \cdot h \cdot MJ^{-1} \cdot h^{-1} \cdot mm^{-1}$ )

**LS** - faktor duljine i strmine nagiba (nema mjernu jedinicu)

**C** - faktor pokrovnosti tla (0 do 1)

**P** - faktor zaštite/očuvanja (0 do 1)



Slika 3-1. Opći RUSLE model (prevedeno na hrv.; Udey, 2023)

### ***R faktor - erozivnost oborina***

Erozivnost oborina je potencijalna sposobnost kiše da uzrokuje eroziju tla. Erozivnost koja se koristi u RUSLE-u mora prepoznati posljedice kišnih kapi koje utječu na tlo i utvrditi količinu otjecanja povezanu s oborinama. Zahtijeva se detaljno kontinuirano praćenje oborina (Udey, 2023). R faktor je najvažniji parametar u procjeni erozije prema RUSLE-u, kako uglavnom opisuju istraživači, a njegova korelacija s gubitkom tla visoka je na mnogim regionalnim i svjetskim meteorološkim postajama. Opći postupak za određivanje faktora

erozije uključuje upotrebu promatranih povijesnih podataka o oborinama, kao i primjenu nekoliko različitih formula ovisno o prevladavajućim uvjetima područja. Procjena faktora R predstavlja izazov u područjima s nedostatkom podataka ili u situacijama kada su klimatske stanice vrlo rijetke (Jahun et al., 2015). Ispod se nalazi jednadžba 3-2 za izračun godišnjeg R faktora, koju su razvili Wischmeier i Smith (1978) te je modificirana od strane Arnoldusa 1980. godine. Neke države imaju vlastite pojednostavljene jednadžbe, no na našem podneblju to nije situacija tako da se koristi ova univerzalna jednadžba. Kao što je vidljivo prema jednadžbi ispod prvo se računa faktor za svaki mjesec, a zatim se kvadrira i dijeli s godišnjim faktorom:

$$R = \sum_{i=1}^{12} 1.735 * 10 \left( 1.5 * \log_{10} \frac{P_i^2}{P} \right) - 0.08188 \quad (3-2)$$

gdje su:

R - faktor erozivnosti oborina ( $\text{MJ} * \text{mm} * \text{ha}^{-1} * \text{h}^{-1} * \text{god}^{-1}$ ),

$P_i$  - mjesečne oborine (mm)

P - godišnje oborine (mm)

Postoje dvije baze podataka o globalnoj erozivnosti, koje su korištene u ovom radu za dobivanje istih, to su: 1) **GloREDA** (Global Rainfall Erosivity Data) koja sadrži vrijednosti erozivnosti procijenjene kao R-faktori s 3625 stanica raspoređenih u 63 zemlje diljem svijeta. To su najtočniji podaci za zemlje Europske unije; 2) podaci s **University of East Anglia Climate Research Unit**, odnosno Centra za istraživanje klime ovog Sveučilišta koji je široko priznat kao jedna od vodećih institucija u svijetu koja se bavi proučavanjem prirodnih i antropogenih klimatskih promjena (Udemy, 2023).

### ***K faktor - erozivnost tla***

Erozivnost tla, koja odražava stopu gubitka tla ovisno o protoku erozije (R faktor), izračunava se na temelju teksture tla i predstavlja empirijsku mjeru erozije tla te ukazuje na osjetljivost tla na eroziju. Za mjerenje ovog faktora, Wischmeier i Smith (1978) predložili su jednostavan postupak mjerenja pet svojstava tla, kao što su udio organske tvari (OM), pijesak, sitni pijesak, struktura tla i propusnost. Najbolje metode za određivanje tih svojstava tla kao ulaznih podataka za erozivnost tla uključuju uzorkovanje i testiranje na terenu na mjestu



interesa. Struktura i propusnost profila tla te organska tvar glavna su svojstva tla koja utječu na vrijednost K faktora, a njegovu vrijednost karakterizira tekstura tla i propusnost organskih spojeva ovisno o vrsti tla te se modelira uz pomoć jednadžbe. Međutim, nedostatak ove metode je njezina vremenski zahtjevna i radno intenzivna priroda. Iako postoji niz jednadžbi koje su kroz povijest nastajale u svrhu izračuna ovog faktora, u ovom radu korištena je jednadžba koju je predložio Williams (1995), riječ je o umnošku četiri F faktora za različite tipove tla – pijesak, glina i silt, organska tvar te tlo s visokim udjelom pijeska, pri čemu za svaki F postoji prethodna jednadžba kojom dolazimo do jednadžbe 3-3) (ispod nje se nalaze 4 prethodne koje daju F faktore) (Jahun et al., 2015):

$$\mathbf{K}_{USLE} = \mathbf{K}_W = \mathbf{F}_{csand} * \mathbf{F}_{cl-si} * \mathbf{F}_{orgc} * \mathbf{F}_{hisand} \quad (3-3)$$

Gdje je: K - faktor erozivnosti tla ( $t^*ha^*h^*MJ^{-1} * h^{-1} * mm^{-1}$ )

$$\mathbf{F}_{csand} = \left( 0.2 + 0.3 * \exp \left[ -0.256 * m_s * \left( 1 - \frac{m_{silt}}{100} \right) \right] \right) \quad (3-3.1)$$

$$\mathbf{F}_{cl-si} = \left( \frac{m_{silt}}{m_c + m_{silt}} \right)^{0.3} \quad (3-3.2)$$

$$\mathbf{F}_{orgc} = \left( 1 - \frac{0.25 \text{ orgC}}{\text{orgC} + \exp [3.72 - 2.95 * \text{orgC}]} \right) \quad (3-3.3)$$

$$\mathbf{F}_{hisand} = \left( 1 - \frac{0.7 * \left( 1 - \frac{m_s}{100} \right)}{\left( 1 - \frac{m_s}{100} \right) + \exp [-5.51 + 22.9 \left( 1 - \frac{m_s}{100} \right)]} \right) \quad (3-3.4)$$

### ***LS faktor - duljina i strmina nagiba***

Kombinacija faktora strmine nagiba S i faktora duljine nagiba L, koji se određuju iz digitalnog modela terena (DEM-a) (Udemy, 2023). LS faktor u RUSLE modelu karakterizira

utjecaj topografije na eroziju. Prethodna istraživanja u području erozije tla definirala su duljinu nagiba kao udaljenost od mjesta nastanka površinskog otjecanja do mjesta gdje se nagib smanjuje dovoljno da počinje taloženje ili gdje se protok koncentrira u definiranom kanalu. Pokazano je da povećanje duljine nagiba rezultira povećanom erozijom zbog povećane brzine protoka vode. Stoga gubitak tla proporcionalno raste s povećanjem duljine i strmine nagiba. Kombinirani učinci duljine i strmine nagiba daju dobru procjenu stope erozije tla. *Rill* i *inter-rill* erozija su najčešći tipovi erozije, pri čemu prvi nastaje uslijed površinskog otjecanja prema smjeru nagiba, dok je drugi rezultat udara kiše na tlo. RUSLE model predstavlja oba tipa erozije, ali ih također i ne razlikuje. Općeniti postupak usvojen za izračun utjecaja topografije na eroziju je računanje oba faktora (nagib S i duljina nagiba L) zajedno. Danas, uz pomoć GIS tehnologije, mnogi istraživači koriste DEM za generiranje topografskih podataka. DEM se crta na temelju postojećih ili digitaliziranih kontura s poznatim intervalima. Postoji mnogo formula koje su sposobne izračunati topografiju. Neki istraživači su usvojili tehniku koju su predložili Moore i Burch (1986). Ta tehnika zahtijeva akumulaciju protoka i strminu nagiba kao što je prikazano u jednadžbi 3-4 (Jahun et al., 2015).

$$LS = \left( Akumulacija\ protoka * \frac{veličina\ ćelije}{22.13} \right)^{0.4} \left( \frac{\sin(nagiba)}{0.0896} \right)^{1.3} \quad (3-4)$$

gdje je : LS = Faktor duljine nagiba i strmine.

### ***C faktor - pokrovnost tla***

Faktor C, faktor pokrova vegetacijom i upravljanja, predstavlja utjecaj pokrova tla, bilo putem usjeva u poljoprivrednom okruženju i njihovih odgovarajućih praksi upravljanja za smanjenje gubitka tla, bilo utjecaj pokrova tla drvećem i travom u ne-poljoprivrednim situacijama. Blisko je vezan s načinima korištenja zemljišta i smanjuje osjetljivost tla na eroziju zato što pokrov tla ima tendenciju rasipanja erozivne snage kiše prije nego što udari u površinu tla, što rezultira smanjenjem gubitka tla kako se povećava pokrov vegetacije. Stoga, pokrov vegetacije kao i vrste usjeva igraju važnu ulogu u kontroliranju erozije i brzine otjecanja. Vrijednost C faktora uglavnom ovisi o vrsti vegetacije, fazi rasta i postotku pokrova (Udemy, 2023).

Tradicionalno, faktor pokrova površine izvodi se pomoću empirijskih jednadžbi (3-5.1, 3-5.2, 3-5.3) temeljenih na mjerenjima mnogih varijabli povezanih s pokrovom tla prikupljenih na uzorcima parcela. Međutim, danas se najčešće koristi tehnika dobivanja faktora pokrova površine upotrebom tehnika daljinskog očitavanja za proizvodnju klasifikacije korištenja/zakrivanja tla iz satelita (Jahun et al., 2015). Najčešće korištena tehnika daljinskog očitavanja je Normalizirani indeks vegetacije (NDVI) za dobivanje faktora C. Ovaj indeks pokazuje energiju koju Zemlja reflektira za različite uvjete pokrova površine i dobiva se iz jednadžbe (3-5.4). Vrijednosti NDVI indeksa imaju raspon od -1,0 do +1,0. Kada je spektralni odgovor površine Zemlje vrlo sličan oba raspona, vrijednosti NDVI indeksa približavaju se nuli. Velika razlika između ova dva raspona rezultira vrijednostima NDVI indeksa na krajnjim vrijednostima raspona podataka. Vegetacija koja aktivno raste ima visoku refleksiju u infracrvenom dijelu spektra u usporedbi s vidljivim dijelom, stoga su vrijednosti NDVI indeksa za aktivno rastuću vegetaciju pozitivne. Vrijednosti NDVI indeksa za površinski pokrov s malom vegetacijom kreću se između -0,1 i +0,1, dok oblaci i vodena tijela pokazuju negativne ili nulte vrijednosti. NDVI i RUSLE koreliraju, postoji linearna veza između njih te je kreirano više jednadžbi za različita područja (Jahun et al., 2015)..

$$\text{Dobra za izračun eurospke klime (Knijff et al., 2000): } C = e^{(-2.5*NDVI/(1-NDVI))} \quad (3-5.1)$$

$$\text{(Vatandaşlar et al., 2017): } C = 0.431-0.805*NDVI \quad (3-5.2)$$

$$\text{(Durgion et al., 2014): } C = (-NDVI+1)/2 \quad (3-5.3)$$

$$NDVI = \frac{NIR-R}{NIR+R} \quad (3-5.4)$$

Gdje su:

C - faktor pokrovnosti tla (0 do 1)

NDVI: Normalizirani indeks vegetacije

### ***P faktor - zaštita/očuvanje***

Faktor podrške prakse P bezdimenzionalni je omjer koji uzima u obzir gubitak tla pod određenim upravljačkim praksama, izražava učinke praksi upravljanja površinom koje se

primjenjuju radi smanjenja gubitka tla putem procesa erozije. Ove prakse uključuju, između ostalog, terasiranje, sjetvu uskim pojasima i oranje po konturama. Vrijednost faktora P kreće se između 0 i 1, pri čemu 0 pokazuje najveću učinkovitost konzervacijske prakse, dok 1 ukazuje da nisu primijenjene nikakve prakse podrške ili mjere. Konzervacijske prakse uglavnom se primjenjuju na poljoprivrednim područjima ili umjetnim pašnjacima (Udemy, 2023). Općenito prihvaćeni pristup za određivanje faktora konzervacije je razvoj empirijskih jednadžbi. U Kini se koristila jednadžba pod brojem (3-9) predložena od strane Wennera (1981). Jednadžba zahtijeva samo nagib, koji se može lako dobiti iz dostupnih modela digitalnog visinskog modela (DEM). Na temelju ove jednadžbe, vrijednost faktora P može se primijeniti u okruženjima u kojima nema konzervacijskih i upravljačkih praksi (Jahun et al., 2015).

$$P = 0.2 + 0.03 * S \quad (3-9)$$

Gdje su:

S = nagib terena (%)

P - faktor zaštite/očuvanja (0 do 1)

Procjena gubitka tla erozijom i procjena rizika od erozije postala je važan zadatak mnogim državama prije implementacije mjera zaštite tla. Danas postoji razna objavljena literatura o primjeni RUSLE modela, u kombinaciji s GIS tehnologijom za predviđanje gubitka tla i rizika od erozije u različitim regijama. Pregled literature pokazuje da korištenje tradicionalnog RUSLE modela za mapiranje erozije tla u velikim slivovima predstavlja izazove. Kombinirani učinak RUSLE i GIS-a pruža koristan i učinkovit alat za predviđanje dugoročnog potencijala erozije tla i procjenu utjecaja erozije tla (Jahun et al., 2015).

## **4. GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI SUSTAV – GIS**

### **4.1. Povijest GIS-a**

Era geografskih informacijskih sustava (GIS) započelo je 1960-ih godina kako su računala i rani koncepti kvantitativne i računalne geografije počeli izlaziti. Rani radovi na GIS-u uključivali su važna istraživanja akademske zajednice. Kasnije je Nacionalni centar za geografske informacije i analizu (National Center for Geographic Information and Analysis), pod vodstvom Michaela Goodchilda, formalizirao istraživanja ključnih tema znanosti o geografskim informacijama poput prostorne analize i vizualizacije. Ti napori potaknuli su kvantitativnu revoluciju u svijetu geografske znanosti i postavili temelje za GIS.

Roger Tomlinson je začetno radio na pokretanju, planiranju i razvoju Kanadskog geografskog informacijskog sustava (Canada Geographic Information System), što je rezultiralo prvim računalnim GIS-om na svijetu 1963. godine. Kanadska vlada je uposlila Tomlinsona da stvori upravljiv inventar svojih prirodnih resursa. On je zamislio korištenje računala za spajanje podataka o prirodnim resursima iz svih provincija. Osmislio je dizajn za automatsko računanje kako bi pohranio i obrađivao velike količine podataka, što je omogućilo Kanadi da započne svoj nacionalni program upravljanja zemljištem. Također je dao GIS-u njegovo ime.

Dok je bio na Sveučilištu Northwestern 1964. godine, Howard Fisher je stvorio jedan od prvih softverskih programa za računalnu kartografiju poznat kao SYMAP. 1965. godine osnovao je Laboratorij za računalnu grafiku na Harvardu. Dok su neki od prvih softvera za izradu računalnih karata stvoreni i usavršeni u tom laboratoriju, isti je postao i istraživački centar za prostornu analizu i vizualizaciju.

Godine 1969., Jack Dangermond, član Harvardskog laboratorija, i njegova supruga Laura osnovali su Environmental Systems Research Institute (ESRI). Ova konzultantska tvrtka primijenila je računalno kartiranje i prostornu analizu kako bi pomogla urbanistima i upraviteljima zemljišnih resursa u donošenju odluka. Rani rad tvrtke pokazao je veliku vrijednost GIS-a u rješavanju problema. ESRI je nastavio razvijati mnoge metode kartiranja i

prostorne analize GIS-a koje se dan danas koriste. Ti rezultati izazvali su širi interes za softverske alate i radne tokove tvrtke koji su sada standardni za GIS.

Kako su računalne mogućnosti postajale sve kompleksnije, ESRI je poboljšavao svoje softverske alate. Rad na projektima koji su rješavali stvarne problem u svijetu potaknuo je tvrtku na inovacije i razvoj raznih GIS alata i pristupa koji bi se mogli široko koristiti. Rad ESRI-ja dobio je priznanje od akademske zajednice kao novi način obavljanja prostorne analize i planiranja. Kako bi učinkovitije analizirali sve veći broj projekata, ESRI je razvio ARC/INFO - prvi komercijalni GIS proizvod. Tehnologija je puštena u uporabu 1981. godine i započela je evoluciju ESRI-ja u softversku tvrtku (ESRI, 2023). 1981. nastaje ARC/INFO - prvi komercijalni GIS proizvod. Tehnologija je puštena u uporabu te godine i započela je evoluciju ESRI-ja u softversku tvrtku.

## **4.2. Definicija i mogućnosti**

GIS, ili geografski informacijski sustav (eng. geographic information system), je računalni sustav koji omogućuje upravljanje prostornim podacima na sličan način kao što se upravlja tradicionalnim bazama podataka. On integrira prostorne podatke s njihovim pripadajućim osobinama i omogućuje njihovu analizu i vizualizaciju. U geoinformatici, podatci se mogu prikupljati iz različitih izvora i oblika, ali svi su oni geoprostorni podatci koji se mogu provjeriti i usporediti s postojećim podacima (Perković, 1998).

GIS se koristi za prikupljanje podataka, a temeljem toga se radi modeliranje, analiza i vizualizacija podataka. Razvoj GIS-a može se podijeliti u četiri faze: 1. ulaz podataka u GIS (prikupljanje podataka); 2. tematsko modeliranje (preklapanje GIS slojeva); 3. prostorne operacije (prostorna analiza); 4. prikazivanje (vizualizacija).

Ulazni podatci su ključni dio GIS-a i temelj za sve ostalo što se radi u sustavu. Troškovi prikupljanja podataka su obično najveći u ovoj fazi, bez obzira na metodu kojom se podatci prikupljaju (Perković, 1998). Podatci se mogu podijeliti na prostorne podatke i pripadajuće opisne podatke.

Postoje različite metode prikupljanja prostornih podataka, uključujući:

- Preuzimanje koordinata: podatci objekta koji imaju javno dostupne koordinate mogu se preuzeti u GIS-u.
- Terenska izmjera: koriste se GPS (Global Positioning System) uređaji i geodetske stanice za precizno prikupljanje objekata u terenu.
- Fotogrametrijska izmjera: koristi se terestrička i aerofotogrametrija za prikupljanje podataka.
- Satelitski snimci: koriste se fotografski i radarski sustavi te posebni skeneri za prikupljanje podataka putem satelita.
- Digitalizacija karata: obuhvaća pretvaranje podataka s papirnatih karata u digitalni format, koristeći vektorsku ili rastersku metodu (Jurić, 2020).

Nakon unosa podataka, važno je provesti kontrolu podataka jer mogu postojati pogreške koje su se dogodile tijekom unosa ili crtanja. Moguće pogreške uključuju nedostatke u linijama, loše spojene linije, otvorene poligone i druge nedostatke. Linijski objekti ili elementi mogu biti razdvojeni u više dijelova ili se mogu spojiti, kopirati na drugu lokaciju, uređivati, rotirati, brisati i tako dalje kako bi se ispravile greške ili poboljšala kvaliteta podataka. Kontrola podataka omogućuje ispravljanje pogrešaka i osigurava da podatci budu točni i pouzdani pri daljnjoj analizi i prikazu (Jurić, 2020).

Također je poželjno ažurirati podatke kako bi se održavale promjene na terenu, kao što su promjene granica katastarskih čestica, novi objekti ili promjene vrste vegetacije ili kako bi se prikupili novi podatci i izmijenili postojeći stari podatci (Perković, 1998).

Digitalizacija je čest način prikupljanja grafičkih podataka u GIS-u. To je jeftinija metoda u usporedbi s drugim metodama. Međutim, nedostatak digitalizacije je da karte na kojima se temelji mogu biti zastarjele i neprecizne, pa se s vremenom preporučuje nabava novijih digitalnih verzija službenih tiskanih karata. Postoje dvije vrste digitalizacije: vektorska i rasterska. U vektorskoj digitalizaciji, podaci se digitaliziraju točka po točka, a zatim se transformiraju u koordinate u zemaljskom koordinatnom sustavu kako bi se dobio vektorski model podataka. Rasterska digitalizacija, ili točkasta digitalizacija, uključuje skeniranje karte pomoću posebnog rasterskog digitalizatora ili skenera (eng. scanner).

Preporučena rezolucija u GIS-u je 300 točaka po inču (DPI), a najčešće se koristi 256 boja (8-bitni) za prikaz podataka, dok je najčešći format datoteke nekomprimirani TIFF (Tagged Image File Format). Ova rezolucija je dovoljna za većinu starih tiskanih karata, jer u slučaju satelitskih ortofoto karata često nema potrebe za digitalizacijom. Broj boja nije veći kako bi se omogućilo uklanjanje rubova prilikom spajanja susjednih karata u mozaik. Nekomprimirani TIFF format je potreban radi kompatibilnosti s nekim starijim softverima poput *ArcView*-a i *Geotransformer*-a, iako postoje i druge mogućnosti formata rastera koje se mogu koristiti (Perković, 1998).

Negrafički ili opisni podatci se prikupljaju i unose u bazu podataka:

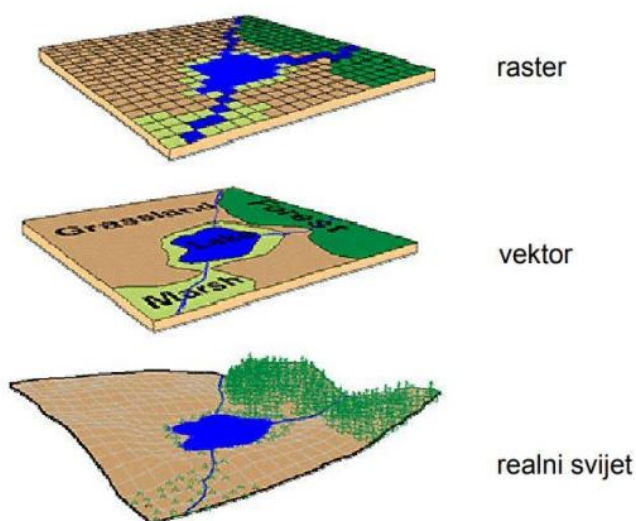
- preko tipkovnice računala (korisnik ručno unosi podatke)
- preko čitača za optičko prepoznavanje znakova (čitač skenira tekst, automatski prepoznaje i pretvara u digitalni format)
- čitanjem datoteke u standardnim formatima (CSV, Excel i dr. tablični format mogu se učitati u GIS softver putem čitanja datoteka)
- prijenos s drugog računala (kabel/USB, modem, lokalna mreža – LAN (Ethernet), WLAN (Wi-Fi), globalna mreža - WAN (Internet))

U GIS-u se koriste osnovni prostorni objekti u svrhu prikaza realnog svijeta u 2D modelu. Ti objekti su točka, linija te poligon. Točka se koristi za označavanje različitih elemenata prema mjerilu karte. Npr., kod velikih mjerila točke označavaju šahtove, stupove, bunare i bušotine, u srednjem mjerilu kuće, crkve i bolnice, a u najmanjem su mjerilu točke naselja i gradovi. Linije i poligoni su sastavljeni od niza karakterističnih točaka. Linija se definira kao niz od najmanje 2 točke koje primaju pripadajuće koordinate, pri čemu su krajevi linije čvorovi. One se dobivaju spajanjem točaka vektorima pa se stoga nazivaju vektorskim podatcima. Poligon se sastoji od jedne ili više linija koje definiraju zatvorenu površinu, a koriste se za prikazivanje prostornih objekata kao što su jezera, šume, administrativne jedinice i druge površine (Perković, 1998).

Geometrijski podaci u GIS-u mogu se prikazivati u dva oblika: vektorskom i rasterskom (Slika 4-2.). Vektorski podaci koriste se za opis prostornih objekata pomoću koordinata u određenom koordinatnom sustavu. Vektorski GIS koristi složene prostorne operacije i



precizniji je od rasterskog GIS-a. Vektorski podaci mogu se lako uređivati, a promjene se odnose na njihove grafičke i opisne karakteristike. Također, moguće je konvertirati geometrijske oblike, poput pretvaranja točaka u linije ili linija u poligone. Rasterski podaci predstavljaju površine koje se sastoje od skupa točaka raspoređenih u mreži različitih oblika i veličina. Rasterski format se češće koristi za statičke obrade i prikazivanje satelitskih i zračnih snimaka. U rasterskom modelu podaci se organiziraju u obliku piksela (eng. pixel) koji imaju vrijednosti atributa. Također, postoje i 3D modeli prostora koji se sastoje od skupa točaka ili podataka u trodimenzionalnom prostoru. Dva uobičajena modela su digitalni model reljefa (DMR) i digitalni model terena (Perković, 1998). Korištenje odgovarajućeg oblika geometrijskih podataka u GIS-u ovisi o specifičnim potrebama analize ili prikaza prostornih informacija.



Slika 4-2. Rasterski i vektorski podaci u GIS-u (Perković, 2010.)

### 4.3. Prednosti i nedostaci

Prednosti GIS-a su: vizualizacija podataka, povezivanje atributnih i geografskih obilježja te mogućnost interdisciplinarnog odlučivanja. Kombiniranjem geografskih obilježja s pripadajućim atributnim podacima omogućeno je provođenje raznovrsnih analiza, interpretacija i zaključivanja. GIS predstavlja alat koji povezuje različite struke relevantne za

određeni problem, pružajući uvid u područja kao što su hidrologija, pedologija, prostorno planiranje, zaštita okoliša i druge (Perković, 1998).

Nedostaci GIS-a su sljedeći:

- Statičnost podataka: jedan od glavnih nedostataka, to znači da GIS nema ugrađenu mogućnost za obradu podataka koji se mijenjaju tijekom vremena, a ručno dodavanje novijih podataka postaje neophodno kako bi se održala ažurnost;
- Ograničen broj vremenskih slojeva: GIS često ima ograničen broj vremenskih slojeva koji se mogu koristiti za usporedbu, a nedostatak prikaza promjena vrijednosti u vremenu ograničava mogućnosti analize dinamičkih prostornih fenomena;
- Složenost korištenja softvera: savladavanje GIS-a može biti dugotrajno, zahtjeva određenu razinu stručnosti, a korištenje složenih alata i funkcionalnosti zahtjeva vremensko ulaganje i konstantno usavršavanje;
- Dugotrajan proces prikupljanja podataka: prikupljanje karata i podataka može također dugo trajati, ovisno o izvorima i dostupnosti, često je potrebno uložiti znatan napor u prikupljanje, provjeru i integraciju podataka u GIS;
- Potreba za odgovarajućom računalnom opremom koja je kompatibilna s softverom.

Unatoč nedostacima, GIS se koristi u značajnom broju struka kao što su geologija, geodezija, hidrologija, hidrogeologija, ekologija, arheologija, poljoprivreda, promet, turizam, elektroprivreda, distribucija plina i nafte, komunalno gospodarstvo, katastar, samouprava, vojska itd. Rasprostranjen je manje više na svim područjima, odnosno svim oblastima koje zahtijevaju analizu prostornih podataka pa mu se može naći primjena gotovo u svemu (Perković, 1998). GIS omogućuje ljudima da stvaraju vlastite digitalne slojeve karata kako bi pomogli u rješavanju stvarnih problema. Također se razvio u sredstvo za dijeljenje podataka i suradnju, potaknuvši viziju - neprekidnu, preklapajuću i interoperabilnu GIS bazu podataka svijeta koja obuhvaća sve teme. Danas stotine tisuća organizacija dijele svoj rad i svakodnevno stvaraju milijarde karata kako bi ispričale priče i otkrile uzorke, trendove i veze o svemu (ESRI, 2023).

#### **4.4. ESRI GIS softveri**

ESRI (Environmental Systems Research Institute) je poznati proizvođač softvera za geoprostornu analizu i kartografiju. Neki od najznačajnijih softvera koje je razvio ESRI uključuju:

1. *ArcGIS Desktop*: Ovo je vodeći softver za geoprostornu analizu i kartiranje. *ArcGIS Desktop* omogućuje korisnicima da kreiraju, uređuju i analiziraju prostorne podatke, stvaraju mape i vizualizacije, te provode kompleksne analize prostornih uzoraka.

2. *ArcGIS Pro*: *ArcGIS Pro* je sljedeća generacija softvera za geoprostornu analizu koja zamjenjuje stariji ArcMap, koji je korišten u sklopu ovoga rada. Ovaj softver pruža napredne mogućnosti za stvaranje, uređivanje i analizu prostornih podataka te je optimiziran za modernu 64-bitnu arhitekturu.

3. *ArcGIS Online*: *ArcGIS Online* je platforma za hosting i dijeljenje kartografskih sadržaja i prostornih podataka na mreži. Korisnici mogu pristupiti različitim alatima za izradu i dijeljenje karata, prikupljanje terenskih podataka i suradnju s drugim korisnicima.

Među najznačajnijima spominju se i:

- *ArcGIS Enterprise*, platforma za implementaciju i upravljanje geoprostornim sustavima unutar organizacije;
- *ArcGIS Collector*, mobilna aplikacija koja omogućuje prikupljanje terenskih podataka putem pametnih telefona ili tablet;
- *ArcGIS Survey123*, aplikacija za prikupljanje terenskih podataka putem obrazaca i anketa;
- *ArcGIS StoryMaps*, alat za izradu interaktivnih priča i narativa koji kombinira karte, slike, tekst i multimedijske elemente;
- *ArcGIS Server*, softverski paket koji omogućuje organizacijama da stvore i upravljaju svojim prostornim uslugama. (ESRI, 2023)

## 5. PROSTORNO MODELIRANJE RUSLE METODOM U *ArcGIS* SOFTVERU

### 5.1. Osnovni pojmovi

Primarni zadatak, odnosno cilj ovog diplomskog rada, bio je procijeniti intenzitet erozije u GIS-u metodom koja se zove RUSLE na odabranom području istraživanja, a to je područje Banovine. Banovina ili Banija, je regija u središnjoj Hrvatskoj, u Sisačko-moslavačkoj županiji, između Save, donjeg toka rijeke Kupe, Une i Gline. Banovina je rubni prostor Panonske nizine, smješten jugozapadno od sisačke Posavine, a obilježen je brežuljkastim krajolikom, prosječne visine od 300 m. Doline presijecaju manji vodeni tokovi, a veliki je dio toga područja pod šumama (Wikipedia).

Kako je spomenuto u uvodu korištena je verzija ESRI softvera *ArcGIS 10.1*, odnosno *ArcMap* (Slike 5-1.1. i 5-1.2.) u kojem je primjenjivano znanje usvojeno edukacijom *Udemy* edukacijske kuće naziva “Soil erosion spatial modelling with RUSLE in *ArcGIS* software”. U istoj edukaciji nalazi se osam mapa s video-edukacijama ili “tutorijalima”, a sve kreće prvom uvodnom mapom s osnovnim informacijama o tečaju te kratkoj pripremi *ArcMapa* za RUSLE metodu izradom pet novih slojeva za pet faktora na kojima se ista metoda temelji. Druga uvodna mapa je ona u kojoj je objašnjena potrebna teorijska osnova, odnosno obuhvaća nešto o tlu (formiranje tla, sastav tla, pedosfera, horizonti tla, klasifikacija tla, degradacija tla), eroziji tla (erozija vjetrom, vodom, razni faktori, kako prevenirati eroziju) te modelima erozije tla (USLE, SWAT, WEPP, EROSION 3D, MCE (AHP/WIO)).

### 5.2. R faktor

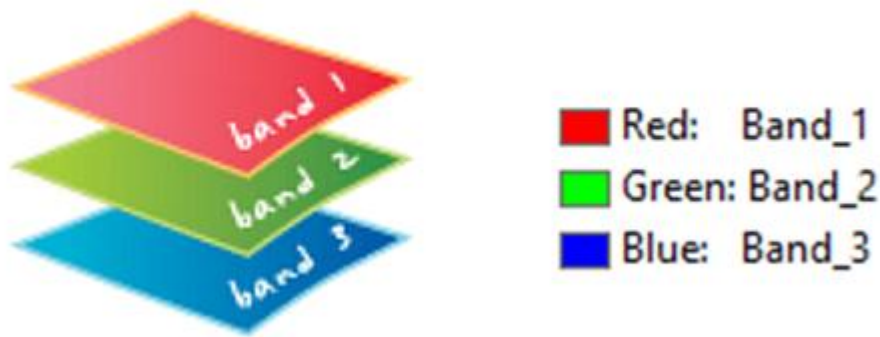
Prvi faktor na redu je R faktor – erozivnost oborina, koja predstavlja potencijalnu sposobnost kiše da uzrokuje eroziju tla. Erozivnost koja se koristi u RUSLE-u mora prepoznati posljedice kišnih kapi koje utječu na tlo i odrediti količinu otjecanja povezanu s oborinama. U slučaju ovog faktora, korištena su dva izvora podataka

Pri korištenju podataka iz CRU-a, potrebna je bila precipitacija (oborine) zabilježena u razdoblju od 2011. - 2020. godine. Unošenjem navedenih podataka u GIS, započinje izrada

karte R faktora. Prvo se pomoću Multidimension Toolsa, iz ArcToolbox-a, naredbom Make NetCDF Raster Layer (koji iz netCDF file-a napravi raster) dobiva Global precipitation data model od CRU-a (Slika 5-2.1.), a u svojstvima ovog tif-a (rastera) može se potvrditi kako sadrži 120 Bandova (10 godina po 12 mjeseci). Band ili na hrvatskom traka = valno područje u spektru reflektirane ili emitirane elektromagnetske energije na koje je osjetljiv daljinski senzor. Crvena, zelena i plava su spektralne trake/bandovi koje koristi digitalna kamera; crvena traka, npr. prikuplja svjetlost u rasponu od približno 625-740 nanometara. Kada senzor prikupi podatke iz spektralne trake, pohranjuje podatke u datoteku. Datoteka ili dio datoteke posvećen tom rasponu često se naziva i traka=band (Slika 5-2.2.).



Slika 5-2.1. Global precipitation data model od CRU-a (1-3 uvećavanje prikaza Banovine)



Slika 5-2.2. lijevo: Grafički prikaz funkcioniranja tri osnovna banda. desno: Prikaz bandova u TOC-u ArcMap-a

Nadalje, računa se mjesečna i godišnja precipitacija ( naredba *Cell Statistics*; popis ulaznih rastera za koje će se izračunati statistika za svaku ćeliju unutar prozora analize), potrebno je dobivene rastere prebaciti u HTRS96 koordinatni sustav, koji se koristi u Hrvatskoj, budući da je sve do tada u WGS 1984-u. Slijedi naredba *Raster To Point* za interpolaciju, a metoda interpolacije naziva se *Kriging* (hrv. krigiranje = tehnika interpolacije u kojoj se okolne izmjerene vrijednosti ponderiraju kako bi se izračunala predviđena vrijednost za neizmjereni položaj). Izrezuje se područje istraživanja naredbom *Extract By Mask*, prema shapefile-u (formatu za pohranu vektorskih podataka koji sadrži informacije o lokaciji, obliku i atributima geografskih entiteta) obuhvat\_MGIPU.shp koji je obris Banovine, te je potrebno izračunati R faktor za to konkretno područje. Sljedeći je *ModelBuilder*, korisničko sučelje koje se koristi za izgradnju i uređivanje geoprocenih modela u ArcGIS-u, njegov rezultat izgleda kao umna mapa. Prikazuje *bandove* koji brojevima od 109-120 označavaju 12 mjeseci u godini i spojeni su s naredbom *Project Raster* kojom se stvaraju izlazni raster podaci (Slika 5-2.3.). Drugi model ModelBuildera spaja bandove (12 mjeseci) s *Raster Calculator*-om (Slika 5-2.4.) (obavlja matematičke izračune s operatorima i funkcijama) u koji se ubacuje formula za R faktor:

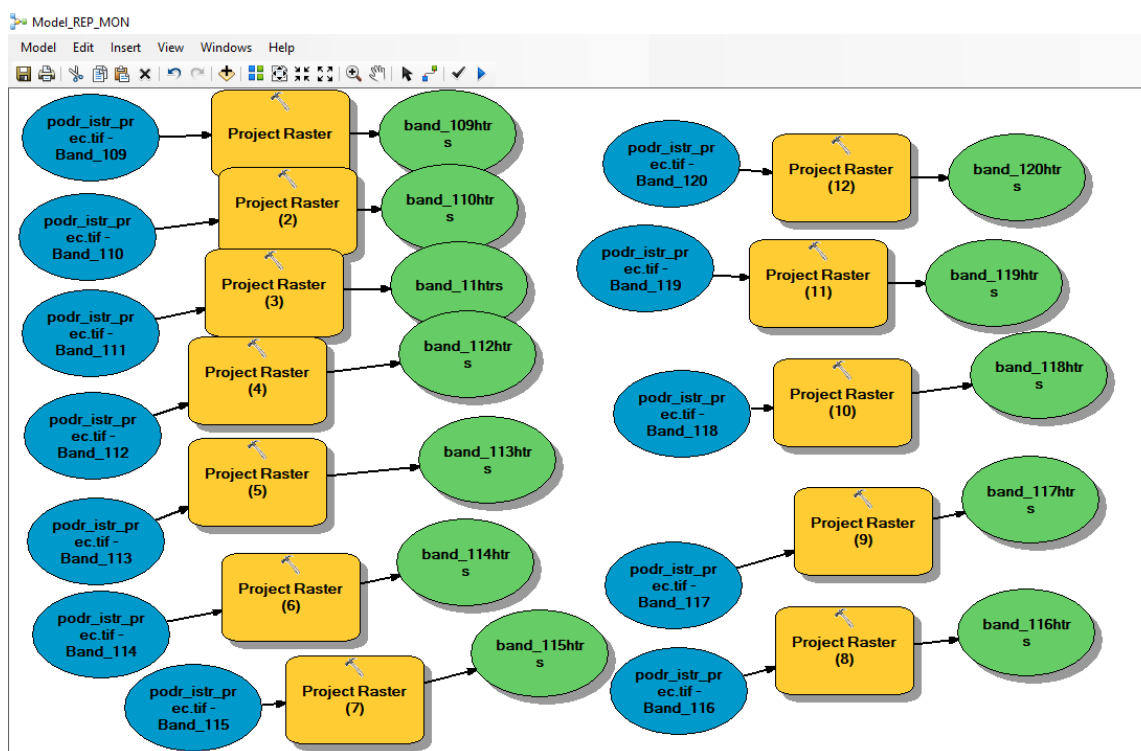
$$R = \sum_{i=1}^{12} 1.735 * 10 \left( 1.5 * \log_{10} \frac{P_i^2}{P} \right) - 0.08188 \quad (3-2)$$

(mjerna jedinica = MJ\*mm/ha\*h\*god)

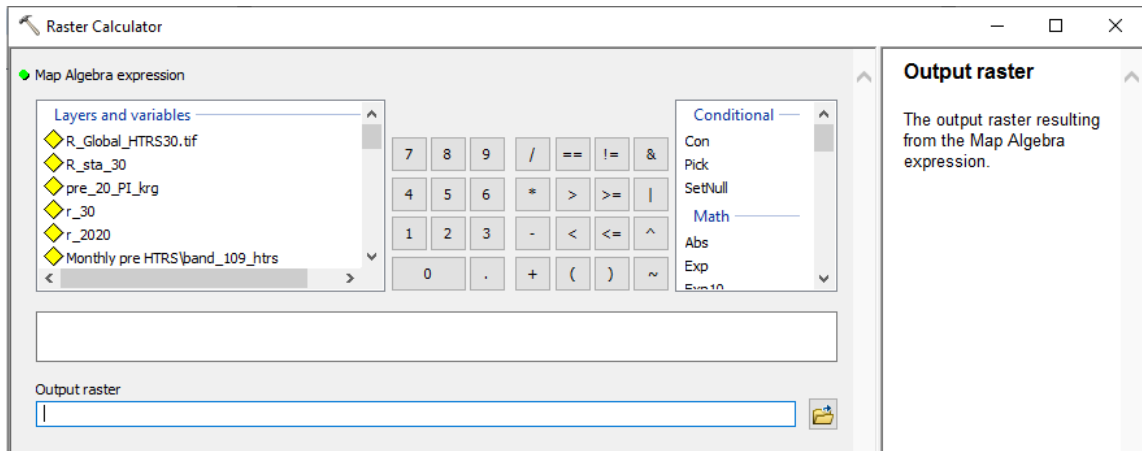
Gdje je:

P<sub>i</sub>=mjesečne oborine (mm); P=godišnje oborine (mm)

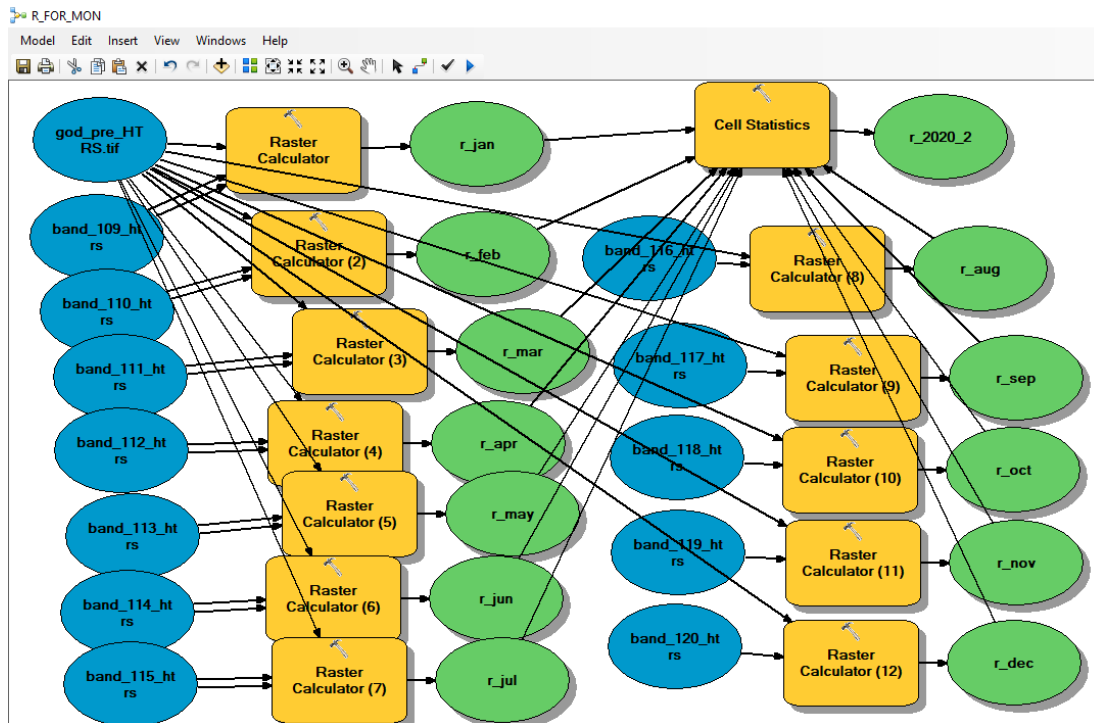
Ponovno se svaki mjesec spaja na naredbu *Cell Statistics*, te se dobije konačni model od kojeg nastaje raster koji je, nakon promjene veličine ćelije u 30 x 30 m, te izrezivanja i promjene simbologije (boje) ustvari prva finalna karta R faktora, prema kojoj vidimo da je raspon vrijednosti od 572.6 – 882.5 MJ\*mm/ha\*h\*god što označava visoku do vrlo visoku erozivnost oborina dobivenu podacima CRU-a za naše područje istraživanja. Za procjenu visine erozivnosti oborina koristi se raspon vrijednosti koji je predložen od strane Međunarodne unije za zaštitu prirode (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources = IUCN) i Svjetske meteorološke organizacije (World Meteorological Organization = WMO). Prema tom rasponu, vrijednosti iznad 500 MJ\*mm/ha\*h\*god smatraju se visokim.



Slika 5-2.3. Prikaz *ModelBuilder* modela za stvaranje izlaznog rastera

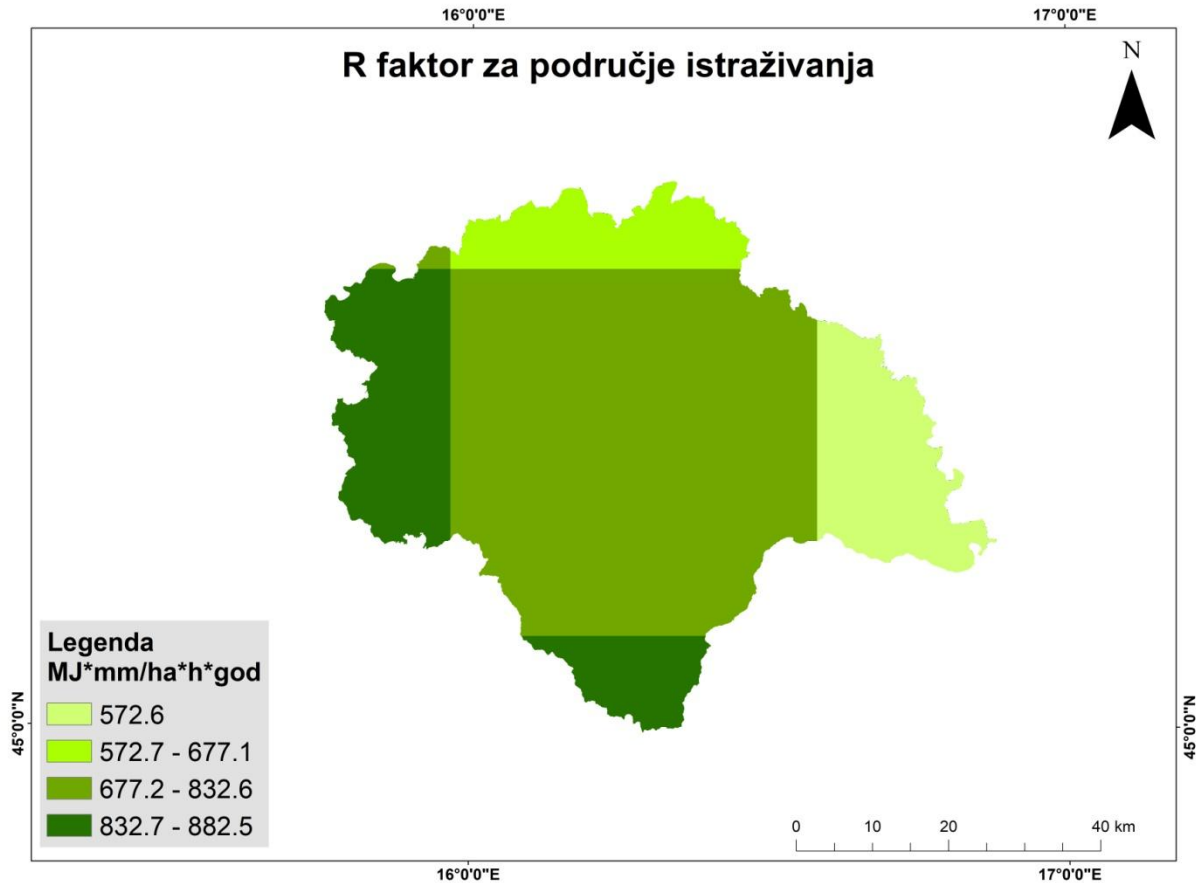


Slika 5-2.4. Prikaz *Raster Calculator*-a u *ArcMap*-u



Slika 5-2.5. Prikaz *ModelBuilder* modela za stvaranje izlaznog rastera





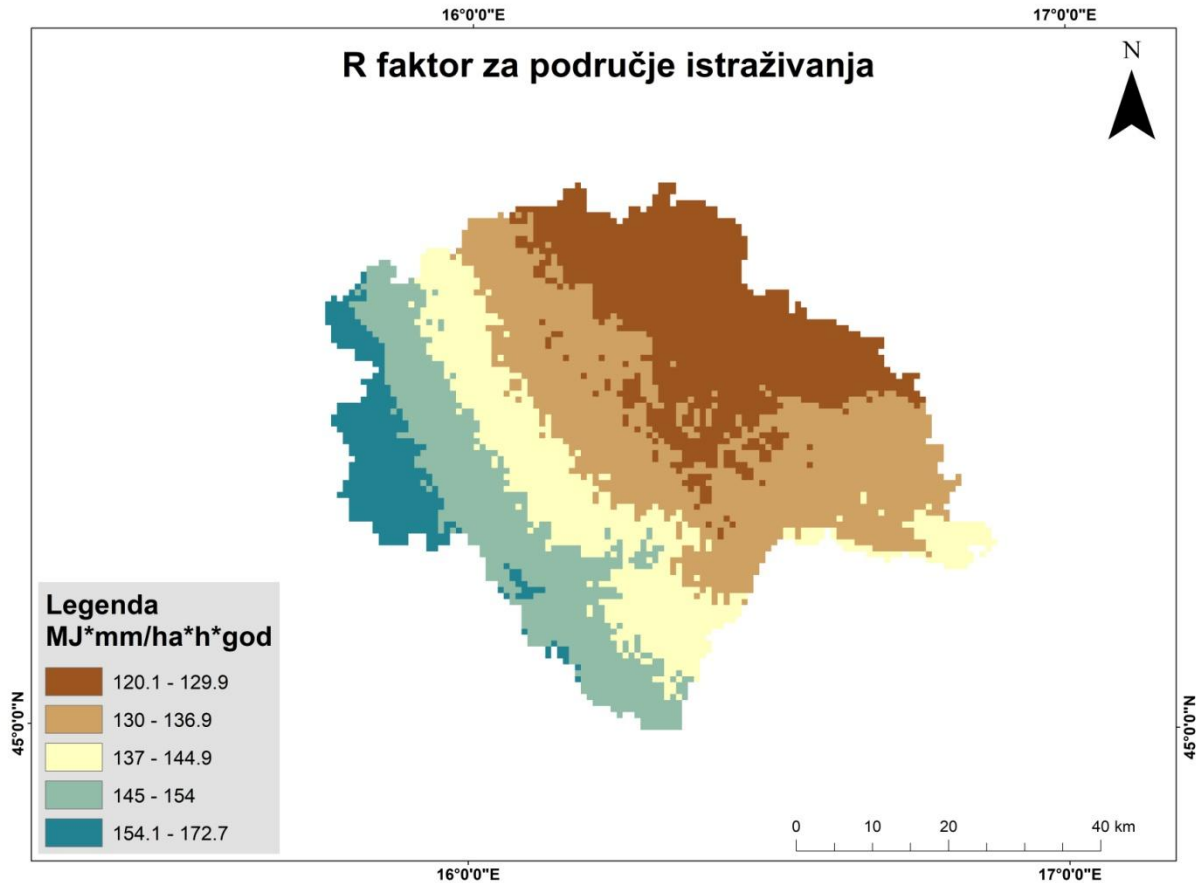
Slika 5-2.6. Karta prikaza R faktora za područje istraživanja (Banovinu) (dobivena korištenjem podataka od University of East Anglia - Climatic Research Unit-a)

GloREDA pak sadrži podatke o eroziji za 63 zemlje svijeta, a precizna je za zemlje Europske unije. Slanjem obrasca, odnosno zahtjeva za podatke dobije se rar. Komprimirana datoteka, s podacima i kartom Europe (Slika 5-2.7.). Naredbom *Extract By Mask* izrezuje se Banovina prema *shapefile*-u obuhvat\_MGIPU, prilagodi se veličina ćelije (30 x 30 m) te koordinatni sustav (HTRS96). Vrijednosti se znatno razlikuju od prve dobivene finalne karte za R faktor (Slika 5-2.6.), u rasponu su od 1334.7 – 1920.5 MJ\*mm/ha\*h\*god. Dobivene vrijednosti izračunate su za 1 hektar (10000 m<sup>2</sup>), a s obzirom da je veličina ćelije 30 x 30 m potrebno je 10000 podijeliti s 900 čime se dobije broj 11.11. Potrebno je u *Raster Calculator*-u podijeliti jednu od dvije karte, odnosno njene vrijednosti (npr. u ovom radu je to bila druga – GloREDA karta) s dobivenih 11.11 čime se, očekivano, dobiju više od 10 puta manje

vrijednosti koje su tako realniji prikaz vrijednosti ovog faktora za istraživano područje, one tada iznose 120.1 – 172.7 MJ\*mm/ha\*h\*god, što i dalje označava srednju do visoku erozivnost oborina (Slika 5-2.8.). Svejedno je koja je karta korištena u izračunu RUSLE jednadžbe, u ovom radu korištene su obje te će se tako razlikovati i dvije konačne RUSLE karte, jer je teško procijeniti ovaj faktor bez izravnih terenskih opažanja, pa je teško reći koja je karta točnija, obje su napravljene na temelju modela oborina, pa je formula dobivanja obje karte slična.



Slika 5-2.7. Prikaz karte Europe dostavljene s podacima GloREDA-e (*GlobalR\_NoPol.tif*)



Slika 5-2.8. Karta prikaza R faktora za područje istraživanja (Banovinu) (dobivena korištenjem podataka od GloREDA – Global Rainfall Erosivity Database-a)

### 5.3. K faktor

Erozivnost tla, odražava stopu gubitka tla ovisno o protoku erozije (R faktor), izračunava se na temelju teksture tla i predstavlja empirijsku mjeru erozije tla te ukazuje na osjetljivost tla na eroziju. U ovom radu K faktor računat je formulom prema Williamsu (1995), to je naprednija formula, svi parametri su javno dostupni na internetu pa nije problematična za uporabu, jedino je bitno točno uvrstiti sve u kompleksni poredak jednadžbe:

$$\mathbf{K}_{USLE} = \mathbf{K}_W = \mathbf{F}_{csand} * \mathbf{F}_{cl-si} * \mathbf{F}_{orgc} * \mathbf{F}_{hisand} \quad (3-3)$$

$$\mathbf{F}_{csand} = \left( 0.2 + 0.3 * \exp \left[ -0.256 * m_s * \left( 1 - \frac{m_{silt}}{100} \right) \right] \right) \quad (3-3.1)$$

$$\mathbf{F}_{cl-si} = \left( \frac{m_{silt}}{m_c + m_{silt}} \right)^{0.3} \quad (3-3.2)$$

$$\mathbf{F}_{orgc} = \left( 1 - \frac{0.25 \text{ orgC}}{\text{orgC} + \exp [3.72 - 2.95 * \text{orgC}]} \right) \quad (3-3.3)$$

$$\mathbf{F}_{hisand} = \left( 1 - \frac{0.7 * \left( 1 - \frac{m_s}{100} \right)}{\left( 1 - \frac{m_s}{100} \right) + \exp [-5.51 + 22.9 \left( 1 - \frac{m_s}{100} \right)]} \right) \quad (3-3.4)$$

\* $\mathbf{F}_{csand}$ = f faktor za pijesak iz jezgre,

$\mathbf{F}_{cl-si}$ = f faktor za sadržaj od gline i silta,

$\mathbf{F}_{orgc}$ = f faktor za organsku tvar,

$\mathbf{F}_{hisand}$ =f faktor za visoki udio pijeska.

Kako bi dobili K faktor moramo izračunati F faktore za svaki navedeni pokrov i pomnožiti ih. F faktor predstavlja faktor pokrova i upravljanja koji ocjenjuje utjecaj vegetacijskog pokrova i prakse upravljanja na smanjenje erozije tla. Visoke vrijednosti F faktora (blizu 1) ukazuju na manje zaštitno djelovanje vegetacijskog pokrova ili neodgovarajuće prakse upravljanja, dok niske vrijednosti F faktora (blizu 0) ukazuju na visoko zaštitno djelovanje vegetacijskog pokrova ili dobre prakse upravljanja.

Kao podloga/karta koristi se Food and Agricultural Organisation data, The FAO Digital Soil Map of the World (DSMW) (Slika 5-3.1.), sadrži 100 tipova pokrova, odnosno tala. Preuzeti DSMW folder uključuje *Excel* tablicu *Generalized\_SU\_Info.xls* koja sadrži dominantne tipove tla (Slika 5-3.2.).



Slika 5-3.1. FOOD and AGRICULTURAL ORGANISATION data karta (DSMW.shp)

Generalized\_SU\_Info\_izracunato.xls [Compatibility Mode] - Microsoft Excel

Soil unit symbol	sand % topsoil	sand % subsoil	silt % topsoil	silt % subsoil	clay % topsoil	clay % subsoil	pH water topsoil	pH water subsoil	OC % topsoil	OC % subsoil	N % topsoil	N % subsoil	BS % topsoil	BS % subsoil	CEC topsoil	CEC subsoil	CEC clay topsoil	CEC Clay subsoil
A	53.3	44.3	17.2	17.1	29.5	38.6	5.2	5.2	1.74	0.63	0.17	0.08	37	29	8.7	8	34	22
AF	61.7	52.5	14.4	12.9	23.9	34.6	5.4	5.3	0.91	0.34	0.12	0.06	43	34	7.8	6.9	34	22
AF 1	81.1	75.5	8.7	8.9	10.2	15.6	5.7	5.5	0.35	0.2	0.07	0.03	47	43	4.4	4.6	38	26
AF 2	61.7	44.5	14.3	10.8	24	44.7	5.1	5.2	1.05	0.37	0.11	0.03	37	28	9.6	7.2	31	17
AF 3	21.3	13.1	25.7	24.4	52.9	62.3	5	4.9	1.85	0.58	0.15	0.1	42	23	12.5	11.1	27	16
AG	40.9	36.8	27.2	29.7	32.1	33.4	5.1	4.9	2.26	0.34	0.11	0.03	22	16	11.2	9.8	53	32
AG 1	89.3	72.5	7.2	9.5	3.5	17.9	5.5	5.1	0.5	0.16	0.02	0.02	55	34	1.2	2.5	52	14
AG 2	9.6	15.8	75.2	64.7	15.3	19.6	4.4	4.2	3.07	0.25	0.14	0.03	8	15	12.5	11.8	87	60
AG 3	35.2	32	17.9	24.8	47.2	43.2	5.2	5.1	1.99	0.38	0.18	0.02	16	11	14.1	11.6	36	28
AH	31.3	27.1	24.8	25.1	43.8	47.8	5	5.4	3.34	1.49	0.29	0.14	20	16	18	17.9	22	24
AH 1	72.8	71.9	14.6	10.6	12.6	17.4	5	5	1.58	0.9	0.28	0.12	6	5	28.4	28	30	30
AH 2	52.4	45.4	27.9	33	19.6	21.5	5.1	5.7	4.46	1.95	0.36	0.17	4	6	7.3	1.9	32	7
AH 3	9.2	7.4	26.1	22.2	64.8	70.4	5	5.3	2.88	1.25	0.25	0.13	27	21	18.1	19.4	22	24
AO	53.6	43.4	15.8	16	30.6	40.6	5.1	5.2	2.25	0.75	0.18	0.07	39	32	7.6	7.5	35	23
AO 1	82.3	68.1	8.6	11.4	9.2	20.5	5	5.1	0.3	0.21	0.06	0.02	41	41	4.1	5.4	47	30
AO 2	51	41.3	21.6	17.2	27.4	41.5	5.3	5	1.73	0.73	0.13	0.08	53	34	7.7	7.8	47	21
AO 3	33	28.9	14.2	15.5	52.9	55.6	5.2	5.4	1.84	0.89	0.12	0.07	31	28	8.6	6.8	15	12

Slika 5-3.2. Generalized\_SU\_Info tablica koja sadrži podatke o dominantnim tipovima tala

Naredbom *Clip* izreže se obuhvat s DSMW karte (Slika 5-3.3.) kako bi se izdvojili dominantni tipovi tla istog područja koji su vidljivi u atributnoj tablici *shapefile*-a (Slika 5-3.4.). Potrebno je još također izrezano područje prebaciti u HTRS96 koordinatni sustav.



Slika 5-3.3. Rezultat *Clip* naredbe DSMW karte (DSMW\_Clip.shp)

FID	Shape *	SNUM	FAOSOIL	DOMSOI	PHASE1	PHASE2	MISCLU1	MISCLU2	PERMAFROST	CNTCODE	CNTNAME	SQKM	COUNTRY
0	Polygon	6491	Dg6-2ab	Dg			0	0	0	318	YC	3319	CROATIA
1	Polygon	3141	Jc57-1/2a	Jc			0	0	0	318	YC	1406	CROATIA
2	Polygon	6491	Dg6-2ab	Dg			0	0	0	318	YC	2247	CROATIA
3	Polygon	3007	Bd66-1/2bc	Bd			0	0	0	318	YC	1662	CROATIA
4	Polygon	3141	Jc57-1/2a	Jc			0	0	0	320	YB	936	BOSNIA-HERZEGOVINA
5	Polygon	6491	Dg6-2ab	Dg			0	0	0	320	YB	109	BOSNIA-HERZEGOVINA
6	Polygon	3007	Bd66-1/2bc	Bd			0	0	0	320	YB	258	BOSNIA-HERZEGOVINA
7	Polygon	3196	Lg43-2ab	Lg			0	0	0	320	YB	5315	BOSNIA-HERZEGOVINA
8	Polygon	3007	Bd66-1/2bc	Bd			0	0	0	320	YB	4552	BOSNIA-HERZEGOVINA
9	Polygon	6400	Bc27-2/3bc	Bc			0	0	0	318	YC	32	CROATIA
10	Polygon	6400	Bc27-2/3bc	Bc			0	0	0	320	YB	5876	BOSNIA-HERZEGOVINA

Slika 5-3.4. Atributna tablica DSMW karte za područje Banovine

Tada parove slova koja se nalaze pod nazivom “DOMSOI” (dominantna tla) treba izdvojiti iz *Excel* tablice, odnosno izdvojiti odgovarajuće tipove tla i urediti novu tablicu koja će poslužiti za računanje ranije spomenutih F faktora i samog K faktora (Tablica 5-3.). Atributnoj tablici (Slika 5-3.4.) pridoda se novi stupac naziva *K\_factor* pridružujući pritom svakom paru slova (tipu tla) njegovu odgovarajuću vrijednost K faktora (Slika 5-3.5.).

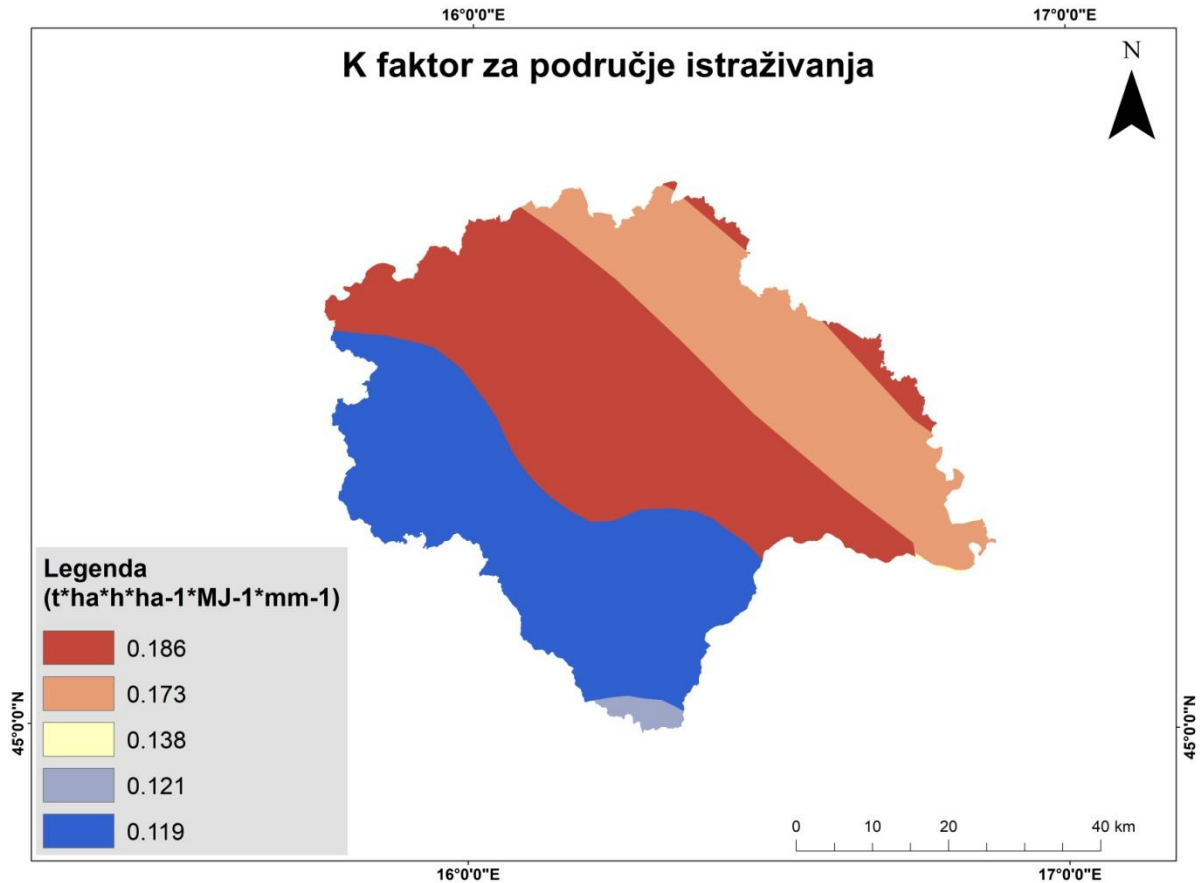
Tablica 5-3. Generalized\_SU\_Info tablica s izračunatim F faktorima i konačnim K faktorom

	<b>pijesak %</b>	<b>silt %</b>	<b>glina %</b>	<b>OT %</b>	<b>Fcsand</b>	<b>Fcl-silt</b>	<b>Forg</b>	<b>Fhisand</b>	<b>K faktor</b>
<b>BC</b>	40.1	21.5	38.4	1.44	0.200095	0.735366	0.822641	0.999886	0.121032
<b>BD</b>	32.7	30.3	37.1	3.28	0.200877	0.786747	0.750197	0.999976	0.118558
<b>DG</b>	46.4	45.2	8.4	0.65	0.200447	0.95015	0.9758	0.999567	0.185765
<b>JC</b>	39.6	39.9	20.6	0.65	0.200678	0.882603	0.9758	0.999897	0.172815
<b>LG</b>	59.9	13.4	26.7	0.73	0.200001	0.719761	0.966938	0.992941	0.138211

FID	Shape	SNUM	FAOSOIL	DOMSOI	PHASE1	PHASE2	MISCLU1	MISCLU2	PERMAFROST	CNTCODE	CNTNAME	SQKM	COUNTRY	K factor
0	Polygon	6491	Dg6-2ab	Dg			0	0	0	318	YC	3319	CROATIA	0.185765
1	Polygon	3141	Jc57-1/2a	Jc			0	0	0	318	YC	1406	CROATIA	0.172815
2	Polygon	6491	Dg6-2ab	Dg			0	0	0	318	YC	2247	CROATIA	0.185765
3	Polygon	3007	Bd66-1/2bc	Bd			0	0	0	318	YC	1662	CROATIA	0.118558
4	Polygon	3141	Jc57-1/2a	Jc			0	0	0	320	YB	936	BOSNIA-HERZEGOVINA	0.172815
5	Polygon	6491	Dg6-2ab	Dg			0	0	0	320	YB	109	BOSNIA-HERZEGOVINA	0.185765
6	Polygon	3007	Bd66-1/2bc	Bd			0	0	0	320	YB	258	BOSNIA-HERZEGOVINA	0.118558
7	Polygon	3196	Lg43-2ab	Lg			0	0	0	320	YB	5315	BOSNIA-HERZEGOVINA	0.138211
8	Polygon	3007	Bd66-1/2bc	Bd			0	0	0	320	YB	4552	BOSNIA-HERZEGOVINA	0.118558
9	Polygon	6400	Bc27-2/3bc	Bc			0	0	0	318	YC	32	CROATIA	0.121032
10	Polygon	6400	Bc27-2/3bc	Bc			0	0	0	320	YB	5876	BOSNIA-HERZEGOVINA	0.121032

Slika 5-3.5. Atributna tablica DSMW karte za područje Banovine s izračunatim vrijednostima K faktora

Zadnji korak dobivanja finalne karte jest shapefile DSMW\_Clip konvertirati u tif odnosno raster format naredbom *Polygon To Raster*, prilagoditi veličinu ćelije na 30 x 30 m kao u prethodnom R faktoru te urediti simbologiju. Karta K faktora (Slika 5-3.6.) prikazuje da vrijednosti ovog faktora variraju od 0.119 – 0.186 t\*ha\*h/ha\*MJ\*mm što označava nisku do srednju erozivnost tla u kojem se izmjenjuju pijesak, glina, silt te organska tvar kao dominantni tipovi. Pjeskovito tlo sinonim je niske erozivnosti s uobičajenim rasponom 0.02 – 0.2 zbog veće propusnosti vode i rastresite strukture dok je glina relativna, odnosno kompaktnom strukturom i sposobnošću zadržavanja vode ima tendenciju biti manje erozivna, ali samo ukoliko je tlo boljih strukturnih svojstava, a vrijednosti variraju od 0.05 – 0.3, silt se nalazi negdje na sredini gline i pijeska s prosječnom vrijednosti 0.1 – 0.3 te jedina stavka koja pridodaje povišenju vrijednosti jest ustvari organska tvar koja je obično relativno visoke erozivnosti zbog sklonosti ovog tipa eroziji pri određenim uvjetima, a vrijednost K faktora za organsku tvar penje se sve do 0.6 t\*ha\*h/ha\*MJ\*mm.



Slika 5-3.6. Karta prikaza K faktora za područje istraživanja (Banovinu)

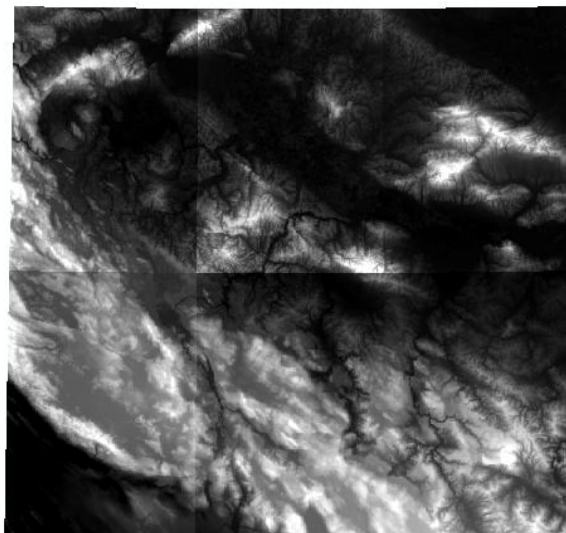
#### 5.4. LS faktor

Duljina i strmina padine ili nagiba; kombinacija faktora nagiba padine (S) i faktora duljine nagiba (L) koji se određuju iz DEM-a (Digital Elevation Model, hrv. Digitalni model visine terena). Ovaj faktor je bitan parametar u modeliranju erozije tla i računanju kapaciteta transporta površinskog otjecanja. Jadnadžba ovog faktora uključuje akumulaciju protoka, veličinu ćelija te sinus nagiba, a glasi:

$$LS = \left( Akumulacija\ protoka * \frac{veličina\ ćelije}{22.13} \right)^{0.4} \left( \frac{\sin(nagiba)}{0.0896} \right)^{1.3} \quad (3-4)$$

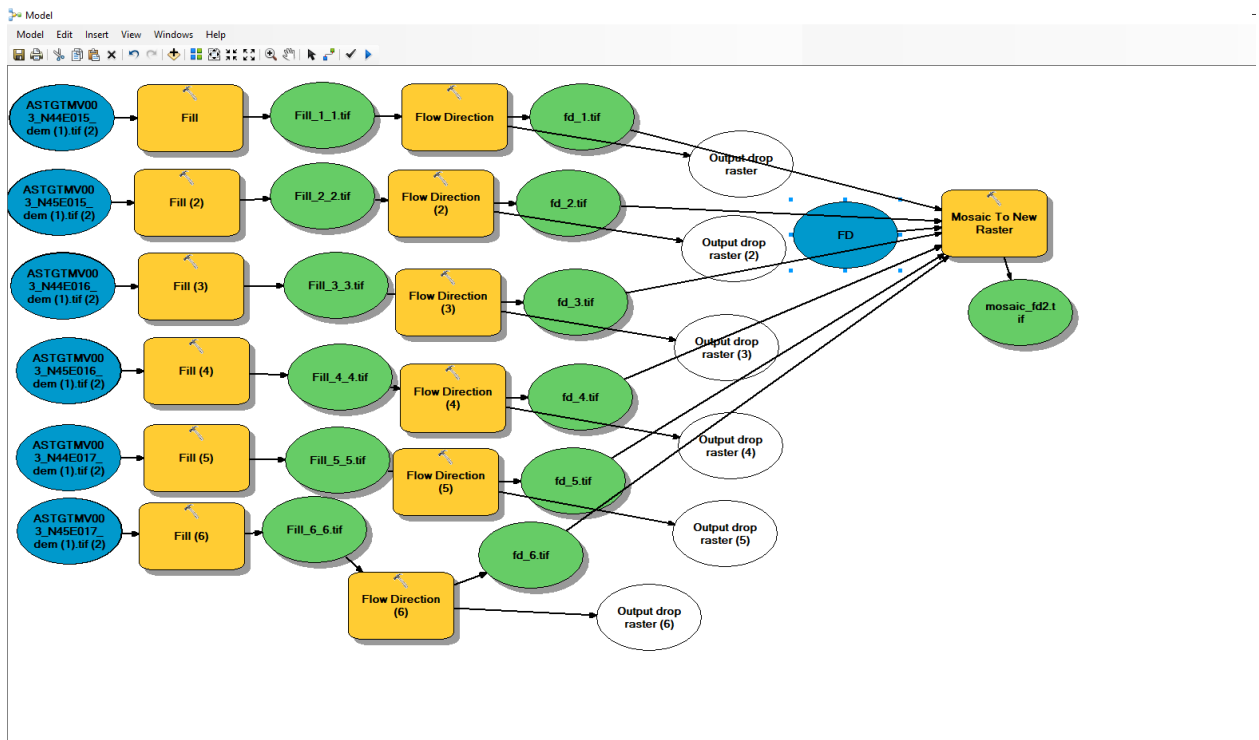


Karta Europe, pod nazivom LS-factor for the EU, preuzeta je s European Soil Data Centra (ESDAC), a zatim i šest satelitskih snimaka (ASTER Images) s EARTHDATA-e mrežne stranice, koje pokrivaju područje Banovine i okolice (Slika 5-4.1.).

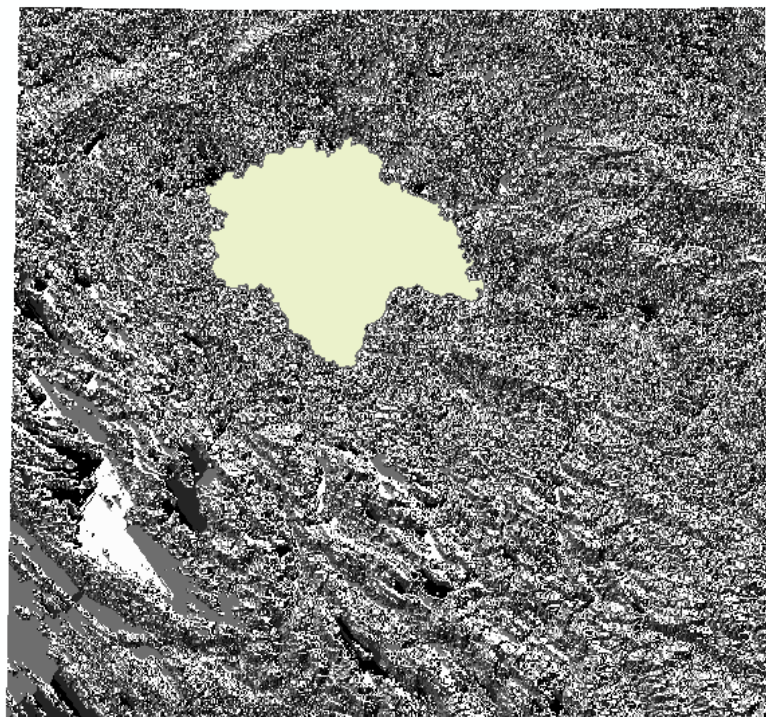


Slika 5-4.1. ASTER Global Digital Elevation Model (snimci Banovine i okolice)

Kako bi se svi snimci spojili u jedan mozaik koristi se naredba *Fill* koja ispunjava udubljenja u površinskom rasteru radi uklanjanja malih nesavršenosti u podacima, naredba se zajedno s ASTER snimcima ubacuje u *Model Builder*. Svaki se snimak povezuje na naredbu *Fill* te na nju *Flow Direction*, ta naredba stvara raster smjera protoka od svake ćelije do susjeda s najstrmijom nizbrdicom. *Flow Direction* nemoguće je dobiti, odnosno izračunati bez *Fill*-a. Zadnji korak dobivanja modela jest *Mosaic To New Raster*, ova pak naredba stvara mozaik više rasterskih skupova podataka u novi rasterski skup podataka (Slika 5-4.2.). Rezultat *Model Builder*-a je raster *mozaik.tif* (Slika 5-4.3.)

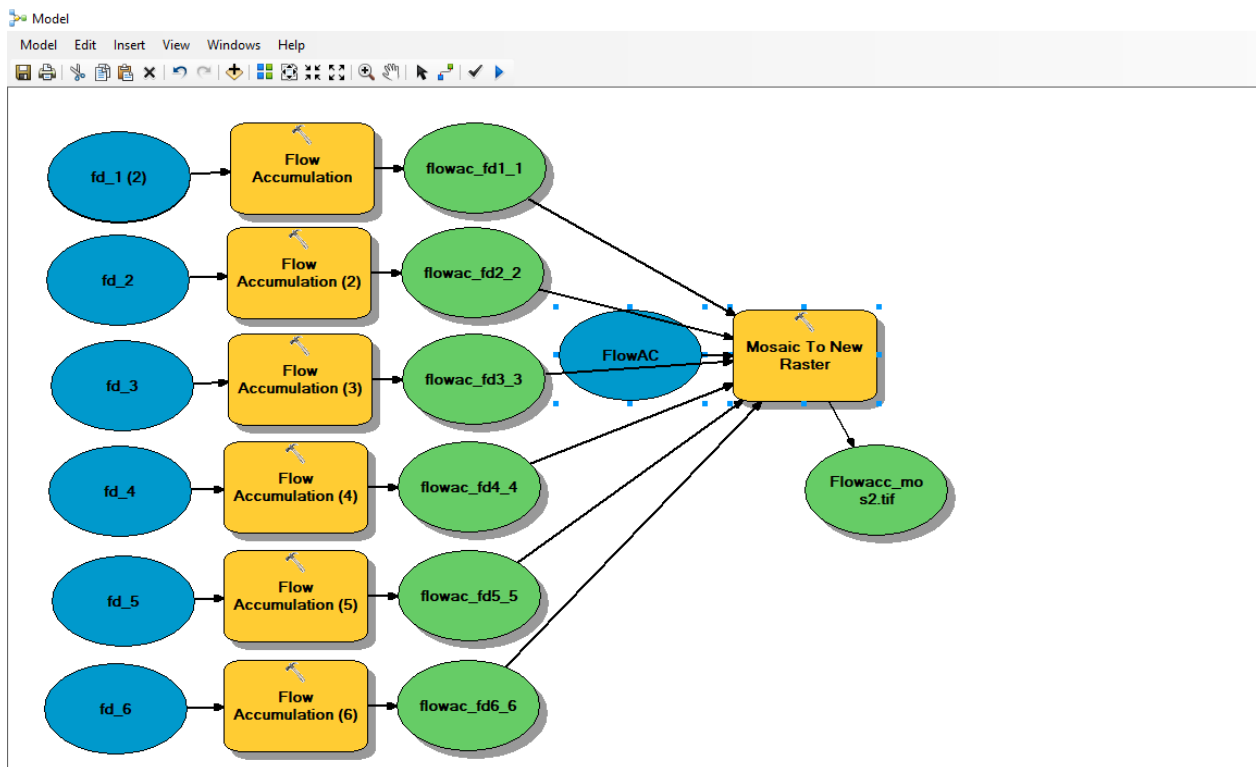


Slika 5-4.2. Prikaz *Model Builder* modela za stvaranje izlaznog rastera



Slika 5-4.3. Smještaj istraživanog područja (Banovine) na mozaiku satelitskih snimaka

Nadalje se stvara novi model *Model Builder*, ubacuje se svaki dobiveni tif *Flow Direction*-a koji se spaja na novu naredbu *Flow Accumulation*, koja stvara raster akumuliranog protoka u svakoj ćeliji, a to se dalja spaja ponovno na *Mosaic To New Raster* naredbu (Slika 5-4.4.), rezultat je prikazan na Slici 5-4.5, potrebno je naravno i prilagoditi veličinu ćelije na 30 x 30 m te koordinatni sustav u HTRS96.

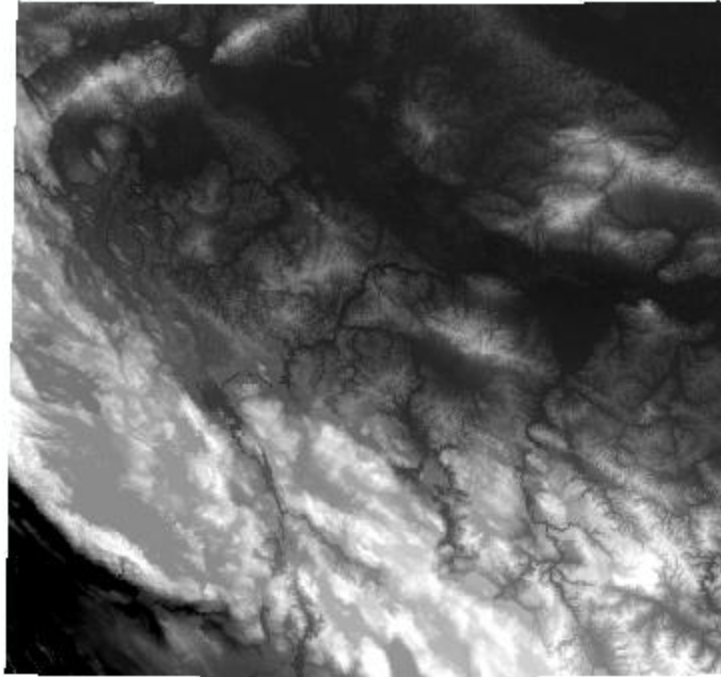


Slika 5-4.4. Prikaz *Model Builder* modela za stvaranje izlaznog rastera



Slika 5-4.5. Smještaj Banovine na mozaiku *Flow Accumulation*-a

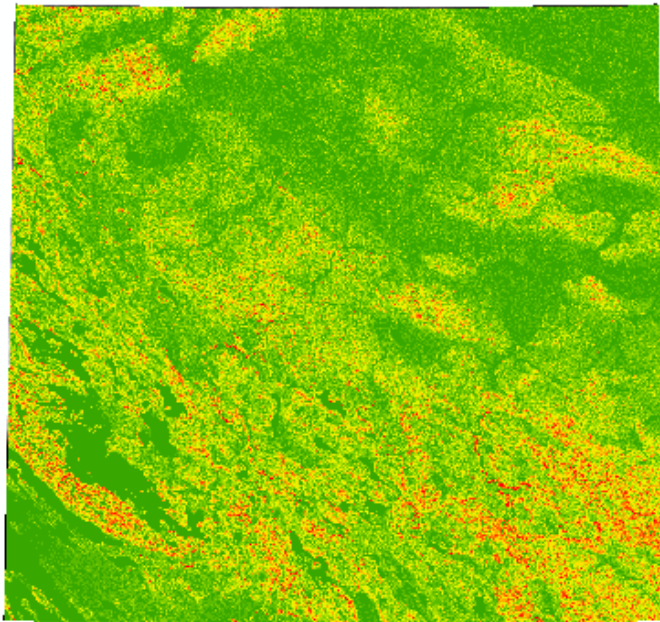
Nadalje je potrebno izračunati nagib područja istraživanja, za to su ponovno potrebni satelitski snimci, oni na kojima je već izvršena naredba *Fill*, na njima se izvede već spomenuta naredba *Mosaic To New Raster* i dobiva se *mosaic\_fill.tif* raster (Slika 5-4.6.).



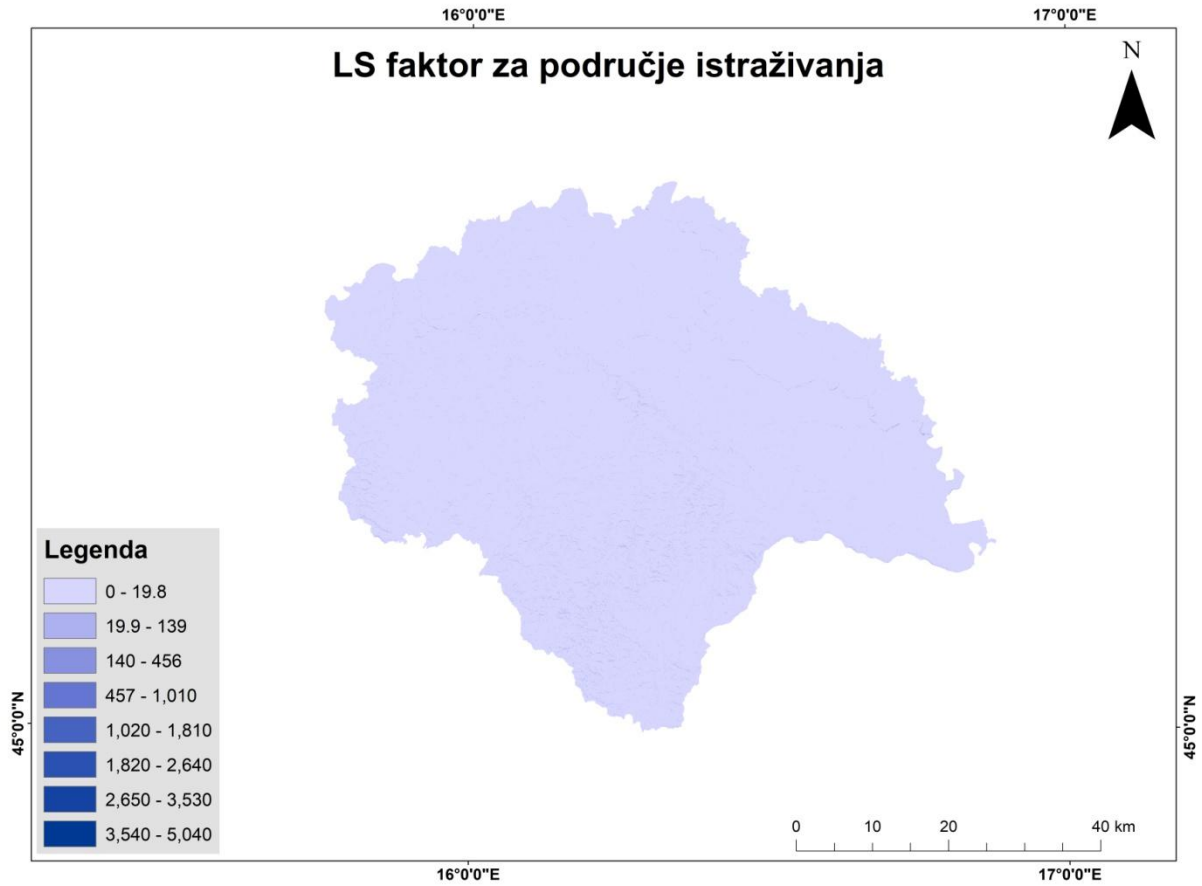
Slika 5-4.6. Prikaz *mozaic\_fill.tif* raster

Za izračun nagiba koristi se naredba *Slope*, identificira nagib (gradijent ili stopu maksimalne promjene z-vrijednosti) iz svake ćelije rasterske površine, prvo se nagib računa u stupnjevima, a zatim u radijanima, rezultat je raster *slope\_mos\_deg.tif* na slici 5-4.7. Rezultat koji je dobiven u stupnjevima, prebacuje se u radijane u svrhu izračuna sinusa nagiba, za potrebe jednadžbe ( $1^\circ=0.0174533$  rad). Uz dobiveni sinus nagiba te ranije *Flow Accumulation*, potrebna je još veličina ćelije, koja se automatski mijenja prebacivanjem u odgovarajući koordinatni sustav HTRS96. Koristi se *Raster Calculator* i gore navedena jednadžba. Zadnji je korak, kao u svakom prethodnom faktoru, naredba *Extract By Mask* kako bi prema obuhvatu Banovine izrezali dobiveni rezultat. Finalna karta (Slika 5-4.8.) prikazuje pretežitu vrijednost ovog faktora koja varira od 0 – 19.8 (bez mjerne jedinice), premda je ukupan raspon 0 – 5040, zato što nekada ovaj faktor može imati iznimno visoke vrijednosti, ukoliko se područje istraživanja nalazi na velikom nagibu, ako su u okolici planine ili gore, u slučaju Banovine situacija nije takva, no iznimke u varijacijama vrijednosti nisu isključene u potpunosti kao što

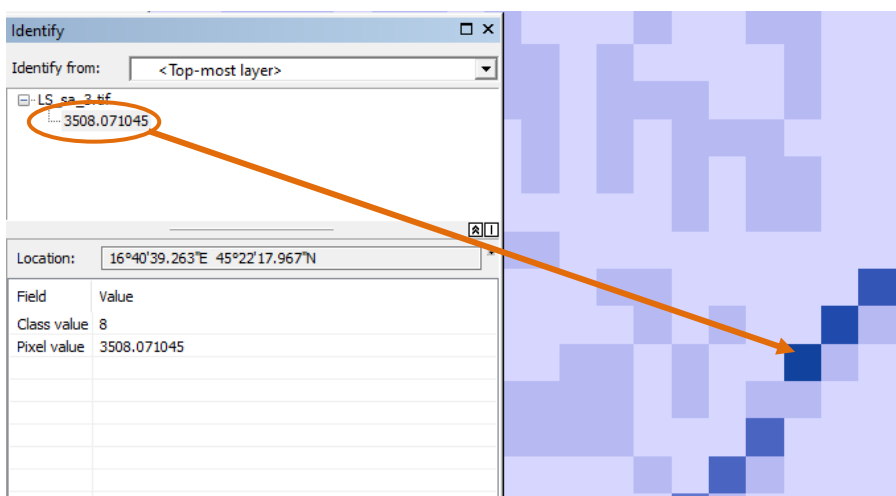
se može vidjeti na primjeru na slici 5-4.9. gdje objašnjenje najvjerojatnije leži u rijeci koja prolazi tim konkretnim područjem. Stručnjaci generalno ne preporučaju korištenje istog faktora ukoliko mu vrijednost prelazi 300-400, pa to u ovom slučaju može značiti da LS faktor nije mjerodavan. Prosječna vrijednost LS faktora za cijelu Europsku uniju iznosi 1.63, s rasponom od 0 do 99. Vrijednosti LS faktora veće od 25 pronađene su u samo 0,1% cijele Europske unije, uglavnom u Austriji, Grčkoj, Italiji i Sloveniji.



Slika 5-4.7. Prikaz izračuna nagiba područja istraživanja rasterom



Slika 5-4.8. Karta prikaza LS faktora za područje istraživanja (Banovinu)



Slika 5-4.9. Uvećani prikaz finalne karte LS faktora te pridružena vrijednost (strelica) koja dokazuje da postoje iznimke iako Banovina nije područje jako velikog nagiba

## 5.5. C faktor

Predstavlja učinak uzgoja usjeva i postupaka upravljanja na stopu erozije. Usko je vezan uz tipove korištenja zemljišta te je on ustvari faktor smanjenja ranjivosti, tj. osjetljivosti tla na eroziju. Vrijednost C faktora uglavnom ovisi o tipu vegetacije, fazi rasta iste i postotku pokrivenosti područja.

Korelacija NDVI-a i RUSLE-a, odnosno njihova linearna veza uzrok je tri empirijske jednadžbe (Vatandaşlar, 2017 (5-5.1); Durgion, 2014 (5-5.2); Knjiff, 2000 (5-5.3)) za dobivanje ovog faktora, od kojih su sve tri korištene i uspoređene u ovom radu:

$$1- C = 0.431-0.805*NDVI \quad (3-5.1)$$

$$2- C = (-NDVI+1)/2 \quad (3-5.2)$$

$$3- C = e^{(-2.5*NDVI/(1-NDVI))} \quad (3-5.3)$$

Karta Europe za ovaj faktor, preuzeta je s European Soil Data Centre-a (ESDAC), a satelitski snimci, odnosno *Landsat* snimci, preuzeti su s USGS EarthExplorer-a. Preuzimanju snimaka prethodilo je nekoliko koraka – naredbom *Simplify Polygon* (pojednostavljuje poligone uklanjanjem suvišnih zavoja uz očuvanje osnovnog oblika) potrebno je napraviti novi shapefile Banovine koji se zatim importira na EarthExplorer, kako bi se Banovina smjestila u prostor (karta svijeta), zatim se filtriraju datumi (odabrano razdoblje bila je 2021. godina, konkretno svibanj, lipanj te srpanj zbog najmanjeg postotka pokrivenosti oblacima), a odabrani snimci bili su:

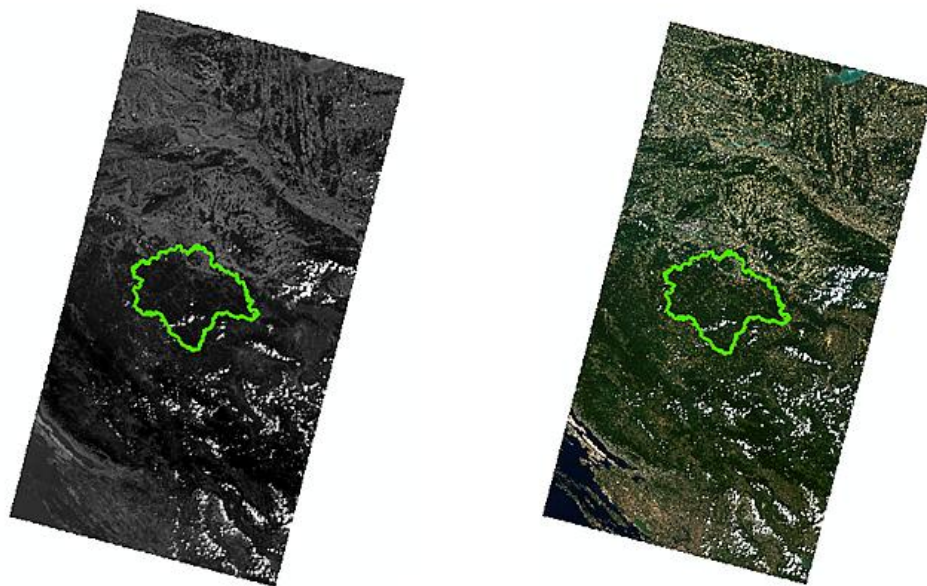
-LC08\_L1TP\_189028\_20210617\_20210622\_02\_T1,

-LC08\_L1TP\_189029\_20210617\_20210622\_02\_T1.

Snimci, odnosno slike, su iz druge polovice lipnja, ukupno su sadržavale 40 file-ova, a prilikom ubacivanja u GIS bilo je potrebno po 10 snimaka za svaku konačnu sliku, isti snimci su grupirani i od njih su nastala dva sloja – 189\_028 te 189\_029, uslijedila je naredba *Composite Bands* (stvara jedan rasterski skup podataka iz višestrukih traka) koja stapa sve snimke u jedinstveni stack = hrv. hrpu, piramidu (sliku). Nakon *Composite Bands*-a *stack* se sastoji od nekoliko bandova, svaki je predstavljen brojem i bojom: Red Band = 4, Green Band



= 3, Blue Band = 2; a pridruživanjem odgovarajućeg broja boji, snimak izgleda realnije (more je plavo, zemlja smeđa, vegetacija zelena) (Slika 5-5.1).

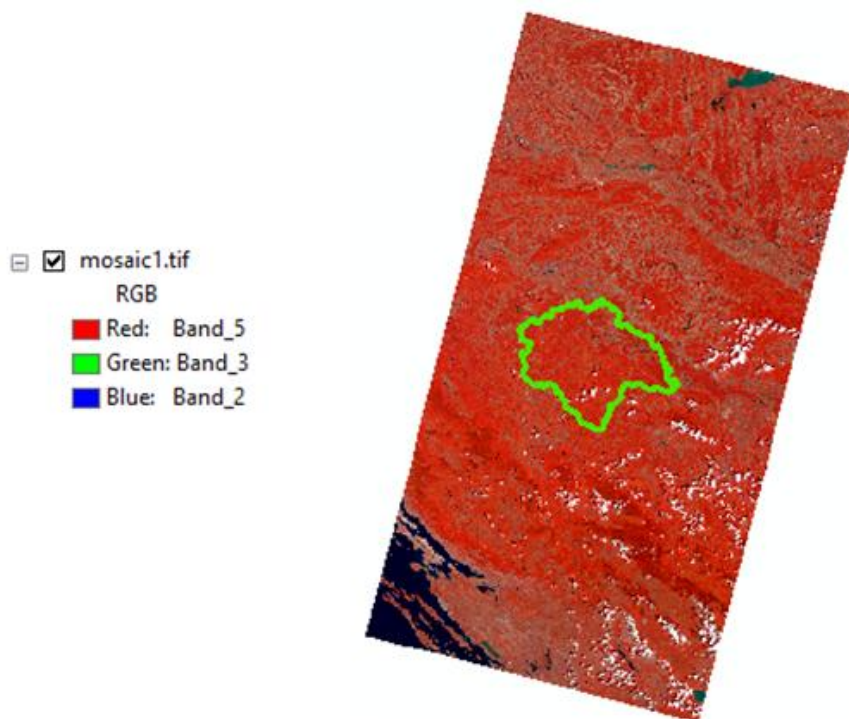


Slika 5-5.1. lijevo: landsat snimci prije *Composite bands*-a, desno: *landsat* snimci nakon uređivanja RGB bandova; poligon obrubljen zelenom predstavlja Banovinu

Naredba *Mosaic To New Raster* zatim spaja ova dva snimka u jednu glatku cjelinu, no kako je prema kompoziciji boje stanje s bandovima sljedeće:

- B1 – Coastal aerosol (Obalna aerosol)
- B2 – Blue (Plava)
- B3 – Green (Zelena)
- B4 – Red (Crvena)
- B5 – Near Infrared (Blisko Infracrveno)

Prema ovome vidljivo je da je Band 5 Blisko Infracrveno, stoga zamjenjuje uobičajeni Band 4, odnosno Red, a rezultat toga prikazuje slika 5-5.2.

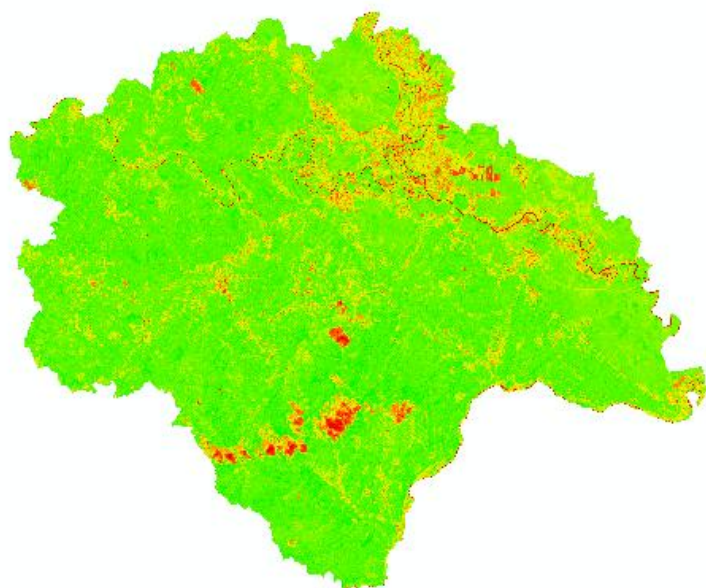


Slika 5-5.2. lijevo: Prikaz bandova u TOC-u ArcMap-a, desno: Landsat snimci nakon ubacivanja Blisko Infracrveno umjesto Crveno (zeleni rub predstavlja Banovinu)

Time dolazimo do NDVI-a, ovaj se indeks koristi za razumijevanje gustoće vegetacije te procjene zdravlja biljaka, a računa se kao omjer između crvenih i infracrvenih vrijednosti formulom:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (3-5.4)$$

Output, odnosno rezultat opcije *Image Analysis* → NDVI tool-a je sljedeći raster (visoke vrijednosti zelena boja – većinom vegetacija, niske vrijednosti crvena – najvećim dijelom urbano područje): *ndvi\_sa.tif* (prethodno izrezan iz šireg snimka naredbom *Extract By Mask*) prikazan na slici 5-5.3.

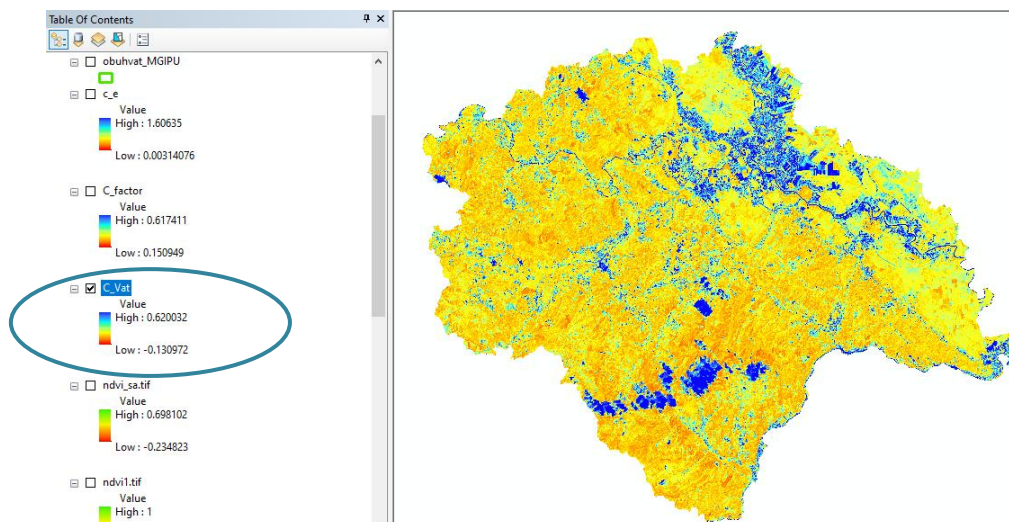


Slika 5-5.3. Prikaz NDVI-a na području istraživanja, Banovine

Račun za C faktor napravljen je na tri načina, u ranije spomenutom *Raster Calculator*-u, pomoću tri uspoređene jednačbe, prva je bila prema Vatandaşlaru iz 2017.:

$$C = 0.431 - 0.805 * NDVI$$

Rezultat (Slika 5-5.4.) je dao varijaciju vrijednosti faktora od -0.130972 do 0.620032 (nema mjernu jedinicu), što nije najtočnije riješenje budući da bi ovaj faktor trebalo varirati između vrijednosti 0 i 1, pri čemu 0 ukazuje da vegetacijski pokrov ne pruža nikakvu zaštitu od erozije tla, a s druge strane 1 ukazuje na visoku zaštitnu sposobnost pokrova koji je gust, razvijen, zdrav i učinkovit. Sama dobivena karta s vrijednostima pokazuje točno visoku stopu C faktora (plavo) na području vode i grada te nižu stopu (žuto-narančasto) na mjestu poljoprivrednog zemljišta, no kako vrijednosti idu ispod nule ovo ne može biti točno.

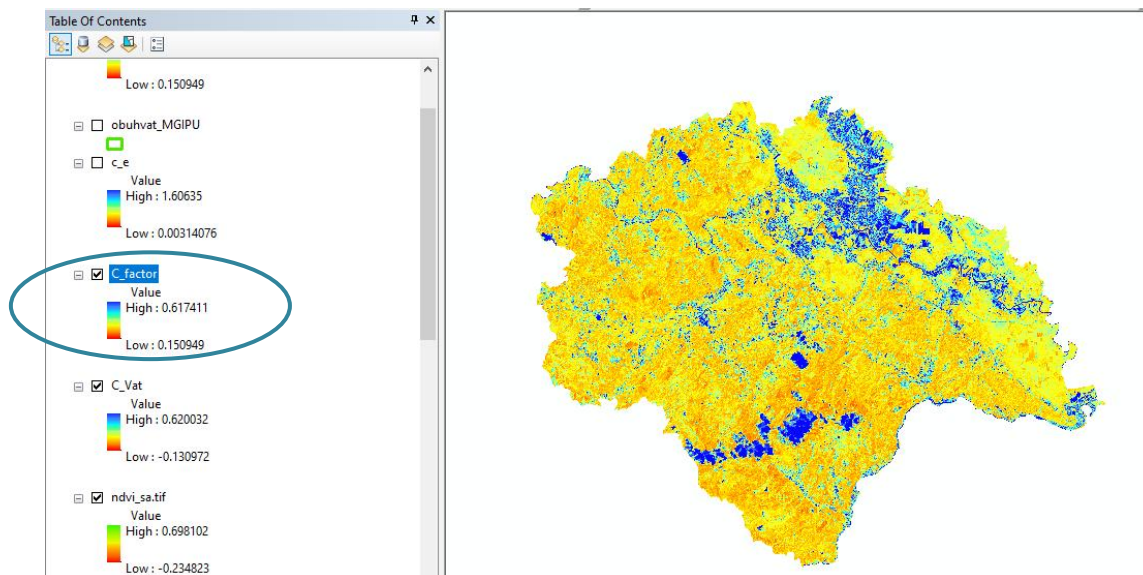


Slika 5-5.4. C faktor na području Banovine dobiven formulom prema Vatandaşlar et al. (2017) (plava elipsa obilježava dobiveni raspon vrijednosti za ovaj slučaj)

Druga po redu korištena formula bila je ona prema Durgionu iz 2014. godine:

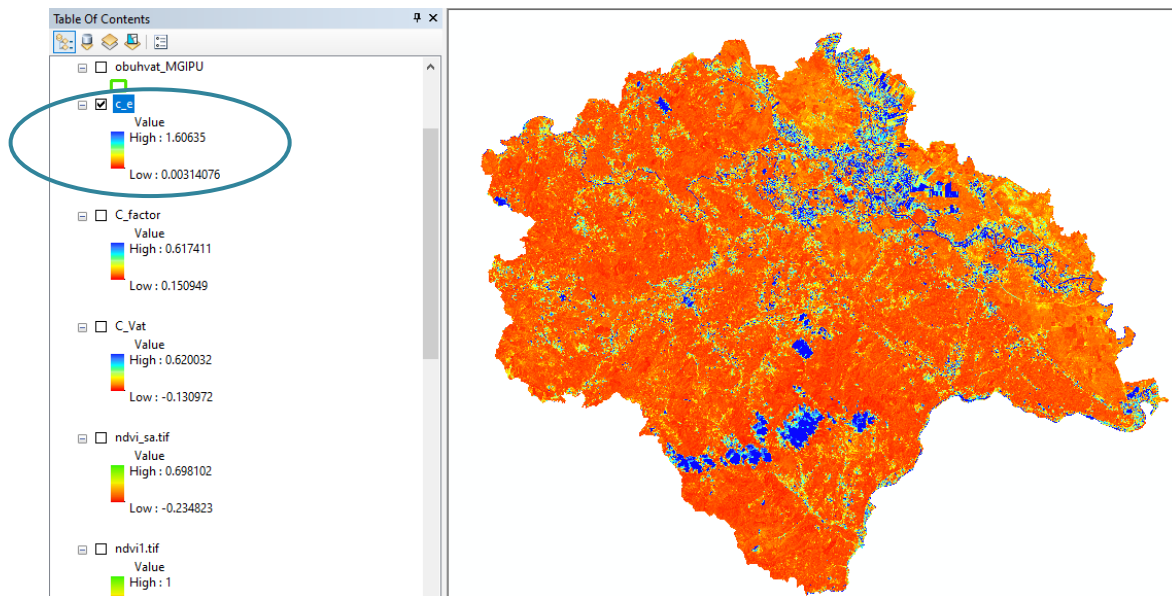
$$C = (-NDVI+1)/2$$

Dobivene vrijednosti variraju od 0.150949 – 0.617411, što znači da u očekivanom rasponu 0 do 1, što odgovara ovom faktoru. I premda se ne vidi prostim okom razlika od prethodnog rezultata, ovaj je točniji i od prethodnog rezultata/karte, a i najtočnija opcija od tri moguće (Slika 5-5.5.).

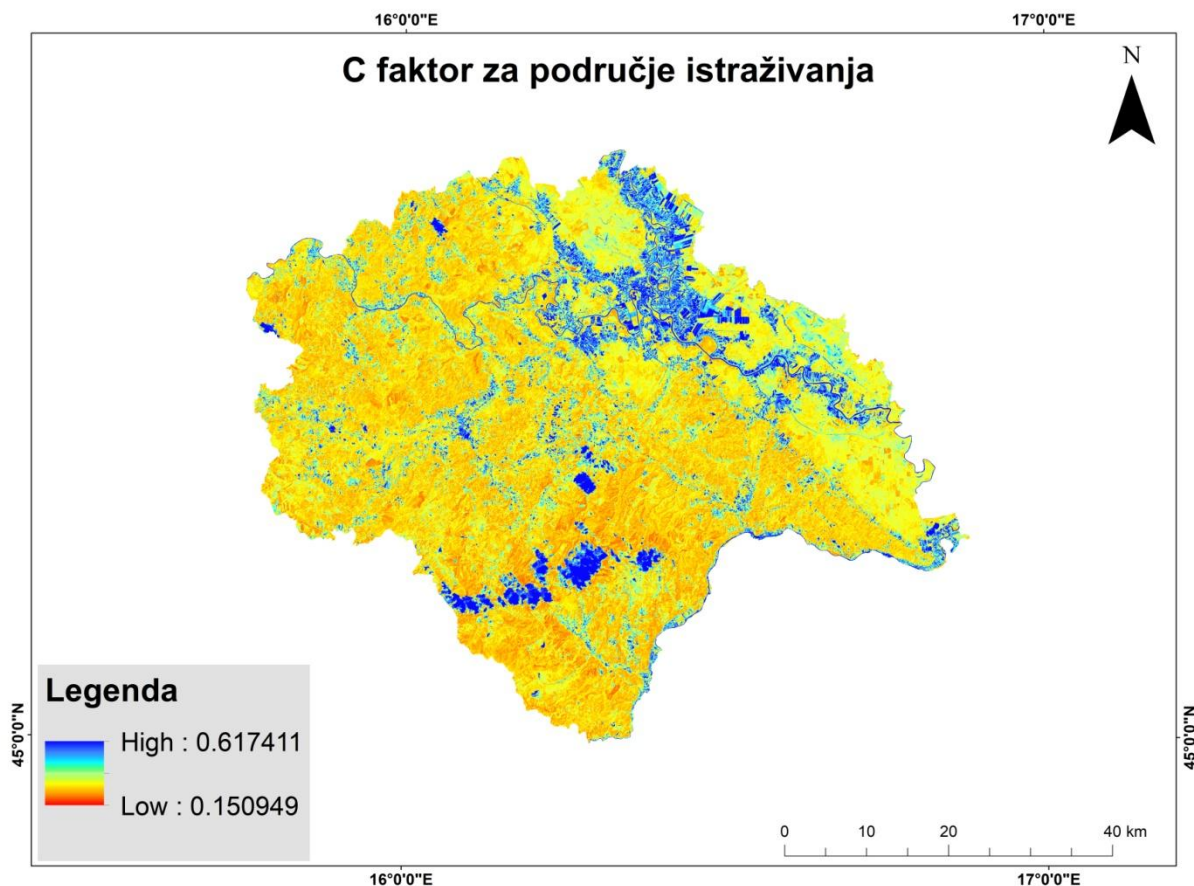


Slika 5-5.5. C faktor na području Banovine dobiven formulom prema Durgion et al. (2014) (plava elipsa obilježava dobiveni raspon vrijednosti za ovaj slučaj)

Zadnja korištena jednadžba bila je ona prema Knjiffu iz 2000. godine, vrijednosti su, kao što se može vidjeti na slici 5-5-6. varirale od 0.00314 pa sve do 1.60635, što znači da su prelazile preko vrijednosti 1, što čini i ovu treću opciju manje točnom od prethodne, najtočnije. Iako je raspored otprilike isti kao na prethodnim kartama, ista područja imaju višu odnosno nižu stopu C faktora, finalna karta dobivena je jednadžbom prema Durgion et al. (2014) (Slika 5-5.7.).



Slika 5-5.6. C faktor na području Banovine dobiven formulom prema Knjiff et al. (2000) (plava elipsa obilježava dobiveni raspon vrijednosti za ovaj slučaj)



Slika 5-5.7. Karta prikaza C faktora za područje istraživanja (Banovinu)

## 5.6. P faktor

Faktor očuvanja, odnosno zaštite, bezdimenzijski je omjer koji uzima u obzir gubitak tla pod određenim praksama upravljanja te izražava učinke tih praksi. Ove prakse uključuju, između ostalog, terasiranje, sjetvu uskim pojasima i oranje po konturama. Vrijednost faktora P kreće se između 0 i 1, pri čemu 0 pokazuje najveću učinkovitost konzervacijske prakse, a 1 ukazuje da nisu primijenjene nikakve mjere. Općenito prihvaćeni pristup za određivanje P faktora konzervacije je razvoj empirijskih jednadžbi. U radu je korištena ona predložena od strane Wennera (1981). Ista zahtijeva samo nagib, koji se može lako dobiti iz dostupnih modela digitalnog visinskog modela (DEM), a na temelju te jednadžbe, vrijednost ovog faktora može se primijeniti u okruženjima u kojima nema praksi upravljanja:

$$P = 0.2 + 0.03 * S$$

(3-9)

Gdje su:

S - nagib terena (%)

P - faktor zaštite/očuvanja (0 do 1)

Baza ovog faktora u GIS-u bila je *Basemap* u *ArcGIS*-u, na kojoj je dobro vidljivo, ubacivanjem *shapefile*-a obuhvata područja istraživanja, da je Banovina pretežito pokrivena šumom, a na sjeveroistoku prevladavaju poljoprivredne površine.

U sklopu *Udemy* edukacije priložena je tablica vrijednosti P faktora za 6 različitih pokrova tla (Tablica 5-6.):

Tablica 5-6. P faktor za različite pokrove tla (Udemy, 2023)

	Nagib (%)	P faktor
poljoprivreda	0-5	0.1
	5-10	0.12
	10-20	0.14
	20-30	0.19
	30-50	0.25
	50-100	0.7
voda	0-100	0
urbano područje	0-100	0
šuma	0-5	0.03
	5-10	0.05
	10-20	0.1
	31-50	0.2
	51-100	0.6
pašnjak	0-10	0.1
	11-20	0.15
	21-30	0.2
	31-50	0.4
	51-100	0.7
gola zemlja	0-5	0.25



	5-10	0.35
	10-20	0.45
	20-30	0.55
	30-50	0.75
	50-100	1

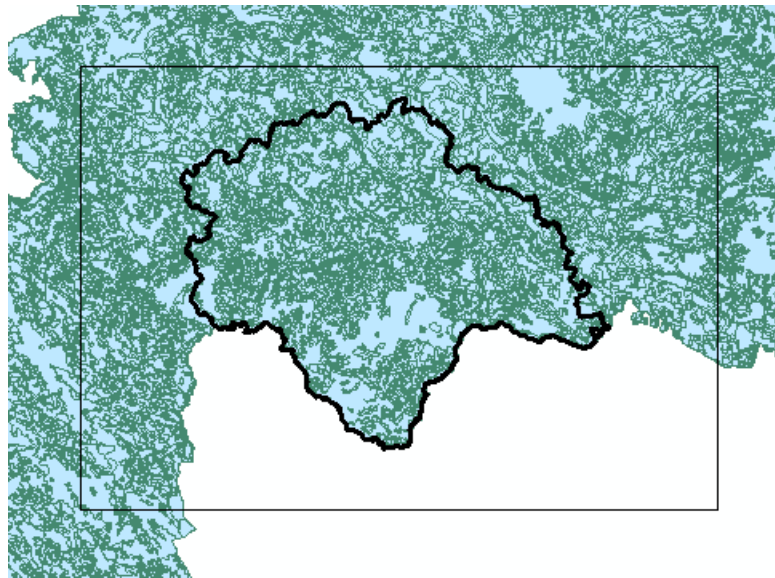
Šume su odlična zaštita od erozije vodom, pogotovo gdje je nagib manji, što je nagib viši zaštita je manja odnosno umjerenija. S druge strane je golo tlo ili zemlja koja ne pruža nikakvu zaštitu jer nema nikakav pokrov.

Prema edukaciji, potrebno je klasificirati tlo crtanjem poligona (različite boje za različite vrste pokrova), klasificirala bi se četiri podudarna pokrova tla koja su opisana vrijednostima u priloženoj tablici, a prepoznatljiva na Banovini.

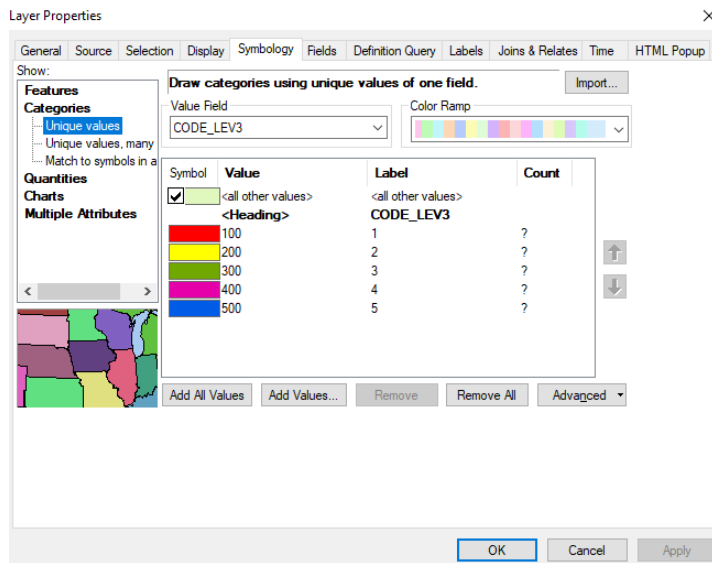
No u ovom radu korišten je *shapefile* već klasificirane Hrvatske, pod nazivom Corine Land Cover\_2018, ili CLC\_2018 (Slika 5-6.1.). Budući da nije potrebna čitava Hrvatska nego samo odabrano područje istraživanja, izrezuje se, prema zadanom poligonu (kvadratu) Luisa\_100m (stometarski tif s podacima) (Slika 5-6.2.). Naredbom *Clip* (koja služi za stvaranje nove klase značajki—koja se također naziva područje interesa—koje sadrži geografski podskup značajki u drugoj, većoj klasi značajki) dobiva se izdvojeni *shapefile* čija se simbologija uređuje na način da se grupiraju kodovi koji predstavljaju istu vrstu pokrova tla (prepoznatljivo po početnom broju od 1 do 5) kako bi dobili 5 klasa s oznakama od 100 do 500 (Slika 5-6.3.).



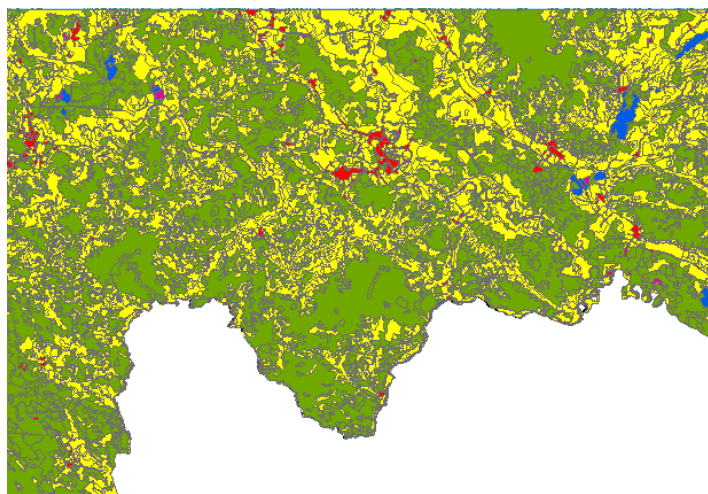
Slika 5-6.1. CLC Hrvatske, klasificirano tlo (crni rub označava obuhvat Banovine)



Slika 5-6.2. Poligon/kvadrat Luisa\_100m (crni rub označava obuhvat Banovine)



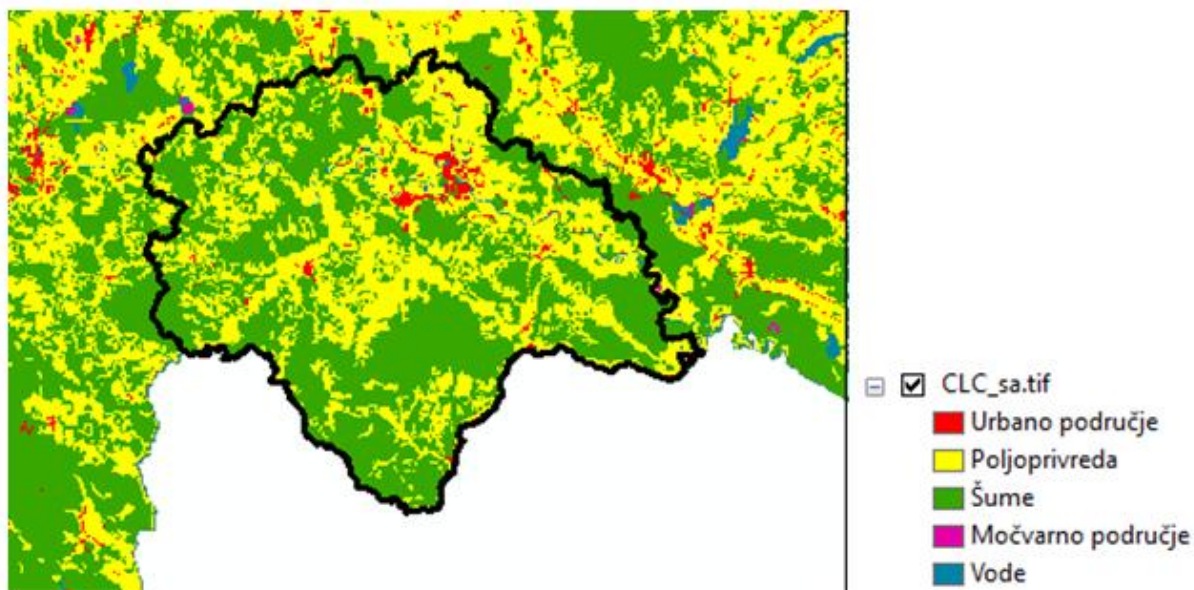
1.



2.

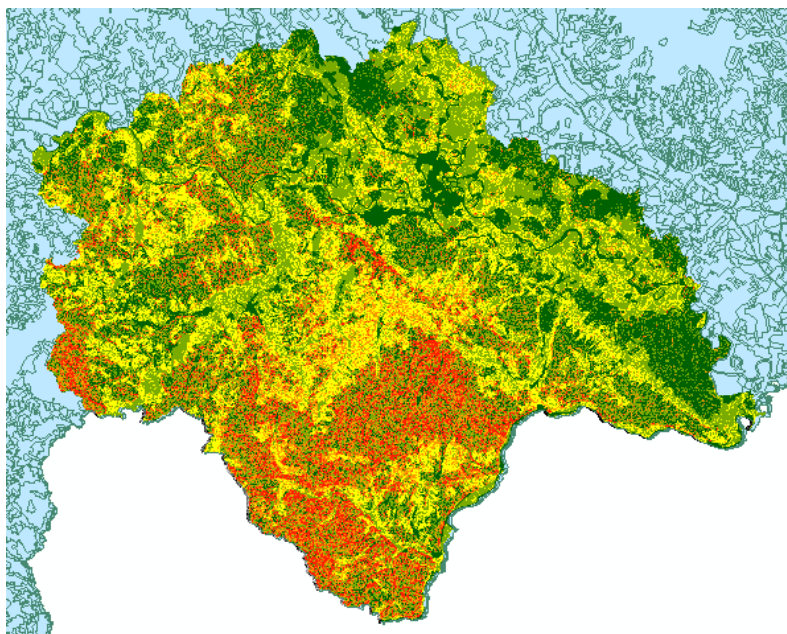
Slika 5-6.3. - Simbologija izrezanog shp-a, grupirane klase (pokrovi tla); 2.- Rezultat pod nazivom CLC\_clipani.shp

Nadalje kako bi se od izrezanog shp-a dobio raster koristi se naredba Polygon To Raster, koja pretvara poligonske značajke u rasterski skup podataka, rezultat je vrlo sličan, a prikazan je na slici 5-6.4.



Slika 5-6.4. lijevo: tif CLC područja istraživanja; desno: TOC istog tif-a (5 klaseva s pripadajućim bojama)

Kako bi se napravila karta P faktora, korištena je gore navedena tablica 5-6., u kojoj je nagib naveden u stupnjevima, no potreban je postocima, korišten je i *mosaic\_fill.tif* (LS faktor) te naredba Slope koja identificira nagib iz svake ćelije rasterske površine. Raster koji je rezultat Slope-a potrebno je i reklasificirati naredbom Reclassify (mijenja vrijednosti u rasteru) u ovom slučaju skup podataka je prešao iz “continuous” u “discrete dataset” (kontinuirani → diskretni/odvojeni). Sljedeća je naredba Combine, kombinira više rastera tako da se jedinstvena izlazna vrijednost dodjeljuje svakoj jedinstvenoj kombinaciji ulaznih vrijednosti, koja je spojila reklasificirani raster s CLC-om Banovine, a rezultat (*P\_faktor.tif*) je raster prikazan na slici 5-6.5.. Pri pogledu na atributnu tablicu *P\_faktor.tif*-a, razlikuje se nekoliko kolumni (Slika 5-6.6.) : count su pikseli, reclass\_sl nam govori kojem rasponu vrijednosti pripada u njegovoj klasifikaciji (npr., 1 označava da je između 0-5, 2 da je između 5-10, itd., vidi tablica 5-6), CLC\_Banovina govori o kojemu se pokrov tla radi brojkama od 100-500:



Slika 5-6.5. *P\_faktor.tif* = rezultat spajanja reklasificiranog rastera i CLC-a naredbom *Combine*

Table					
P_faktor.tif					
OID	Value	Count	reclass_sl	CLC_Banovina	
0	1	231	1	100	
12	13	92	3	100	
13	14	125	2	100	
15	16	11	4	100	
20	21	5	5	100	
2	3	4376	1	200	
3	4	2306	2	200	
5	6	2628	3	200	
11	12	927	4	200	
14	15	335	5	200	
23	24	32	6	200	
6	7	4512	3	300	
7	8	2653	1	300	
8	9	2667	2	300	
10	11	2542	4	300	
16	17	1639	5	300	
18	19	236	6	300	
21	22	3	2	400	
22	23	5	1	400	

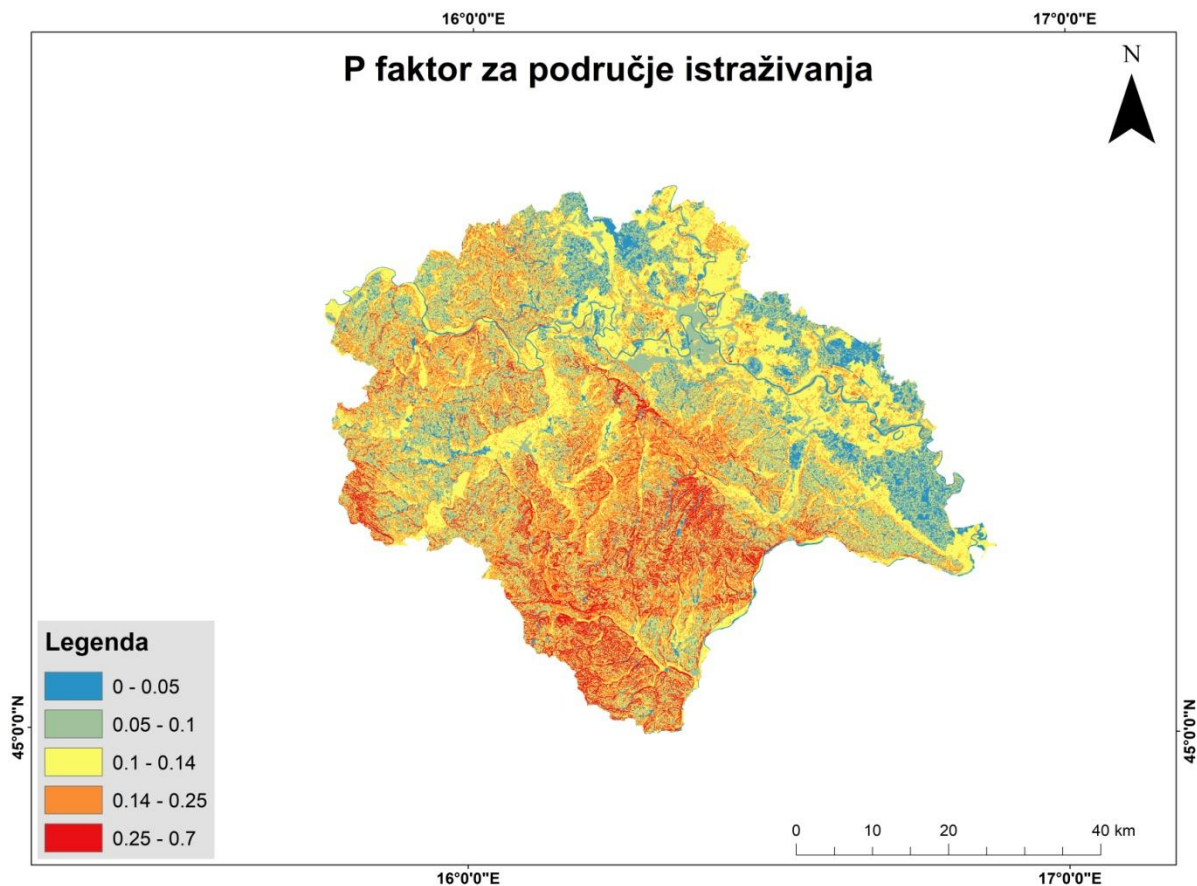
Npr. 100 = urbano područje; 1 =  
čiji postotak nagiba ide od 0-5

Slika 5-6.6. Atributna tablica *P\_faktor.tif*-a

Nadogradnjom atributne tablice s kolumnom naziva P faktor dobiva se konačna tablica, iznimka su u ovom radu bile močvare, kao šesta klasa pokrova tla koja nije bila prisutna niti u tablici 5-6. niti na Banovini te su pridružene vrijednosti za P faktor jednake 0. Konačna ispunjena tablica s pridruženim vrijednostima P faktora prikazana je na slici 5-6.7., a finalna karta P faktora na slici 5-6.8. na kojoj se vidi da vrijednosti variraju od 0.05 do 0.7 koje se mogu opisati kao umjerene do visoke. Kako ovaj faktor predstavlja otpornost tla na eroziju i odražava koliko je tlo osjetljivo na gubitak tijekom erozije, vrijednosti bliže 0.05 ukazuju na tlo s visokom otpornošću na eroziju, a ove bliže 0.7 odnose se na tla koja su osjetljivija na eroziju. S obzirom da na karti prevladavaju toplije boje (žuta, narančasta i crvena) čije su vrijednosti u rasponu od 0.1 do 0.7, ovo područje istraživanja može se zvati osjetljivim na eroziju.

OID	Value	Count	clc_sa_ban	reclass_SL	P_faktor
0	1	30971	500	1	0
1	2	4621	500	2	0
2	3	353452	200	2	0.12
3	4	681774	200	1	0.1
4	5	3781	500	3	0
5	6	409338	200	3	0.14
6	7	133302	200	4	0.19
7	8	41832	200	5	0.25
8	9	379713	300	1	0.03
9	10	394407	300	2	0.05
10	11	684181	300	3	0.1
11	12	14247	100	3	0.05
12	13	19232	100	2	0.05
13	14	34726	100	1	0.05
14	15	1042	500	4	0
15	16	397979	300	4	0.2
16	17	256691	300	5	0.5
17	18	2226	100	4	0.05
18	19	432	100	5	0.05
19	20	432	500	5	0
20	21	38066	300	6	0.5
21	22	2089	200	6	0.7
22	23	58	500	6	0
23	24	48	100	6	0.05
24	25	660	400	1	0
25	26	192	400	2	0
26	27	78	400	4	0
27	28	230	400	3	0
28	29	10	400	5	0

Slika 5-6.7. Konačna atributna tablica *P\_faktor.tif*-a

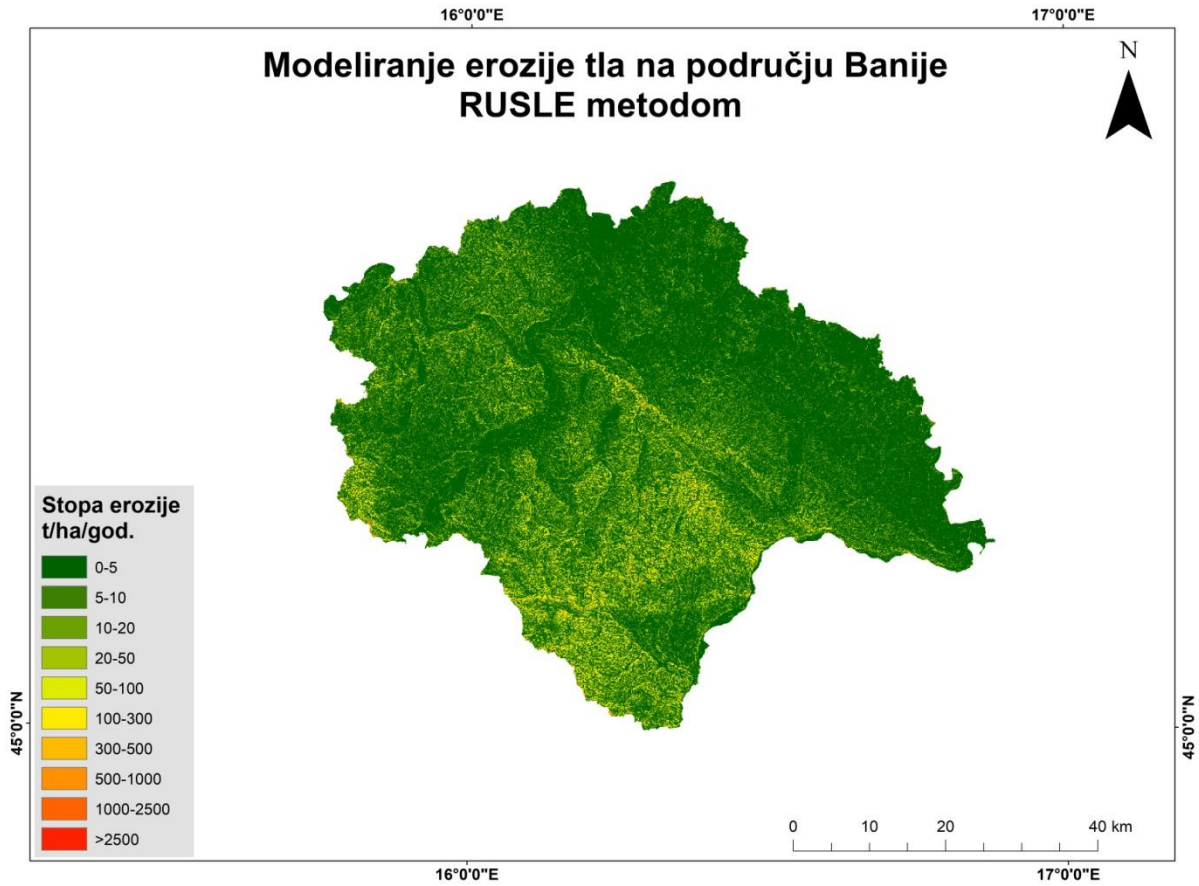


Slika 5-6.8. Karta prikaza P faktora za područje istraživanja (Banovinu)

## 5.7. RUSLE karta

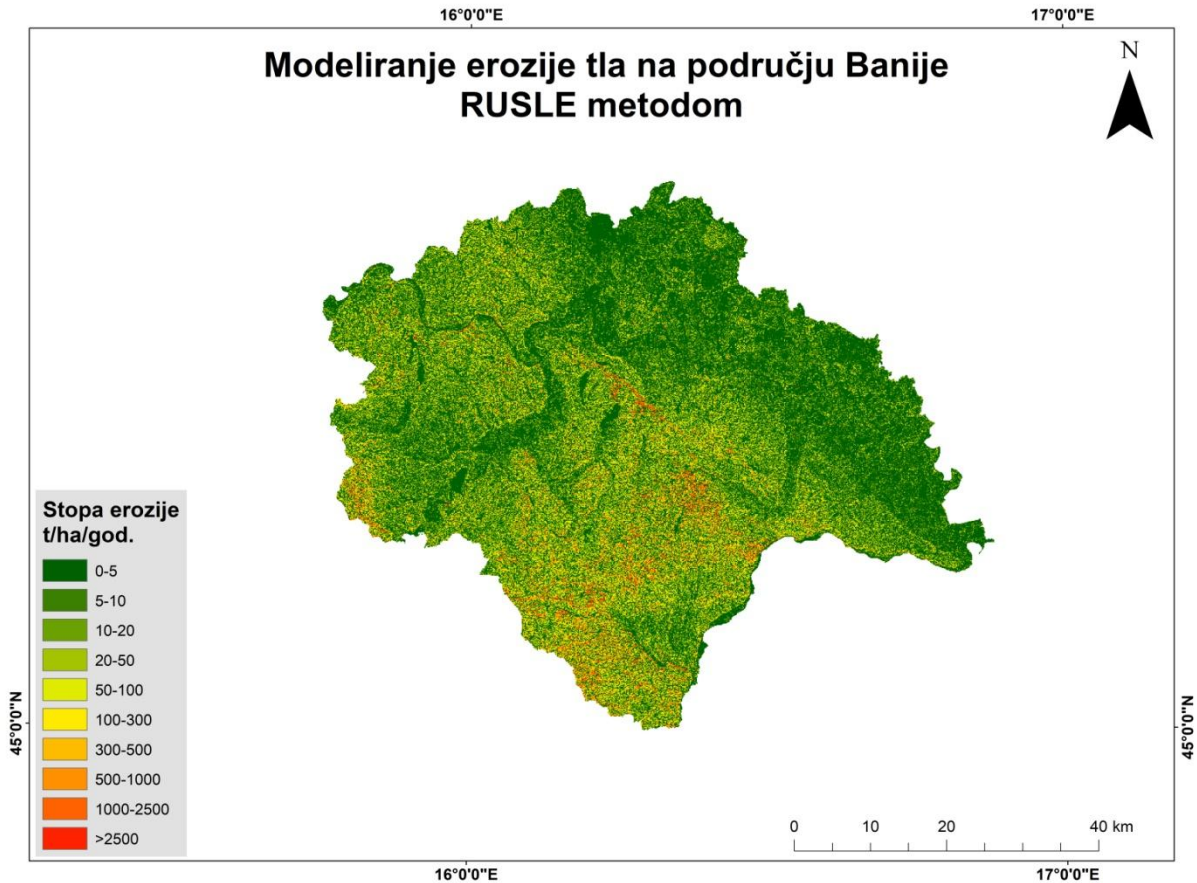
Konačna faza procjene erozije na području Banovine u GIS-u, kao uostalom i cilj rada, bio je upravo ovo poglavlje, izračun erozije RUSLE jednadžbom nakon što su u prethodnih pet poglavlja prikupljeni rezultati svih potrebnih faktora koji sačinjavaju ovu metodu.

Glavni GIS alat u ispunjavanju ovog cilja je spomenuti *Raster Calculator* u kojem se pomnože finalni rasteri svih pet faktora. Kako je već napomenuto u radu, dvije su konačne RUSLE karte (Slike 5-7.1 i 5-7.2.) budući da su dva konačna R faktora, odnosno riješenja, jer su korištene dvije metode za dobivanje tog faktora erozivnosti oborina, od kojih nijedna nije ispravnija.



Slika 5-7.1. RUSLE1 -Karta prikaza pomnoženih faktora- RUSLE modelom, za područje istraživanja (Banovinu) (u ovom slučaju koristi se R faktor dobiven podacima CRU-a)





Slika 5-7.2. RUSLE 2 - Karta prikaza pomnoženih faktora- RUSLE modelom, za područje istraživanja (Banovinu) (u ovom slučaju koristi se R faktor dobiven podacima GloRED-e)

Dodaje se *Basemap* u pozadinu karata kako bi se поближе usporedilo na kakvoj se površini točno pojavila erozija. Prva je karta bolji pokazatelj koliko su šume dominantna karika u variranju stope erozije u nižem i prihvatljivo umjerenom rasponu vrijednosti stope erozije na godišnjoj razini. Dokaz za to je takozvano “ponovno uzorkovanje” – kako je veličina ćelije u radu 30m x 30m, dakle 900m<sup>2</sup> područja za jednu, povoljnije bi bilo da se ista promjeni u hektre budući da se erozija mjeri u hektarima, to pak znači da bi se veličina ćelije trebala mijenjati u 100m x 100m, odnosno 10000m<sup>2</sup> ili 1 hektar područja. No ovom promjenom nijedan prethodni račun ne bi bio iskoristiv, a u svrhu pojednostavljenja i očuvanja dosadašnjih izračuna, riješenje je pretpostavka o proporcionalnoj promjeni erozije. Naime, kada bi se 10000 m<sup>2</sup> podijelilo s 900 m<sup>2</sup>, veličina ćelije bi bila oko 11.11 puta manja, pa pretpostavimo da će i stopa erozije proporcionalno rasti te množimo veličinu ćelije s 11.11.

To se testira na modelu koji se smatra točnijim, u ovom slučaju to je RUSLE1 (prva karta, 5-7.1.), jer su na drugoj karti određene vrijednosti unutar *Classify* properties-a ispadale previsoke, što se pripisuje grešci. Koristi se *Model Builder* te naredba *Resample* (mijenja skup rasterskih podataka promjenom veličine ćelije i metode ponovnog uzorkovanja). Novi dobiveni RUSLE1 raster u atributnoj tablici (Slika 5-7.3.) pokazuje kako većina područja otpada na najnižu stopu erozije 0-10, manje od 10 t/ha, gotovo 2300km<sup>2</sup>, uz njih je najčešća stopa 10-30 t/a, a treća najistaknutija je 30-50, odnosno 100-300 t/ha koje dijeli manje od 9 km<sup>2</sup> razlike. Evidentno je da prvih pet raspona stopa erozije zauzima najviše prostora, ali drže najnižu stopu od 0-100 t/ha/god. Šesto i sedmo mjesto, smatra se vrlo sklono eroziji s oko 40 te 14 km<sup>2</sup> zauzetog područja i stopama 300-500 te 500-1000 t/ha/god. Zadnja tri s preko i ispod jednog km<sup>2</sup> vrlo su mala područja, ali sklona vrlo ozbiljnom tipu erozije čiji rasponi stopa dosežu do >2500 t/ha/god što ostavlja jedan jako mali dio problematično visoke vrijednosti stope erozije.

RUSLE1_100m_recl.tif				
OID	Value	Count	Area km	Classes
0	1	229619	2296.19	0-10 t/ha
1	2	49072	490.72	10-30 t/ha
2	3	20905	209.05	30-50 t/ha
3	4	20042	200.42	50-100 t/ha
4	5	20651	206.51	100-300 t/ha
5	6	4049	40.49	300-500 t/ha
6	7	1420	14.2	500-1000 t/ha
7	8	179	1.79	1000-1500 t/ha
8	9	80	0.8	1500-2500 t/ha
9	10	48	0.48	>2500 t/ha

Slika 5-7.3. Atributna tablica rastera RUSLE1 - finalnog rješenja

Krajnji model relativno je točan, točnost ovisi o puno faktora, npr. veličina ćelija, bazni podaci korišteni u startu kao što su podaci o padalinama, uzvisinama, također nerijetka pojava su greške, uglavnom potekle od LS faktora, jer stručnjaci ne preporučuju korištenje istog ako prelazi 300-400, dok je u ovom radu viši od 5000, što nastupa ako neki pojedini pikseli imaju vrlo visok LS faktor te su takve stvari neizbježne.

Iako rješenje/karta RUSLE2 nije testirano kao i prvo, zadovoljava svojim rezultatima ciljeve ovoga rada, pogotovo kao paralela. U slučaju RUSLE2 stopa erozije dominantno varira između vrijednosti 10-300 t/ha/god što se može smatrati visokom stopom erozije na području Banovine, a i generalno. Ovaj široki raspon vrijednosti ukazuje na različite razine erozije koje

se javljaju na tom području. Vrijednosti ispod 100 t/ha/god smatraju se umjerenom erozijom, dok vrijednosti iznad 100 t/ha/god ukazuju na značajnu eroziju. Stope erozije od 300 t/ha/god se smatraju visokim i mogu imati ozbiljne posljedice po tlo i okoliš. Ukupno gledajući, ovo područje istraživanja zahtijeva primjenu odgovarajućih mjera za smanjenje erozije i zaštite tla, a neka od rješenja mogla bi biti bolja kontrola odvodnje vode, održivo korištenje tla (održive poljoprivredne tehnike), pravilno šumsko gospodarenje, izgradnja terasa i nasipa oko poljoprivrednih parcela, pošumljavanje (generalna obnova vegetacijskog pokrova na degradiranim područjima) te edukacija lokalnog stanovništva, a naročito mladih jer su oni budućnost.

## 6. ZAKLJUČAK

Erozija tla predstavlja značajan problem današnjem svijetu, a s kojim se suočava i Hrvatska. Zbog različitih čimbenika poput intenzivne poljoprivredne prakse, nepravilnog upravljanja šumama, neodrživog građevinskog razvoja i ekstremnih vremenskih uvjeta, tlo se sve više gubi i degradira. Erozija dovodi do gubitka plodnog tla, smanjenja biološke raznolikosti i poremećaja hidrološkog ciklusa. Osim toga, erozija tla može prouzročiti i onečišćenje voda, budući da se tlo, zajedno s otpadnim tvarima, može isprati u rijeke i jezera.

Erozija tla na Banovini postala je veliki problem nakon razornih potresa koji su pogodili ovu regiju u 28. i 29. prosinca 2020. Poremećaji u tlu, kao posljedice snažnih potresa, doveli su do povećane osjetljivosti na eroziju. Erozija tla na ovom području ima ozbiljan učinak na poljoprivredu, gospodarstvo i okoliš. Osim toga, erozija pridonosi onečišćenju rijeka i potoka, smanjujući kvalitetu vode i ugrožavajući biljni i životinjski svijet.

Procjena gubitka tla erozijom i procjena rizika od erozije postali su bitni zadaci mnogih zemalja prije same primjene praksi očuvanja tla. Danas postoji opsežan izbor objavljenih znanstvenih radova o primjeni RUSLE modela (“Revised Universal Soil Loss Equation”) u kombinaciji s GIS tehnologijom za predviđanje gubitka tla i rizika od erozije u različitim regijama. Izvor i kvaliteta podataka također su važno pitanje u primjeni GIS-a, stoga je potrebno pažljivo provjeriti i predobraditi GIS podatke, uključujući pretvorbu u različite formate, georeferenciranje i interpolaciju podataka.

Kako se RUSLE metoda sastoji od 5 faktora (R, K, LS, C i P) čiji se rezultati množe i daju konačnu sliku o stopi erozije odabranog područja, tako rezultati ovoga rada leže u vrijednostima ovih pet faktora za Banovinu. R faktor, koji predstavlja erozivnost oborina, izračunat je na dva načina, prvi korištenjem CRU podataka daje raspon vrijednosti od 572.6 – 882.5 MJ\*mm/ha\*h\*god što označava visoku do vrlo visoku erozivnost oborina, a drugi korištenjem GloREDA podataka daje raspon vrijednosti od 120.1 – 172.7 MJ\*mm/ha\*h\*god, što i dalje označava srednju do visoku erozivnost oborina. K faktor, koji predstavlja erozivnost tla, na istraživanom području varira od 0.119 – 0.186 t\*ha\*h/ha\*MJ\*mm što označava nisku do srednju erozivnost tla u kojem se izmjenjuju pijesak, glina, silt te organska tvar kao

dominantni tipovi. Organska tvar je ta koja diže vrijednost rezultata K faktora budući da je obično relativno visoke erozivnosti zbog sklonosti ovog tipa tla eroziji pri određenim uvjetima, za razliku od gline i pijeska. LS faktor, koji predstavlja kombinaciju faktora nagiba padine (S) i faktora duljine nagiba (L), varira u vrijednostima od 0 do 5040, što u slučaju ovog faktora znači error, odnosno greška, budući da stručnjaci smatraju da ukoliko vrijednost pređe 400, nije mjerodavna. Iako dominantna gornja vrijednost ovog faktora na Banovini ne prelazi 19.8 (što je više nego očito iz karte – Slika 5-4.8.). C faktor, koji predstavlja faktor upravljanja zemljištem i faktor pokrovnosti, izračunat je pomoću tri različite empirijske jednadžbe, a najtočniji rezultat dala je ona prema Durgionu iz 2014. godine, budući da je raspon vrijednosti ostao između 0 i 1, a iznosio je od 0.150949 – 0.617411., odražavajući različite razine učinkovitosti vegetacijskog pokrova u smanjenju erozije tla - niže vrijednosti ukazuju na manju zaštitnu sposobnost, dok više vrijednosti ukazuju na veću zaštitnu sposobnost. P faktor, koji predstavlja faktor zaštite/očuvanja, za područje Banovine varira od 0.05 do 0.7 te se može opisati kao umjeren do visok. Vrijednosti bliže 0.05 ukazuju na tlo s visokom otpornošću na eroziju, a ove bliže 0.7 odnose se na tla koja su osjetljivija na eroziju, no kako vrijednosti u rasponu od 0.1 do 0.7 prevladavaju, ovo područje istraživanja pretežno je osjetljivo na eroziju. Naposljetku rezultat dobiven RUSLE jednadžbom, pokazao je, na primjeru karte RUSLE1, kako većina površine područja (66%) otpada na najnižu stopu erozije 0-10 t/ha/god, a to je gotovo 2300km<sup>2</sup>, druga najčešća stopa 10-30 t/ha zauzima 14% površine područja, a treća najistaknutija, 30-50 t/ha samo 6%, koju u stopu prate i 50-100 te 100-300 t/ha sa također približno 6% površine područja. Evidentno je da prvih pet raspona stopa erozije zauzima najviše prostora (98%), ali drže najnižu stopu koja bez obzira što je prva polovica te ujedno i niža vrijednost, prelaskom vrijednosti od 50 pa sve do 300 t/ha i dalje se smatra visokom stopom erozije tla koja zahtjeva kontrolne mjere. Preostalih 5 raspona vrijednosti stope erozije koji se rastežu sve od 300 do >2500 t/ha/god zauzimaju preostalih 2% površine područja, no bez obzira koliko prostor bio malen površinom, nije zanemariv jer je riječ o problematično visokoj stopi, značajne i brze erozije tla koja bez rasprave mora biti spriječena ili barem ublažena mjerama koje uključuju uspostavu zaštitnih pojaseva, primjenu konzervacijske obrade tla, izgradnjom terasa i dobre vodne infrastrukture te naravno obnovom vegetacijskog pokrova i edukacijom lokalne zajednice. Važno je kontinuirano podizati svijest o važnosti očuvanja tla i primjeni održivih metoda kako bi se smanjila erozija tla i očuvala plodnost tla za

buduće generacije jer primjena održivih poljoprivrednih i upravljačkih praksi može biti ključna u dugoročnom smanjenju erozije.

## 7. LITERATURA

ANGIMA, S., STOTT, D., O'NEILL, M., ONG, C., WEESIES, G. (2003): Soil Erosion Prediction using RUSLE for Central Kenyan highland conditions. *Agriculture, ecosystems & environment*, 97(1), 295-308.

BAČEKOVIĆ, S. (2022): Izrada webGIS sustava na primjeru hidrogeoloških istraživanja nakon potresa na Banovini, diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

BENAVIDEZ, R., JACKSON, B., MAXWELL, D., NORTON, K. (2018): A review of the (Revised) Universal Soil Loss Equation (R/USLE): with a view to increasing its global applicability and improving soil loss estimates. School of Geography, Environment, and Earth Sciences, Victoria University of Wellington, Wellington, 6012, New Zealand

JAHUN, B.G., IBRAHIM, R., DLAMINI, N.S., MUSA, S.M. (2015): Review of Soil Erosion Assessment using RUSLE Model and GIS. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, ISSN 2224-3208 (članak), Faculty of Engineering, Department of Biological and Agricultural Engineering, Universiti Putra Malaysia, Serdang; Faculty of Engineering, Department of Agricultural and Bioresource Engineering, Abubakar Tafawa Balewa University Bauchi, Nigeria; str. 36-47.

JURIĆ, D. (2020): Korištenje GIS-a pri izradi geotehničkog elaborate na primjeru magistralnog plinovoda Kozarac – Sisak. Zagreb: Diplomski rad, Rudarsko – geološko – naftni fakultet.

LUPIA-PALMIERI, E. (2006): Erosion. U: Goudie, A. (ed.): *Encyclopedia of Geomorphology*, Routledge, London, Vol. 1, str. 331-336

MOORE, I. D., BURCH, G. J. (1986). Physical Basis of the Length-slope Factor in the Universal Soil Loss Equation. *Soil Science Society of America Journal*, 50(5), 1294-1298.

PERKOVIĆ, D. (1998): Hidrogeološki katastar kao dio geografskog informacijskog sustava. Zagreb: Magistarski rad, Rudarsko – geološko – naftni fakultet, 119 str.

PIMENTEL, D., HARVEY, C., RESOSUDARMO, P., SINCLAIR, K., KURZ, D., MCNAIR, M., BLAIR, R (1995): Environmental and Economic Costs of Soil Erosion and Conservation Benefits. *Science*, 267(5201), 1117–1123. <http://doi.org/10.1126/science.267.5201.1117> .

PIMENTEL, D., MARKLEIN, A., TOTH, M. A., KARPOFF, M. N., PAUL, G. S., MCCORMACK, R., KYRIAZIS, J., KRUEGER, T. (2009): Food versus Biofuels: Environmental and Economic Costs. *Human ecology*, 37(1), 1-12.

RENARD, K. G., FOSTER, G. R., WEESIES, G. A., MCCOOL, D., YODER, D. (1997): Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). *Agriculture Handbook (Washington)*(703).

SHAO, Y., LI, X. (2019): Wind erosion: Recent advances and future directions. *Aeolian Research*, 41, 100571.

WISCHMEIER, W. H., SMITH, D. D. (1978): Predicting Rainfall Erosion losses-A Guide to Conservation Planning. *Predicting Rainfall Erosion losses-A guide to Conservation Planning*.

ZHANG, X. C., GUO, X. S., WANG, S. Q. (2020): The impact of water erosion on the evolution of hillslope profiles: A review. *Earth-Science Reviews*, 201, 103073.

### **Web literatura:**

CRU: Precipitation 2011 – 2020 <https://research-portal.uea.ac.uk/en/organisations/climatic-research-unit> (preuzeto 20.02.2023.)

ESDAC: Global Rainfall Erosivity <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/global-rainfall-erosivity> (preuzeto 21.02.2023.)

ESDAC: ASTER Images – Banovina i okolica <https://www.earthdata.nasa.gov/> (preuzeto 30.04.2023.)

ESDAC: C-factor for the EU <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/cover-management-factor-c-factor-eu> (preuzeto 02.05.2023.)



ESRI: What is GIS? – History of GIS <https://www.esri.com/en-us/what-is-gis/history-of-gis>  
(preuzeto 01.07.2023.)

FAO Digital Soil Map of the World (DSMW): <https://www.fao.org/land-water/land/land-governance/land-resources-planning-toolbox/category/details/en/c/1026564/> (preuzeto 01.03.2023.)

PERKOVIĆ, D., 2010. Faze razvoja GIS-a. URL: <http://rudar.rgn.hr/~dperko/nidsdperkovic/predavanja/06 Faze razvoja GIS-a 01092010.pdf> (preuzeto 01.07.2023.)

Udemy: <https://www.udemy.com/course/soil-erosion-modeling-with-rusle-in-arcgis-software/#instructor-1> (preuzeto 30.05.2023.)

USDA United States Department of Agriculture - Agricultural Research Service  
<https://www.ars.usda.gov/midwest-area/west-lafayette-in/national-soil-erosion-research/docs/usle-database/usle-history/> (preuzeto 31.05.2023.)

USGS EarthExplorer: Landsat snimci <https://earthexplorer.usgs.gov/> (preuzeto 03.05.2023.)

Wikipedia: <https://sh.wikipedia.org/wiki/Banija> (preuzeto 04.07.2023.)