

Procjena erozije tla područja Banovine korištenjem ArcSWAT metode

Rončević, Mia

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:169:573270>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-17**



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 ARCSWAT METODE

Diplomski rad

Mia Rončević

GI440



KLASA: 602-01/23-01/159
URBROJ: 251-70-15-23-2
U Zagrebu, 6. 9. 2023.

Mia Rončević, studentica

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/23-01/159, URBROJ: 251-70-15-23-1 od 3. 7. 2023. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

PROCJENA EROZIJE TLA PODRUČJA BANOVINE KORIŠTENJEM ARCSWAT 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)

Želim izraziti iskrenu zahvalnost mentoru izv.prof.dr.sc. Dariju Perkoviću na izvanrednom mentorstvu tijekom izrade diplomskog rada. Vaša stručnost, strpljenje i dragocjena podrška ključni su faktori koji su doprinijeli kvaliteti ovog rada. Konstruktivni savjeti i duboko znanje obogatili su moje razumijevanje teme i znatno poboljšali kvalitetu istraživanja. Vaše mentorstvo nije samo oblikovalo ovaj rad, već je također postavilo čvrst temelj za moj budući profesionalni razvoj. Hvala Vam na predanosti i stručnosti koje ste uložili u moje obrazovanje.

S posebnim poštovanjem, želim izraziti zahvalnost svojoj obitelji, a osobito roditeljima i sestri, koji su bili uz mene tijekom svih godina studiranja. Vaša neizmjerena podrška, bezuvjetna ljubav i razumijevanje činili su mogućim sve što sam postigla.

Također, zahvaljujem se svojim prijateljima koji su dijelili ovaj akademski put sa mnom. Vaša prisutnost, zajednički trenuci i podrška činili su ovu etapu mog života posebnom i nezaboravnom.

Mia

PROCJENA EROZIJE TLA PODRUČJA BANOVINE KORIŠTENJEM ARCSWAT METODE

Mia Rončević

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

Sažetak

U ovom istraživanju analizirana je erozija tla na području Banovine koristeći *ArcSWAT* metodu. Erozija tla i njen negativan utjecaj na održivost poljoprivrede i okoliš su posebno važni nakon nedavnog potresa na Banovini. Korištenjem *ArcSWAT* modela, baziranog na GIS tehnologiji, proučavani su hidrološki procesi, vodni tokovi, erozija tla i kvaliteta vode. Vizualno privlačni dijagrami i karte pružaju detaljan uvid u različite aspekte erozije tla na tom području, uključujući raspon vrijednosti prosječnog prinosa sedimenata koji ukazuju na različite razine gubitka tla i taloženja sedimenata. Rezultati su identificirali područja s vrlo visokom stopom erozije, naglašavajući potrebu za provedbom mjera očuvanja tla kako bi se smanjili negativni utjecaji erozije. Ova studija pruža važne informacije za razumijevanje erozije tla na području Banovine nakon potresa te može poslužiti kao temelj za daljnje mjere zaštite tla i održivog upravljanja.

Ključne riječi: Banovina, erozija tla, GIS, ArcSWAT.

Diplomski rad sadrži: 67 stranica, 3 tablice, 51 sliku, 38 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 ARCSWAT METHOD

Mia Rončević

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

Abstract

In this research, soil erosion in the area of Banovina was analyzed using the ArcSWAT method. Soil erosion and its negative impact on the sustainability of agriculture and the environment are particularly important after the recent earthquake in Banovina. Using the ArcSWAT model, based on GIS technology, hydrological processes, water flows, soil erosion and water quality were studied. Visually appealing diagrams and maps provide detailed insight into various aspects of soil erosion in the area, including a range of average sediment yield values that indicate different levels of soil loss and sediment deposition. The results identified areas with a very high rate of erosion, highlighting the need to implement soil conservation measures to reduce the negative impacts of erosion. This study provides important information for understanding soil erosion in the Banovina area after the earthquake and can serve as a basis for further soil protection measures and sustainable management.

Keywords: Banovina, soil erosion, GIS, ArcSWAT.

Thesis contains: 67 pages, 3 tables, 51 figures, 38 references

Original in: Croatian

Archived in: The library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,
Pierottijeva 6, Zagreb

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	2
2.1. Erozijski vodom.....	3
2.2. Erozijski vjetrom.....	5
2.3. Dosadašnja istraživanja erozije na području Banovine	8
3. SWAT METODA	9
3.1. Pregled povijesnog razvoja SWAT-a.....	11
3.2. Teorijski opis SWAT modela	12
3.3. Ključni procesi i algoritmi koji se koriste u SWAT-u.....	13
3.4. Moduli i resursi SWAT-a.....	14
3.5. Mogućnosti, komponente te prednosti i nedostaci SWAT modela	15
3.6. Opća primjena SWAT modela	17
4. GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI SUSTAV (GIS).....	19
4.1. Povijest GIS-a	20
4.2. Dijelovi GIS-a	21
4.3. GIS softveri	24
4.3.1. ArcGIS.....	24
4.3.2. QGIS	27
5. PROSTORNO MODELIRANJE SWAT METODOM U ARCGIS SOFTVERU	28
5.1. Preuzimanje i instalacija SWAT-a.	28
5.2. Priprema podataka.....	29
5.2.1. Priprema podataka - preuzimanje podataka za tlo i klimu i promjena postavki za pokretanje modela.....	29
5.2.2. Priprema podataka - priprema digitalnog modela elevacije za sliv, spajanje DEM-a	31
5.2.3. Priprema podataka - priprema shapefile-a za korištenje klasifikacije zemljišta.....	36

5.2.4. Priprema podataka - priprema podataka o tlu za SWAT.....	37
5.2.5. Priprema podataka - prikupljanje meteoroloških podataka	39
5.3. Pokretanje SWAT modela.....	42
5.4. Simulacija hidrološkog sliva i njegovo pražnjenje.....	49
5.5. Karta erozije tla za područje Banovine.....	58
6. ZAKLJUČAK.....	62
7. LITERATURA	64

POPIS SLIKA:

Slika 2-1. Vrste erozije tla vodom (Senanayake et al., 2020).....	4
Slika 2-2. Postotak površine zahvaćene umjerenom ili jakom erozijom tla vodom, 2000. i2016., EU-27 (Izvor: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Agri-environmental_indicator_-_soil_erosion).....	5
Slika 2-3. Posljedice erozija tla vjetrom na mjestu događaja (Kisić, 2017)	6
Slika 2-4. Posljedice erozija tla vjetrom izvan mjesta događaja (Kisić, 2017).....	7
Slika 3-1. Povijest i razvoj SWAT modela (Arnold et al., 2012)	10
Slika 3-2. Shematski prikaz hidroloških procesa simuliranih u programu SWAT (Hari & Reddy, 2018)	13
Slika 4-1. Dijelovi GIS-a (Izvor: https://grindgis.com/blog/components-of-gis?utm_content=cmp-true).....	22
Slika 4-2. Vektorski i rasterski model podataka (Booth & Mitchell, 2001).	24
Slika 5-1. Preuzimanje odgovarajuće verzije <i>ArcSWAT</i> -a (izvor: https://swat.tamu.edu/data/)	28
Slika 5-2. Koraci prilikom instalacije <i>ArcSWAT</i> -a	29
Slika 5-3. Globalna vremenska baza podataka (izvor: https://swat.tamu.edu/data/)	30
Slika 5-4. Anglosaksonski format brojeva i datuma u Windows OS-u	30
Slika 5-5. Šest satelitskih snimaka preuzetih s <i>Earth Data</i>	31
Slika 5-6. Spojenih šest satelitskih snimaka u jedan TIFF	32
Slika 5-7. Izrezani CLC 100m s područjem istraživanja	33
Slika 5-8. CLC s kategorijama pokrova zemljišta: 1 - urbana područja, 2 - poljoprivredna područja, 3 - šume, 4 - močvare te 5 - vodna područja	35
Slika 5-9. Primjena alata <i>Extract By Mask</i>	36
Slika 5-10. Klasifikacija tla od 1 do 5 u Notepad++.....	36
Slika 5-11. Digitalna karta tla svijeta.....	37
Slika 5-12. Digitalna karta svijeta i karta Republike Hrvatske.....	38
Slika 5-13. Rezultat primjene alata "Polygon To Raster"	38
Slika 5-14. Mjerne postaje na širem području istraživanja	39
Slika 5-15. Tekstualna datoteka s odgovarajućim podacima za područje Banovine	40
Slika 5-16. Preuzimanje podataka s web stranice https://power.larc.nasa.gov/	41
Slika 5-17. Obrada meteoroloških podataka u programu <i>Excel</i> (LAT-širina; LON-duljina; YEAR-godina; MO-mjesec; DY-dan; PRECTOTCORR-korigirana oborina).....	41
Slika 5-18. Spremanje SWAT projekta.....	42

Slika 5-19. Ulazni podaci za <i>Automatic Watershed Delineation</i>	43
Slika 5-20. Postupak <i>Automatic Watershed Delineation</i>	44
Slika 5-21. Postupak <i>Land Use Data</i>	45
Slika 5-22. Preklapanje HRU-ova.....	46
Slika 5-23. Postupak <i>HRU Analysis</i>	47
Slika 5-24. Postupak <i>Weather Data Definition</i>	47
Slika 5-25. Postupak <i>Write SWAT Database Tables</i>	48
Slika 5-26. Postupak <i>Select Database To Edit</i>	48
Slika 5-27. Setup and Run SWAT Model Simulation	49
Slika 5-28. Spremanje SWAT simulacije	50
Slika 5-29. Output.std datoteka.....	50
Slika 5-30. Input.std datoteka	51
Slika 5-31. Hidrološki dijagram.....	52
Slika 5-32. Sedimentni dijagram.....	52
Slika 5-33. Ciklus dušika	53
Slika 5-34. Ciklus fosfora	54
Slika 5-35. Dijagram rasta biljaka.....	55
Slika 5-36. Dijagram gubitaka hranjivih tvari u okolišu.....	55
Slika 5-37. Pregled upotrebe zemljišta	56
Slika 5-38. Dijagram procesa unutar vodotoka.....	57
Slika 5-39. Točkasti izvori	57
Slika 5-40. Prikaz dobivanja <i>Microsoft Access</i> podataka	58
Slika 5-41. Podaci dobiveni iz SWAT simulacije.....	58
Slika 5-42. Izrada pivot tablice	59
Slika 5-43. Karta erozije tla za područje Banovine.....	60

POPIS TABLICA:

Tablica 2-1. Posljedice erozije vjetrom na mjestu pojave i izvan mjesta pojave (Kisić, 2017)	6
Tablica 3-1. Prednosti i nedostaci SWAT modela (Hari & Reddy, 2018)	17
Tablica 5-1. CORINE razredi zemljišnog pokrova (AZO, 2015)	34

1. UVOD

Erozija tla je ozbiljan problem koji može imati dugoročne štetne učinke na okoliš, poljoprivrednu produktivnost i kvalitetu vodnih resursa (Balasubramanian, 2017), stoga je razumijevanje i kvantifikacija erozije tla od velike važnosti za održivo upravljanje zemljištem i vodnim resursima. Pravilno procjenjivanje intenziteta erozije tla može pružiti vrijedne informacije za razvoj mjera zaštite i obnove zemljišta.

Područje Banovine, koje je ranije bilo suočeno s različitim prirodnim nepogodama kao što su potresi i formiranje urušnih vrtača, predstavlja zanimljivo područje za proučavanje erozije tla. Vrtače su karakteristične geološke formacije koje se javljaju na području Banovine, dok su potresi bili značajni događaji koji su utjecali na okoliš tog područja.

Cilj je bio koristiti *ArcSWAT* metodu, napredni softverski alat koji omogućuje simulaciju hidroloških i erozijskih procesa, kako bi se procijenio intenzitet erozije tla na tom području. Za provedbu ovog istraživanja, potrebni su različiti ulazni podaci, uključujući geoprostorne podatke o tipovima tla, padalinama te informacije o namjeni zemljišta (Arnold et al., 1998).

U nastavku rada detaljno je opisana korištena metodologija, uključujući prikupljanje podataka, konfiguraciju *ArcSWAT* modela i analizu dobivenih rezultata. Također, prikazan je značaj dobivenih rezultata i njihovoj primjeni u očuvanju tla, razvoju planskih mjera i unaprjeđenju upravljanja ruralnim područjima na području Banovine.

2. EROZIJA TLA

Tlo je jedan od temeljnih prirodnih resursa za opstanak cijelog života. Erozijski procesi vodom i vjetrom dva su glavna faktora koji degradiraju tlo. Otjecanje ispire čestice tla s padina i golih tla, dok vjetar odnosi rahle i odvojene čestice tla s ravnih i nezaštićenih terena. Geološka erozija je normalan proces trošenja koji se općenito javlja malim stopama u svim tlima kao dio prirodnih procesa formiranja tla (Balasubramanian, 2017). Veličina i utjecaji erozije tla na produktivnost ovise o profilu tla i zaravnjenosti terena, upravljanju tлом i klimatskim karakteristikama. (Balasubramanian, 2017).

Erozija tla jedan je od prirodnih problema u tlu (Balasubramanian, 2017):

- utječe na sve oblike terena
- može se pojaviti zbog sila povezanih s poljoprivrednim aktivnostima kao što je obrada tla
- smanjuje produktivnost zemljišta pod usjevima
- pridonosi onečišćenju okolnih vodotoka, močvara i jezera.

Erozija tla odnosi se na trošenje površinskog sloja tla prirodnim fizičkim silama vode i vjetra. To može biti spor proces. Relativno je neprimijećen ili se može pojaviti alarmantnom brzinom, uzrokujući ozbiljan gubitak gornjeg sloja tla. Zbijenost tla, nizak nivo organske tvari, gubitak strukture tla, loša unutarnja drenaža, salinizacija i problemi s kiselošću tla drugi su ozbiljni uvjeti degradacije tla koji mogu ubrzati proces erozije tla. Erozijski procesi, bilo da je riječ o vodi, vjetru ili obradi tla, uključuju tri različite radnje – odvajanje tla, kretanje i taloženje. Ubrzana erozija velikim je dijelom posljedica ljudskog djelovanja. Primarni uzroci su obrada tla, ispaša i sječa drva. Stopa erozije može se povećati aktivnostima koje nisu ljudske. Vatra koja uništava vegetaciju i izaziva eroziju ima isti učinak (Balasubramanian, 2017).

Erozija je veliki problem koji utječe na tlo diljem svijeta. Brzi rast svjetske populacije rezultirao je povećanom obradom zemlje. To stvara veći pritisak na tlo i dovodi do toga da tlo gubi svoju strukturu i koheziju, što znači da se može lakše erodirati. Teški poljoprivredni strojevi također mogu 'zbijati' tlo, što uzrokuje da voda nakon kiše otječe ravno s površine, odnoseći sa sobom čestice tla, umjesto da se infiltrira u tlo. Ukupna površina Zemlje koja je podvrgnuta degradaciji tla uzrokovanom ljudskim djelovanjem procjenjuje se na oko 2 milijarde hektara. Od toga se površina zemlje pogođena degradacijom tla uslijed erozije

procjenjuje na 1100 Mha vodenom erozijom i 550 Mha erozijom vjetrom (Balasubramanian, 2017).

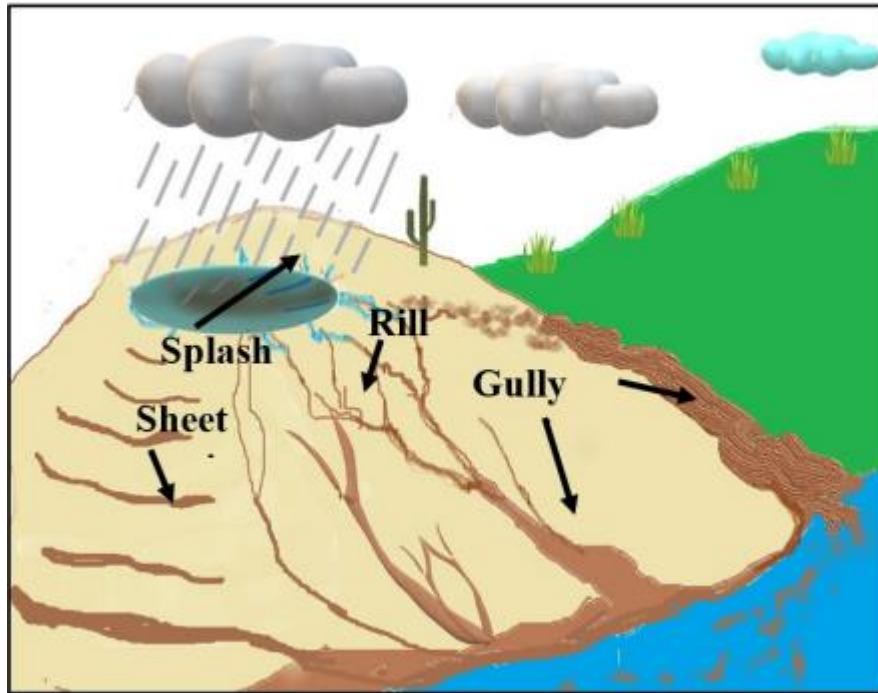
2.1. Erozijski vodom

Odvajanje čestica tla iz agregata, prije svega kišnim kapima i tekućom vodom, te njihov transport putem površinske vode uključeni su u eroziju tla vodom. Prirodna erozija se smatra normalnom erozijom i obično je od malog značaja s gledišta kvalitete tla, jer je njezina stopa niska, a gubitak tla se može prirodno nadoknaditi stvaranjem tla. Ljudske aktivnosti poput krčenja šuma, ispaše stoke, pretjerane obrade i privremenog uzgoja ubrzale su eroziju tla izvan prihvatljivih granica. Glavne vrste erozije tla vodom (Slika 2-1.) su erozija prskanjem, erozija površinskih slojeva, erozija između rovova, brazdasta erozija, erozija jaraka, klizišta i erozija tokova. Erozijski tla ima lokalne i vanjske učinke. Lokalni učinci uključuju gubitak tla, gubitak organskih i hranjivih tvari, oštećenje usjeva, izlaganje korijenja biljaka, te smanjenje plodnosti i produktivnosti tla. Vanjski učinci obuhvaćaju oštećenje korijenja usjeva i infrastrukture, zasipanje rezervoara taloženjem tvari, eutrofikaciju ribnjaka i jezera, onečišćenje vode, itd. Za kontrolu erozije vodom koriste se različite agronomske i inženjerske prakse. To su: nepoljoprivredna obrada tla, minimalna obrada, malčiranje¹, plodored², uzdužno poljoprivredno gospodarenje, kombinacija uzdužnog poljoprivrednog gospodarenja i plodoreda i na kraju, terasiranje³. No, potrebno je integrirati nekoliko metoda za učinkovitu kontrolu erozije tla (Towhid Osman, 2013).

¹ Malčiranje - predstavlja mjeru zastiranja zemljišta organskim ili anorganskim materijalima u cilju zaštite tla od negativnog utjecaja atmosferskih pojava (Izvor: <https://www.agroklub.com/povrcarstvo/malciranje-je-mjera-koja-cuva-kvalitetu-zemljišta/51071/>)

² Plodored - višegodišnji uzgoj različitih biljnih kultura na istome tlu pri čemu se kulture na plodorednim jedinicama izmjenjuju svake godine (Izvor: <http://struna.ihj.hr/naziv/plodored/17534/>)

³ Terasiranje - znači da se formiraju uže ili šire linije ravnog terena – terase, koje prate konture terena (Izvor: <https://www.perforum.info/terasiranje-strmog-poljoprivrednog-zemljišta/>)

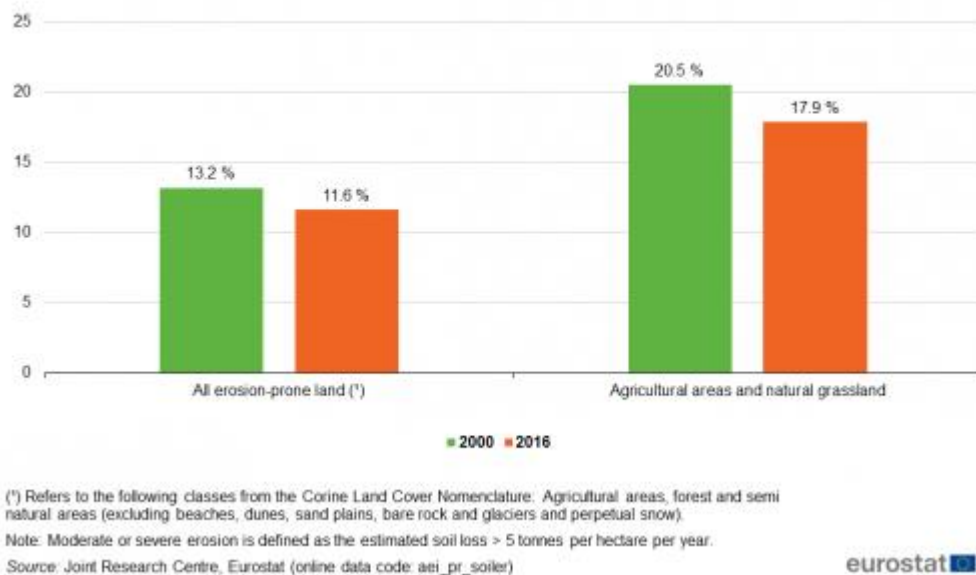


Slika 2-1. Vrste erozije tla vodom (Senanayake et al., 2020)

Erozija tla vodom jedan je od najraširenijih oblika degradacije tla u Europi. Procjenjuje se da je otprilike 11,6 % cjelokupnog zemljišta sklonog eroziji bilo pogođeno umjerenom ili jakim erozijom tla (više od 5 tona po hektaru godišnje) u 2016. u 27 država članica EU (Slika 2-2.). To se odnosilo na 43 milijuna hektara. Udio zemljišta u ovoj kategoriji smanjio se za 1,6 pp (postotnih bodova) za EU-27 od 2000. godine.

Poljoprivredna područja i prirodni travnjaci činili su više od 80 % cjelokupnog zemljišta sklonog eroziji pogođenog umjerenom ili jakim erozijom tla uzrokovanom vodom u EU-u 2016. To znači da je procijenjenih 17,9 % poljoprivrednih površina i prirodnih travnjaka bilo pogođeno, smanjenje od 2,6% od 2000. godine (Slika 2-2.). To smanjenje je rezultat poboljšanih praksi upravljanja koje su primijenjene za sprječavanje erozije tla, ali još uvijek je pogođeno oko 35 milijuna hektara.

Percentage of area affected by moderate or severe soil water erosion, 2000 and 2016, EU-27



Slika 2-2. Postotak površine zahvaćene umjerenom ili jakim erozijom tla vodom, 2000. i 2016., EU-27 (Izvor: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Agri-environmental_indicator_-_soil_erosion)

2.2. Erozijska vjetrom

Eolska erozija, poznata i kao erozija vjetrom, obično se javlja u suhim i polusušnim područjima širom svijeta. Osim ljudskih aktivnosti, na ovu vrstu erozije utječu klimatski čimbenici, prije svega vjetar, i pedološki čimbenici, posebno tekstura tla. Važno je napomenuti da erozija tla vjetrom rijetko se događa u prirodnim okruženjima sa zaštitnom vegetacijom (Kisić, 2017).

Posljedice erozije vjetrom su dvojake. S jedne strane, primjećuju se izravne posljedice na mjestu gdje se erozija vjetrom događa (Slika 2-3.). To se manifestira kroz odnošenje plodnog sloja tla (poznato kao deflacijski procesi) i rezultira smanjenjem plodnosti tla. Neizravne implikacije erozije vjetrom, koje također pridonose degradaciji kvalitete života, manifestiraju se univerzalno, točnije, na lokacijama gdje zračne struje prenose i

sedimentiraju čestice tla. (Tablica 2-1) (Kisić, 2017).



Slika 2-3. Posljedice erozija tla vjetrom na mjestu događaja (Kisić, 2017)

Tablica 2-1. Posljedice erozije vjetrom na mjestu pojave i izvan mjesta pojave (Kisić, 2017)

Na mjestu pojave	Izvan mjesta pojave
<p>Degradacija tla</p> <ul style="list-style-type: none"> - lakše (sitnije) čestice tla su odnesene, a na površini ostaju krupnije čestice, - gubitak organske tvari i hranjivih tvari, - smanjenje kapaciteta tla za vodu, - narušavanje strukture tla, - promjene reakcije tla i smanjenje bioraznolikosti. 	<p>Kratkotrajno djelovanje</p> <ul style="list-style-type: none"> - smanjenje vidljivosti, ugrožavanje sigurnosti u prometu, - odlaganje čestica tla na prometnice, u kanale, na živice i sl., - taloženje prašine na građevinske objekte, automobile, javne površine itd., - penetriranje prašine u građevinske površine, strojeve i sl., - smanjenje vitalnosti poljoprivrednih i šumskih biljaka uslijed odlaganja prašine.
<p>Oštećenja abrazijom</p> <ul style="list-style-type: none"> - mehanička oštećenja biljke koja uzrokuju smanjenje kvalitete i kvantitete prinosa, - infekcija usjeva uslijed prodiranja patogena u biljku, - potenciranje emisije prašine uslijed nataloženog sloja na površini tla, - otežano disanje biljaka. 	<p>Dugotrajno djelovanje</p> <ul style="list-style-type: none"> - prodiranje prašine i njezinih konstitutivnih dijelova u dišni sustav, što uzrokuje dišne probleme i veću vjerojatnost pojave bolesti dišnog sustava, - udisanje ili upijanje biljaka i životinja putem dišnog sustava onečišćenog zraka, što uzrokuje nižu kvalitetu hrane i sirovina za hranu, - taloženje potencijalno onečišćenoga nanosa organskim i anorganskim onečišćenjima na tlo, - fizikalno, kemijsko i biološko onečišćenje površinskih voda, - povećanje eutrofikacije površinskih voda.

<p>Ostala oštećenja</p> <ul style="list-style-type: none"> - izvor zaraza usjeva bolestima i štetnicima susjednih parcela, - akumulacija nanesenoga materijala na obradivoj površini, - nakupljanje nanesenoga materijala na krajevima parcela ili u kanalima, - totalno ili djelomično zatrpavanje biljaka nanesenim materijalom. 	
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

Emisija prašine kao posljedica erozije vjetrom predstavlja glavni izvor aerosola koji ima direktni ili indirektni utjecaj na ravnotežu atmosferske radijacije, a time i na globalne klimatske promjene. Osim toga, emisija prašine izazvana erozijom vjetrom ima ozbiljne posljedice na zdravlje ljudi i gospodarske aktivnosti. Sustav disanja biljaka, životinja i ljudi posebno je ugrožen zbog ovog problema. Erozijska vjetrom uzrokuje odnošenje finih mineralnih čestica tla i organske tvari, što predstavlja najplodniji dio tla koji sadrži primijenjene agrokemikalije (Slika 2-4.) (Kisić, 2017).



Slika 2-4. Posljedice erozija tla vjetrom izvan mjesta događaja (Kisić, 2017)

U prošlosti, erozija vjetrom kao proces degradacije tla bila je zanemarena u Europi, uključujući i Hrvatsku. Međutim, u posljednjim desetljećima, zbog sve većih problema koje izaziva i negativnih utjecaja izvan područja događanja, posvećena joj je veća pažnja. Prepoznata je kao proces koji dovodi do postupnog smanjenja plodnosti tla i onečišćenja okoliša (Kisić, 2017).

2.3. Dosadašnja istraživanja erozije na području Banovine

Erozija tla na području Banovine predstavlja ozbiljan problem koji je zahvatio tu regiju. Nakon razornog potresa koji je pogodio područje Banovine 2020. godine, došlo je do oštećenja tla i formiranja erozijskih procesa. Obilne kiše, nedostatak vegetacije i promjene u hidrološkim uvjetima doprinose ubrzanju erozije.

Erozija tla na Banovini rezultirala je značajnim gubitkom plodnog tla i smanjenjem poljoprivredne produktivnosti. Preporučuje se primjena tehnika konzervacije tla poput izgradnje terasa, zaštite vodotoka i šuma te sadnje stabala kao dugoročne mjere za sprječavanje erozije.

Erozija tla na području Banovine suočava se s izazovom ograničene dostupnosti relevantnih izvora i istraživanja, što značajno otežava temeljito razumijevanje i pravilno upravljanje ovim problemom. S obzirom na ozbiljnost ekoloških i geoloških aspekata erozije tla, teško je pronaći obimne i specifične studije posvećene Banovini. Trenutačno dostupni izvori o eroziji tla na Banovini su rijetki, a to stvara potrebu za jačim akademskim i istraživačkim naporima kako bi se popunila ova informacijska praznina.

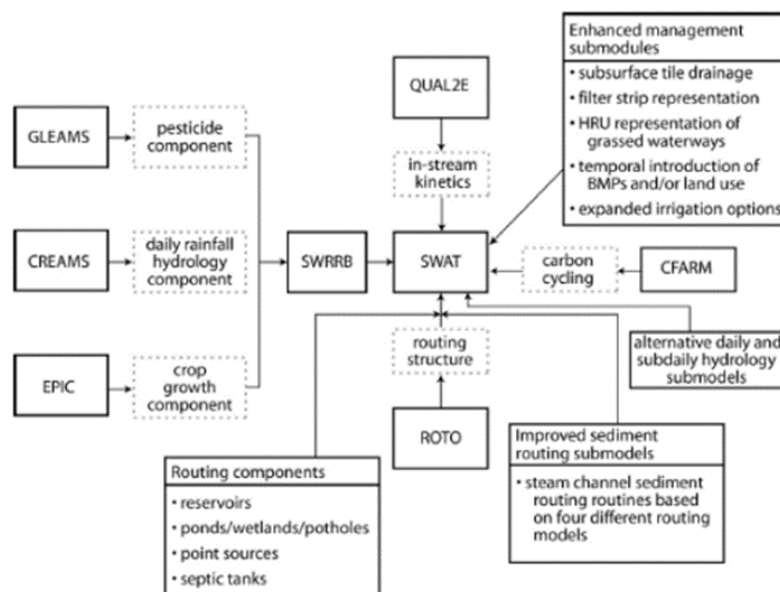
3. SWAT METODA

SWAT (eng. *The Soil & Water Assessment Tool*) model je riječnog sliva koji su ranih 1990-ih razvili Ministarstvo poljoprivrede SAD-a – Služba za poljoprivredna istraživanja (USDA-ARS) i istraživački centar AgriLife Blackland Sveučilišta Texas A&M. Model je razvijen za istraživanje i simulaciju hidrologije vode u složenim riječnim slivovima gdje su vodni resursi pod utjecajem korištenja zemljišta, upravljanja zemljištem i klimatskih promjena tijekom dugih vremenskih razdoblja. SWAT je *opensource* i fizički je temeljen model koji zahtijeva specifične informacije o tlu, korištenju zemljišta, vremenu i upravljanju slivom. Prednosti ovog pristupa omogućuju simulacije podataka koji nedostaju kao što je mjerenje struje ili temperature i kvantifikaciju ulaznih promjena kao što je klima. SWAT koristi dnevne i satne vremenske korake, koji su vremenski kontinuirani i kojima se manipulira u GIS sučelju. Kontinuirani model omogućuje dugoročno praćenje sliva i ne ograničava vremenski okvir budućih simulacija. Ovi dnevni i satni vremenski koraci sastoje se od prosječnih mjerenja srednje količine padalina, minimalne i maksimalne temperature i mjerenja srednjeg protoka (Hari & Reddy, 2018).

SWAT koristi visoku razinu prostornih detalja. Ovaj detalj uključuje korištenje planinskih procesa za hvatanje heterogenosti sliva. Međusobno povezani procesi koje uključuje SWAT su vrijeme, hidrologija, sedimentacija, rast biljaka, kruženje nutrijenata, dinamika pesticida i upravljanje. Prostorni detalji hidrologije uključuju skladištenje krošnjama, infiltraciju, preraspodjelu, evapotranspiraciju, bočno podzemno strujanje, površinsko otjecanje, jezerca i močvare te gubitke u prijenosu. SWAT je računalno učinkovit, može obraditi neograničen broj podjela slivova i može simulirati buduće scenarije na temelju inputa okoliša. SWAT je široko korišten model, a Agencija za zaštitu okoliša (EPA, eng. *Environmental Protection Agency*) odabrala ga je kao jedan od modela za uključivanje u pakete modela *Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources* (BASINS). Trenutačni SWAT model dio je tekućih usluga modela koje pruža USDA-ARS tijekom posljednjih 30 godina i postoje mnoge komponente SWAT-a koje su proizašle iz drugih modela. Modeli uključuju model utjecaja opterećenja podzemnih voda sustava upravljanja poljoprivredom (GLEAMS, eng. *Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems*), model kemikalija, otjecanja i erozije iz sustava upravljanja poljoprivredom (CREAMS, eng. *Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems*) i model integrirane klime politike zaštite okoliša (ERIC, eng. *Environmental Policy Integrated Climate*). Ova tri modela predstavljaju rana ispitivanja

hidrološkog modeliranja od strane USDA. Komponente iz svakog modela kombinirane su u model Simulator za vodne resurse u ruralnim bazenima (SWRRB). Rane verzije SWAT-a bile su izvedbe SWRRB (eng. *Simulator for Water Resources in Rural Basins*) modela koji je uključivao komponente iz modela *Routing Outputs to Outlet* (ROTO) i *Enhanced Stream Water Quality Model* (QUAL2E). Kasnije izmjene u ranim 2000-ima uključivale su unose kruženja ugljika iz modela C-FARM kao i uključivanje *ArcGIS* platforme za stvaranje *ArcSWAT*-a (Arnold et al., 2012).

Kao model s otvorenim kodom, razvoj SWAT-a je imao koristi od zajednice korisnika i programera koji su stvorili alate za kalibraciju i validaciju modela SWAT. SWAT-CUP je jedan od tih alata koji je dostupan korisnicima SWAT-a. SWAT-CUP omogućuje korisnicima da odaberu različite algoritme kako bi omogućili analizu osjetljivosti, kalibraciju, validaciju i analizu nesigurnosti modela. SWAT-CUP4 povezuje algoritme i postupke *GLUE*, *ParaSol*, *SUF2*, *MCMC* i *PSO* za ovu primjenu. Najnovija verzija SWAT-a je SWAT2012 rev. 664, objavljena 23. prosinca 2016. Za pokretanje modela koristi se *ArcGIS* i distribuirano se na web stranici SWAT-a: (<http://swat.tamu.edu/>) (Hari & Reddy, 2018). Slika 3-1. prikazuje povijest i razvoj modela SWAT.



Slika 3-1. Povijest i razvoj SWAT modela (Arnold et al., 2012)

3.1. Pregled povijesnog razvoja SWAT-a

SWAT je prošao značajna poboljšanja od svog nastanka 1990-ih godina. Gassman i Wang (2015) iznijeli su neka od tih poboljšanja:

- SWAT94.2: Uključene su višestruke hidrološke jedinice (HRU); razvijena je komponenta podzemnih voda; dodan je model rasta usjeva EPIC; dodan je jezik naredbi za usmjeravanje; sučelje modela SWRRB i ROTO.
- SWAT96.2: Dodane su opcije za automatsko gnojenje i navodnjavanje; pohranjivanje vode u krošnji; potprogram za rast usjeva s CO₂; opcija potencijalne evapotranspiracije (ET) prema Penman-Monteithu; protok vode u bočnom smjeru kroz tlo temeljen na kinematičkom modelu pohrane; dodane jednadžbe kvalitete vode u vodotoku prema QUAL2E i usmjeravanje pesticida u vodotoku.
- SWAT98.1: Poboljšani su potprogrami otapanja snijega; poboljšana je kvaliteta vode u vodotoku; prošireni su potprogrami za kruženje hranjivih tvari; dodane su opcije ispaše, gnojidbe stajskim gnojem i odvodnje putem drenažnih cijevi; model je modificiran za korištenje na južnoj hemisferi.
- SWAT99.2: Poboljšani su potprogrami za kruženje hranjivih tvari, poboljšane potprogrami za rižu/vlažna područja, dodano uklanjanje hranjivih tvari iz rezervoara/jezera/vlažnih područja taloženjem; dodano pohranjivanje vode u obalnom području.
- SWAT2000: Dodani su potprogrami prijenosa bakterija; dodano infiltriranje prema Green & Amptu; poboljšani su generator vremenskih podataka; dodana je Muskingumova metoda usmjeravanja s neograničenim brojem rezervoara; sve metode potencijalne ET su ažurirane; poboljšani su procesi na visinskim pojasevima; izračuni mirovanja modificirani su za ispravnu simulaciju u tropskim područjima; svi dnevni klimatski podaci mogu se čitati ili generirati.
- SWAT2005: Poboljšani su potprogrami prijenosa bakterija; dodani su scenariji vremenske prognoze; dodan je generator oborina na poddnevnoj razini; rast šuma do zrelog stanja, softver SWAT-CUP i nova opcija za simuliranje stajaće vode; metoda krivulje odvodnje temeljene na ET-u; poboljšani potprogrami prijenosa sedimenata, opcija kontinuirane primjene stajskog gnoja.
- SWAT2009: Poboljšani su potprogrami prijenosa bakterija; dodani su scenariji vremenske prognoze; dodan je generator oborina na poddnevnoj razini; parametar

zadržavanja koji se koristi u dnevnom izračunu CN-a može biti funkcija sadržaja vode u tlu ili evapotranspiracije biljaka; ažuriran je model pojasa vegetativnih filtera; poboljšano je taloženje nitrata i amonijaka na suhu i mokru površinu; modeliranje sustava za pročišćavanje otpadnih voda na lokaciji.

- SWAT2012: Uključeno je usmjeravanje protoka i sedimenata preko krajolika unutar podsliva; sedimentno-filtracijski bazeni i druge vrste urbanih praksi; operacije upravljanja za uklanjanje ostataka usjeva; poboljšani algoritmi za uklanjanje ostataka usjeva; poboljšano prikazivanje procesa rasta *mischantus*-a (kineska trska) i *switchgrass*-a (divlji proso); algoritmi koji prikazuju topljenje glečera i druge procese glečera; proširenje pristupa bazičnog protoka s jednim rezervoarom dodavanjem spororeagirajućeg rezervoara; druga komponenta podzemne odvodnje s poboljšanim ciklusima fosfora u tlu i vodotoku; modifikacije za tropske uvjete, senescenciju⁴ i poboljšani algoritmi za rast stabala.

3.2. Teorijski opis SWAT modela

Za potrebe modeliranja u programu SWAT, sliv je podijeljen na nekoliko podslivova ili podpodslivova. Ulazne informacije za svaki podpodsliv grupirane su u sljedeće kategorije: klima, hidrološke jedinice odgovora (HRU, eng. *hydrologic unit response units*), ribnjaci/močvare, podzemne vode i glavni tok. HRU-ovi su skupine zemljišnih površina unutar podpodsliva koje se sastoje od jedinstvene pokrivne površine, tla i kombinacija upravljanja. Model SWAT djeluje na dnevnoj razini za svaku hidrološku jedinicu temeljem jednadžbe ravnoteže vode (Hari & Reddy, 2018):

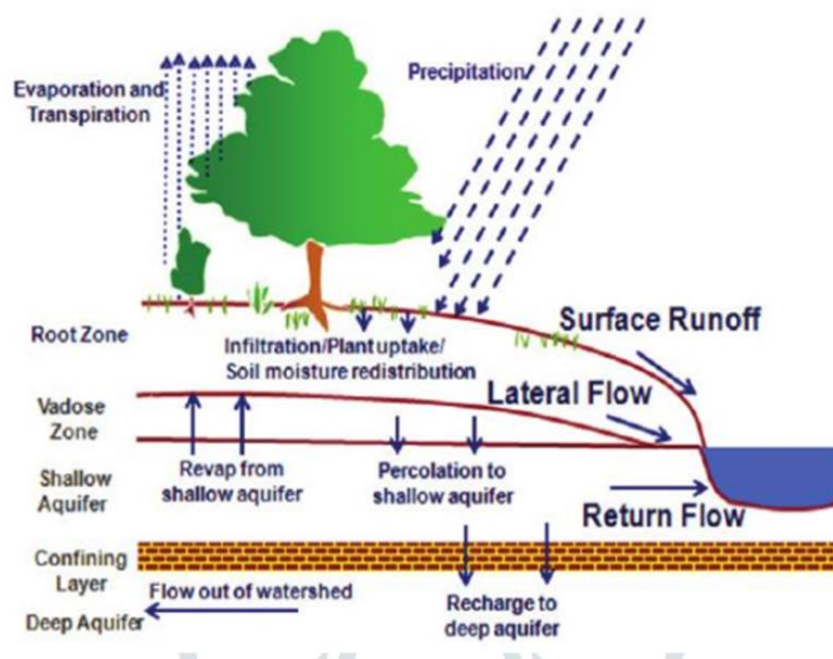
$$SW_t = SW_0 + \sum R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_g \quad (3-1)$$

Gdje je SW_t konačni sadržaj vode u tlu, SW_0 početni sadržaj vode, t je vrijeme u danima, R_{day} je količina oborina, Q_{surf} je količina površinskog otjecanja/ispusta, E_a je količina evapotranspiracije (ET), W_{seep} je količina vode koja ulazi u vadoznu zonu, a Q_g je količina povratnog toka (sve komponente u danu i). Za izračunavanje navedenih komponenti potrebni su i drugi ulazni podaci kao što su DEM, klasifikacija korištenja zemljišta, tla, dnevne oborine, maksimalna i minimalna temperatura, solarna radijacija, relativna vlažnost, brzina vjetera, dnevni protok, sediment, isporuka hranjivih tvari, podaci o

⁴ senescencija (prema lat. *senescere*: starjeti) → starenje (Izvor: <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=69425>)

primjeni gnojiva i pesticida, izvori točkastog onečišćenja i prakse upravljanja (Hari & Reddy, 2018).

Simulacija hidrologije ili hidrološkog ciklusa podijeljena je u dva dijela: faza zemlje i faza vode (faza usmjeravanja). Faza zemlje kontrolira unos količine vode, sedimenta i hranjivih tvari, dok druga faza definira kretanje vode, sedimenta i hranjivih tvari kroz kanal HRU-ova ili izlaze sliva. Slika 3-2. prikazuje shemu hidroloških procesa koje simulira SWAT. Hidrološki ciklus simuliran pomoću SWAT-a temelji se na jednadžbi ravnoteže vode koja je ranije navedena (na dnevnoj osnovi) (Hari & Reddy, 2018):



Slika 3-2. Shematski prikaz hidroloških procesa simuliranih u programu SWAT (Hari & Reddy, 2018)

3.3. Ključni procesi i algoritmi koji se koriste u SWAT-u

Ključni procesi i algoritmi koji se koriste u SWAT-u su sljedeći (Hari & Reddy, 2018):

- Klima: Generator vremenskih podataka WXGEN ili korisnikov unos
- Hidrologija: Intercepcija krošnje, otjecanje (SCS krivuljni broj), infiltracija (Green-Ampt),
- Evapotranspiracija (Penman-Monteith, Priestley-Taylor ili Hargreaves Samani)

- Pokrivenost tla/Rast biljaka: MRLC, NLCD ili korisnički definirano, uzimanje vode i hranjivih tvari, baza podataka o rastu usjeva i biljaka
- Erozija: MUSLE koristeći vršnu brzinu otjecanja
- Hranjiva: Ciklus dušika i fosfora
- Poljoprivredno upravljanje: sjetva, obrada tla, navodnjavanje, gnojidba, upravljanje pesticidima, ispaša i žetva. SWAT također omogućuje automatsko gnojenje i automatsko navodnjavanje.
- Upravljanje urbanih područja: Pristup izgradnje i ispiranja
- Usmjeravanje: Varijabilno usmjeravanje ili Muskingumova metoda usmjeravanja
- Prijenos sedimenata: Temelji se na protoku vodotoka, a razne jednadžbe se koriste za izračun koncentracije i prijenosa sedimenata.

3.4. Moduli i resursi SWAT-a

Važni moduli i resursi SWAT-a su sljedeći (Hari & Reddy, 2018):

- ArcSWAT: Proširenje *ArcGIS-ArcView* i grafičko korisničko sučelje za unos podataka u SWAT.
- Globalni meteorološki podaci za SWAT: Omogućuje preuzimanje dnevnih podataka Climate Forecast System Reanalysis (CFSR) (oborina, vjetra, relativne vlažnosti i sunčeve radijacije) u SWAT formatu za određenu lokaciju i vremensko razdoblje.
- QSWAT: GIS sučelje koje povezuje SWAT s besplatnim GIS softverom otvorenog kôda QGIS.
- SWAT-CUP: Omogućuje analizu osjetljivosti, kalibraciju, provjeru valjanosti i analizu nesigurnosti SWAT modela.
- SLEEP: Alat koji pomaže korisnicima SWAT-a generirati bazu podataka o tlu na području podsliva na temelju terenskih promatranja ili postojećih karti tla.
- SWAT2012: Dokumentacija o ulaznom/izlaznom datotekama SWAT-a pregledava sve procese simulirane modelom i pruža definicije svih ulaznih varijabli. Nužna za početak rada sa SWAT-om.
- SWAT-MODFLOW: Integrirani hidrološki model koji povezuje procese površine zemlje SWAT-a s prostorno eksplicitnim procesima podzemne vode.
- MWSWAT: Otvoreno sučelje za SWAT, sastavljeno od GIS sustava *MapWindow* i sučelja *Map Window-SWAT*.

- VIZSWAT: GIS baziran alat za vizualizaciju i analizu podataka koji animira vremenske nizove i prostorne podatke na GIS kartama s impresivnom brzinom prikaza. Analitičke funkcije uključuju agregaciju vremenskih nizova, osnovnu statistiku, korelaciju, frekvenciju, analizu baznog protoka i trajanje protoka.
- AVSWAT: (*ArcView* SWAT) je potpuni preprocesor, sučelje i postprocesor za SWAT. Korisnički prijateljski alat za procjenu i kontrolu poljoprivrednih i urbanih izvora onečišćenja voda na razini sliva.
- Preglednik rezultata SWAT-a: Alat za brzi pregled i analizu rezultata SWAT modela u pokretu.
- *SWAT Check*: Čita izlazne podatke modela iz SWAT projekta i provodi mnoge jednostavne provjere kako bi identificirao moguće probleme modela.
- Program za filtriranje baznog protoka: Procjenjuje bazni protok i napajanje podzemnih voda na temelju zapisa o protoku rijeka.
- Program za potencijalne toplinske jedinice: Procjenjuje broj toplinskih jedinica potrebnih da se biljka dovede do zrelosti.

3.5. Mogućnosti, komponente te prednosti i nedostatci SWAT modela

Moguće je proučavati slivove površine nekoliko tisuća četvornih milja, ali ih je potrebno podijeliti kako bi se uzela u obzir razlika u tlu, korištenju zemljišta, usjevima, topografiji, vremenskim uvjetima itd. SWAT prihvaća rezultate iz APEX-a (eng. *Agricultural Policy/Environmental eXtender*) kao i mjerenih podataka i izvore točaka. Moguće je modelirati slivove za koje nisu dostupni podaci praćenja i generirati utjecaje promjena u upravljanju i klimi (Hari & Reddy, 2018).

SWAT komponente su sljedeće (Hari & Reddy, 2018):

- Meteorološki ulazi
 - Oborine, solarna radijacija, temperatura, relativna vlažnost i brzina vjetra
 - Mogu se izmjeriti ili generirati.
- Hidrologija
 - Simulira presretanje oborina krošnjom, podjelu oborina i otapanje snijega.
 - Simulira podjelu vode između površinskog otjecanja i infiltracije, redistribuciju vode unutar profila tla, evapotranspiraciju, lateralni protok podzemnih voda iz profila tla, povratni protok iz plitkih vodonosnika i punjenje dubokih vodonosnika.

- Rast biljaka
 - Ulazi: svojstva tla, operacije upravljanja i meteorološke varijable
 - Procjenjuje prinose usjeva i izlaz biomase za različite plodorede, travnjake/pašnjake i drveće
 - Simulira rast šuma od sadnice do zrele biljke
 - Simulira sjetvu, žetvu, obradne prolaze, primjene hranjiva i primjene pesticida za svaki sustav uzgoja s određenim datumima ili pristupom na temelju termičkih jedinica
- Bakterije i patogeni
 - Simulira opterećenje bakterijama i patogenima putem površinskog otjecanja u otopljenoj i erozijskoj fazi
- Simulacije hranjiva i pesticida
 - Miješanje ostataka i biološko miješanje kao odgovor na svaku obradnu operaciju
 - Primjene dušika i fosfora u obliku anorganskog gnojiva i/ili gnoja
 - Uklanjanje biomase i deponiranje gnoja kod ispaše
 - Kontinuirana primjena gnojiva kod zatvorenih hranidbenih operacija
 - Vrsta, količina, vrijeme primjene, učinkovitost primjene i postotak primjene na listove ili tlo kod primjene pesticida
 - Uzima u obzir sudbinu i transport pesticida putem degradacije/gubitaka isparavanjem i ispiranjem
 - Usmjerava opterećenja/koncentracije sedimenata, hranjiva, pesticida i bakterija kroz kanale, ribnjake, močvare, odvodna područja i/ili rezervoare do izlaza sliva
- Simulacije upravljanja zemljištem
 - Konzervacijske prakse poput terasa, prugašenja⁵, prugašenja prema konturama, travnatih površina za odvodnju i konzervacijske obrade tla
 - Navodnjavanje poljoprivrednih površina iz izvora poput rijeke, rezervoara, plitkog vodonosnika ili izvora izvan sliva

Prednosti i nedostaci SWAT modela navedeni su u tablici 3-1.

⁵ Prugašenje predstavlja tehniku koja koristi obrasle pruge ili uske trake zemljišta između usjeva kako bi se smanjilo otjecanje površinske vode, erozija tla i gubitak hranjiva (Izvor: <https://www.agrivi.com/hr/>)

Tablica 3-1. Prednosti i nedostaci SWAT modela (Hari & Reddy, 2018)

PREDNOSTI SWAT MODELA	NEDOSTATCI SWAT MODELA
Fizički temeljen	Nije namijenjen za pojedinačne olujne događaje.
Dobro dokumentiran	Može simulirati samo konzervativne metalne vrste iz izvora točkastog unosa
Može se koristiti unutar GIS sučelja	Može usmjeriti samo jedan pesticid kroz mrežu vodotoka u jednom trenutku
Računalno učinkovit	Ne može precizno odrediti stvarne površine na kojima se primjenjuju gnojiva
Većina ulaznih podataka lako je dostupna	Veliki sliv može biti podijeljen na stotine hidroloških jedinica (HRU) koje mogu biti teške za upravljanje.
Omogućava korisnicima proučavanje dugoročnih utjecaja	
Moguće je modelirati slivove koji nemaju podatke o praćenju	

3.6. Opća primjena SWAT modela

Opća primjena SWAT modela uključuje procjenu (Hari & Reddy, 2018):

- Učinkovitosti konzervacijskih praksi u okviru programa za procjenu učinaka konzervacije USDA (CEAP)
- Utjecaja klimatskih promjena na:
 - razvoj biljaka i transpiraciju uslijed povećanja koncentracija ugljičnog dioksida u atmosferi
 - rast biljaka, protok u vodotocima i druge reakcije na promjene u klimatskim uvjetima
- Utjecaja povijesnih klimatskih trendova u odnosu na projekcije budućih klimatskih promjena na hidrologiju, eroziju i gubitak onečišćivača
- Utjecaja upotrebe zemljišta i upravljanja zemljištem na procjene ponovnog punjenja na razini sliva
- Utjecaja promjena u upotrebi zemljišta na hidro-sedimentološke karakteristike rijeka
- Ekonomskih i ekoloških koristi konzervacijskih praksi

- Sudbine i transporta bakterija na razini slivnog područja
- Hidrološkog modeliranja slivova
- Protoka i kemijskih varijabli za razvoj ekoloških pokazatelja u vodenim ekosustavima
- Obrazaca tla i vode u malim slivovima
- Procjene kumulativnog zimskog protoka vodotoka i protoka izvora u proljeće
- Pretvorbe u močvarna područja
- Predikcija opterećenja sedimentima na različitim razinama sliva
- Predikcija kretanja pesticida i hranjiva
- Utjecaja alternativne upotrebe zemljišta, najboljih praksi upravljanja i drugih čimbenika na uklanjanje onečišćivača
- Utjecaja protoka u vodotocima kao odgovor na povijesne promjene u upotrebi zemljišta u usporedbi s hipotetskim promjenama u upotrebi zemljišta.

4. GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI SUSTAV (GIS)

Geografski informacijski sustav (GIS), poznat i kao prostorni informacijski sustav, je napredan alat koji omogućuje stvaranje, upravljanje, analizu i kartiranje raznovrsnih podataka. Ovaj integrirani sustav ima sposobnost povezivanja, spremanja, uređivanja, analiziranja i vizualizacije prostornih informacija. Primarni cilj GIS-a je povezati podatke s geografskom kartom, omogućavajući istovremeno integraciju informacija o lokaciji s opisnim atributima. Ova tehnologija ima izuzetno važnu ulogu u mapiranju i analizi prostornih podataka, te se sve više koristi u raznim znanstvenim disciplinama i gotovo svim industrijskim sektorima (ESRI, 2023a).

Iz opisa GIS-a dolaze do izražaja njegove brojne prednosti u usporedbi s klasičnom kartografijom. GIS se ističe zbog svoje sposobnosti pohrane velikih količina podataka, omogućujući izvođenje detaljnih prostornih analiza te pružajući korisnicima mogućnost prikaza analiza i informacija na način koji je prilagođen njihovim potrebama (Pavić, 2012).

GIS je visoko atraktivna informatička disciplina koja je postala neizostavna u suvremenom svijetu. Kao relativno mlada i multidisciplinarna tehnologija, GIS je doživio iznimno brz razvoj u proteklih trideset godina. Sustav se usredotočuje na sveukupni zemaljski prostor s ciljem unapređenja učinkovitog upravljanja, obuhvaćajući litosferu, hidrosferu, biosferu i atmosferu. Ova tehnologija obuhvaća širok raspon područja, kao što su geodezija, geologija, poljoprivreda, šumarstvo, vodoprivreda, promet, ekologija, oceanografija, meteorologija i mnogi drugi. Također se primjenjuje u područjima kao što su daljinska istraživanja, vojne primjene, istraživanje nafte, lokalna uprava i zaštita okoliša (Perković, 1998).

GIS pruža korisnicima mogućnost organizacije prostornih podataka u tematske slojeve, omogućujući im odabir specifičnih podataka prema njihovim potrebama. U prostornim analizama, GIS omogućuje prikaz podataka koji prikazuju promjene u vremenu i prostoru. Kvaliteta prikaza informacija i prostornih analiza u GIS-u ovisi o kvaliteti prostornih podataka i pripadajućim atributima, kao i o njihovoj količini i općoj kvaliteti. Za korištenje GIS-a, prostorni podaci i informacije moraju biti digitalno predstavljeni, što se postiže digitalizacijom analognih podataka ili direktnim mjerenjem. Digitalno obrađeni podaci se pohranjuju u baze podataka koje omogućuju izvođenje prostornih analiza (Pavić, 2012).

Radi zadovoljenja potreba GIS-a, provodi se prikupljanje podataka koje zatim koristimo za modeliranje, analizu i vizualizaciju. Razvoj GIS-a može se podijeliti na četiri ključne faze:

- Unos podataka u GIS (proces prikupljanja podataka)
- Tematsko modeliranje (preklapanje GIS slojeva)
- Prostorne operacije (prostorna analiza)
- Prikazivanje rezultata (vizualizacija) (Grgurić, 2020)

4.1. Povijest GIS-a

Počeci geografskih informacijskih sustava sežu u 1960. godinu kada je Roger Tomlinson stvorio prvi pravi GIS pod nazivom CGIS (*Canadian GIS*), postavši tako pionir u tom području. Tomlinson je revolucionirao analizu geografskih podataka predlažući upotrebu računalnih metoda za obradu velikog broja karata, s ciljem identifikacije optimalnih lokacija za plantaže u istočnoj Africi te za cjelovitu inventarizaciju zemljišta diljem Kanade. Njegov inovativan pristup uključivao je razvoj valjkastog skenera za brzu digitalizaciju karata te primjenu topološkog kodiranja granica koristeći koncept čvorova i linija. Osnivanjem Komisije za prikupljanje i obradu geografskih podataka pri Međunarodnoj geografskoj uniji 1968. godine, Tomlinson je postao njen prvi predsjednik, čime je zacementirao svoj izuzetan doprinos razvoju GIS-a (Perković, 1998).

1965. godine, arhitekt Howard Fisher osnovao je laboratorij za digitalnu grafiku i prostorne analize na sveučilištu Harvard u Sjedinjenim Američkim Državama. Ubrzo nakon toga, razvijen je SYMAP (eng. *Synergistic Mapping*), programski paket namijenjen izradi tematskih zemljovida pomoću brzih pisaa. Godine 1967., Zavod za statistiku započeo je obradu prostornih podataka, što je dovelo do stvaranja baza podataka TIGER i GBF. GBF je bio topološki strukturirana baza podataka koja je sadržavala prikaz cestovne mreže jezgre metropolitanskog područja. Nakon uspješnog pilot-projekta, započela je digitalizacija geografskih zemljovida Sjedinjenih Američkih Država, pri čemu su ceste, željeznice, vode i ostali linijski objekti digitalizirani ili skenirani. Tijekom ovog procesa, koji je zaključen 1987. godine, stvorena je baza podataka pod nazivom *Digital Line Graph* (DLG), koja se i danas smatra najvećim civilnim GIS projektom (Perković, 1998).

1969. godine, Jack Dangermond je osnovao tvrtku ESRI (*Environmental Systems Research Institute*), koja se posvetila digitalnoj grafici i konzultantskim uslugama u području zaštite okoliša. Značajni trenutak u razvoju geografskih informacijskih sustava bio je 1982. godine kada je predstavljena prva verzija programa ARC/INFO, koji je postao ključni alat u tom području. Važno je također spomenuti tvrtku INTERGRAPH, koja je osnovana 1969. godine pod vodstvom Jima Medlocka, te je dala značajan doprinos razvoju GIS-a. INTERGRAPH je specijaliziran za razvoj računalne grafike za razne industrije, infrastrukturne sustave i ostala područja koja zahtijevaju kartografske proizvode na računalu (Perković, 1998).

Prvi koraci u organiziranoj primjeni GIS-a u Hrvatskoj ostvareni su 1988. godine kada su nekoliko institucija iz Hrvatske i Slovenije, u suradnji sa sektorom INA-INFO, započele rad na tom projektu. GIS tehnologija je danas prisutna u mnogim institucijama različitih profila, a primjena GIS-a na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu datira još od 1992. godine (Perković, 1998).

U suvremenom dobu, GIS pruža ljudima jedinstvenu mogućnost stvaranja digitalnih kartografskih slojeva kako bi rješavali raznolike probleme koji se javljaju u njihovom okruženju. On se razvio u sveobuhvatnu bazu podataka svijeta, gdje stotine tisuća organizacija svakodnevno dijele svoje radove i generiraju bilijune karata kako bi prenijele svoju jedinstvenu priču. Zahvaljujući prijelazu na web i integraciji s informacijama u stvarnom vremenu preko interneta, GIS je postao temeljna platforma koja podržava gotovo svaki aspekt ljudskih nastojanja. U današnjem svijetu, GIS igra sve značajniju ulogu u razumijevanju i rješavanju problema s kojima se suočavamo u svakodnevnom životu (ESRI, 2023b).

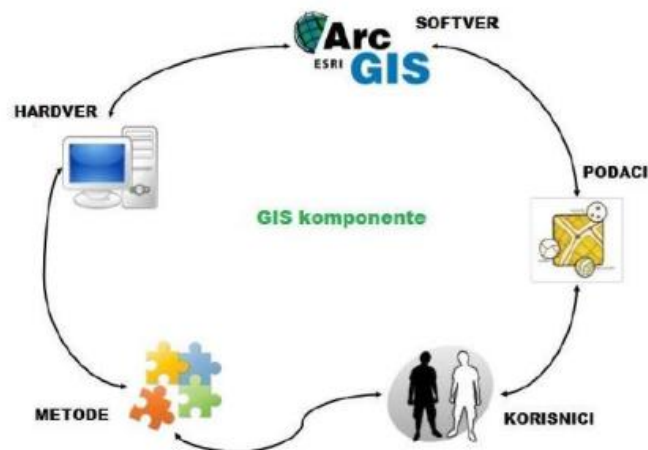
4.2. Dijelovi GIS-a

Računalno podržana kartografija (eng. *computer-aided cartography*) i računalno podržano oblikovanje (eng. *computer-aided design - CAD*) su imali značajan utjecaj na razvoj današnjih Geografskih informacijskih sustava (GIS). Progres informacijske tehnologije u području prostorne analize rezultirao je stvaranjem modernih GIS sustava. GIS se sastoji od sljedećih komponenti (Perković, 2010) (Slika 4-1.):

- Korisnici: Korisnici GIS-a obuhvaćaju različite profile, uključujući GIS specijaliste koji razvijaju i održavaju sustav, korisnike koji pregledavaju

podatke, korisnike koji unose podatke te naprednije korisnike koji koriste sve funkcionalnosti GIS softvera.

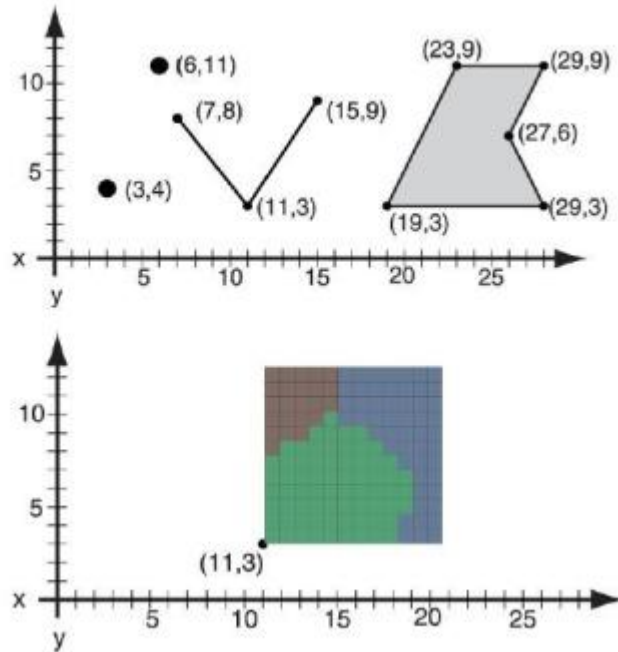
- Hardver: GIS softveri se mogu izvoditi na različitim hardverskim platformama, uključujući desktop računalima, prijenosnim računalima i serverima.
- Softver: GIS softver pruža funkcionalnosti i alate za prikupljanje, analizu i prikazivanje prostornih podataka. Ključne komponente uključuju alate za unos i obradu prostornih informacija, sustave za upravljanje bazama podataka, alate za prostorne upite, analizu i vizualizaciju te grafičko korisničko sučelje koje olakšava korištenje alata. Primjeri GIS softvera uključuju *ArcGIS Desktop*, *AutoCAD Map*, *MapInfo*, *QGIS*, *GeoMedia* i druge.
- Podaci: Podaci su najvažniji i često najskuplji dio GIS sustava. Mogu se dobiti konverzijom tradicionalne papirnatih dokumentacije u GIS-kompatibilne formate ili kupovinom već postojećih GIS podataka. Podaci mogu biti kartografski ili tablični.
- Metode: GIS kao sustav i tehnologija koristi šest osnovnih ugrađenih mogućnosti: prikupljanje, pohranjivanje, upravljanje, dohvat, analiza i prikaz podataka. Ove metode omogućavaju korisnicima obavljanje raznih operacija nad prostornim podacima.



Slika 4-1. Dijelovi GIS-a (Izvor: https://grindgis.com/blog/components-of-gis?utm_content=cmp-true)

Kako bismo osigurali uspješan rad geografskog informacijskog sustava (GIS), važno je postići ravnotežu između pet glavnih komponenti. Međutim, nijedna od tih komponenti ne može ispravno funkcionirati izolirano, a ljudi igraju ključnu ulogu u održavanju te ravnoteže. Uspostavljanje konkurentnog GIS-a zahtijeva angažman mnogih zaposlenika koji se bave različitim ulogama poput GIS menadžera, administratora GIS baza, GIS specijalista, analitičara i razvojnih inženjera. Edukacija zaposlenika je ključna jer su potrebne vještine za održavanje geografskih baza i pružanje tehničke podrške. Oni se mogu kategorizirati kao promatrači, korisnici i GIS specijalisti, ovisno o razini njihovog znanja i sposobnosti donošenja ispravnih odluka. Sve ove uloge su neophodne kako bi se osiguralo pravilno funkcioniranje GIS sustava i postigla njegova puna vrijednost (Grgurić, 2020).

Prostorni podaci u geografskim informacijskim sustavima (GIS) mogu se predstavljati u različitim oblicima, no u konačnici se svode na dva osnovna oblika: vektor i raster (Slika 4-2.). Vektorski podaci karakteriziraju jednostavnu mogućnost uređivanja i fleksibilnost u promjeni pripadajućih grafičkih i opisnih atributa. Osim uređivanja geometrije vektorskih podataka, moguće su i konverzije između različitih geometrijskih oblika, kao što su točke koje se pretvaraju u poligone, linije koje se pretvaraju u poligone ili točke koje se pretvaraju u linije. Ishodište vektorskih podataka smješteno je u lijevom donjem kutu crteža, pri čemu se vrijednosti koordinate X povećavaju udesno, a koordinate Y povećavaju prema gore. Rasterski podaci u GIS-u prikazuju se kao površine koje se sastoje od točkica, a te površine izgledaju kao poligonalne mreže različitih oblika i veličina. Rasterski GIS posebno je pogodan za statističku obradu te za analizu satelitskih i zračnih snimaka. Osnovni geometrijski element rasterskog GIS-a naziva se piksel (eng. *pixel - Picture Element*), a te poligonalne mreže često se nazivaju slikovnim matricama. Svaka točkica ili piksel ima svoje lokalne koordinate označene retkom i stupcem. Ishodište rastera smješteno je u lijevom gornjem kutu crteža ili datoteke, pri čemu se X vrijednosti povećavaju udesno, a Y vrijednosti povećavaju prema dolje. Vektorski i rasterski model podataka međusobno se nadopunjuju, a suvremena programska podrška omogućuje jednostavno pretvaranje podataka iz jednog oblika u drugi (Longley et al., 2004).



Slika 4-2. Vektorski i rasterski model podataka (Booth & Mitchell, 2001).

4.3. GIS softveri

U okviru ovog rada su analizirani najpoznatiji GIS softveri koji se široko koriste u industriji prostornih podataka, uključujući ESRI *ArcGIS* i QGIS. Za potrebe istraživanja i izrade ovog diplomskoga rada, poseban fokus je bio na *ArcMapu*, koji je ključni alat iz *ArcGIS* softverskog paketa razvijenog od strane ESRI-a.

4.3.1. ArcGIS

ArcGIS je napredni softver za geografske informacijske sustave (GIS) koji omogućuje rukovanje i analizu raznolikih geografskih podataka. Njegova snaga leži u mogućnosti vizualizacije geografskih podataka putem stvaranja slojeva na kartama, kao što su klimatski podaci ili trgovinski tokovi. Ovaj iznimno koristan alat koriste mnoge akademske institucije i odjeli, kako u humanističkim, tako i u znanstvenim studijama, za razvoj i prikazivanje inovativnih istraživanja. Također, *ArcGIS* je široko prihvaćen i od strane vlada različitih država, kao i privatnih institucija diljem svijeta.

ArcGIS je sveobuhvatni softverski sustav koji omogućuje generiranje geografskih podataka i njihovu široku dostupnost unutar organizacija, bez obzira radi li se o tvrtkama, ustanovama ili javno dostupnim na Internetu. On se ističe kao platforma koja omogućuje povezivanje, dijeljenje i analizu geografskih informacija na jednom mjestu.

ArcGIS, kao i mnogi drugi GIS softveri, omogućuje stvaranje mapa koje se sastoje od organiziranih kategorija, poznatih kao slojevi. Svaki sloj ima prostornu registraciju, što omogućuje pravilno preklapanje slojeva kako bi se stvorila kompleksna mapa podataka. Tipično, osnovni sloj je zemljopisna karta koja se dobiva iz različitih izvora, ovisno o potrebama vizualizacije (npr. satelitske snimke, karte prometnih mreža itd.). *ArcGIS* pruža širok izbor slojeva koji su dostupni korisnicima, uključujući i aktivne slojeve feed-a koji pružaju informacije poput detalja o prometu. Na taj način, korisnici mogu stvoriti mape s bogatim slojevima podataka za različite namjene i analize.

ArcGIS koristi koncept slojeva obilježja ili vektora za organiziranje podataka. Prva tri sloja su poznata kao slojevi obilježja ili vektori, a svaki od njih sadrži različite vrste geografskih entiteta, ovisno o platformi. Te entitete možemo podijeliti na sljedeće funkcije:

- Točke: Predstavljaju pojedinačne točke ili lokacije na mapi, poput orijentira ili zgrada.
- Linije: Ovi slojevi sadrže linije koje predstavljaju jednodimenzionalne entitete, kao što su ceste ili druge infrastrukturne sheme.
- Poligoni: Ovi slojevi obuhvaćaju dvodimenzionalne entitete i predstavljaju površine ili područja na mapi. Primjeri poligona uključuju političke granice ili zemljopisne popise.
- Rasterske slike: Ova vrsta sloja predstavlja temeljni vektorski sloj, kao što je zračna slika ili rasterizirani podaci.

ArcGIS je vodeća platforma u industriji geografske analize podataka i koristi se kao ključni paket aplikacija i alata. Veliki broj tvrtki, institucija i odjela koji se bave geografskom analizom oslanja se na ovaj softver. Njegova jednostavnost korištenja također je privukla veliku pozornost u medijima i novinarstvu, što je rezultiralo značajnim porastom upotrebe u tim područjima. *ArcGIS* je postao nezaobilazan alat za istraživanje, analizu i prikaz geografskih podataka, pružajući korisnicima snažne mogućnosti i intuitivno sučelje za rad s prostornim informacijama.

4.3.1.1. ArcMap

ArcMap je jedna od primarnih desktop GIS aplikacija uključenih u *ArcGIS Desktop* paket, zajedno s *ArcGIS Pro* (Slika 4-3.). Ova aplikacija omogućuje korisnicima stvaranje i uređivanje skupova podataka putem skupa slojeva i drugih elemenata na karti. Glavna svrha

ArcMap-a je istraživanje i prikazivanje GIS skupova podataka za odabrano područje istraživanja, kao i dodjeljivanje simbola i kreiranje izgleda karte za ispis ili objavljivanje. Prije ispisa ili objavljivanja, u *ArcMap-u* se mogu dodati različiti osnovni elementi karte, kao što su okvir, mjerilo, strelica smjera sjevera, naslov, legenda simbola, opisni tekst i drugi. Ovi elementi pružaju kontekst i dodatne informacije za čitatelje ili korisnike karte (ESRI, 2023c).

ArcMap je svestrana desktop GIS aplikacija koja se koristi za obavljanje različitih GIS zadataka, bilo da se radi o uobičajenim ili specijaliziranim zadacima prilagođenim specifičnim potrebama korisnika. Kroz ovu aplikaciju, korisnici mogu provoditi sljedeće radne procese:

- Rad s kartama: *ArcMap* omogućuje istraživanje informacija, navigaciju, upravljanje slojevima, izvršavanje upita za pristup atributnim podacima te vizualizaciju geografskih informacija.
- Ispisivanje karata i uređivanje GIS skupova podataka: Korisnici mogu ispisivati kartografske dokumente te sastavljati i uređivati GIS skupove podataka, uključujući automatizaciju geoprostornih baza podataka (geobaza).
- Geoprociranje: Moguće je izvršavati modele geoprociranja, pregledavati rezultate i raditi s njima putem vizualizacije na karti.
- Organizacija i upravljanje bazama podataka i *ArcGIS* dokumentima: Kroz prozor Katalog, korisnici mogu organizirati skupove podataka, geobaze podataka, karte, alate za geoprociranje i druge GIS informacije.
- Objavljivanje karata: *ArcMap* omogućuje objavljivanje kartografskih dokumenata u različitim oblicima usluga, koristeći *ArcGIS Server* ili *ArcGIS Online*.
- Dijeljenje karata, slojeva, modela geoprociranja i geobaza podataka s drugim korisnicima: Moguće je pakirati i dijeliti skupove podataka i karte putem *ArcGIS Online* ili *ArcGIS Enterprise* platformi.
- Dokumentiranje geografskih informacija i prilagođavanje korisničkog iskustva: Korisnici imaju mogućnost dokumentiranja geografskih informacija te prilagodbe alata i sučelja. Također, mogu pisati softverske dodatke kako bi proširili funkcionalnosti *ArcMap-a*, pojednostavili korisničko iskustvo ili automatizirali zadatke putem geoprociranja (ESRI, 2023c).

4.3.2. QGIS

Kao i druge GIS aplikacije, QGIS omogućuje korisnicima kreiranje mapa s raznolikim slojevima koji koriste različite projekcije karata. Korisnici mogu stvoriti mape u različitim formatima i za različite namjene. QGIS omogućuje kreiranje mapa koje sadrže vektorske i rasterske slojeve. Vektorski podaci mogu biti predstavljeni kao točke, linije ili poligoni, a podržani su različiti tipovi rasterskih slika. QGIS pruža korisnicima fleksibilnost u izradi mapa prema njihovim specifičnim zahtjevima te omogućuje integraciju različitih prostornih podataka.

Ovaj softver pruža niz korisnih značajki, uključujući:

- Georeferenciranje: za pravilno smještanje geografskih podataka (karte, slojevi itd.) u odabrani koordinatni sustav, omogućavajući njihovo preklapanje.
- Geokodiranje: za pretvaranje uličnih adresa u točke na karti putem proračunske tablice.
- Preklapanje: za postavljanje više karata ili slojeva u isti koordinatni sustav radi prikaza njihovih međusobnih odnosa.
- Analizu blizine: za odabir značajki na temelju njihovih prostornih odnosa prema drugim značajkama.
- Odabir po atributu: za odabir značajki na temelju njihovih atributa, slično kao kod upita u bazi podataka.
- Međuspremnik: za stvaranje zone oko značajke na temelju udaljenosti ili vremena.
- Analizu mreže: za pronalaženje udaljenosti putem mreže (npr. cesta, javni prijevoz) umjesto zračne linije.
- Pridruživanje: za povezivanje polja između različitih tablica temeljem zajedničkih atributa ili polja.
- Analizu vidokruga: za određivanje vidljivosti područja s određene lokacije.

QGIS je kompatibilan s operativnim sustavima *Windows*, *Mac OS X* i *Linux*, a postoji i širok raspon dodataka koji proširuju njegovu funkcionalnost.

5. PROSTORNO MODELIRANJE SWAT METODOM U ARCGIS SOFTVERU

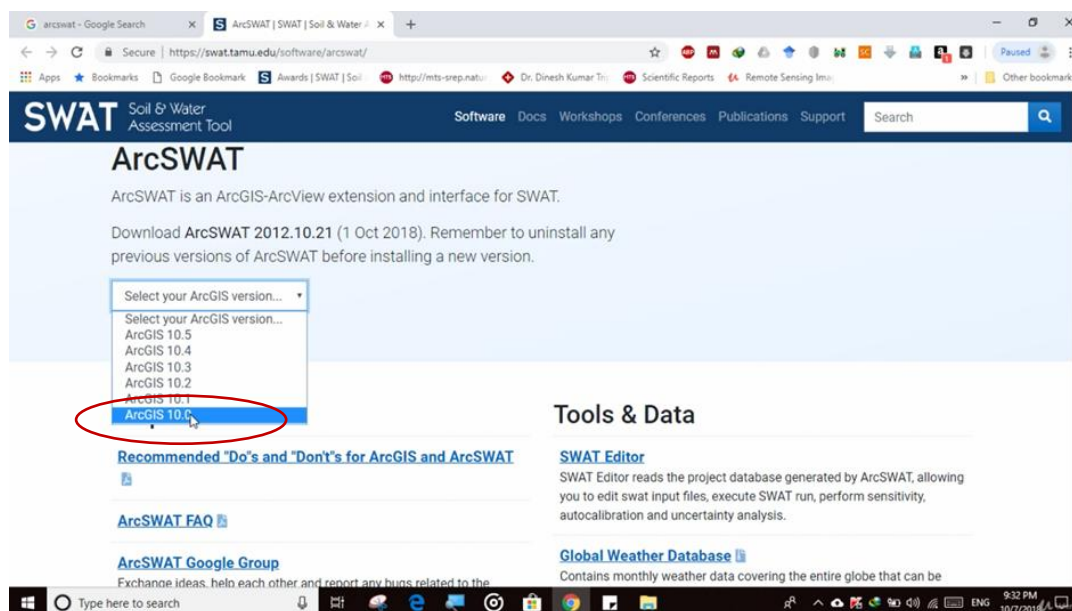
Diplomski rad je izrađen koristeći softver *ArcMap* i specifičan alat *ArcSWAT* za analizu hidroloških procesa. Važno je naglasiti da se koristio *ArcMap* zbog njegove specifične funkcionalnosti i mogućnosti koje pruža. To je bitno spomenuti jer postoji i alat za QGIS, pod nazivom QSWAT, za izradu sličnih analiza.

Za potrebe izrade ovog rada korištena je video literatura s platforme Udemy pod nazivom "LAKHWINDER SINGH ArcSWAT Model with ArcGIS - Run for any Study Area". Ova edukacija pruža detaljne upute i demonstracije o korištenju *ArcSWAT* modela u *ArcGIS* okruženju za bilo koje područje studije. Kroz ovaj materijal, stečene su korisne vještine i znanja za primjenu *ArcSWAT* modela za Banovinu koja predstavlja područje istraživanja.

5.1. Preuzimanje i instalacija SWAT-a.

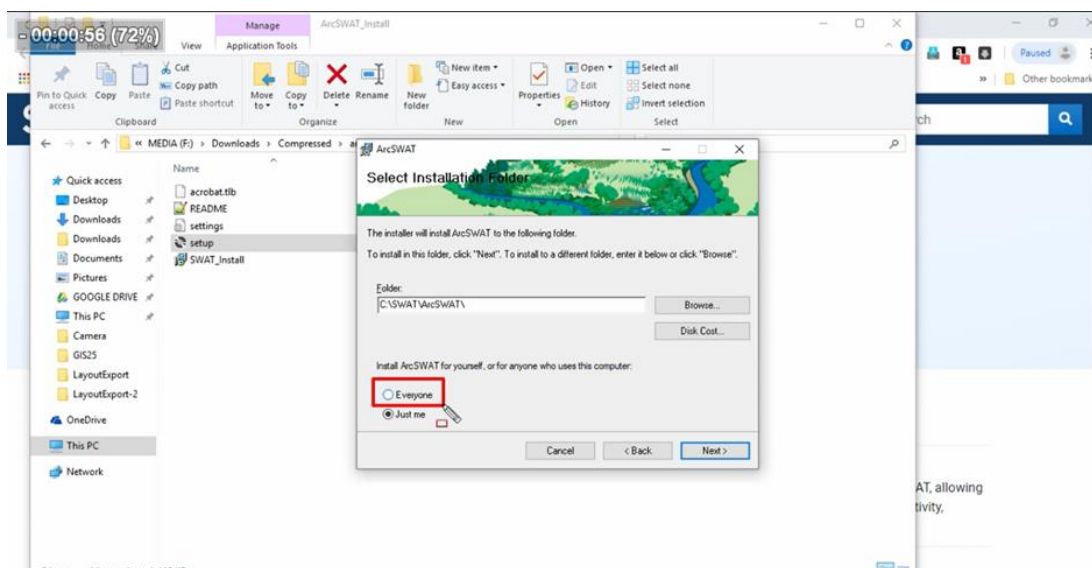
Za uspješno korištenje SWAT (eng. *Soil and Water Assessment Tool*) u *ArcMap* okruženju, potrebno je preuzeti i instalirati odgovarajuću verziju softvera (Slika 5-1.). Preuzimanje SWAT-a omogućuje pristup moćnom alatu za analizu kvalitete tla i vode, koji se koristi u različitim istraživačkim i planskim projektima. Verzija *ArcSWAT*-a koja će se instalirati odabire se s obzirom na verziju *ArcGIS*-a u kojoj će se projekt raditi.

Preuzimanje *ArcSWAT*-a moguće je na linku: <https://swat.tamu.edu/software/arcswat/>



Slika 5-1. Preuzimanje odgovarajuće verzije *ArcSWAT*-a (izvor: <https://swat.tamu.edu/data/>)

Za instalaciju *ArcSWAT-a* potrebno je učiniti sljedeće kako bi sve funkcioniralo (Slika 5-2.)



Slika 5-2. Koraci prilikom instalacije *ArcSWAT-a*

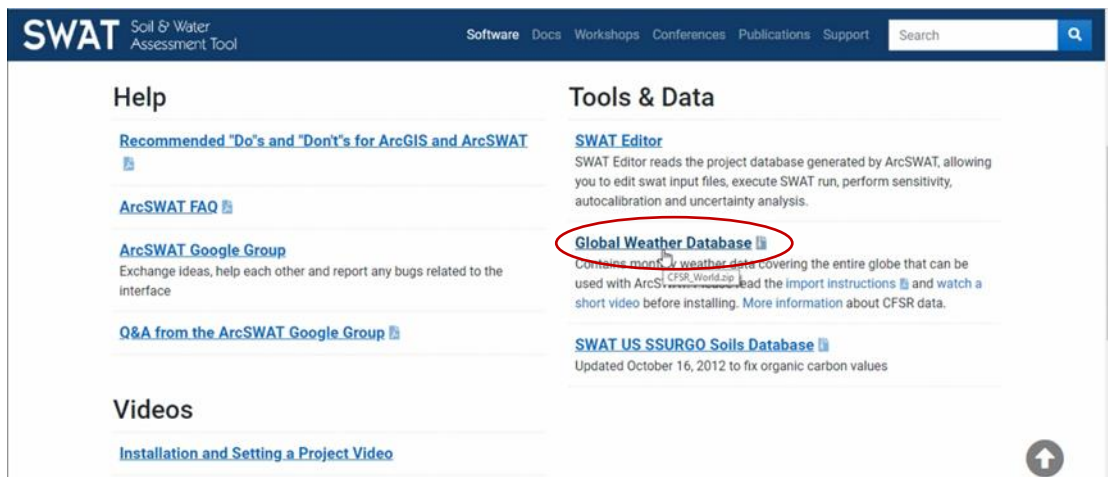
Nakon koraka na slici 5-2. potrebno je stisnuti „next“ nakon čega bi se trebala uspješno instalirati odgovarajuća verzija *ArcSWAT-a*

5.2. Priprema podataka

5.2.1. Priprema podataka - preuzimanje podataka za tlo i klimu i promjena postavki za pokretanje modela

U ovom poglavlju će biti opisana i prikazana priprema podataka koji su bili neophodni za izradu projekta u *ArcSWAT-u*. Detaljno će biti objašnjeni koraci i postupci koji su poduzeti kako bi se prikupili, organizirali i transformirali podaci kako bi bili kompatibilni s *ArcSWAT* modelom. Ovaj dio rada će obuhvatiti procese kao što su prikupljanje podataka, njihova obrada, pretvaranje u odgovarajući format i njihov uvoz u *ArcSWAT* okruženje. Također će biti prikazani primjeri i ilustracije koji će dodatno pojasniti postupke i korake pripreme podataka.

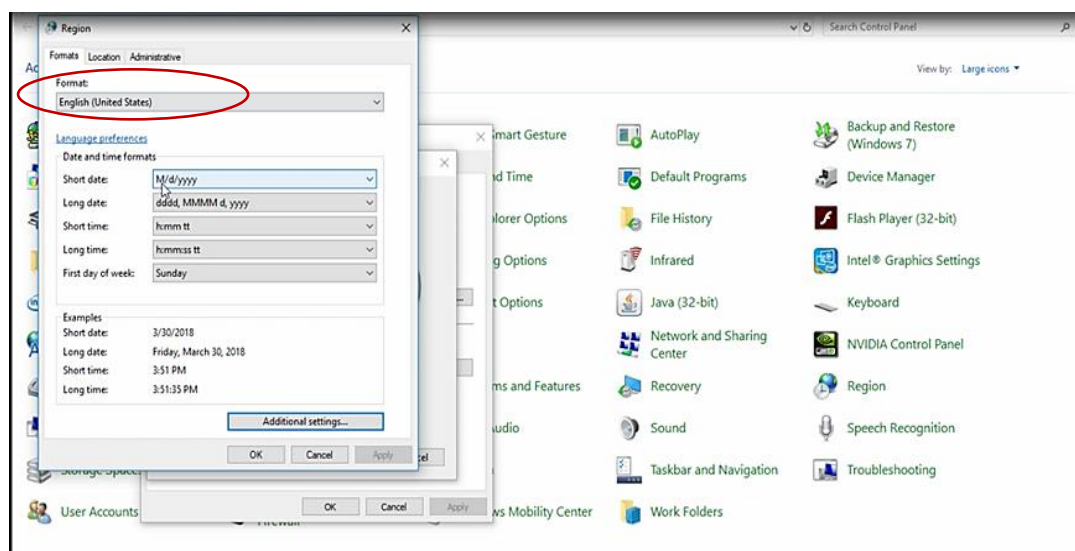
Globalna vremenska baza podataka preuzeta je sa službene SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) stranice, s linka <https://swat.tamu.edu/data/> (Slika 5-3.). Baza podataka obuhvaća široki raspon meteoroloških parametara iz cijelog svijeta, kao što su temperatura, vlažnost zraka, padaline i drugi relevantni faktori. Pomoću ove službene SWAT stranice, dobiveni su kvalitetni podaci potrebni za analizu, obradu i istraživanje u ovom radu.



Slika 5-3. Globalna vremenska baza podataka (izvor: <https://swat.tamu.edu/data/>)

Također, s iste te stranice su preuzeti i podatci za tlo i vodu (*soil waterbase*).

Ako želimo da SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) pravilno funkcionira na našem računalu, važno je prilagoditi postavke vremena na anglosaksonske regionalne postavke tipkovnice, ponajviše zbog numeričkog formata i datuma (Slika 5-4.). Važno je napomenuti da, nakon što su prilagođene regionalne postavke na računalu, preporučljivo je ponovno pokrenuti SWAT kako bi se promjene primijenile i osiguralo ispravno funkcioniranje programa (Udemy, 2023).



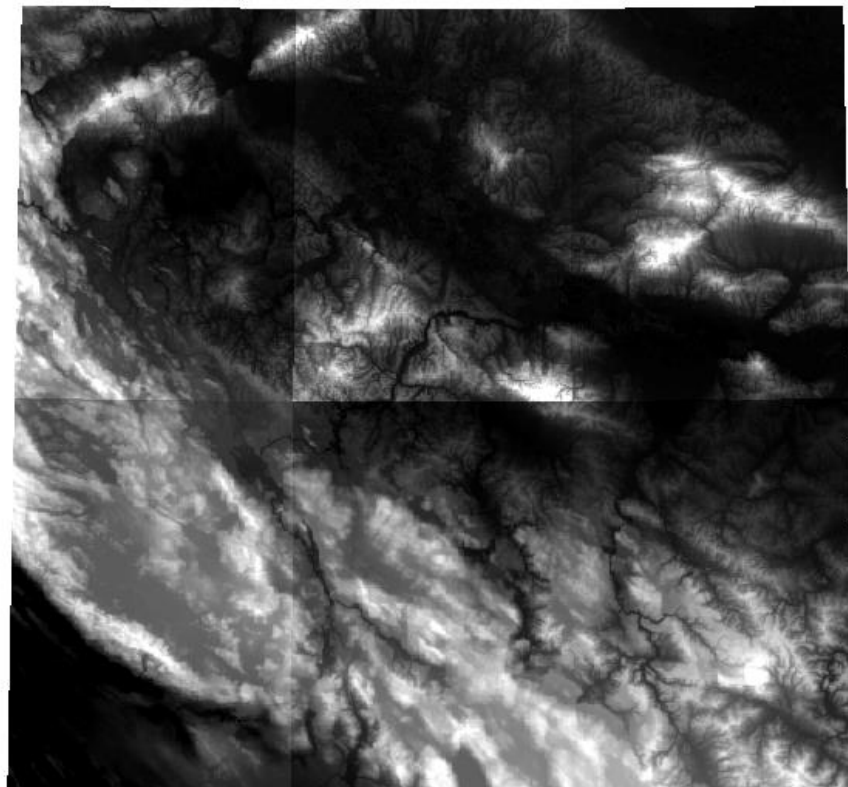
Slika 5-4. Anglosaksonski format brojeva i datuma u Windows OS-u

Soil Properties Data predstavlja ključni faktor za uspješno izvođenje analiza i simulacija pomoću SWAT modela. Bez podataka o svojstvima tla, nećemo moći dobiti

pouzdate rezultate ili pravilno interpretirati učinke vodenih tokova na tlo i okoliš. Podaci o svojstvima tla dobiveni su iz izvora *Corine Land Cover* (<https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>), a isto tako pouzdani podaci se mogu preuzeti i s *LUISA Base Map*. *Corine Land Cover* je geografska baza podataka koja pruža informacije o pokrovu tla i klasifikaciji korištenih površina. S druge strane, *LUISA Base Map* predstavlja temeljnu topografsku kartu koja obuhvaća geoprostorne podatke vezane za različite aspekte okoliša, uključujući tlo.

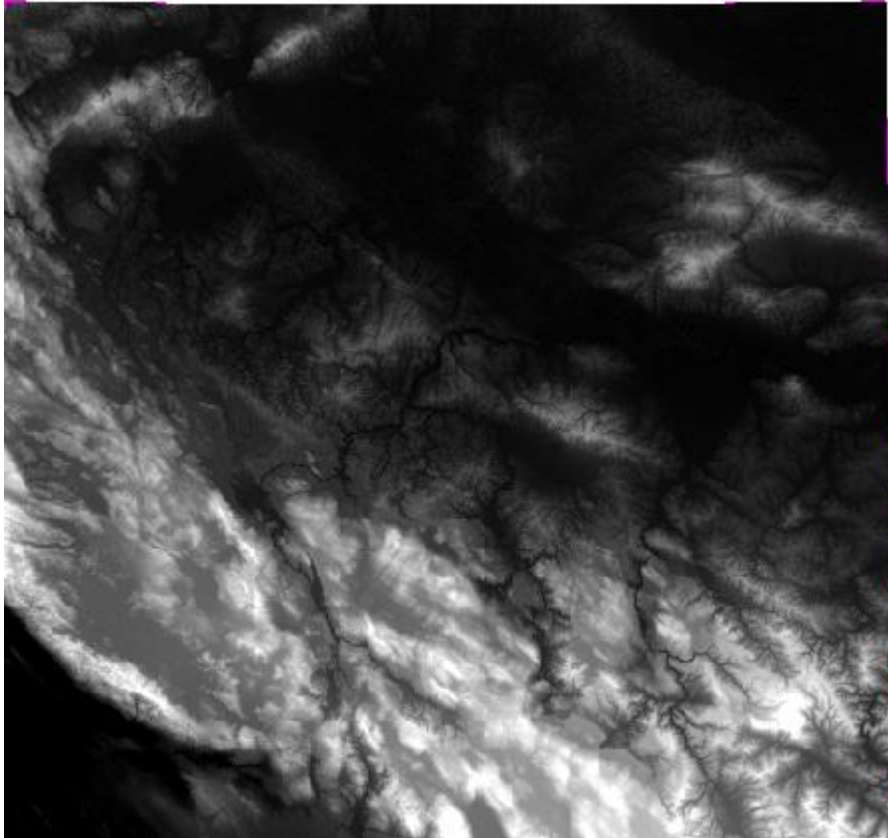
5.2.2. Priprema podataka - priprema digitalnog modela elevacije za sliv, spajanje DEM-a

U ovom poglavlju se opisuje korištenje satelitskih snimaka koji su preuzeti s *Earth Data* platforme (<https://search.earthdata.nasa.gov/search>). Ukupno je preuzeto šest snimaka, što je obuhvatilo površinski veće područje od područja istraživanja. Za učitavanje satelitskih snimaka koristio se softver *ArcMap 10.1* (Slika 5-5.). Prvi korak bio je prebacivanje snimaka u željeni koordinatni sustav, HTRS96 Croatia TM, kako bi se osigurala njihova prostorna usklađenost s istraživačkim područjem.



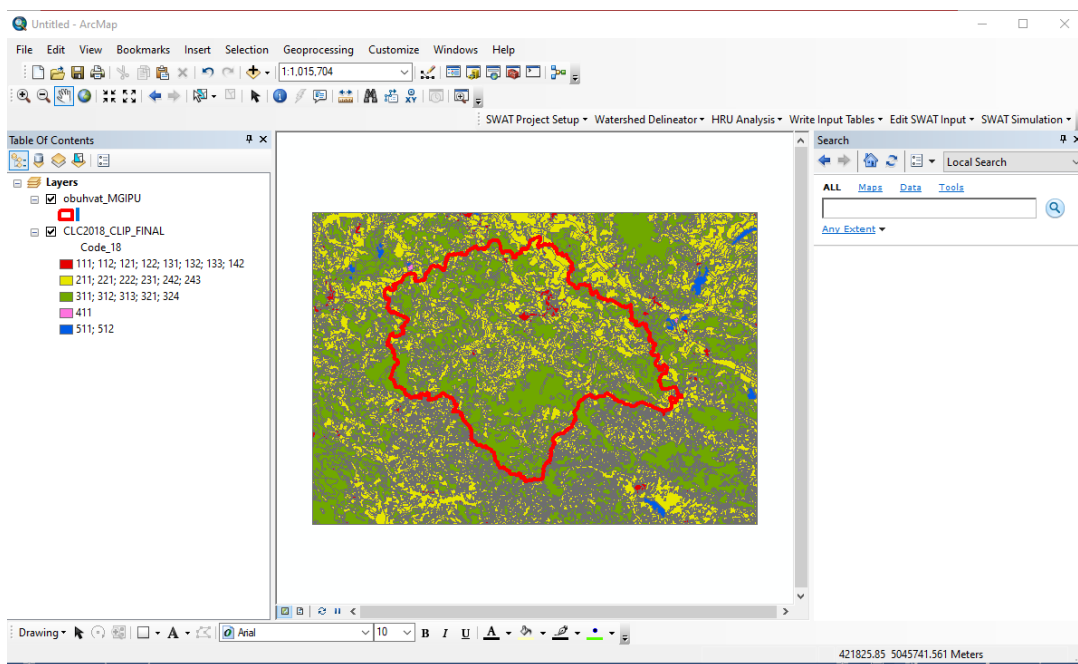
Slika 5-5. Šest satelitskih snimaka preuzetih s *Earth Data*

Nakon transformacije u odgovarajući koordinatni sustav, svih šest snimaka je spojeno u jedan TIFF format (Slika 5-6.). Ovaj korak omogućava dobivanje cjelovite slike područja studija, kombinirajući sve snimke u jednu sliku. Taj spojeni TIFF pruža sveobuhvatan prikaz terena, koji se može koristiti u daljnjim analizama i interpretacijama.













































Slika 5-6. Spojenih šest satelitskih snimaka u jedan TIFF

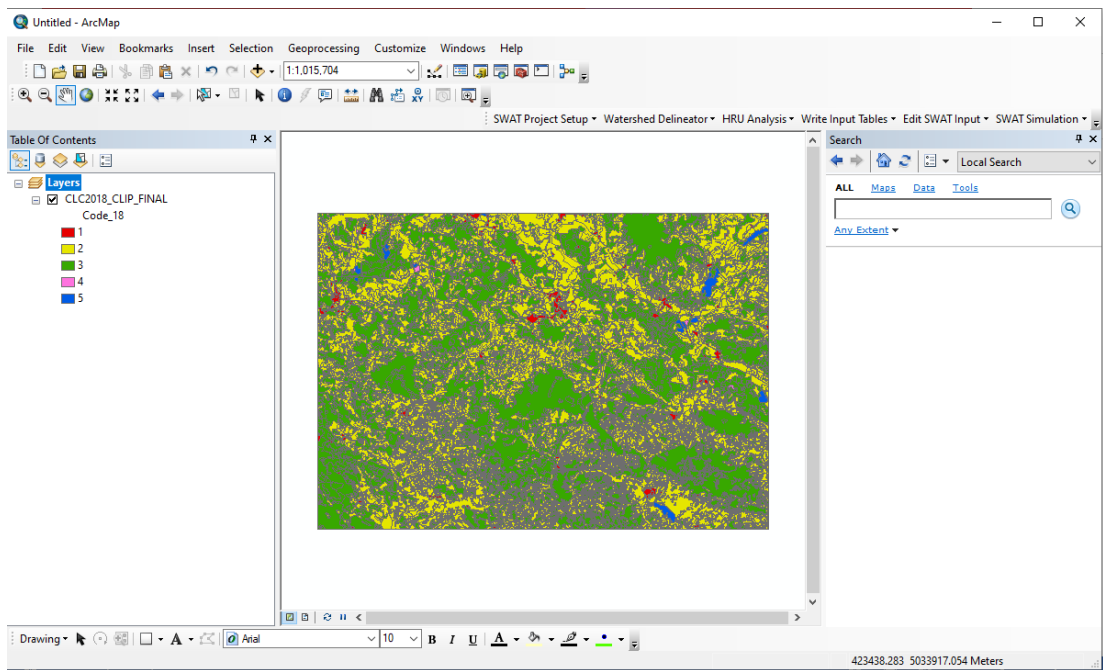
Kako je ranije navedeno, podaci o svojstvima tla dobiveni su s *Corine Land Cover* (CLC). Početno je izvršeno izrezivanje rastera CLC2018 rezolucije 100m u obliku kvadrata (Slika 5-7.), s ciljem obuhvaćanja područja većeg od istraživačkog područja. Za klasifikaciju kategorija pokrova zemljišta korištena je referentna tablica 5-1. Na temelju te tablice, dodijeljeni su sljedeći brojevi kategorijama pokrova zemljišta: 1 - urbana područja, 2 - poljoprivredna područja, 3 - šume, 4 - močvare te 5 - vodna područja (Slika 5-7.).



Slika 5-7. Izrezani CLC 100m s područjem istraživanja

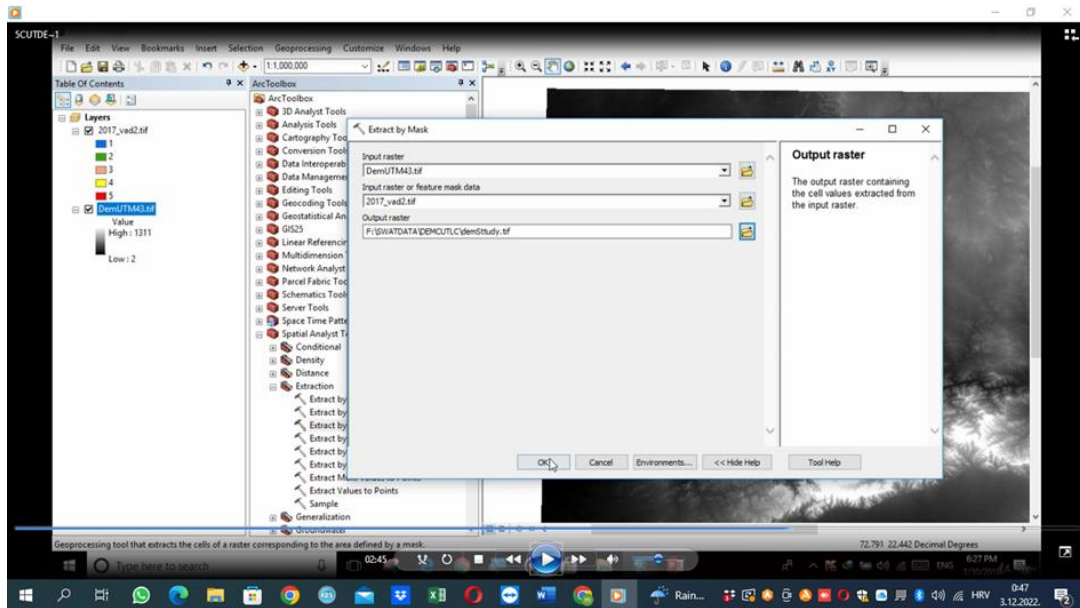
Tablica 5-1. CORINE razredi zemljišnog pokrova (AZO, 2015)

CORINE Land Cover				
Klase pokrova zemljišta				
CORINE Land Cover classes				
1. razina	2. razina	3. razina	Boja	Naziv klase
1. Umjetne površine	1.1. Gradska područja	111		Cjelovita gradska područja
		112		Nepovezana gradska područja
	1.2. Industrijski, komercijalni i transportni objekti	121		Industrijski ili komercijalni objekti
		122		Cestovna i željeznička mreža i pripadajuće zemljište
		123		Lučke površine
		124		Zračne luke
	1.3. Rudokopi, odlagališta otpada i gradilišta	131		Mjesta eksploatacije mineralnih sirovina
		132		Odlagališta otpada
		133		Gradilišta
	1.4. Umjetni, nepoljoprivredni, biljni pokrov	141		Zelene gradske površine
		142		Športsko rekreacijske površine
	2. Poljoprivredna područja	2.1. Obradivo zemljište	211	
212				Trajno navodnjavano zemljište
2.2. Višegodišnji nasadi		221		Vinogradi
		222		Voćnjaci
		223		Maslinici
2.3. Pašnjaci		231		Pašnjaci
		241		Jednogodišnji usjevi u zajednici s višegodišnjim
2.4. Heterogena poljoprivredna područja		242		Mozaik poljoprivrednih površina
		243		Pretežno poljoprivredno zemljište, s značajnim udjelom prirodnog biljnog pokrova
		244		Poljoprivredno-šumska područja
3. Šume i poluprirodna područja		3.1. Šume	311	
	312			Crnogorična šuma
	313			Mješovita šuma
	3.2. Gmrolike i travne, prirodne biljne zajednice	321		Prirodni travnjaci
		322		Kontinentalna gmrolika vegetacija (vrištine, cretovi i niske šikare)
		323		Mediteranska gmrolika vegetacija (sklerofilna)
		324		Sukcesija šume (zemljišta u zarastanju)
	3.3. Otvorene površine sa malo ili bez vegetacije	331		Plaže, dune i pijesci
		332		Gole stijene
		333		Područja s oskudnom vegetacijom
334			Opožarena područja	
4. Vlažna područja	4.1. Kopnena vlažna područja	411		Kopnene močvare
		412		Tresetišta
	4.2. Priobalna vlažna područja	421		Slane močvare
		422		Solane
	423		Područja plimnog utjecaja	
5. Vodene površine	5.1. Kopnene vode	511		Vodotoci
		512		Vodna tijela
	521		Obalne lagune	
	5.2. Morske vode	522		Estuariji
		523		More



Slika 5-8. CLC s kategorijama pokrova zemljišta: 1 - urbana područja, 2 - poljoprivredna područja, 3 - šume, 4 - močvare te 5 - vodna područja

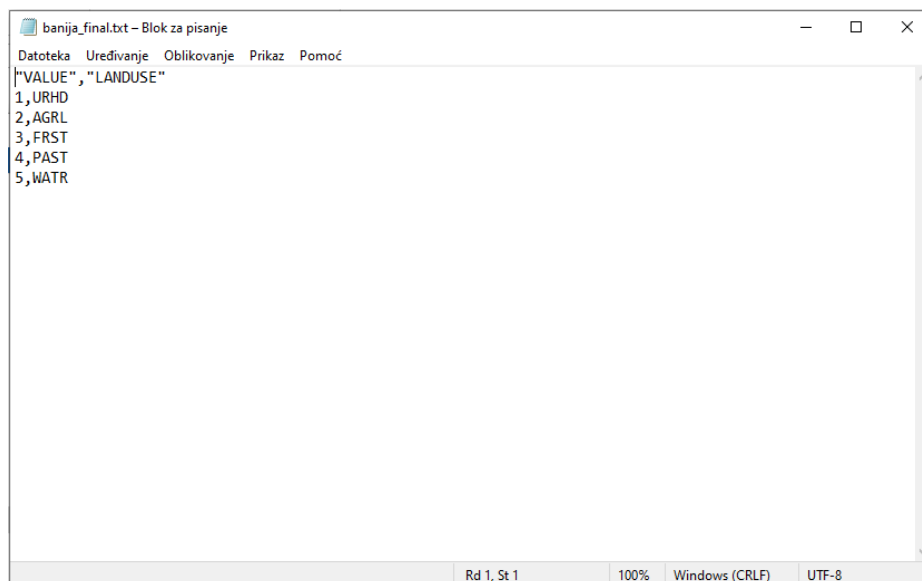
Zatim je korišten alat *Extract by Mask* (Slika 5-9.) u *ArcMap-u* kako bi se izvršilo izdvajanje podataka iz spojenih DEM snimaka i podataka o pokrovu tla (*land cover*) iz *Corine Land Cover* (CLC) izvora. Koristeći alat *Extract by Mask*, definirana je maska koja je ograničila prostorni opseg na područje interesa. Ova maska je stvorena na temelju podataka iz CLC izvora, koji su pružali informacije o različitim klasama pokrova tla poput urbanih područja, poljoprivrednih površina, šuma, močvara i vodenih područja. Primjenom alata *Extract by Mask* na spojene DEM snimke i CLC podatke, dobiveni su novi skupovi podataka. Rezultat je bio izdvojeni raster DEM-a koji je bio ograničen samo na područje definirane maske. Osim toga, iz CLC podataka su izdvojene samo one klase pokrova tla koje su se nalazile unutar maske.



Slika 5-9. Primjena alata *Extract By Mask*

5.2.3. Priprema podataka - priprema shapefile-a za korištenje klasifikacije zemljišta

Kako bismo osigurali dosljednost i usklađenost podataka, bilo je potrebno izvršiti istu klasifikaciju od 1 do 5 u programu Notepad++ (Slika 5-10.). Ova klasifikacija je usklađena s prethodno provedenom klasifikacijom za podatke o pokrovu tla (land cover) (Slika 5-8.). Izrada iste klasifikacije za podatke o zemljištu bila je važna jer će ta klasifikacija kasnije poslužiti u SWAT projektu za povezivanje podataka o tlu s odgovarajućim klasama zemljišta.

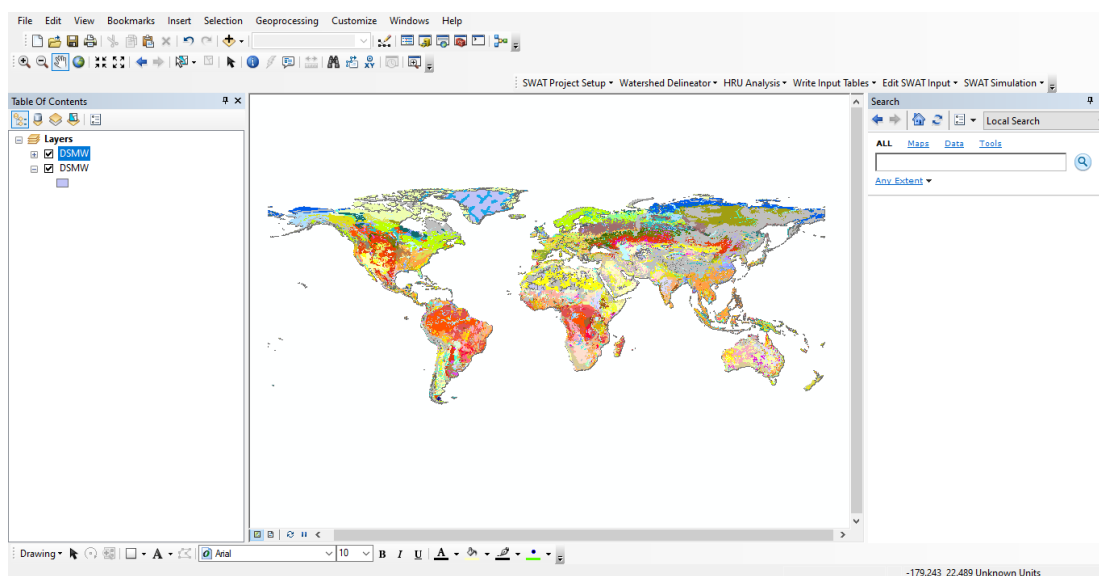


Slika 5-10. Klasifikacija tla od 1 do 5 u Notepad++

Podaci o administrativnim granicama za Republiku Hrvatsku preuzeti su s linka <https://www.diva-gis.org/gdata>.

5.2.4. Priprema podataka - priprema podataka o tlu za SWAT

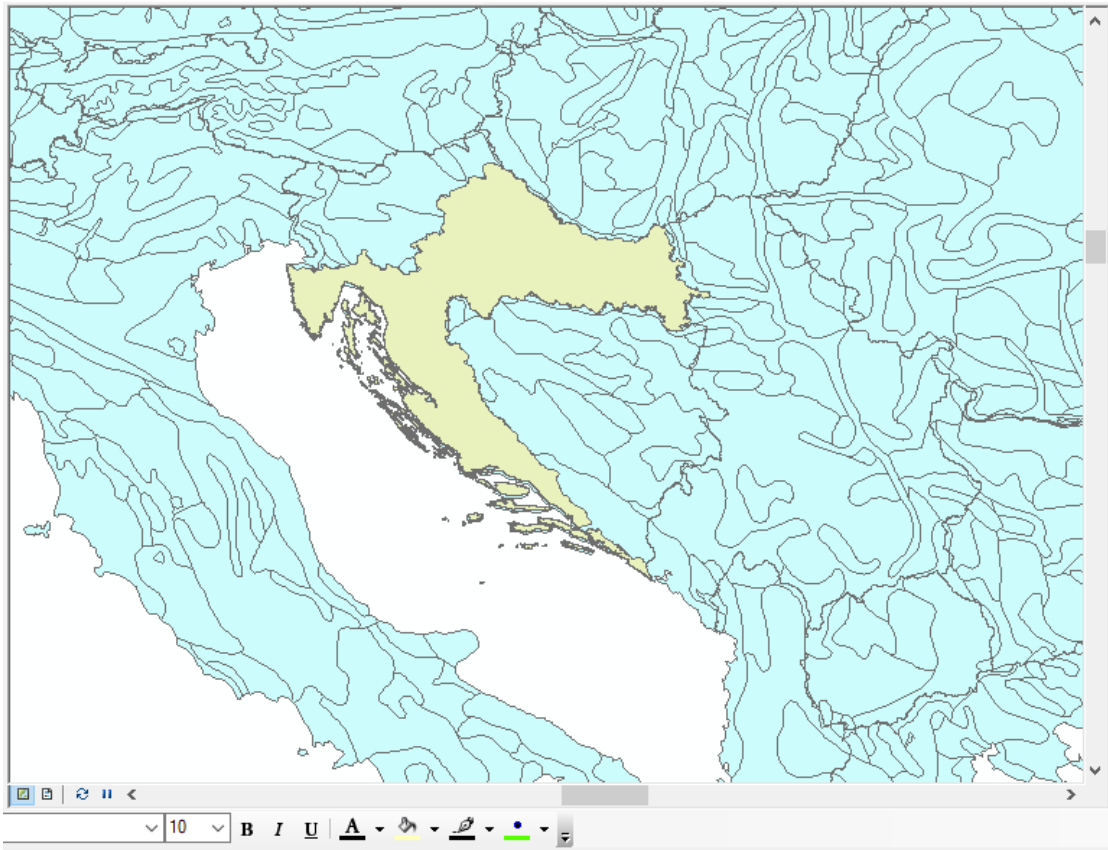
Sa stranice <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/faounesco-soil-map-of-the-world/en/> preuzeta je podatkovna karta FAO/UNESCO svjetske karte tla (ESRI *shapefile*). Ova karta je rezultat zajedničkog napora između FAO-a (Organizacija za hranu i poljoprivredu Ujedinjenih naroda) i UNESCO-a (Organizacija Ujedinjenih naroda za obrazovanje, znanost i kulturu) kako bi se pružile informacije o tlima širom svijeta. FAO/UNESCO svjetska karta tla je detaljna karta koja prikazuje različite vrste tla, njihovu raspodjelu i karakteristike na globalnoj razini (Slika 5-11.). Ova karta pruža važne informacije za planiranje poljoprivrednih aktivnosti, upravljanje prirodnim resursima, održivi razvoj i zaštitu okoliša.



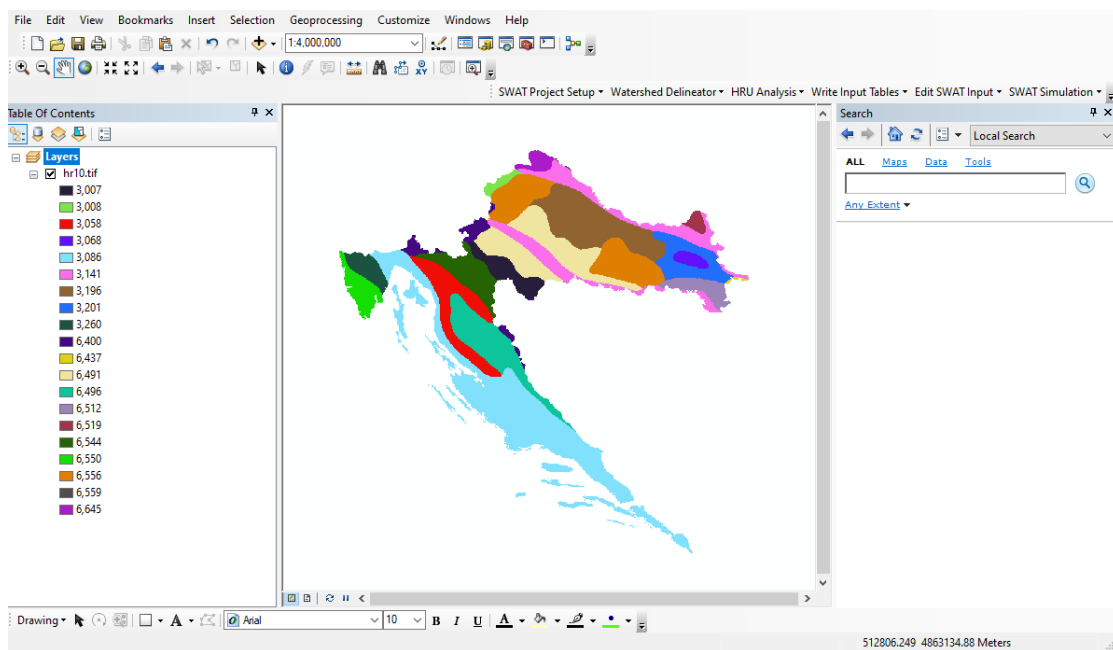
Slika 5-11. Digitalna karta tla svijeta

DSMW (*Digital Surface Model of the World*) je uvezen u ArcMap te je iz nepoznatog koordinatnog sustava konvertiran u WGS (*World Geodetic System*) i zatim u HTRS96 Croatia TM (Hrvatski terestrički referentni sustav). Dodana je karta Hrvatske u HTRS-u kako bi se postiglo preklapanje (Slika 5-12.). Nakon toga, DSMW je izrezan prema karti Hrvatske (skinutoj s DIVA-GIS stranice) pomoću alata "Clip". Zatim je primijenjen alat "Polygon To Raster". Primjenom alata "Polygon to Raster" dobiva se konverzija poligonalnih podataka u format rasterskih podataka (Slika 5-13.). Ovaj alat transformira

prostorne podatke, koji su definirani poligonima, iz vektorskog u rasterski format, gdje svaki piksel ima vrijednost atributa koji je preuzet iz poligona.



Slika 5-12. Digitalna karta svijeta i karta Republike Hrvatske

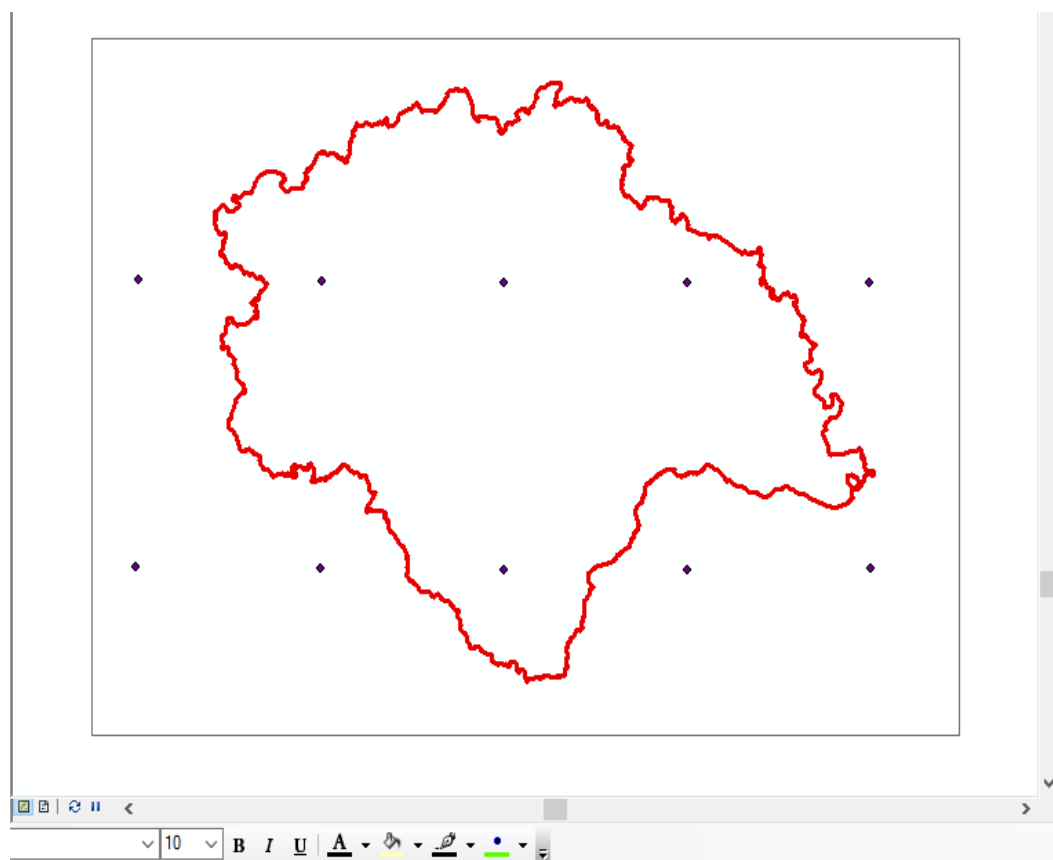


Slika 5-13. Rezultat primjene alata "Polygon To Raster"

5.2.5. Priprema podataka - prikupljanje meteoroloških podataka

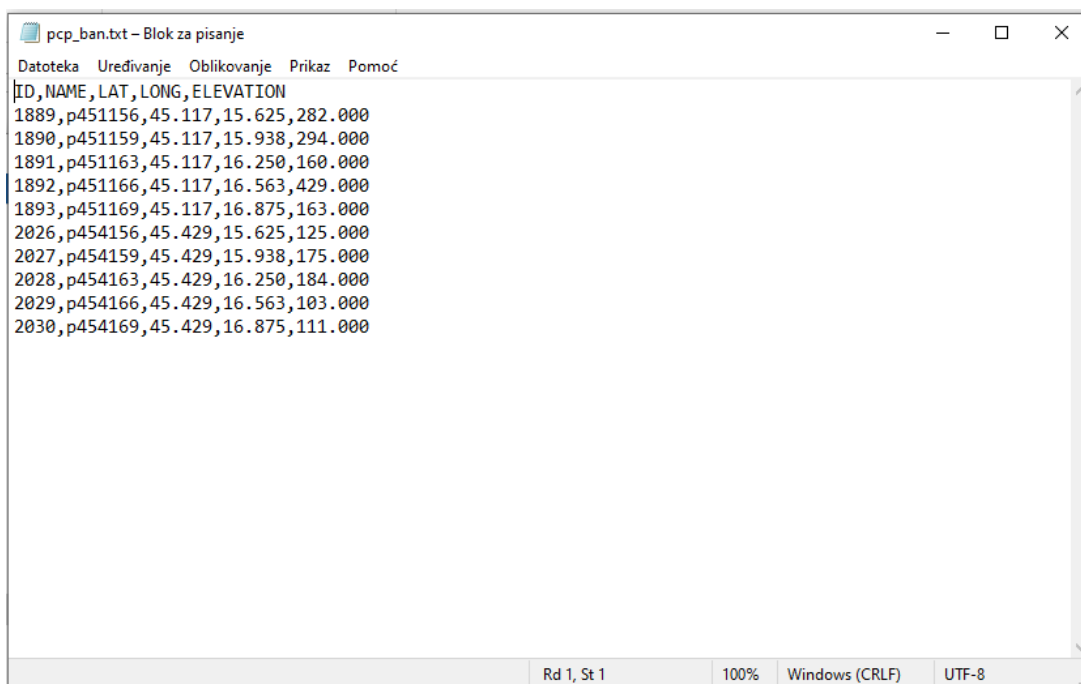
S web stranice [swat.tamu.edu](https://www.uoguelph.ca/watershed/w3s/) (<https://www.uoguelph.ca/watershed/w3s/>) preuzeti su meteorološki podaci za Europu, koji su bili dostupni u obliku od čak 85715 TXT datoteka. Iz tog skupa datoteka identificirane su pcp.txt (eng. *Precipitation*, [mm]), tmp.txt (eng. *Temperature*, [°C]), rh.txt (eng. *Relative Humidity*, [fraction]), solar.txt (eng. *Solar* [MJ/m²]), wind.txt (eng. *Wind* [m/s]) datoteke. Kopirane su u tekstualni editor Notepad++, a zatim su učitane u softver *ArcMap*. Klikom miša na svaku txt datoteku, odabrana je opcija "Display XY", pri čemu su X koordinate postavljene kao geografska dužina (*longitude*), a Y koordinate kao geografska širina (*latitude*), koristeći WGS 84 koordinatni sustav.

Uočeno je da se unutar istraživačkog područja nalaze četiri mjerne postaje. Korištenjem alata za crtanje (*draw*), definiran je ipak pravokutnik koji proširuje istraživačko područje i koji obuhvaća ukupno deset mjernih postaja (Slika 5-14.). Pomoću ikone "Identify" na alatnoj traci identificirane su postaje unutar tog pravokutnika.



Slika 5-14. Mjerne postaje na širem području istraživanja

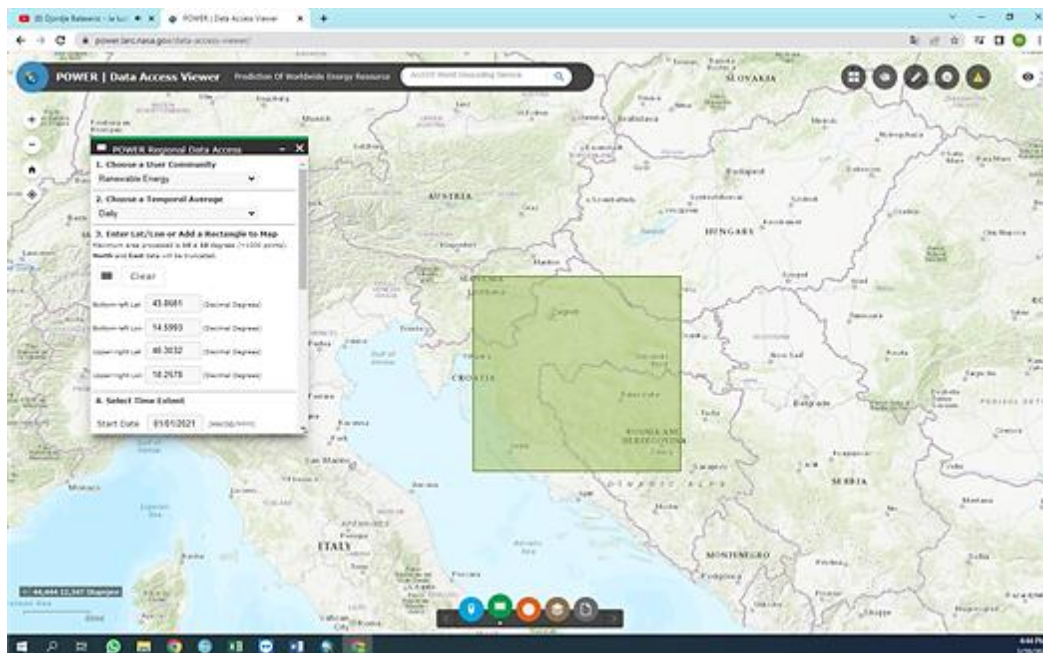
Podaci za te postaje izvađeni su iz originalne datoteke koristeći Notepad++, čime su dobiveni podaci samo za istraživačko područje, obuhvaćajući i nešto šire područje od samog istraživanja, koje će se u nastavku koristiti u SWAT projektu (Slika 5-15.).



```
pcp_ban.txt - Blok za pisanje
Datoteka Uređivanje Oblikovanje Prikaz Pomoć
ID, NAME, LAT, LONG, ELEVATION
1889, p451156, 45.117, 15.625, 282.000
1890, p451159, 45.117, 15.938, 294.000
1891, p451163, 45.117, 16.250, 160.000
1892, p451166, 45.117, 16.563, 429.000
1893, p451169, 45.117, 16.875, 163.000
2026, p454156, 45.429, 15.625, 125.000
2027, p454159, 45.429, 15.938, 175.000
2028, p454163, 45.429, 16.250, 184.000
2029, p454166, 45.429, 16.563, 103.000
2030, p454169, 45.429, 16.875, 111.000
Rd 1, St 1 100% Windows (CRLF) UTF-8
```

Slika 5-15. Tekstualna datoteka s odgovarajućim podacima za područje Banovine

Podaci relevantni za SWAT projekt preuzeti su s web stranice <https://power.larc.nasa.gov/> (Slika 5-16.). Nakon preuzimanja, podaci su obrađeni i filtrirani u programu *Excel* kako bi se izdvojili samo oni koji se odnose na specifične vrijednosti dužine i širine potrebne za istraživanje (Slika 5-17.). Filtriranje podataka omogućuje fokusiranje na konkretne geografske lokacije od interesa za SWAT projekt.



Slika 5-16. Preuzimanje podataka s web stranice <https://power.larc.nasa.gov/>

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	LAT	LON	YEAR	MO	DY	PRECTOTCORR						
2	43.75	15.75	2021	1	1	3.26						
3	43.75	16.25	2021	1	1	1.86						
4	43.75	16.75	2021	1	1	1.37						
5	43.75	17.25	2021	1	1	1.14						
6	44.25	15.75	2021	1	1	1.258						
7	44.25	16.25	2021	1	1	1.122						
8	44.25	16.75	2021	1	1	1.095						
9	44.25	17.25	2021	1	1	1.077						
10	44.75	15.75	2021	1	1	1.255						
11	44.75	16.25	2021	1	1	1.09						
12	44.75	16.75	2021	1	1	1.036						
13	44.75	17.25	2021	1	1	1.017						
14	45.25	15.75	2021	1	1	1.205						
15	45.25	16.25	2021	1	1	1.058						
16	45.25	16.75	2021	1	1	1.022						
17	45.25	17.25	2021	1	1	1.008						
18	45.75	15.75	2021	1	1	1.117						
19	45.75	16.25	2021	1	1	1.039						
20	45.75	16.75	2021	1	1	1.019						
21	45.75	17.25	2021	1	1	1.01						
22	46.25	15.75	2021	1	1	1.063						
23	46.25	16.25	2021	1	1	1.025						

Slika 5-17. Obrada meteoroloških podataka u programu *Excel* (LAT-širina; LON-duljina; YEAR-godina; MO-mjesec; DY-dan; PRECTOTCORR-korigirana oborina)

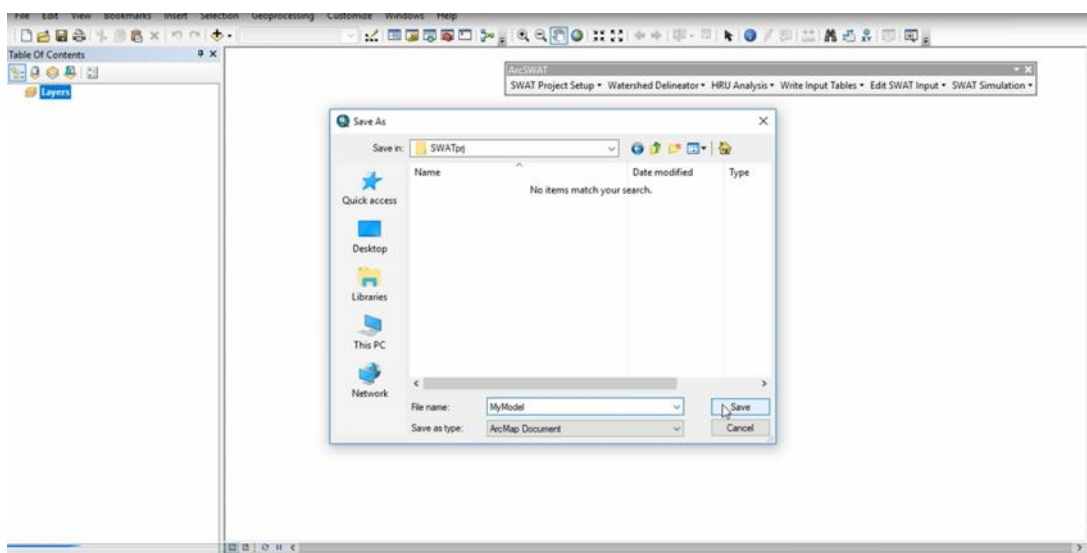
Web stranica <https://power.larc.nasa.gov/> je poznat i pouzdan izvor meteoroloških podataka kojeg održava NASA. Ova stranica pruža širok spektar klimatskih informacija i satelitskih mjerenja za različite dijelove svijeta. Osim toga, korisnicima omogućuje pristup

visokokvalitetnim globalnim i regionalnim podacima o temperaturi, oborinama, vlažnosti zraka, solarnoj radijaciji i drugim relevantnim meteorološkim parametrima.

5.3. Pokretanje SWAT modela

Prije pokretanja SWAT projekta, nužno je provjeriti valjanost svih prikupljenih podataka. Isto tako, za potrebe SWAT projekta se preporučuje stvaranje nove mape, idealno na C disku računala, u koju će se spremiti svi podaci povezani s projektom.

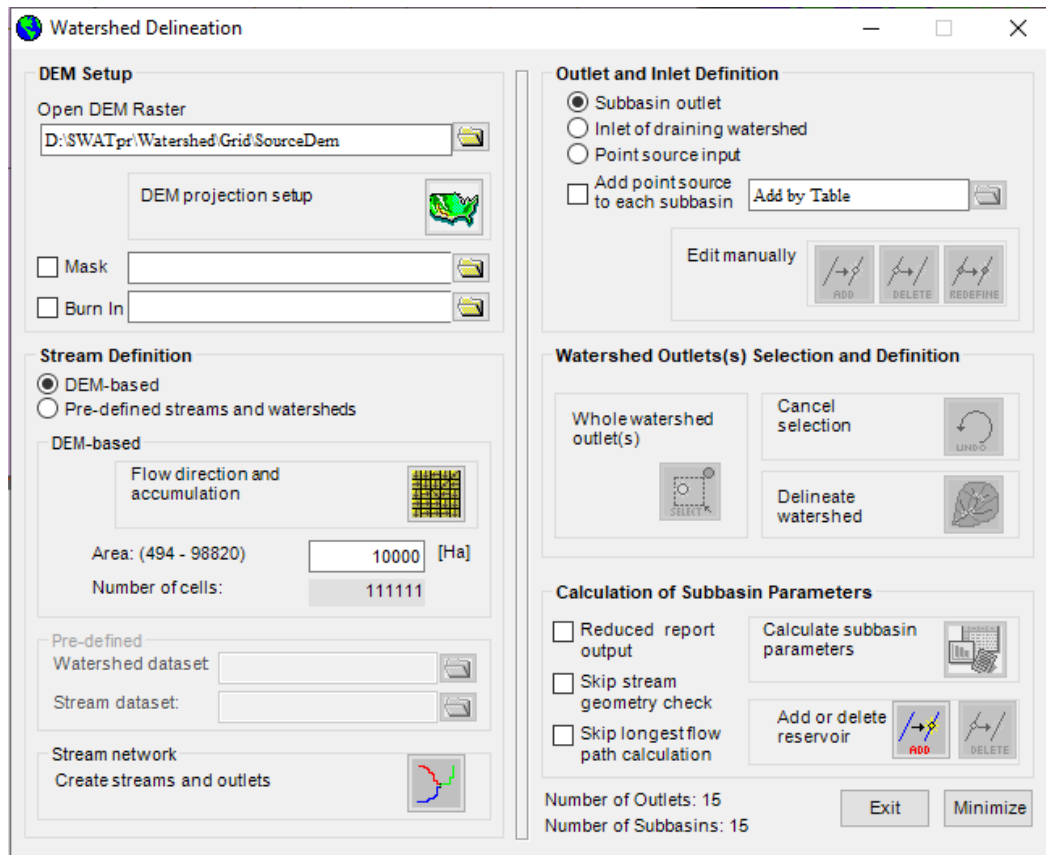
Za integraciju alatnih traka za SWAT u *ArcGIS*-u, preporučuje se postavljanje desnim klikom na alatnoj traci. To će omogućiti lak pristup i brzu navigaciju kroz relevantne alate za SWAT projekt. Kada se započinje s radom na SWAT projektu, vrlo je važno prvo spremiti projekt u novo kreiranu mapu (Slika 5-18.).



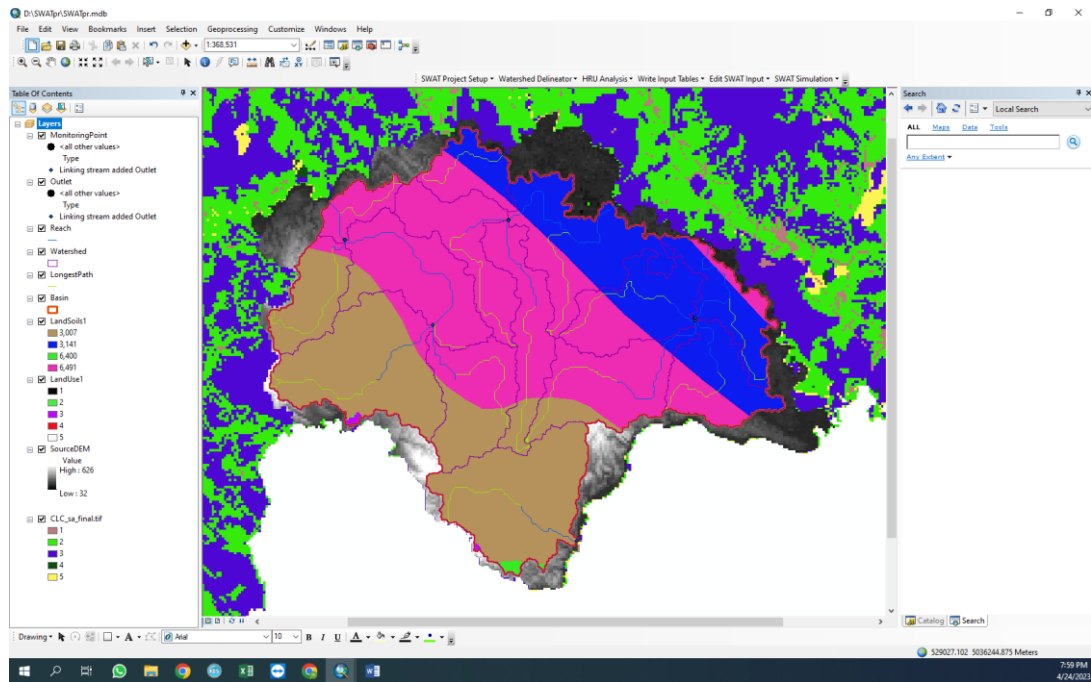
Slika 5-18. Spremanje SWAT projekta

Nakon toga, sljedeći korak u procesu je integracija prethodno obrađenih podataka digitalnog modela terena (DEM) i kategoriziranog zemljišnog pokrova (eng. *land cover*) u SWAT model. Nakon ubacivanja podataka DEM-a i zemljišnog pokrova, sljedeći korak je odabir ikone "Automatic Watershed Delineation" na alatnoj traci. Prije pokretanja procesa automatskog izdvajanja slivnih područja, potrebno je unijeti određene ulazne podatke koji su bitni za definiranje parametara i pravilno izvođenje tog koraka (Slika 5-19.). Ikona "Automatic Watershed Delineation" predstavlja alat koji omogućuje automatsko izdvajanje slivnih područja na temelju unesenih podataka DEM-a i zemljišnog pokrova. Ovaj alat

identificira i definira granice hidroloških slivova na temelju topografije terena i vodnog toka (Slika 5-20.).

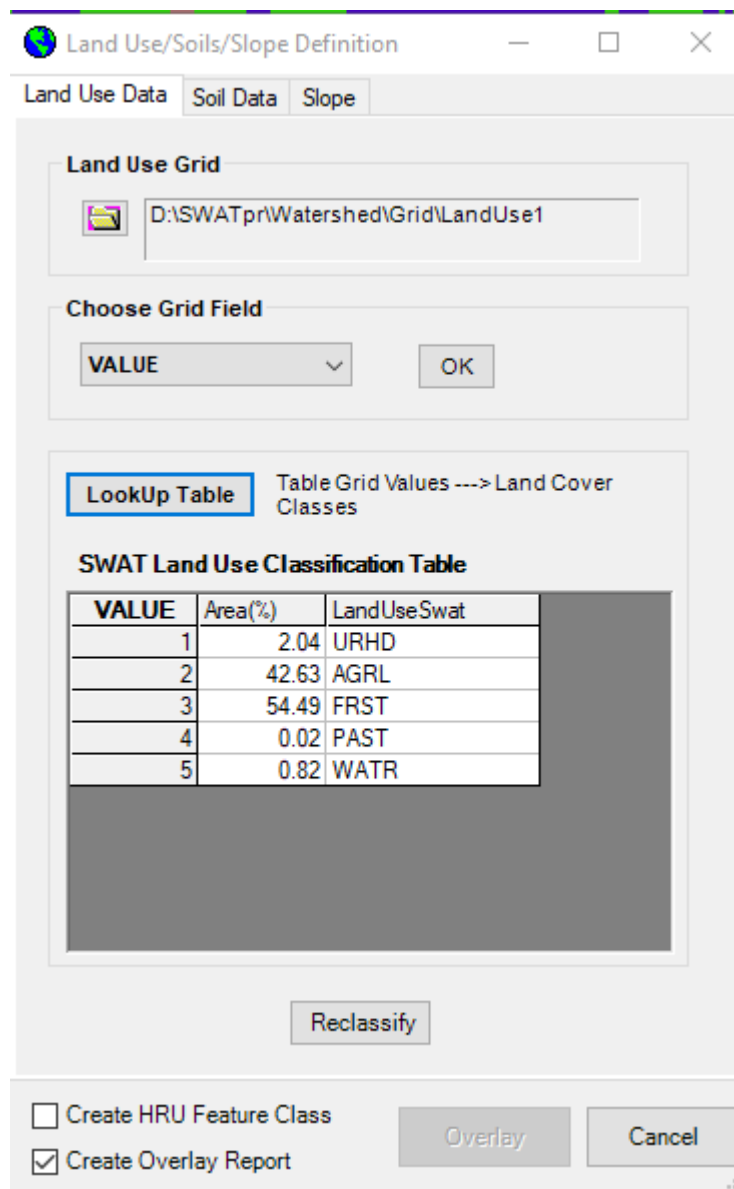


Slika 5-19. Ulazni podaci za *Automatic Watershed Delineation*



Slika 5-20. Postupak *Automatic Watershed Delineation*

Nakon provođenja automatskog izdvajanja slivnih područja, sljedeći korak u SWAT modelu je analiza hidroloških jedinica (Slika 5-21.).



Slika 5-21. Postupak *Land Use Data*

Kod tablice na slici 5-21. bila nam je potrebna txt datoteka koja je ranije spomenuta (Slika 5-10.), s redosljedom klasa za kategorizaciju zemljišnog pokrova.

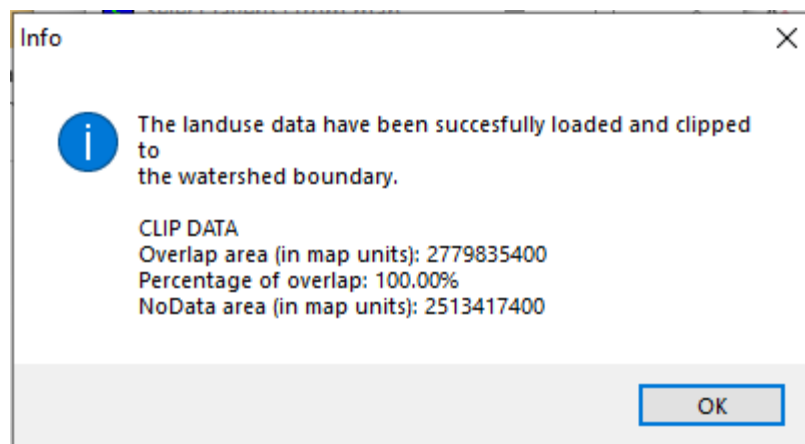
Analiza hidroloških jedinica (HRU) je postupak kojim se prostor podijeli na manje hidrološke jedinice, koje se nazivaju HRU. Zahvaljujući automatizaciji, SWAT model je sposoban generirati ove jedinice. Ove jedinice su precizno definirane putem kombinacije različitih čimbenika, uključujući broj slivova na određenom području poznatih kao HRU-ovi, kategorizaciju pokrova tla (land cover), svojstva tla, nagib terena te klimatske uvjete. (Udemy, 2023.)

U ovom koraku, podaci o kategorizaciji zemljišnog pokrova, sloju tla, nagibu terena i drugim relevantnim faktorima koriste se za identifikaciju i stvaranje jedinstvenih HRU-ova

u istraživanom području. HRU-ovi predstavljaju homogene zone koje su karakteristične za hidrološke procese poput infiltracije, otjecanja i isparavanja.

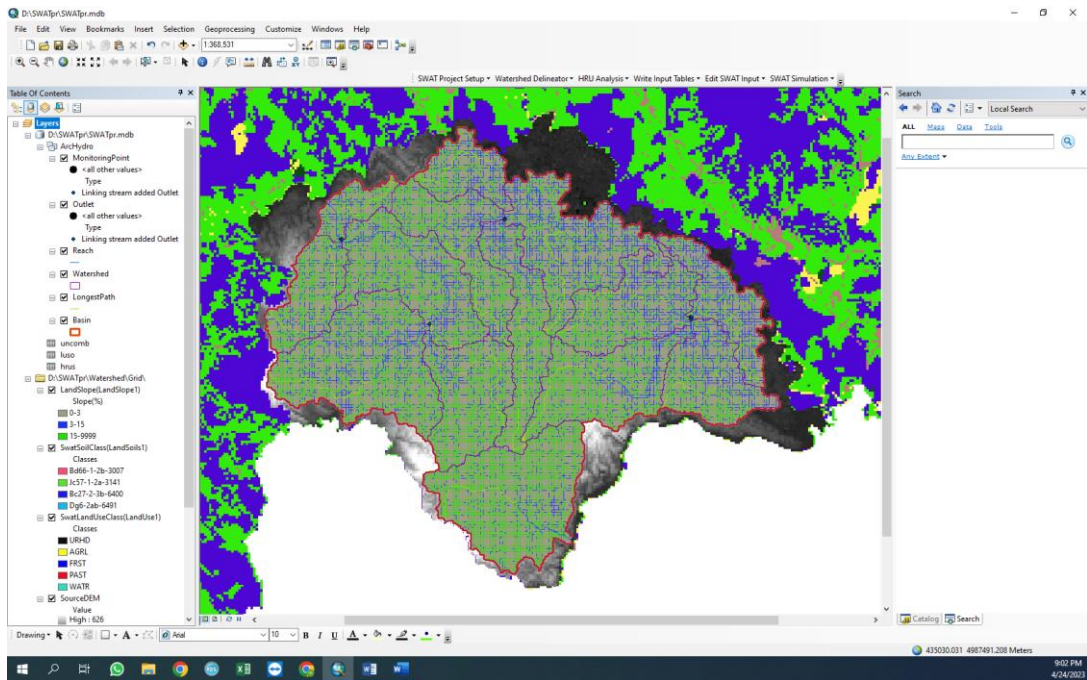
Nakon što su HRU-ovi identificirani, svaki od njih se dodjeljuje odgovarajućim hidrološkim karakteristikama kao što su površina, tip tla, poroznost, vodonepropusnost i drugi parametri. Ove hidrološke karakteristike igraju ključnu ulogu u simulaciji vodnih tokova i drugih hidroloških procesa unutar SWAT modela. Omogućuje detaljnu segmentaciju i karakterizaciju istraživanog područja, što pruža precizniji uvid u hidrološke procese i omogućuje bolju analizu utjecaja različitih faktora na protok vode i kvalitetu vode (Udemy, 2023.).

Izuzetno je važno osigurati da se HRU-ovi međusobno preklapaju na način koji ne odstupa više od 1% (Slika 5-22.). Preklapanje HRU-ova označava zajednička područja ili dijelove koji se dijele između susjednih HRU-ova. Ako preklapanje prelazi tu granicu, može doći do nespojivosti i problema u izvođenju modela. Prekomjerno odstupanje može dovesti do pogrešaka u proračunima hidroloških procesa i izobličiti rezultate modeliranja.



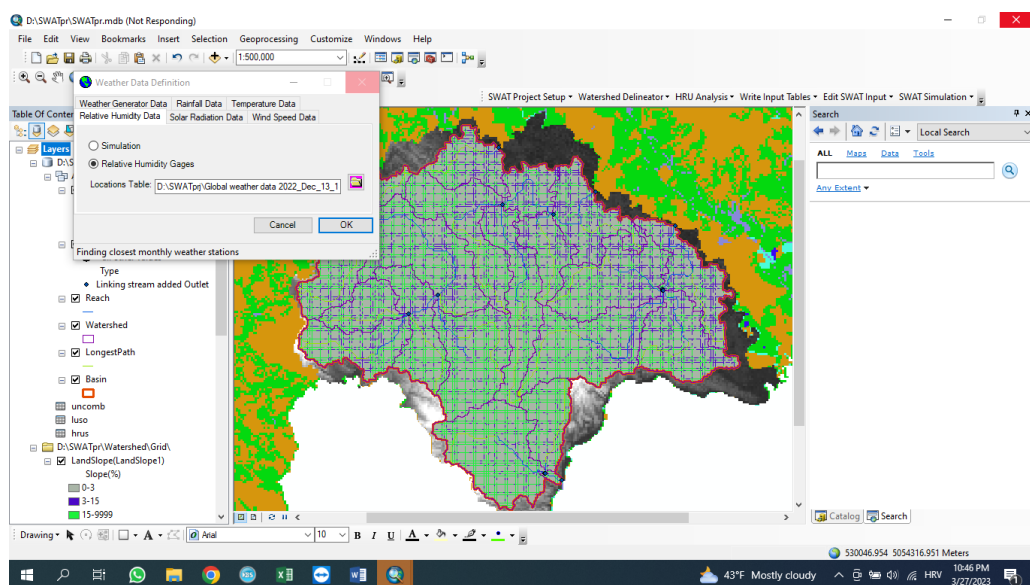
Slika 5-22. Preklapanje HRU-ova

Isto tako je potrebno ispuniti odgovarajuće ulazne podatke za *Soil Data* i *Slope* te dobiti preklapanje od 100%, što govori da su ulazni podaci bili ispravni te se dobije rezultat kao na slici 5-23.



Slika 5-23. Postupak *HRU Analysis*

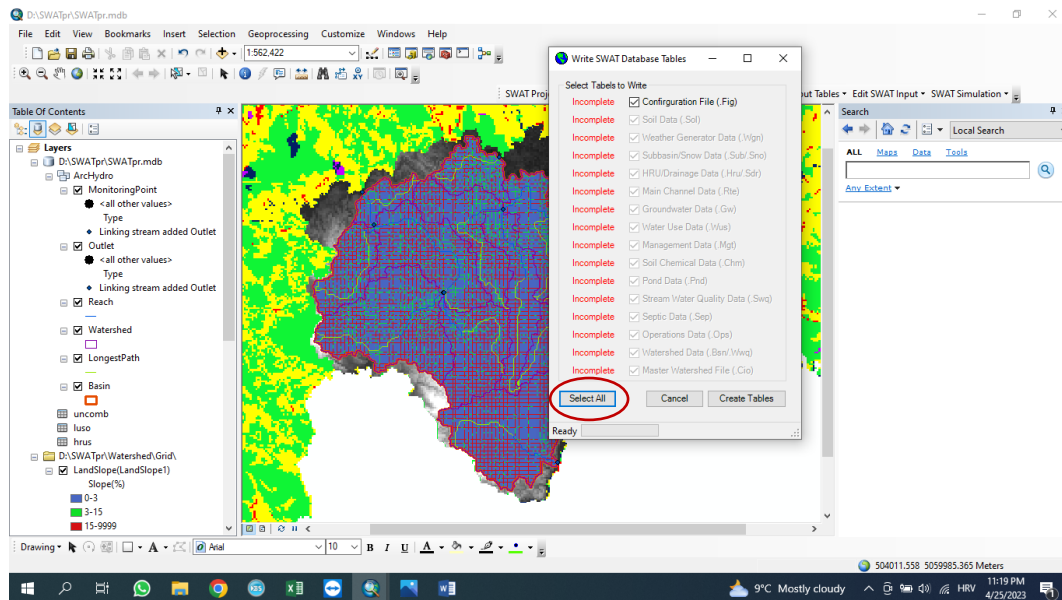
Nakon analize hidroloških jedinica (HRU), sljedeći korak u SWAT modelu je generiranje ulaznih tablica (eng. *Write Input Tables*), odnosno definicija meteoroloških podataka (eng. *Weather Data Definition*) (Slika 5-24.). Generiranje ulaznih tablica uključuje stvaranje specifičnih tablica koje sadrže sve potrebne podatke za izvršavanje SWAT modela. Ove tablice služe za organiziranje, strukturiranje i pripremu relevantnih klimatskih i hidroloških faktora.



Slika 5-24. Postupak *Weather Data Definition*

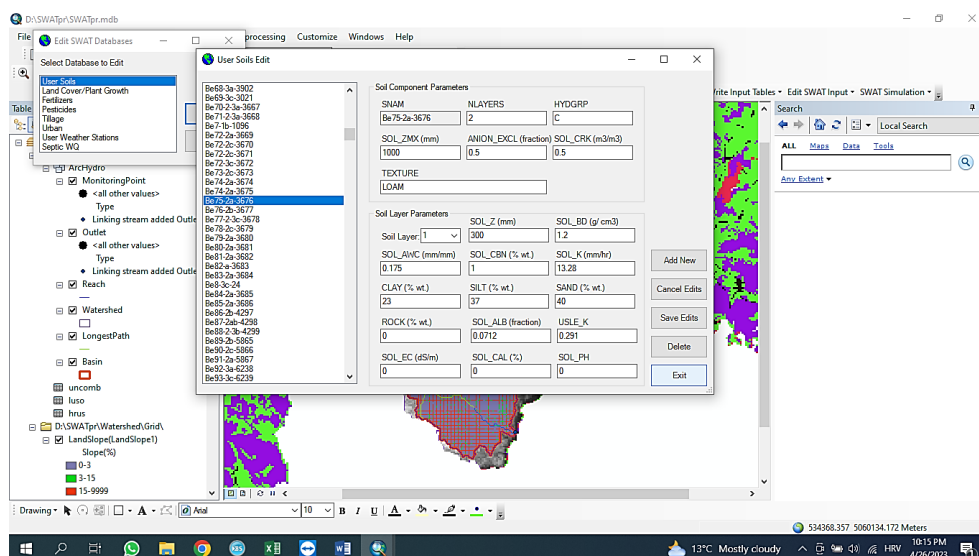
U ovom koraku su se ubacivale odgovarajuće tekstualne datoteke kao sa slike 5-15.

Kada je to uspješno odrađeno, potrebno je kod generiranja ulaznih tablica (eng. *Write Input Tables*) odabrati Generiranje tablica SWAT baze podataka (eng. *Write SWAT Database Tables*) te odabrati stavke za koje bi htjeli dobiti tekstualni izvještaj (Slika 5-25.).



Slika 5-25. Postupak *Write SWAT Database Tables*

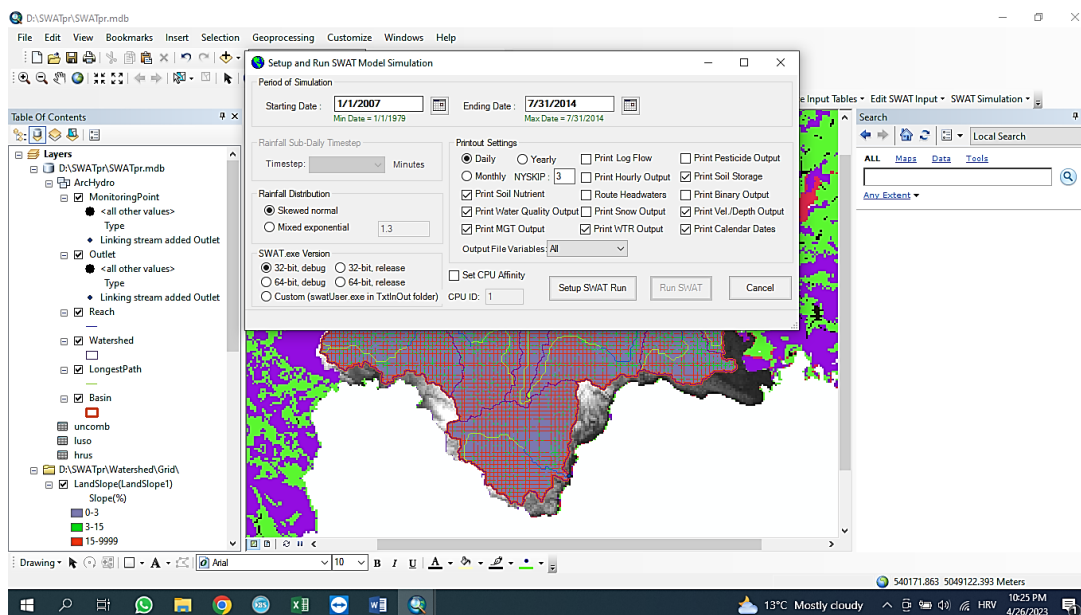
U sklopu alatne trake "Edit SWAT Input", odabire se opcija "Databases", što rezultira otvaranjem dijaloškog okvira koji omogućuje odabir specifičnih elemenata koje želimo uređivati i pregledati (Slika 5-26.).



Slika 5-26. Postupak *Select Database To Edit*

5.4. Simulacija hidrološkog sliva i njegovo pražnjenje

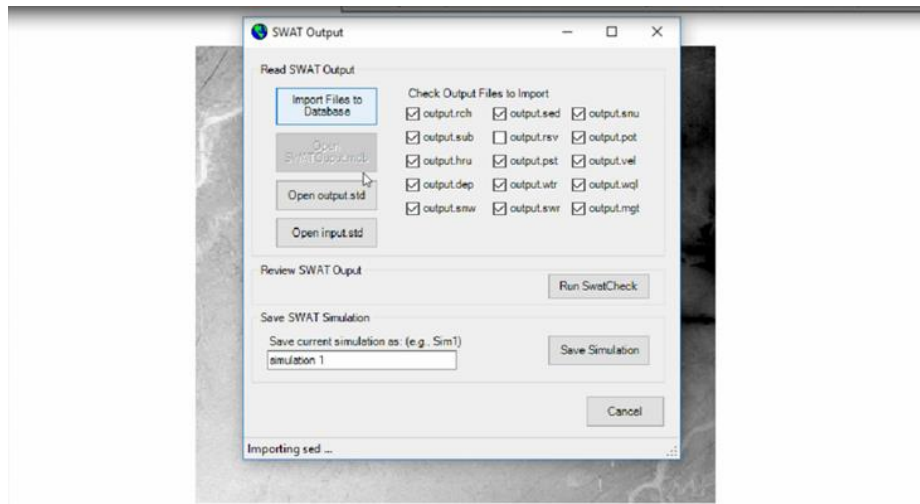
U ovom poglavlju se opisuje postupak izvršavanja simulacije hidrološkog sliva i pražnjenja putem alatne trake SWAT. Koraci uključuju pristup opciji "Run SWAT" unutar alatne trake SWAT te ispunjavanje relevantnih ulaznih podataka (Slika 5-27.).



Slika 5-27. Setup and Run SWAT Model Simulation

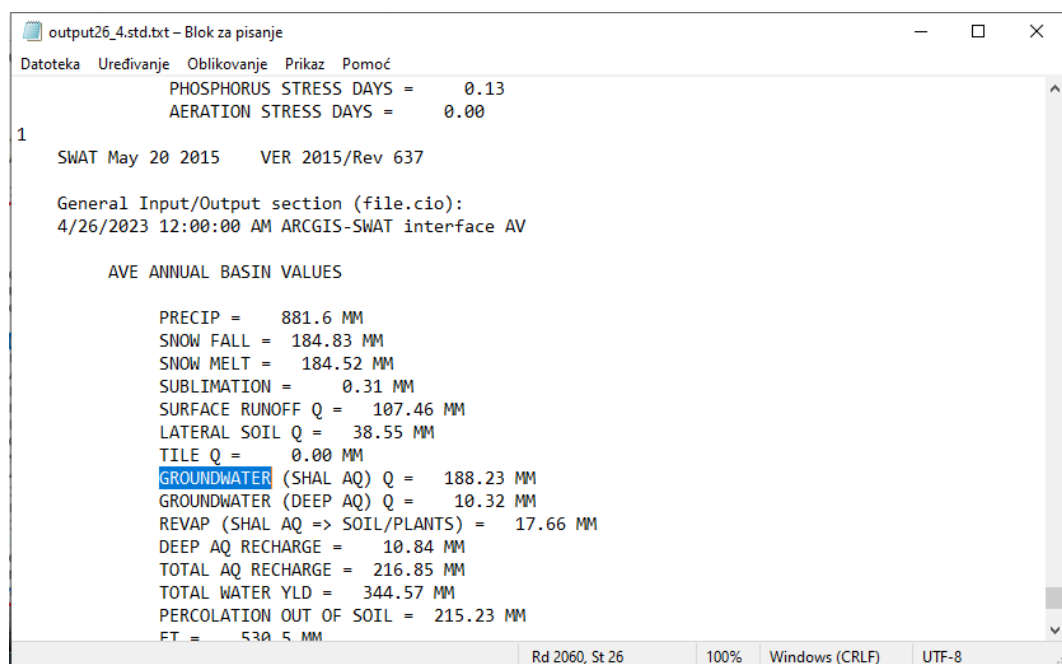
U ovom koraku, definiran je željeni period simulacije od 1.1.2010. do 31.7.2014. Međutim, budući da je postavljena konfiguracija za preskakanje razdoblja od 3 godine, početni datum simulacije postavljen je na 1.1.2007. godine.

Nakon toga, moguće je prilagođavati postavke i ponovno pokretati SWAT simulaciju prema potrebi. No, bitno je istaknuti da je svaki put kada se vrše promjene, potrebno spremite te izmjene kako bi se osiguralo da se unesene modifikacije pravilno primijene prilikom ponovnog izvršavanja simulacije. Spremanje podataka iz simulacije prikazano je na slici 5-28.

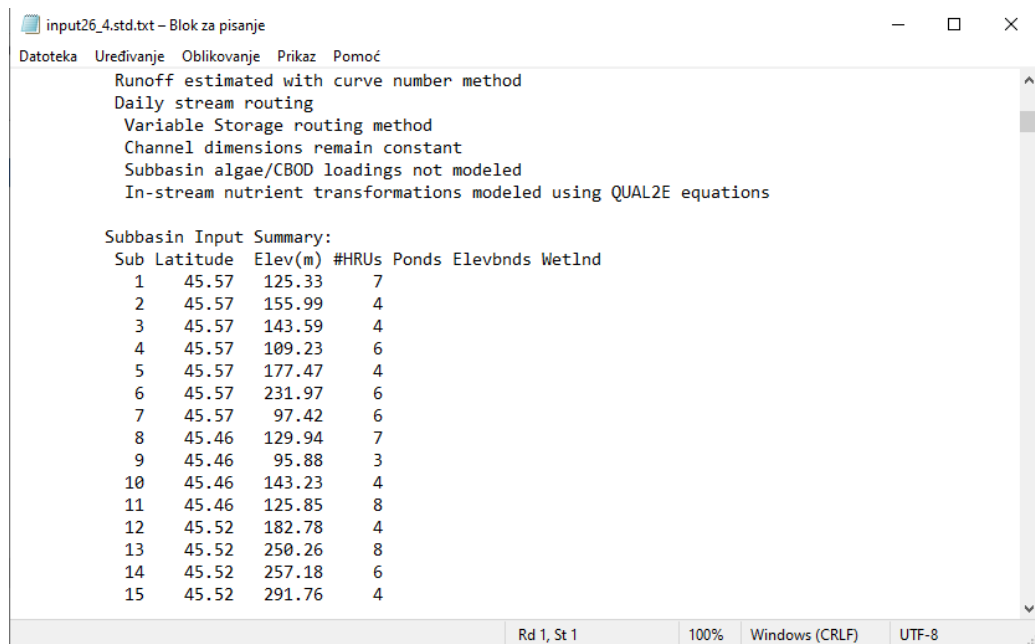


Slika 5-28. Spremanje SWAT simulacije

U tom koraku dobiju se dvije vrlo važne datoteke, input.std i output.std (Slika 5-29. i 5-30.).



Slika 5-29. Output.std datoteka



Slika 5-30. Input.std datoteka

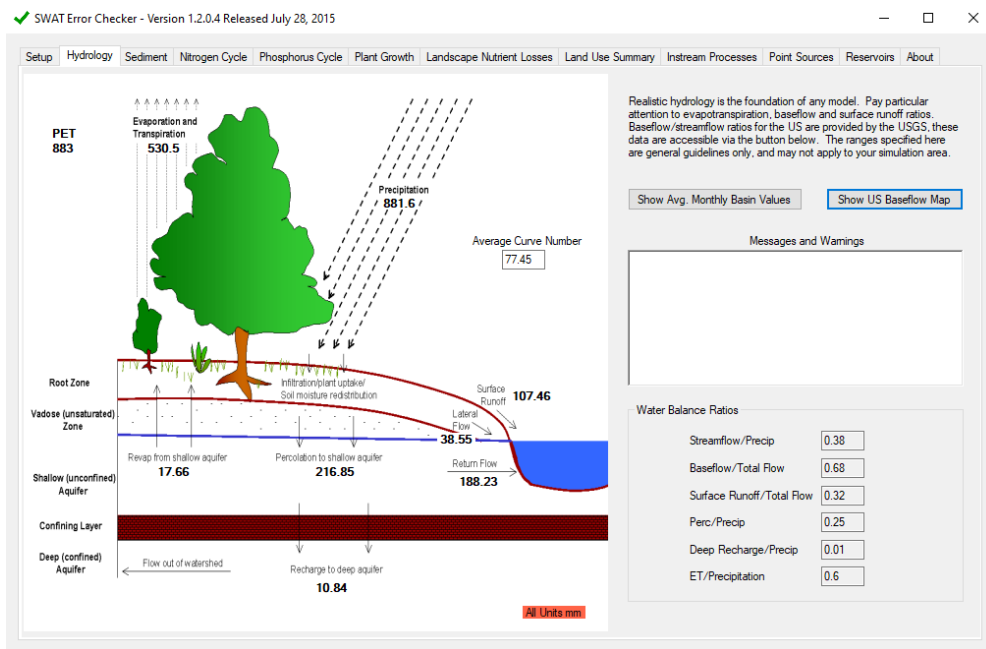
Nakon provedene SWAT simulacije za područje istraživanja, moguće je generirati vizualno atraktivne dijagrame koji prikazuju rezultate simulacije.

Korištenjem različitih grafičkih alata ili funkcionalnosti unutar SWAT simulacijskog okruženja, moguće je prikazati različite aspekte hidroloških procesa, vodnih tokova, erozije tla, kvalitete vode i drugih relevantnih varijabli na području istraživanja.

Ovi dijagrami pružaju jasnu i vizualnu interpretaciju rezultata simulacije, omogućujući istraživačima i stručnjacima da bolje razumiju i analiziraju hidrološke karakteristike, identificiraju trendove, varijacije ili potencijalne probleme u području istraživanja.

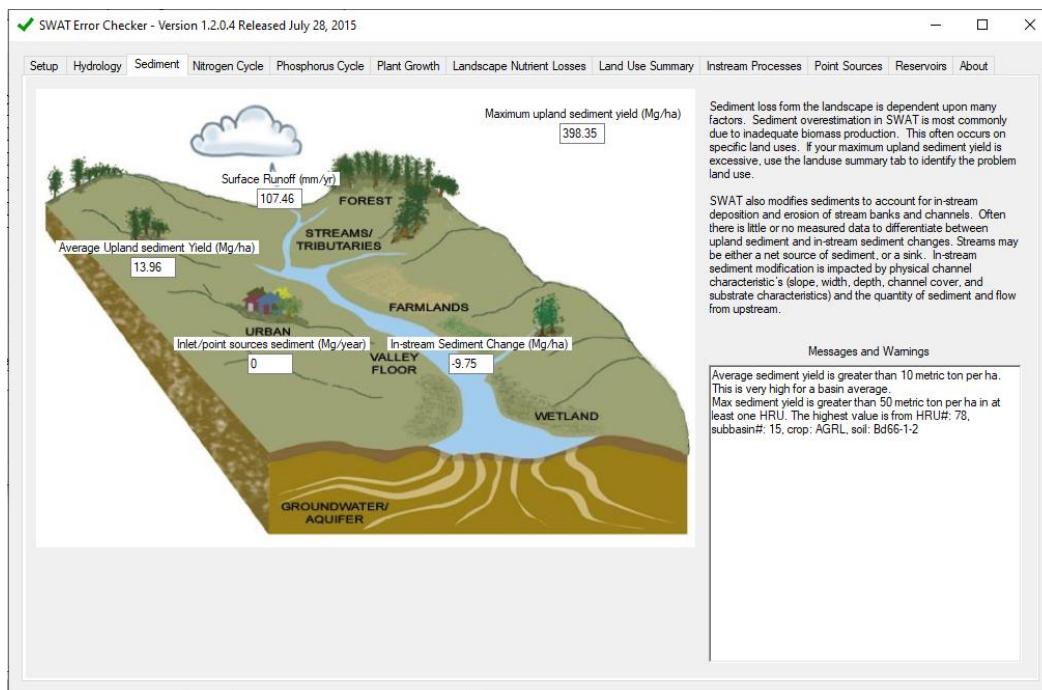
Dijagrami iz simulacije mogu biti u različitim oblicima kao što su grafovi, karte toka vode, karte erozije, karte kvalitete vode ili drugi prikazi koji pružaju detaljan uvid u rezultate simulacije.

Korištenje ovih vrlo lijepih dijagrama u SWAT simulaciji doprinosi boljem razumijevanju hidroloških procesa na području istraživanja te pruža korisne informacije za daljnje analize, upravljanje vodnim resursima i donošenje mnogih ključnih odluka (Slika 5-31., 5-32., 5-33., 5-34., 5-35., 5-36., 5-37., 5-38., 5-39.).



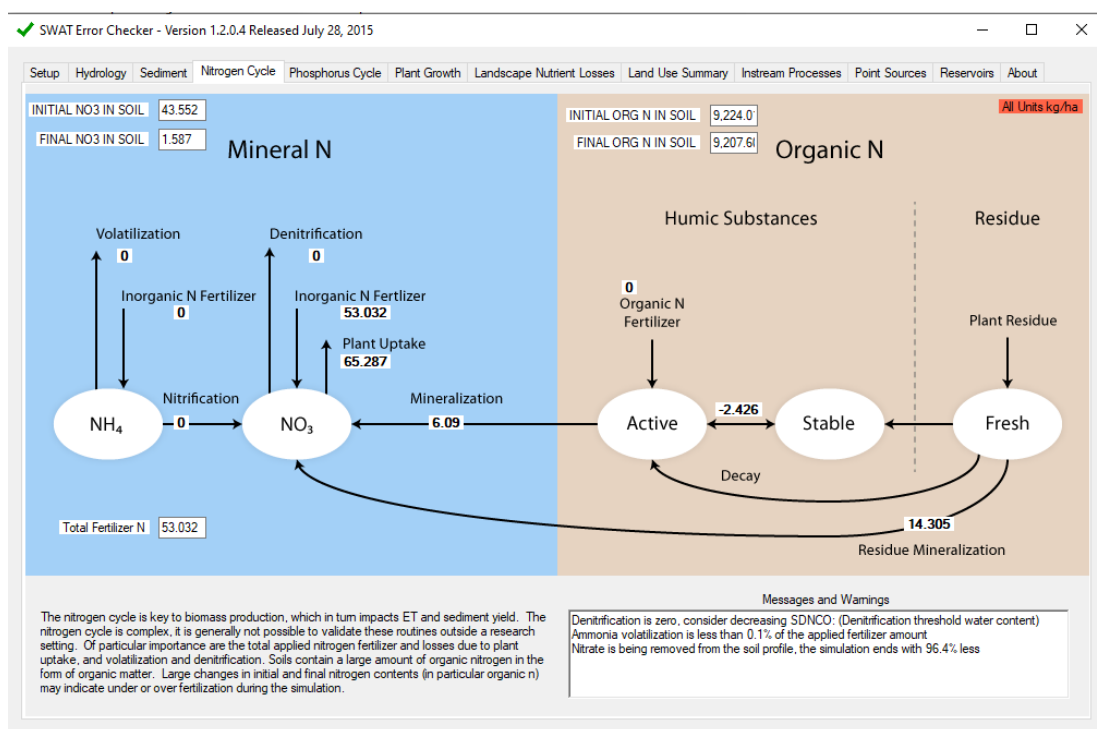
Slika 5-31. Hidrološki dijagram

Hidrološke komponente simulirane u SWAT modelu uključuju: evapotranspiraciju, površinsku drenažu, prodiranje, podzemnu drenažu (lateralnu drenažu) i podzemnu drenažu (baznu drenažu). Pri simulaciji evapotranspiracije, model zasebno procjenjuje isparavanje vode iz tla i transpiraciju biljaka. Sve jedinice su izražene u mm.



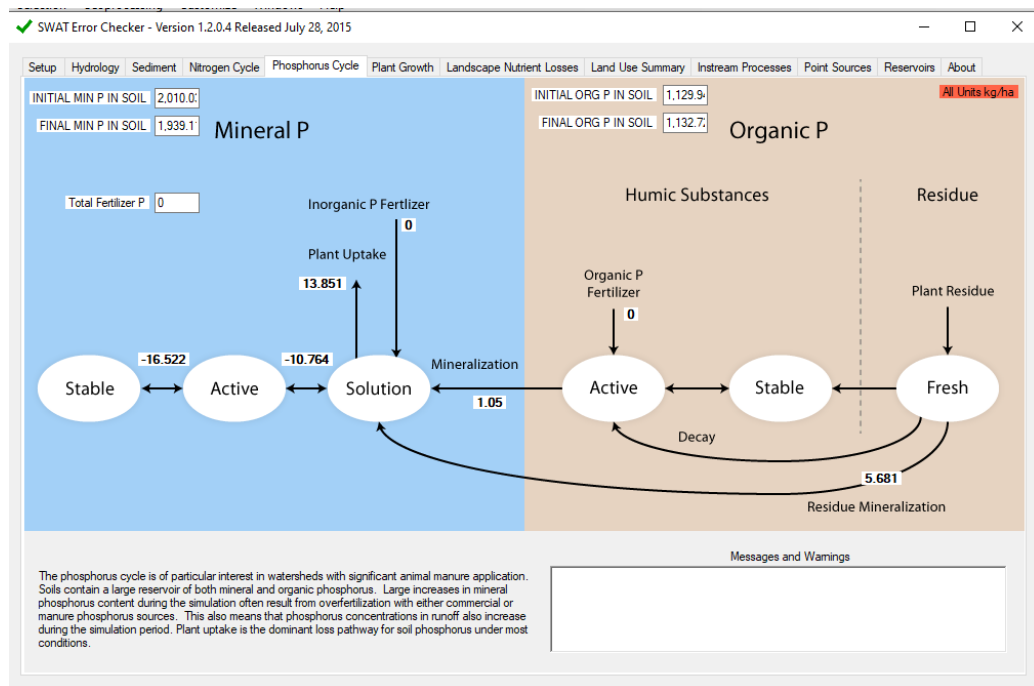
Slika 5-32. Sedimentni dijagram

Prosječni sedimentni prinos je veći od 10 metričkih tona po hektaru. Ovo je iznimno visoko za prosječni prinos sliva. Maksimalni sedimentni prinos je veći od 50 metričkih tona po hektaru u barem jednoj hidrološkoj jedinici (HRU). Najviša vrijednost dolazi iz HRU#:78, podsliva#: 15, usjeva: AGRL, tla: Bd66 1-2.



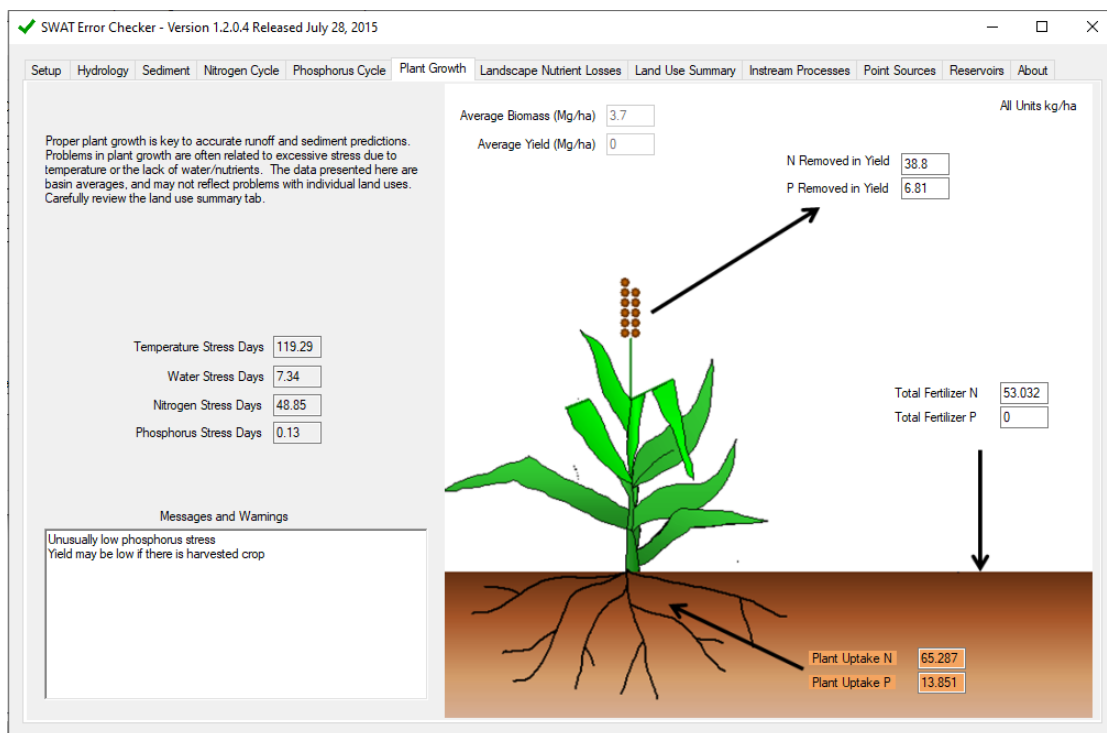
Slika 5-33. Ciklus dušika

Denitrifikacija je nula, potrebno je razmotriti smanjenje SDNCO-a (prag vlažnosti za denitrifikaciju). Isparavanje amonijaka iznosi manje od 0,1% primijenjene količine gnojiva. Nitrati se uklanjaju iz profila tla, simulacija završava s 96,4% manjim udjelom nitrata.



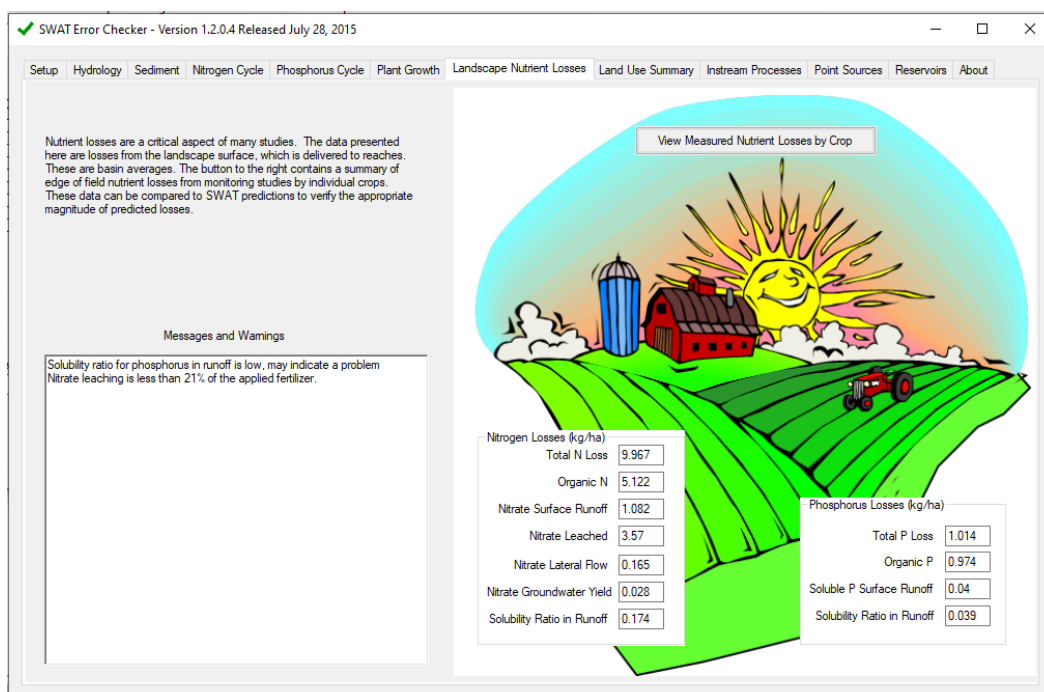
Slika 5-34. Ciklus fosfora

Ciklus fosfora u SWAT simulaciji prikazuje kretanje i transformaciju mineralnog i organskog fosfora u hidrološkom sustavu. Ovaj ciklus uključuje unos, prijenos, taloženje, ispuštanje i transformaciju fosfora u tlu, vodnim tokovima i drugim komponentama sliva. Mjerne jedinice izražene su u kg/ha.



Slika 5-35. Dijagram rasta biljaka

Na dijagramu je vidljiv izuzetno niski fosforini pritisak. Prinos može biti smanjen u slučaju žetve usjeva. Mjerne jedinice izražene u kg/ha.



Slika 5-36. Dijagram gubitaka hranjivih tvari u okolišu

Dijagram ukazuje da je razmjerna topljivost fosfora u ispuštanju niska, što može ukazivati na probleme kao što su eutrofikacija i loša kvaliteta vode. Ispiranje nitrata iznosi manje od 21% primijenjenog gnojiva. Mjerne jedinice izražene su u kg/ha.

SWAT Error Checker - Version 1.2.0.4 Released July 28, 2015

Setup | Hydrology | Sediment | Nitrogen Cycle | Phosphorus Cycle | Plant Growth | Landscape Nutrient Losses | Land Use Summary | Instream Processes | Point Sources | Reservoirs | About

Summary By Reported Landuse

	LULC	AREA km2	CN	AWC mm	USLE_LS	IRR mm	PREC mm	SURQ mm	GWQ mm	ET mm	SED th	NO3 kgh	ORGN
▶	AGRL	1,231.55	83.00	170.20	1.13	0.00	874.00	143.96	179.91	536.50	31.03	2.68	
	FRST	1,548.99	73.00	162.51	2.20	0.00	887.64	78.45	264.02	525.67	0.38	0.11	

View HRU Level Warnings

Messages and Warnings

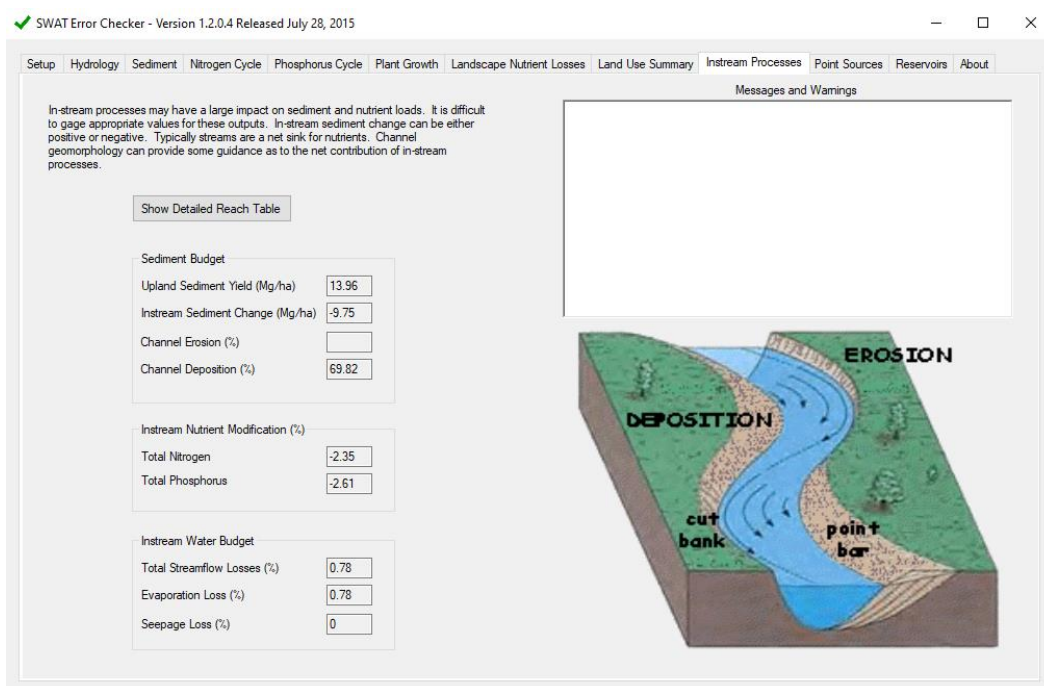
Model errors are often isolated to a particular land use type. If the land use is relatively minor, these issues may go unnoticed at the basin outlet during calibration. Often, these minor land uses are the focus of scenario development, and errors become apparent after the investment of much calibration effort.

The table above contains a few important predictions summarized by land use. These should be reviewed carefully. The button to the right provides HRU level warnings, these data are provided only to help isolate problem HRUs within a particular land use. We do not recommend that these data be used during routine checking of model output.

Crop AGRL: sediment yield may be too high
 Crop AGRL: biomass may be too low 0.00 mg/ha
 Crop FRST: more than 69% of water yield is baseflow

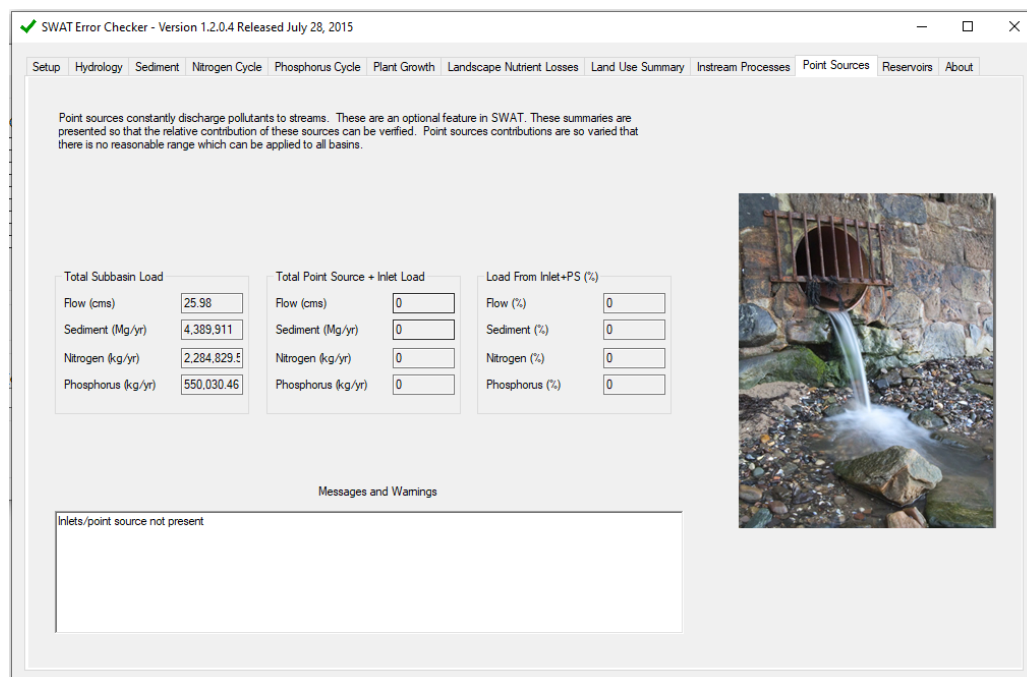
Slika 5-37. Pregled upotrebe zemljišta

Iz slike 5-37. vidljivo je da razmjerno velika erozija tla može biti prisutna, biomasa može biti preniska, 0,00 tona po hektaru i više od 69% ukupnog pritjecanja vode je bazni dotok.



Slika 5-38. Dijagram procesa unutar vodotoka

Procesi unutar vodotoka mogu imati velik utjecaj na opterećenje sedimentima i hranjivim tvarima. Promjena sedimenta unutar vodotoka može biti ili pozitivna ili negativna. Tipično, vodotoci djeluju kao neto "spona" za hranjive tvari.



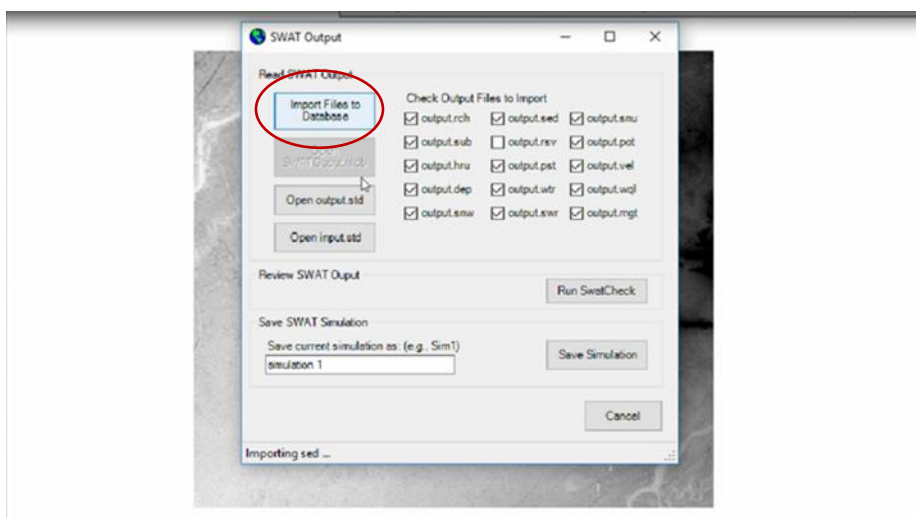
Slika 5-39. Točkasti izvori

Izvorišta poput točkastih izvora neprestano ispuštaju onečišćivače u potoke. Ona su neobavezan element u modelu SWAT. Ovi sažetci su tu kako bi se potvrdio relativni

doprinos takvih izvora. Doprinos izvorišta točkastih izvora toliko je raznolik da ne postoji razumna širina koja bi se mogla primijeniti na sve slivove.

5.5. Karta erozije tla za područje Banovine

Iz SWAT simulacije (*Soil and Water Assessment Tool*), odnosno iz izlaznih podataka SWAT-a (Slika 5-40.), generira se *Microsoft Access* baza podataka koja sadrži relevantne informacije (Slika 5-41.).



Slika 5-40. Prikaz dobivanja *Microsoft Access* podataka

YYYYMMDD	SUB	MON	DAY	YEAR	AREAKm2	PRECIPmm	SNOWMELTI	PETmm	ETmm	SWmm
20100101	1	1	1	2010	100.64	0	0	0.426	0.279	156
20100101	2	1	1	2010	181.52	0	0	0.43	0.288	153
20100101	3	1	1	2010	60.865	0	0	0.432	0.287	130
20100101	4	1	1	2010	271.38	0	0	0.431	0.257	154
20100101	5	1	1	2010	128.3	0	0	0.436	0.268	122
20100101	6	1	1	2010	173.58	0	0	0.432	0.276	145
20100101	7	1	1	2010	135.3	0	0	0.46	0.281	180
20100101	8	1	1	2010	198.09	0	0	0.46	0.287	178
20100101	9	1	1	2010	0.1854	0	0	0.461	0.258	178
20100101	10	1	1	2010	248.95	0	0	0.436	0.282	130
20100101	11	1	1	2010	164.16	0	0	0.463	0.302	179
20100101	12	1	1	2010	352.11	0	0	0.436	0.268	121
20100101	13	1	1	2010	197.99	22.4	0	0	0	164
20100101	14	1	1	2010	230.66	0	0	0.461	0.32	165
20100101	15	1	1	2010	336.1	22.4	0	0	0	140
20100102	1	1	2	2010	100.64	0	0	0.444	0.323	155
20100102	2	1	2	2010	181.52	0	0	0.446	0.326	153
20100102	3	1	2	2010	60.865	0	0	0.45	0.325	130
20100102	4	1	2	2010	271.38	0	0	0.446	0.308	153
20100102	5	1	2	2010	128.3	0	0	0.452	0.302	122
20100102	6	1	2	2010	173.58	0	0	0.447	0.317	145
20100102	7	1	2	2010	135.3	0	0	0.478	0.339	179

Slika 5-41. Podaci dobiveni iz SWAT simulacije

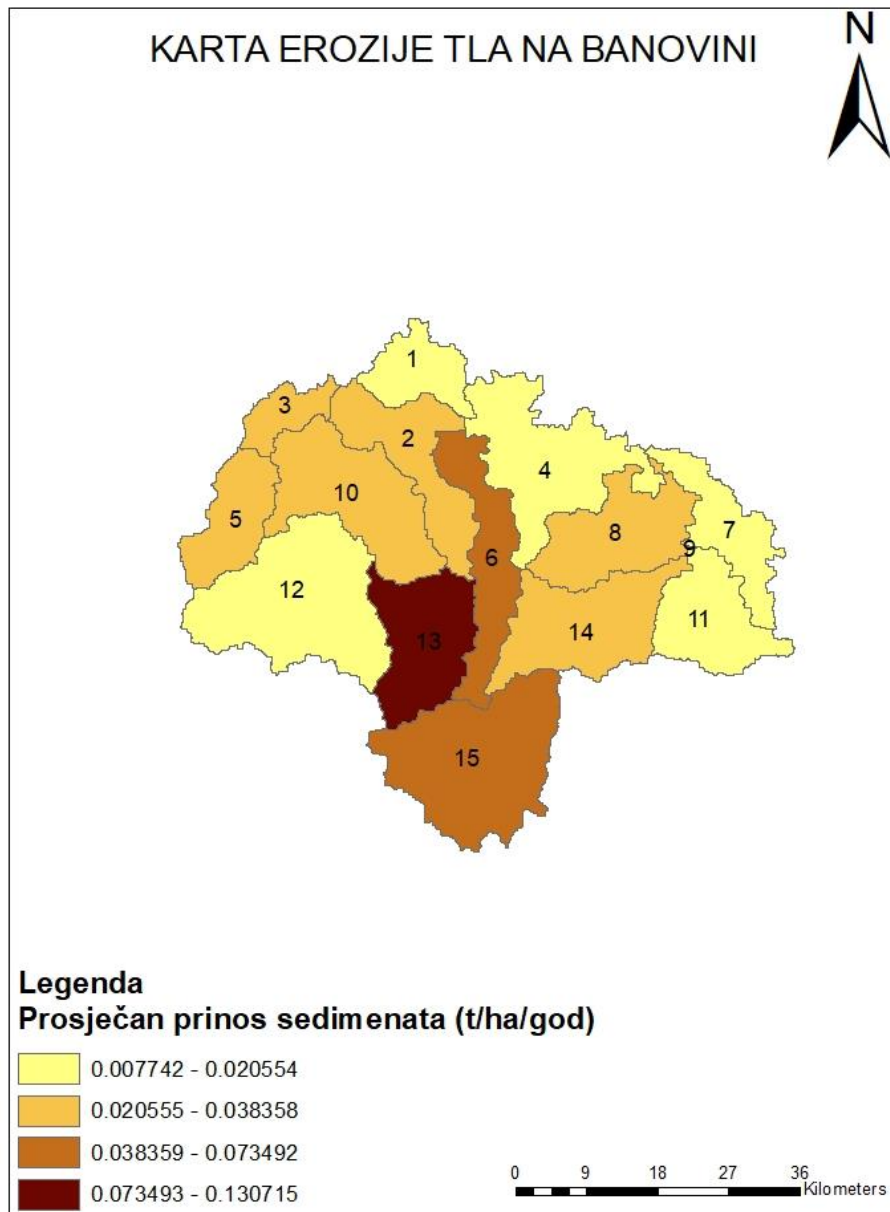
U toj bazi, pritiskom na oznaku "sub", moguće je kopirati sve podatke u *Excel*. U *Excelu* se zadržavaju stupci "subbasin" (podslivovi), "MON" (mjesec), "YEAR" (godina) i

"SYLDT_ha" (prinos sedimenata po hektaru). Nakon toga, izrađuje se pivot tablica koja omogućuje izračun prosječnog prinosa sedimenata za svaki pojedini podsliv (Slika 5-42.).

		Average of SYLDT_ha							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Row Labels									
2010		0,010064977	0,042760322	0,023333595	0,010364949	0,03290571	0,065557039	0,008309413	0,03976728
2011		0,008408677	0,037852871	0,029907871	0,008539622	0,031052558	0,06101585	0,012344584	0,052480319
2012		0,006556706	0,025931077	0,027175519	0,006890948	0,029034041	0,038928273	0,009643654	0,037267316
2013		0,005017938	0,020121312	0,00752801	0,005254737	0,009650679	0,031214768	0,007834631	0,032537854
2014		0,008663158	0,038974337	0,041909639	0,008342685	0,045305763	0,061642312	0,00543786	0,023856097
(blank)									
Grand Total		0,007657367	0,032589019	0,024514012	0,007835555	0,02815215	0,05075219	0,009014198	0,03840049
		0,007742291	0,033127984	0,025970927	0,007878588	0,02958975	0,051671649	0,008714028	0,037181773

Slika 5-42. Izrada pivot tablice

Nakon što se podaci prenesu u *Excel*, koristi se *ArcGIS* kako bi se prilagodila simbologija, rezultirajući slojem koji vizualno prikazuje rezultate analize, te dobila karta erozije za područje Banovine (Slika 5-43.).



Slika 5-43. Karta erozije tla za područje Banovine

Prosječan prinos sedimenata (eng. *Average sedimentation yield*) se odnosi na prosječan prinos taloženih sedimenata i uključuje elemente erozije tla. To je mjera koja opisuje koliko sedimenta se prosječno gubi ili taloži na određenom području tijekom vremenskog perioda.

Erozija tla na području Banovine proučavana je kroz kartu koja prikazuje raspon vrijednosti prosječan prinos sedimenata [t/ha/god]. Ovi rasponi vrijednosti odražavaju različite razine gubitka tla i taloženja sedimenata na tom području.

Rasponi vrijednosti "average sediment yield" su sljedeći:

- Raspon od 0.007742 do 0.020554 označava područja s relativno niskim prinosom sedimenata, što ukazuje na manji gubitak tla i manju eroziju.
- Raspon od 0.020555 do 0.038358 predstavlja područja s umjerenim prinosom sedimenata, što ukazuje na umjerenu razinu gubitka tla i erozije.
- Raspon od 0.038359 do 0.073492 označava područja s visokim prinosom sedimenata, što ukazuje na značajan gubitak tla i izraženu eroziju.
- Raspon od 0.073493 do 0.130715 označava područja s vrlo visokim prinosom sedimenata, što ukazuje na izuzetno visok gubitak tla i intenzivnu eroziju.

Radi zaštite tla na području Banovine, moguće su sljedeće mjere:

- Stabilizacija padina: Ugradnja terasastih poljoprivrednih sistema ili konstrukcija za stabilizaciju padina mogu smanjiti brzinu i utjecaj erozijskih procesa.
- Zaštitni pokrivač: Korištenje zaštitnih pokrivača poput vegetacijskih pokrova, organskog malča ili kamene brazde može spriječiti izravni utjecaj padalina na tlo, smanjujući eroziju.
- Očuvanje prirodnih vodotoka: Održavanje prirodnih vodotoka ili izgradnja odgovarajućih sustava odvodnje može smanjiti eroziju tla uzrokovanu jakim strujanjem vode.
- Rotacija usjeva: Uvođenje sustava rotacije usjeva može pomoći u očuvanju plodnosti tla, smanjujući potencijalnu eroziju povezanu s jednostranom poljoprivrednom praksom.
- Edukacija i svijest: Informiranje lokalnog stanovništva o važnosti očuvanja tla i podizanje svijesti o pravilnom upravljanju tlima može potaknuti promjene u ponašanju i poticanje mjera zaštite tla.

6. ZAKLJUČAK

Zaključno, ovim diplomskim radom naglašava se esencijalna uloga tla kao jednog od osnovnih prirodnih resursa ključnog za održivost života. Erozijski procesi vodom i vjetrom identificirani su kao glavni faktori koji degradiraju tlo, pri čemu otjecanje ispire čestice s padina i golih tla, dok vjetar odnosi rahle i odvojene čestice s ravnih i nezaštićenih terena. Geološka erozija je normalan proces trošenja koji se događa malim stopama u svim klimama kao dio prirodnih procesa formiranja tla. Utjecaj erozije na produktivnost tla ovisi o različitim čimbenicima kao što su profil tla, zaravnjenost terena, upravljanje tлом i klimatske karakteristike.

U radu je prikazan SWAT model (*Soil & Water Assessment Tool*) koji je razvijen za istraživanje i simulaciju hidroloških procesa u složenim riječnim slivovima. Ovaj fizički temeljen model, omogućuje analizu vodnih resursa u slivovima koji su pod utjecajem korištenja zemljišta, upravljanja zemljištem i klimatskih promjena tijekom dužeg vremenskog razdoblja. SWAT koristi visoku razinu prostornih detalja i omogućuje simulacije podataka koji nedostaju, poput klimatskih promjena. Ovaj računalno učinkovit model omogućuje dugoročno praćenje sliva i simuliranje budućih scenarija.

Diplomski rad je koristio softver *ArcMap* i specifičan alat *ArcSWAT* za analizu hidroloških procesa. Integracija podataka digitalnog modela terena i kategorizacije zemljišnog pokrova) omogućila je detaljnu analizu hidroloških karakteristika sliva. Primjena automatskog izdvajanja slivnih područja na temelju unesenih podataka omogućila je definiranje granica hidroloških slivova na temelju topografije terena i vodnog toka.

Uz pomoć SWAT modela, izlazni podaci generiraju *Microsoft Access* bazu podataka koja sadrži relevantne podatke koji nam daju vrlo bitne informacije o istraživanom području. Polje u bazi *Prosječan prinos taloženih sedimenata* (eng. *average sedimentation yield*) pruža informacije o gubitku tla i taloženju sedimenata na području Banovine. Upravo rasponi tih vrijednosti odražavaju različite razine gubitka tla ali i intenzitet erozije na tom području.

Strukturirani podaci iz baze podataka pretvorbom u grafički GIS prikaz su još bolji i konkretniji jer se bolje uočava stanje pojedinih slivova i dijelova istraživanih područja.

Niske vrijednosti "average sediment yield" (raspon od 0.007742 do 0.020554) ukazuju na područja s relativno niskim prinosom sedimenata. To znači da su ta područja manje

podložna eroziji i gubitku tla, što može biti rezultat prisutnosti dobro očuvanih biljnih pokrova, dobre strukture tla ili primjene učinkovitih metoda upravljanja tlima.

Umjerene vrijednosti "average sediment yield" (raspon od 0.020555 do 0.038358) označavaju područja s umjerenim prinosom sedimenata. To sugerira da su ta područja izložena umjerenom gubitku tla i eroziji, što može biti rezultat djelomičnog gubitka vegetacijskog pokrova ili nepovoljnih uvjeta upravljanja tlima.

Visoke vrijednosti "average sediment yield" (raspon od 0.038359 do 0.073492) ukazuju na područja s visokim prinosom sedimenata. To ukazuje na značajan gubitak tla i izraženu eroziju na tim područjima. Visoke vrijednosti mogu biti posljedica prisutnosti erozijski osjetljivih površina, poput nagibnih terena bez vegetacijskog pokrova ili intenzivnih poljoprivrednih aktivnosti bez adekvatnih mjera zaštite tla.

Vrlo visoke vrijednosti "average sediment yield" (raspon od 0.073493 do 0.130715) označavaju područja s izuzetno visokim prinosom sedimenata. To upućuje na izuzetno visok gubitak tla i intenzivnu eroziju na tim područjima. Vrlo visoke vrijednosti mogu ukazivati na ozbiljne probleme erozije tla, što zahtijeva hitne mjere zaštite tla i upravljanja kako bi se smanjio daljnji gubitak tla i očuvao plodnost tla.

Analiza ovih raspona vrijednosti pruža važne smjernice za planiranje i implementaciju mjera zaštite tla na području Banovine. Identifikacija područja s visokim i vrlo visokim prinosom sedimenata omogućuje usmjeravanje prioriteta na ta područja radi sprječavanja daljnje erozije i degradacije tla. Istovremeno, područja s nižim prinosom sedimenata mogu poslužiti kao primjeri dobre prakse i izvor znanja o održivim metodama upravljanja tlima koje se mogu primijeniti na drugim područjima s većim izazovima u pogledu erozije tla.

Zaključno, diplomski rad je pružio detaljnu analizu erozije tla i hidroloških procesa na području Banovine koristeći SWAT model. Rezultati simulacija i vizualizacija omogućili su bolje razumijevanje hidroloških karakteristika tog područja te identifikaciju potencijalnih problema i mjera zaštite tla. Ovaj rad pruža korisne informacije za daljnja istraživanja i planiranje održivog upravljanja vodnim resursima i tlima na području Banovine.

7. LITERATURA

ARNOLD J. G., SRINIVASAN R., MUTTIAH R. S., & WILLIAMS J. R. (1998): Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development. *Journal of the American Water Resources Association*, 34(1), 73-89

ARNOLD J.G., MORIASI D.N., GASSMAN P.W., ABBASPOUR K.C., WHITE M.J., SRINIVASAN R., SANTHI C., HARMEL R.D., VAN GRIENSVEN A., VAN LIEW M.W., KANNAN N., JHA M.K. (2012): SWAT: Model Use, Calibration, and Validation. *55(4):1491-1508.*

BOOTH, B., MITCHELL, A. (2001): *Getting started with ArcGIS*, Environmental System Research Institute, Redlands, Calif

GASSMAN P., WANG Y. (2015): IJABE SWAT Special Issue: Innovative modeling solutions for water resource problems. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 8(3).

GRGURIĆ, D. (2020): *Mapiranje eksploatacijskih polja mineralnih sirovina u Hrvatskoj u GIS tehnologiji*, Diplomski rad, Rudarsko–geološko–naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

HARI D., REDDY K. R. (2018): A review on Soil and Water Assessment Tool (SWAT) and its applications. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, Volume 5, Issue 7

KISIĆ I. (2017): *Erozija vjetrom. Hrvatske vode : časopis za vodno gospodarstvo*, 25 (2017), 99; 1-12

LONGLEY, P. A., GOODCHILD, M. F., MAGUIRE, D. J., RHIND, D. W. (2005): *Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications*, 2nd Edition, Abridged

PAVIĆ, I. (2012): *Geografsko – informacijski sustav i model razvoja pomorskog katastra*, *Naše more*, 59(5 – 6), str. 301 – 307

PERKOVIĆ, D. (1998): *Hidrogeološki katastar kao dio geografskog informacijskog sustava*, Magistarski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb

SENANAYAKE S., PRADHAN B., HUETE A., BRENNAN J. (2020): A Review on Assessing and Mapping Soil Erosion Hazard Using GeoInformatics Technology for Farming System Management. Remote Sens. 2020, 12, 4063; doi:10.3390/rs12244063

TOWHID OSMAN K. (2013): Soil Degradation, Conservation and Remediation. Springer Science & Business Media. Str 69-103

WEB IZVORI

Agencija za zaštitu okoliša Brošura CORINE Land Cover 2000 Hrvatska, str. 1-8., Agencija za zaštitu okoliša, dostupno na linku: <http://www.azo.hr/Default.aspx?art=1138>, datum pristupa 16. siječnja 2023.

Agro klub, dostupno na linku: <https://www.agroklub.com/povrcarstvo/malciranje-je-mjera-koja-cuva-kvalitetu-zemljista/51071/>, datum pristupa 12. kolovoza 2023.

Agrivi, dostupno na linku: <https://www.agrivi.com/hr/>, datum pristupa 13. kolovoz 2023.

Copernicus – CORINE land cover, dostupno na linku: <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>, datum pristupa 16. siječanj 2023.

EARTHDATA SEARCH, dostupno na linku: <https://search.earthdata.nasa.gov/search> , datum pristupa 13. siječanj 2023.

Enciklopedija, dostupno na linku: <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=69425>, datum pristupa 12. kolovoz 2023.

ESRI (2023a): What is GIS?, dostupno na linku: <https://www.esri.com/en-us/what-is-gis/overview>, datum pristupa 07. lipanj 2023.

ESRI (2023b): History of GIS, dosupno na linku: <https://www.esri.com/en-us/what-is-gis/history-of-gis> , datum pristupa 08. lipanj 2023.

ESRI (2023c): What is ArcMap?, dostupno na linku: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/map/main/what-is-arcmap-.htm>, datum pristupa 15. lipanj 2023.

ESRI, dostupno na linku: <http://www.esri.com/software/arcgis/arcgis-fordesktop/pricing>, datum pristupa 05. lipanj 2023.

Eurostat; Statistics explained, dostupno na linku: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Agri-environmental_indicator_-_soil_erosion, datum pristupa 26. svibanj 2023.

FAO SOILS PORTAL, dostupno na linku: <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/faounesco-soil-map-of-the-world/en/>, datum pristupa 25. siječanj 2023.

GEOSPATIAL WORLD, dostupno na linku: <https://www.geospatialworld.net/blogs/what-is-arcgis/>, datum pristupa 15. lipanj 2023.

GRASSGIS, dostupno na linku: <https://grass.osgeo.org/>, datum pristupa 17. lipanj 2023.

Grind GIS, dostupno na linku: https://grindgis.com/blog/components-of-gis?utm_content=cmp-true, datum pristupa 13. lipanj 2023.

Guides, Quantum GIS: What is GIS?, dostupno na linku: <https://guides.library.upenn.edu/c.php?g=475976&p=3255387>, datum pristupa 16. lipanj 2023.

PERFORUM, dostupno na linku: <https://www.perforum.info/terasiranje-strmog-poljoprivrednog-zemljista/>, datum pristupa 12. kolovoz 2023.

PERKOVIĆ, D., 2010. Faze razvoja GIS-a. Dostupno na linku: <https://dokumen.tips/documents/06-faze-razvoja-gis-a-01092010-rudarrgnhrdperkonidsdperkovic-aautocadmicrostation.html?page=24>, datum pristupa 12. lipanj 2023.

QGIS, dostupno na linku: <https://www.qgis.org/en/site/about/index.html>, datum pristupa 16. lipanj 2023.

Struna, dostupno na linku: <http://struna.ihjj.hr/naziv/plodored/17534/>, datum pristupa 12. kolovoz 2023.

SWAT, Soil and Water Assessment Tool, dostupno na linku: <http://swat.tamu.edu/>, datum pristupa 07. lipanj 2023.

The POWER Project, dostupno na linku: <https://power.larc.nasa.gov/>, datum pristupa 7. veljače 2023.

Udemy; LAKHWINDER S.: ArcSWAT Model with ArcGIS - Run for any Study Area. Video edukacija. Dostupno na linku: <https://www.udemy.com/course/running-arcswat-model-with-arcgis-for-any-study-area-gis/> , datum pristupa 14. prosinac 2023.