

DOI 10.51558/2303-5161.2025.13.13.147

Naučni rad

PROCJENA UNOSA NANOSA U AKUMULACIJU UZ ODREĐIVANJE EROZIONIH KARAKTERISTIKA SLIVNOG PODRUČJA AKUMULACIJE MODRAC

*Mufid Tokić, **Munir Jahić, ***Omer Kovčić

**Mufid Tokić, dipl.ing.građ.MA, JP "Spreca" d.d. Tuzla, Aleja Alije Izetbegovića 29/VII, Tuzla, Bosnia and Herzegovina, tel: +38761728428, e-mail: mufid.tokic@gmail.com*

***Dr.sc Munir Jahić, dipl.ing.građ., emeritus, Univerzitet u Bihaću, Tehnički fakultet, tel: +38761183241, e-mail: munirjahic@gmail.com*

****Dr.sc Omer Kovčić, dipl.ing.građ., JP "Spreca" d.d. Tuzla, Aleja Alije Izetbegovića 29/VII, Tuzla, Bosnia and Herzegovina, tel: +38761868123, e-mail: omer.kovcic@gmail.com*

Sažetak

Određivanje erozionih karakteristika slivnog područja je veoma važno kod upravljanja samim slivnim područjem, kao i kod upravljanja vodnim resursima, pogotovo ako se radi o višenamjenskoj akumulaciji. Faktori koji uslovljavaju proces erozije u slivnom području vodotoka, odnosno režim nanosa jednog vodotoka, mogli bi se podijeliti na one koji se praktično ne mijenjaju ili one koji se u periodu od nekoliko godina ne mijenjaju znatno, i faktore koji su u toku godine podložni promjenama, u zavisnosti od meteoroloških i klimatskih promjena nad slivnim područjem. Za preventivno djelovanje i spriječavanje nastajanja erozije, a time i bujičnih poplava, te zasipanja akumulacija, potrebno je analizirati i odrediti precizno koeficijent erozije slivnog područja. Sa druge strane, upravljanje vodnim resursima sadrži niz aktivnosti kao što su planiranje, projektiranje, izgradnja, upravljanje, održavanje, promatranje i kontrola izgrađenih objekata, radi ocjene i povećanja njihove učinkovitosti. U skladu s tim, potrebno je posebno planirati sve aktivnosti u odnosu prema akumulacijama kao ključnim objektima upravljanja vodnim režimom nekog sliva i procesa unutar slivnog područja.

Ključne riječi: erozija, nanos, meteorološke promjene, klimatske promjene, erozioni koeficijent, vodni resursi, nanos, slivno područje, taloženje.,

1. UVOD

Akumulacija Modrac predstavlja jedini dostupan vodni resurs u regionu Tuzle i okoline. Imajući u vidu činjenicu da je korisna zapremina akumulacije ograničena, i da vremenom dolazi do zasipanja akumulacije vučenim nanosom i ugljenom prašinom kao lebdećim nanosom, te da se potrošačima – stanovništvu, industriji i drugima, mora osigurati vodosnabdjevanje sa visokim stepenom sigurnosti. Višak vode potrebno je maksimalno iskoristiti u svrhu proizvodnje električne energije, te postoji potreba za optimiziranjem sistema, odnosno efikasnijim upravljanjem vodnim resursom akumulacije, odnosno da se dokaže maksimalna iskoristivost akumulacije uz neprestano obezbjeđivanje svih potrebnih količina vode za koju je vezana akumulacija Modrac [1].

Hidroakumulacija "Modrac", kao višenamjenska akumulacija, nastala izgradnjom brane Modrac 1964. godine u tjesnacu Modrac na rijeci Spreči. Hidroakumulaciju čine rijeke Spreča i Turija sa pritokama. Ukupna površina slivnog područja u profilu brane je približno 1189 km², što čini preko 60% cjelokupnog riječnog sliva. Od ukupne površine sliva, rijeka Spreča zauzima 832 km², rijeka Turija zauzima 240 km², dok ostatak sliva pripada akumulaciji neposrednog sliva 117 km² [1].

Sve većim, te često i međusobno suprotstavljenim zahtjevima korištenja vodnim resursima, pojavljuje se i potreba za složenijim metodama upravljanja uključujući i upravljanje zapreminom akumulacija.

U pojedinim akumulacijama, već 10 – 20 godina po njihovoj izgradnji, zapremina nanosa dostiže 20 – 30% opće zapremine akumulacije [2].

Svrha procjene pronosa nanosa u hidroakumulaciju je ostvarivanje mogućnosti svrsishodnijeg upravljanja prirodnim vodnim resursima, zaštiti od štetnog djelovanja voda kao i zaštiti voda od onečišćenja.

Analizom pronosa nanosa na vodotocima, odnosno pritokama, te ukupnom količinom nanosa koji je taloži u akumulaciji Modrac, dobijaju se stvarni podaci o količini nanosa koji se unosi u hidroakumulaciju Modrac, dinamiku unosa nanosa, te stepen onečišćenja ovakve vrste vodnog tijela.

2. MODELIRANJE SLIVNOG PODRUČJA

U vrijeme današnje tehnologije koja je široko dostupna, za modeliranje slivnog područja najefikasniji alat je geografski informacijski sistem (GIS). GIS je sistem za upravljanje prostornim podacima i osobinama koje su njima pridružene. U najstrožijem smislu to je kompjuterski sistem sposoban za integrisanje, spremanje, uređivanje, analiziranje i prikazivanje geografskih informacija. Jedna od najstarijih definicija GIS-a je:

„GIS je posebna vrsta informacijskog sistema u kojem kompjuterska baza podataka obuhvaća tačno definirane odnose između prostorno distribuiranih objekata, djelatnosti i događaja, koji su u prostoru definirani kao tačke, linije i površine (poligoni) [3].

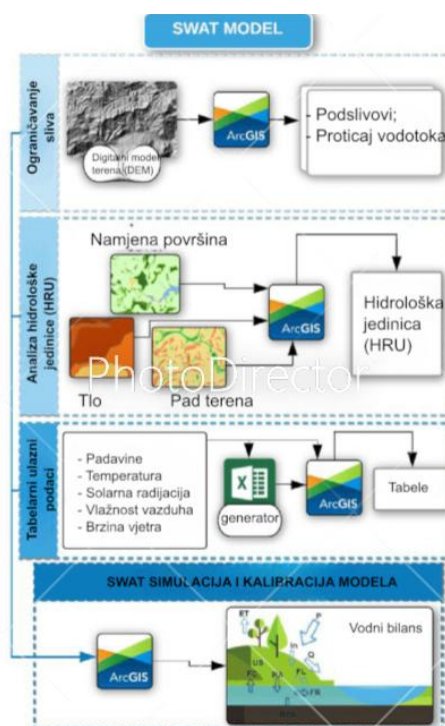
U GIS-u su podaci vezani uz te tačke, linije i poligone i tako su pohranjeni za istraživanja i analize“ [3].

Modeliranje slivnog područja višenamjenske akumulacije je rađen u softverskom paketu ArcGIS, u kojem je rađena priprema svih podloga i ulaznih podataka za proračun, modeliranje sliva akumulacije Modrac i hidrološko hidraulički proračun je rađen u ArcSWAT-u. U navedenom softveru, na geoinformacionoj platformi (GIS), su dobijeni rezultati: proticaj glavnih vodotoka u slivnom području akumulacije Modrac, zasićenosti tla i pronosu sedimenata u vodotocima i transportu istih do akumulacije Modrac.

Ulazni podaci za modeliranje u softverskom paketu ArcGIS, odnosno u GIS alatu – ArcSWAT-u su:

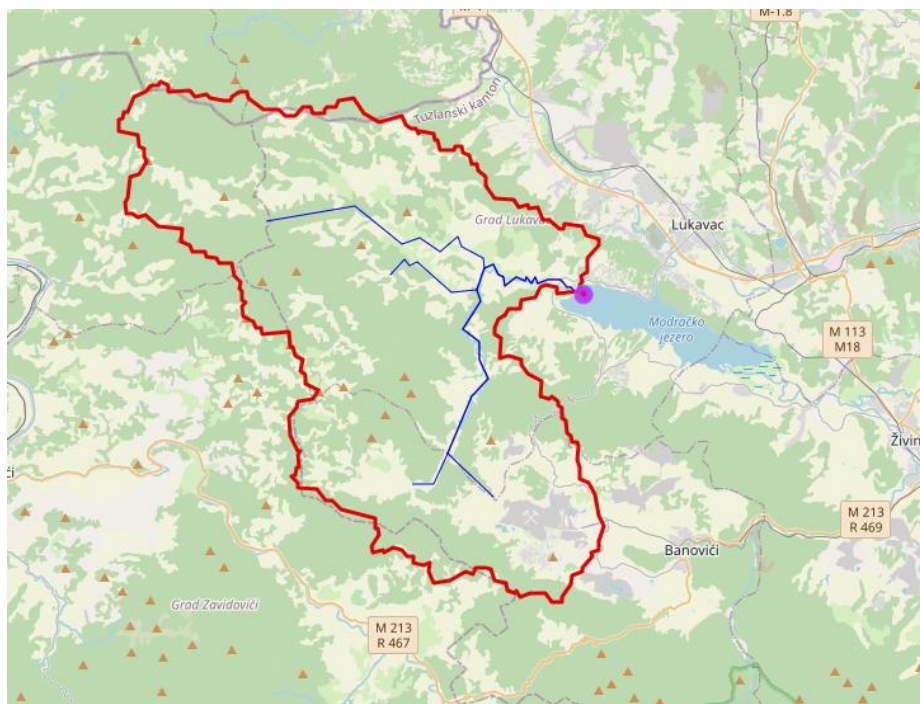
- digitalni model terena,
- karta namjene površine slivnog područja,
- karta pedološkog sastava tla slivnog područja,
- hidrometeorološki podaci (padavine, temperature, vjetar, sunčeva insolacija i vlažnost vazduha).

Na sljedećoj slici (slika 1) je prikaz način rada softvera ArcSWAT-a, potrebne podloge i analiza podloga, te rezultati koji se dobijaju ovakvim pristupom istraživanja slivnog područja.

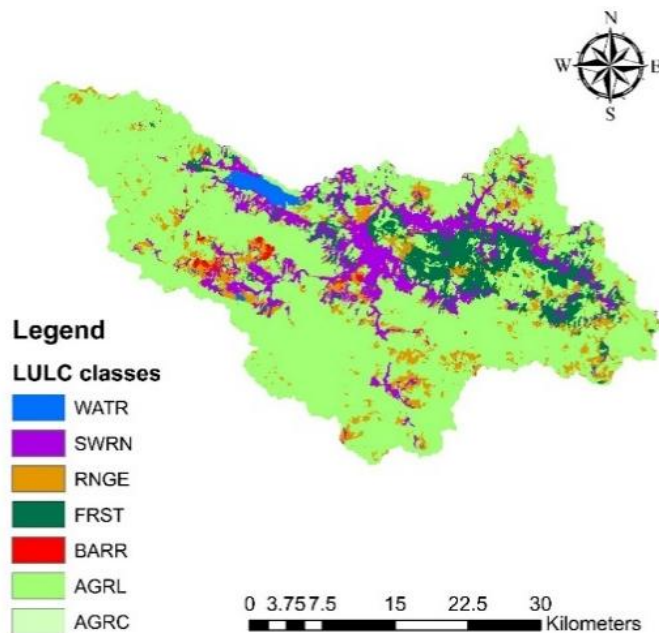


Slika 1. Prikaz načina rada ArcSWAT modela [3]

Digitalni model terena kao jedna od najznačajnijih podloga je preuzeta sa USGS Earth Explorer, podatak digitalnog modela terena je SRTM 30 m. SRTM 30 m je fajl sadrži digitalne podatke o nadmorskoj visini za međunarodni istraživački program, a kojim su dobiveni digitalni modeli nadmorske visine na globalnom nivou.



Slika 2. Digitalni model terena šireg područja sa ucrtanom granicom slivnog područja akumulacije Modrac, <https://mghydro.com/watersheds/>
 Namjena površina i zemljani pokrivač je također karta sa digitalnim podacima i potrebna podloga za analizu slivnog područja i za proračun u navedenom softverskom paketu. Rezolucija ove karte je dosta visoka, i od 2020. godine ona iznosi 10 m.



Slika 3. Karta namjene površine i zemljanog pokrivača, [3]

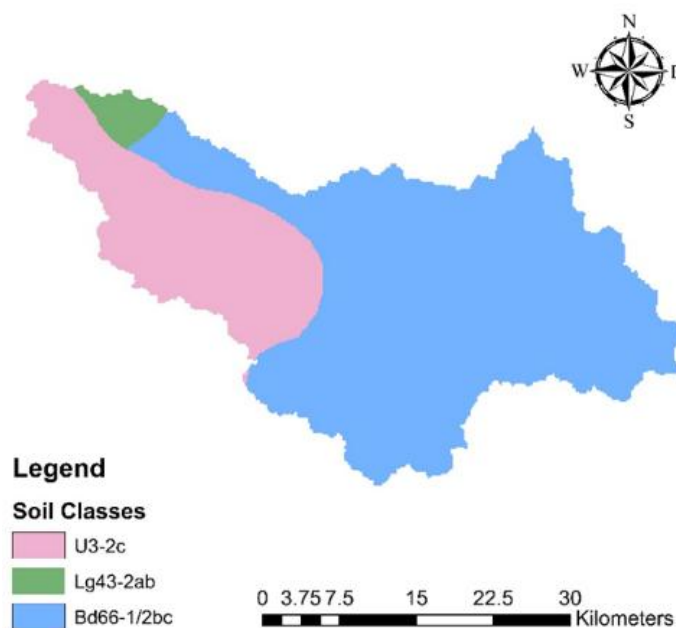
Imajući u vidu dostupne ulazne podatke koji su neophodni za modeliranje slivnog područja, u ovom radu, podaci o količini i transportu ukupnog nanosa su rađeni za niz od 8 godina u periodu 2014. – 2021. godine.

Karta tla je također karta sa digitalnim podacima o pedološkim karakteristikama slivnog područja. Za predmetni sliv akumulacije Modrac, navedena karta tla sa pedološkim karakteristikama je preuzeta sa stranice www.fao.org u kojoj se nalazi baza podataka o pedološkim karakteristikama tla na globalnom nivou [4].

Navedena karta sadrži baze podataka koji se odnose se na podatke i karte sastavljene korištenjem terenskih istraživanja potkrijepljenih daljinskim očitavanjem i drugim podacima o okolišu, stručnim mišljenjem i laboratorijskim analizama [4].

Na slici 4. je prikazana karta tla sliva akumulacije Modrac po klasifikaciji dominantnog tla. Za slivno područje akumulacije Modrac dominiraju tri tipa dominantnog tla, a to su:

- Rankeri (U3-2c) označava plitke stijene s čvrstim ili fragmentiranim nevapnenačkim stijenama;
- Luvisol (Lg43-2ab) su tla povezana su s kratkotrajnom zasićenošću vodom u profilima;
- Kambiosoli (Bd66-1/2bc), su široko rasprostranjena tla razvijena na različitim litologijama koje igraju značajnu ulogu u pedološkom razvoju ovog relativno mladog tla [4].



Slika 4. Karta tla sliva akumulacije Modrac po klasifikaciji dominantnog tla, [4]

Hidrometeorološki podaci su također koriste kao podloga za analizu slivnog područja i dobijanja rezultata o proticaju u vodotocima (dotok u akumulaciju Modrac), pronos nanosa (sedimenata), zasićenosti tla, unos nutrijenata u akumulaciju (organsko opterećenje). Hidrometeorološki podaci su uzeti za niz od 8 godina (2014. godina – 2021. godina) sa KS Modrac.

3. REZULTATI MODELIRANJA

U ovom radu, vremenski koraci su korišteni za evaluaciju SWAT modela. Drugačiji parametri evaluacije korišteni su za procjenu modela i njihov učinak prema preporuci Moriasi et al.

(2007.), tj.:

- Nash–Sutcliffova učinkovitost (NSE),
- grafička tehnika pomoću hidrograma,
- standard RMSE opažanja omjer odstupanja (RSR) i
- postotna pristranost (Pbias).

Osim toga, indeks slaganja (D) i koeficijent determinacije (R²) također su izračunati i uspoređeni za sve rezultate dobijenih modeliranjem u SWAT softveru. Kopneni dio hidrološkog ciklusa temelji se na bilansu vodene mase. Hidrološki procesi i primjena SWAT modela svakodnevno se simulira za svaku HRU – hidrološku jedinicu, vremenskim koracima pomoću sljedeće jednačine ravnoteže vode u tlu [5].

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^n (R_{day} - Q_{surf} - E_a - w_{seep} - Q_{gw}) \quad (1)$$

gdje je:

SW_t – ukupni sadržaj vode u tlu (mm)

SW_0 – početni sadržaj vode u tlu (mm)

R_{day} – količina padavina po danu (mm)

Q_{surf} – količina površinskog oticanja po danu (mm)

E_a – evapotranspiracija po danu (mm)

w_{seep} – količina perkolacije (ekstrakcije) – podizanje nivoa podzemne vode (mm)

Q_{gw} – količina podzemne vode (mm)

Za izračun se koristi Penman-Monteithova metoda stvarne evapotranspiracije kao i potencijalna transpiracija. Modificirana metoda CN krive sa modificiranom racionalnom metodom koriste se za proračun površinskog i vršnog oticanja [6].

Univerzalna jednačina erozije tla i količine sedimenata je definisao Williams 1995 godine [7]:

$$sed = 11,80 \times (Q_{surf} \times q_{peak} \times area_{hru})^{0,56} \times K_{usle} \times C_{usle} \times LS_{usle} \times CFRG \quad (2)$$

gdje je:

sed – količina sedimenata (t/dan)

Q_{surf} – zapremina površinskog oticanja (mm)

q_{peak} - pik stope površinskog oticanja (m³/sek)

$area_{hru}$ – površina hidrološke jedinice HRU (ha)

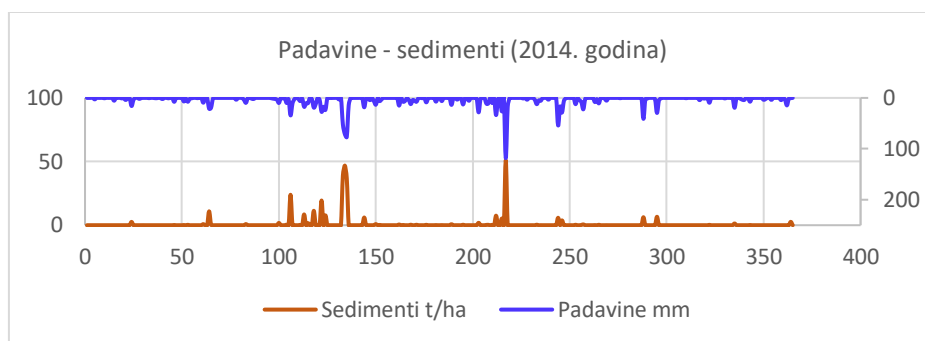
K_{usle} - erozioni faktor tla (uzima se: 0,013 t/ha)

C_{usle} - faktor zemljanog pokrova i upravljanja

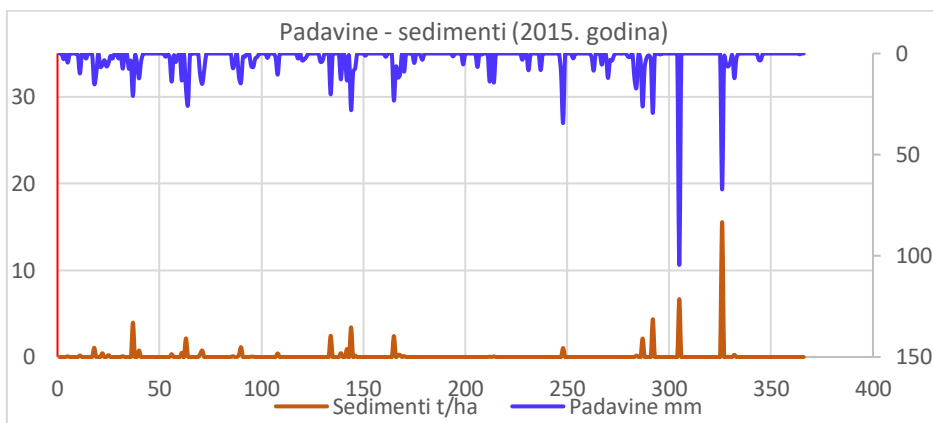
LS_{usle} - topografski faktor

$CFRG$ - faktor grubih fragmenata

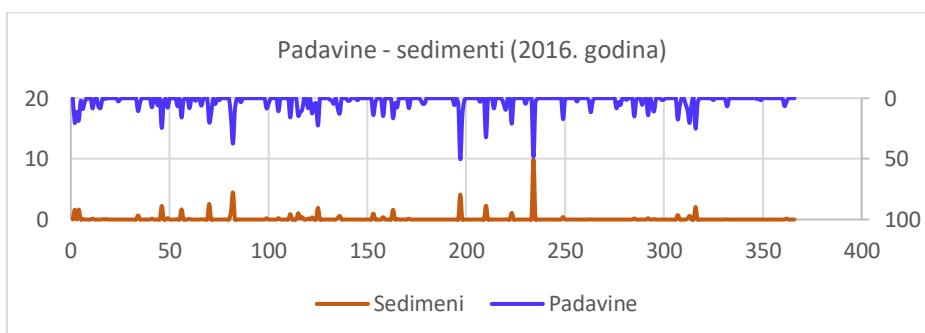
U nastavku su prikazani grafički rezultati iz SWAT modela na dijagramima na kome je prikazan međuođnos padavina kao ulaznog podatka i količine sedimenata kao rezultata ove analize.



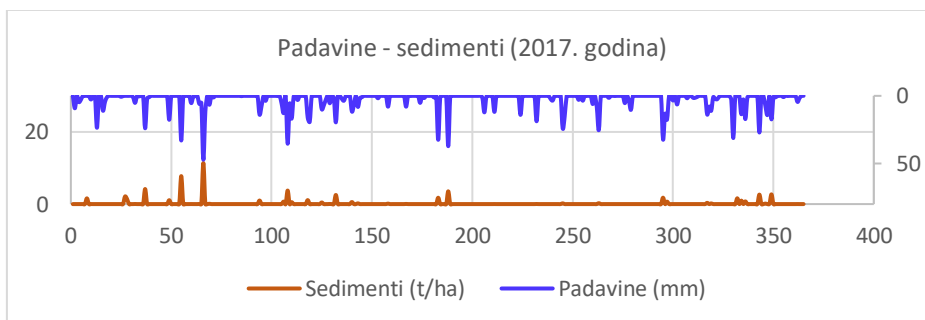
Slika 5. Dijagram padavina i sedimenata (nanosa) u 2014. godini



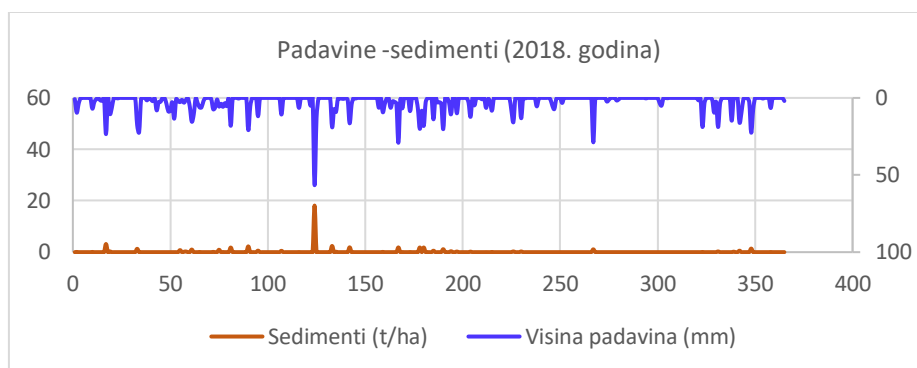
Slika 6. Dijagram padavina i sedimenata (nanosa) u 2015. godini



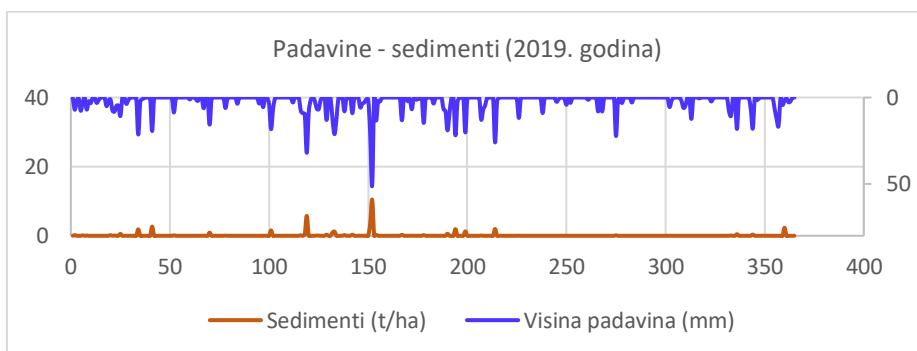
Slika 7. Dijagram padavina i sedimenata (nanosa) u 2016. godini



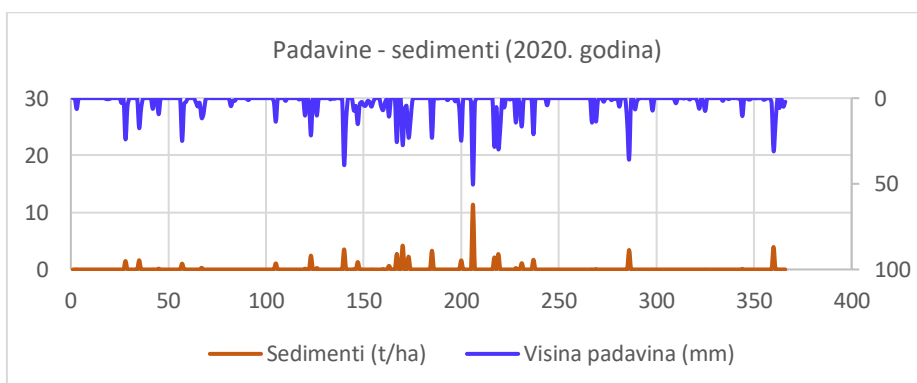
Slika 8. Dijagram padavina i sedimenata (nanosa) u 2017. godini



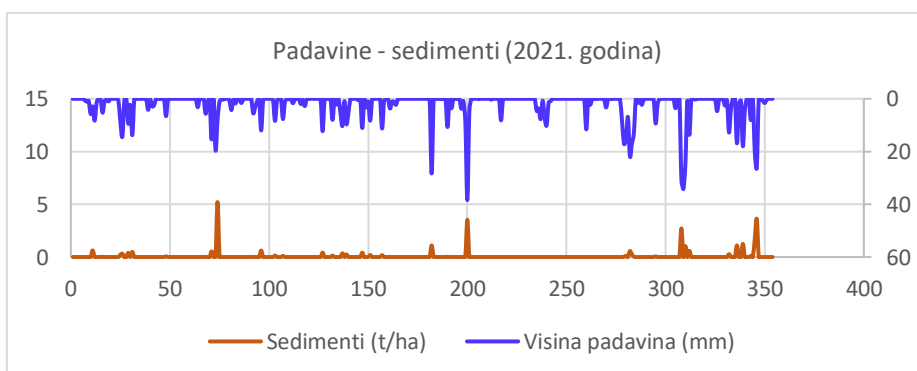
Slika 9. Dijagram padavina i sedimenata (nanosa) u 2018. godini



Slika 10. Dijagram padavina i sedimenata (nanosa) u 2019. godini



Slika 11. Dijagram padavina i sedimenata (nanosa) u 2020. godini



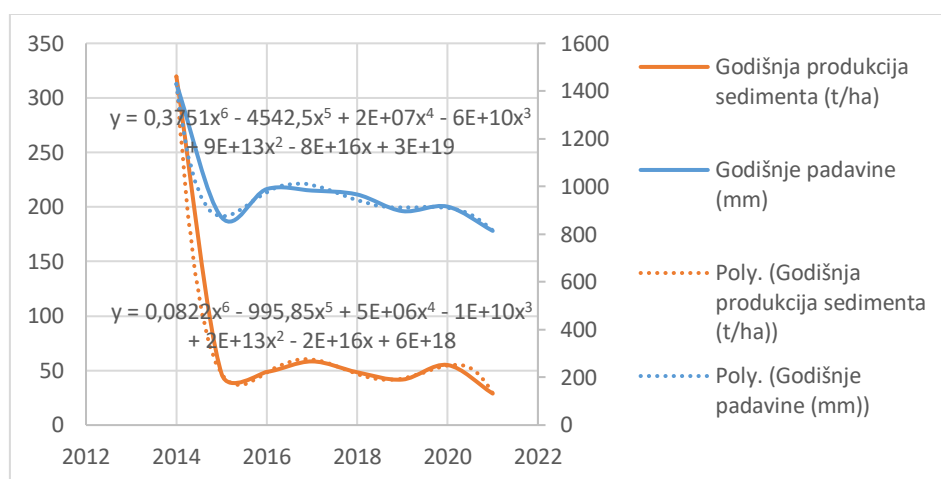
Slika 12. Dijagram padavina i sedimenata (nanosa) u 2021. godini

Za rezultate koji su dobijeni za period 2014. – 2021. godinu, urađena je korelacija i prosta regresija, odnos padavina i sedimenata (nanosa), njihova međusobna veza prikazan kroz

Pirsonov koeficijent R^2 . Navedeni Pirsonov koeficijent R^2 dat je tabelarno za period 2014. – 2021. godinu [8].

Tabela 1. Tabelarni prikaz Pirsonov koeficijent R^2 za period 2014. – 2021. godinu

Godina	Srednje godišnje padavine (mm)	Količina sedimenata (nanosa) t/ha	Pirsonov koeficijent R^2
2014	1430,20	319,62	0,9527
2015	870,80	47,06	0,9348
2016	989,20	48,78	0,9248
2017	982,90	58,40	0,9593
2018	966,50	48,46	0,9369
2019	896,90	41,76	0,8643
2020	915,60	55,08	0,8935
2021	814,00	28,89	0,7366



Slika 13. Dijagram padavina i sedimenata (godišnje vrijednosti) za period 2014 - 2021. god.

4. ANALIZA EROZIONIH KARAKTERISTIKA SLIVNOG PODRUČJA

Uticaj erozionih karakteristika slivnog područja na zasipanje višenamjenske akumulacije zavisi od nekoliko ključnih faktora, među kojima su intenzitet i godišnja učestalost erozije, kao i specifičnosti reljefa i položaja sistema akumulacije. Erozija dovodi do pronosa nanosa iz gornjih dijelova sliva ka akumulaciji, što uzrokuje njen zasipni proces i smanjenje funkcionalnog kapaciteta. Da bi se preventivno djelovanje i sprječavanje nastajanja erozije, potrebno je analizirati i odrediti dovoljno precizno koeficijent erozije predmetnog slivnog područja. Ukoliko je poznat koeficijent erozije, može se jednostavnije upravljati ostalim parametrima, te unaprijediti stvarno stanje na terenu [9].

U praksi često se za ovaj način računanja koristi formula S. Gavrilovića [10]:

$$W_{god} = T \times H_{god} \times \pi \times \sqrt{Z^3} \times A \quad (3)$$

gdje je:

W_{god} – ukupna količina produkcije erozionog nanosa (m^3/god)

T – temperaturni koeficijent područja ($^{\circ}\text{C}$)

H_{god} – srednja godišnja visina padavina (mm)

Z – koeficijent erozije sliva

A – površina sliva (km^2)

Ako se uzme najnepovoljniji slučaj kako bi se odredila maksimalna sila erozionih procesa na slivu akumulacije Modrac, za 2014. godinu, uz temperaturni koeficijent $T=1,07$ (4), dobija se rezultat erozionog koeficijenta, a koji iznosi $Z=0,84$ [9].

Temperaturni koeficijent se računa prema obrascu [9]:

$$T = \sqrt{\frac{t_0}{10}} + 0.10 \quad (4)$$

gdje je:

t_0 – srednja godišnja temperatura vazduha ($^{\circ}\text{C}$)

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazano je modeliranje GIS alatima slivnog područja akumulacije „Modrac“. U odnosu na ulazne podatke, dobijena je vrijednost dnevne količine sedimenata (nanosa) koji se unosi u akumulaciju „Modrac“. Korelaciona i regresiona vrijednost padavina kao ulaznog podatka i količine sedimenta kao rezultat ove analize, dat je Pirosonov koeficijent R^2 koji opisuje njihovu međusobnu povezanost. Važno je istaći da R^2 koeficijent za 2014. godinu iznosi 0,9527, što je veoma velika pozitivna veza, kao i za naredne godine u datom periodu. Najveći Pirosonov koeficijent je očitun unutar 2017. godine i iznosi 0,9593, a najmanji u 2021. godini koji iznosi 0,7366 (Tabela 1).

Sa dijagrama prikazanog na slici 13. dat je prikaz godišnjih vrijednosti padavina i produkcije sedimenata na slivu akumulacije Modrac za period 2014 – 2021. godine. Krive navedenih godišnjih vrijednosti su opisane sljedećim polinomima koji najpribližnije opisuju datu krivu:

- godišnje padavine $y = 0.3751x^6 - 4542.5x^5 + 2*10^7x^4 - 6*10^{10}x^3 + 9*10^{13}x^2 - 8*10^{16}x + 3*10^{19}$,
- godišnja produkcija sedimenata $y = 0.0822x^6 - 995.85x^5 + 5*10^6x^4 - 10^{10}x^3 + 2*10^{13}x^2 - 2*10^{16}x + 6*10^{18}$.

Također, cilj ovog rada je analiza i dovoljno precizno određivanje erozionog koeficijenta slivnog područja akumulacije Modrac, koristeći dostupne ulazne podatke, a u konačnici na osnovu istog definisati rang ranjivosti sliva na erozione procese. Obzirom da se, prema literaturnim podacima, erozioni koeficijent kreće od 0,1 do 1,50, može se zaključiti da sliv akumulacije Modrac spada u slivove koji su srednje podložni eroziji, a samim time i pronosu nanosa u istu.

Navedene teorijske postavke ističu kompleksnu povezanost između erozionih procesa u slivu i zasipanja višenamjenske akumulacije, koja zahtjeva integrisani pristup u planiranju i zaštiti ovog eko sistema [11].

LITERATURA

- [1] Kovčić, O. (2017). " Upravljanje višenamjenskim akumulacijama sa studijom slučaja jezera Modrac ", Univerzitet u Tuzli, Rudarsko – geološko – građevinski odsjek, Doktorska disertacija.
- [2] Jahić M. (2009) „Hidrologija“, Univerzitet u Bihaću, Tehnički fakultet Bihać
- [3] Dueker, K. (1988) „Geographic Information Systems: Research Issues, Center for Urban Studies Publications and Reports“. 45.
- [4] Vukadinović, V. (2018) „Zemljišni resursi“, Poljoprivredni fakultet u Osijeku
- [5] Neitsch SL, Arnold JG, Kiniry JR, Williams JR (2011) „Soil and water assessment tool theoretical documentation version 2009.“ Texas Water Resources Institute, College Station
- [6] Trajković, S. (2007) „Jednostavna empirijska formula za proračun referentne evapotranspiracije“, Vodoprivreda, Pregledni rad
- [7] Arnold JG, Srinivasan R, Muttiah RS, Williams JR. (1998) „Large area hydrologic modeling and assessment. Part I: model development.“ J Am Water Resour Assoc 34(1):73–89
- [8] Lovrić M., Komić J., Stević S. (2006) „Statistička analiza metodi i primjena“, Ekonomski fakultet Banja Luka
- [9] Jahić, M. (2008). „Uređenje bujica“, Univerzitet u Sarajevu, Šumarski fakultet
- [10] Gavrilović, S. (1972). „Inženjering o bujičnim tokovima i eroziji, „Igradnja“, Beograd
- [11] Jahić M. (2004) „Prostorno planiranje i zaštita okoline“, Univerzitet u Bihaću, Tehnički fakultet Bihać
- [12] Hrelja H. (1996) „Vodoprivredni sistemi“, Svjetlost, Sarajevo