

<https://doi.org/10.32762/zt.2025.14>

Višekriterijska procjena podložnosti poplavama metodom AHP u Primorsko-goranskoj županiji

Multicriteria flood susceptibility assessment using the AHP method in Primorje-Gorski Kotar County

Ivona Petković¹, Nevenka Ožanić¹, Nino Krvavica¹

(1) Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Radmile Matejčić 3, 51000 Rijeka,
ipetkovic@uniri.hr, nozanic@uniri.hr, nino.krvavica@uniri.hr

Sažetak

U ovom radu predstavljeni su rezultati procjene podloženosti poplavama na području sedam naselja Primorsko-goranske županije. Analiza je provedena primjenom višekriterijske GIS analize i analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP), uz standardizaciju prostornih (nagib terena, udaljenost od drenažne mreže, tlo, korištenje zemljišta, nadmorska visina terena, gustoća drenažne mreže) i meteoroloških parametara (ekstremne oborine). Rezultati ukazuju na to da su područja visoke podložnosti smještena u priobalnim i visoko urbaniziranim naseljima, osobito onima s nepropusnim pokrovom zemljišta i visokom gustoćom kanalske mreže, kao i područjima koja su izložena jakim oborinama. Predloženi pristup omogućuje identifikaciju zona visoke podložnosti i pruža podlogu za prostorno planiranje i upravljanje rizicima, a primjenjiv je i za analize utjecaja klimatskih promjena.

Ključne riječi: poplavna podložnost, višekriterijska analiza, AHP, GIS, Primorsko-goranska županija

Abstract

This paper presents results of a flood susceptibility assessment in seven settlements of the Primorje-Gorski Kotar County. The analysis was conducted using multicriteria GIS analysis and the Analytic Hierarchy Process (AHP), with standardization of spatial (slope, distance from channels, soil type, land use, elevation, drainage density) and meteorological parameters (extreme precipitation). The results indicate that areas of high flood susceptibility are located in coastal and highly urbanized settlements, particularly those with impervious land cover, a dense drainage network, and exposure to intense rainfall. The proposed approach enables the identification of high-susceptibility zones and provides a basis for spatial planning and risk management, and it is also applicable for analyzing the impacts of climate change.

Keywords: flood susceptibility, multicriteria analysis, AHP, GIS, Primorje-Gorski Kotar County

1. Uvod

Poplave su jedan od najznačajnijih prirodnih rizika u urbaniziranim i obalnim područjima, a njihova učestalost i intenzitet rastu pod utjecajem klimatskih promjena. Procjena podložnosti poplavama iziskuje integraciju prostornih i meteoroloških čimbenika, a regionalna razina istraživanja se najčešće provodi pomoću suvremenih GIS i višekriterijskih metoda [1].

Ovaj rad ima za cilj istražiti potencijal i mogućnosti primjene višekriterijskih analiza, primjenom analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP) i GIS alata, za prostornu procjenu podložnosti poplavama na području sedam naselja u širem slivu Rječine u Primorsko-goranskoj županiji. Ključni geomorfološki, pedološki i meteorološki parametri klasificirani su odvojeno te integrirani u izradu konačne karte podložnosti. Predloženi pristup omogućuje prepoznavanje kritičnih područja i služi kao temelj za učinkovito upravljanje rizicima od poplava.

2. Materijali i metode

2.1. Područje istraživanja

Istraživano područje obuhvaća sedam naselja unutar Primorsko-goranske županije na širem području sliva Rječine (Čavle, Jelenje, Kastav, Klana, Kostrena, Rijeka i Viškovo). Područje se proteže uz obalu Riječkog zaljeva, omeđeno grebenom Učke na zapadu te rubnim planinama Gorskog kotara na sjeveru i sjeveroistoku. Ovakav spoj brdskog reljefa, uskog obalnog pojasa i visoke urbanizacije grada Rijeke povećava ranjivost područja na ekstremne hidrološke događaje. Također, gusta i razgranata hidrološka mreža s brojnim manjim vodotocima koji imaju izražene sezonske varijacije dodatno pridonosi složenosti procjene poplavnog rizika u istraživanom području.

2.2. Kriteriji procjene podložnosti

Sve prostorne podloge korištene u ovom istraživanju standardizirane su u raster format s prostornom rezolucijom od 10 m te analizirani u računalnom programu QGIS. Za određivanje klasifikacijskih granica korištena je metoda prirodnih prekida (Jenksova metoda), dok je za prostornu interpolaciju primijenjena Kriging metoda, pri čemu je korišten programski jezik Python.

Nagib terena izravno utječe na dinamiku površinskog otjecanja te određuje količinu vode koja će se infiltrirati ili zadržati na površini. Područja blažeg nagiba karakterizira veći potencijal akumulacije oborinske vode i posljedično veća podložnost poplavama, dok se na strmijim površinama ubrzava površinsko otjecanje, što lokalno smanjuje rizik od zadržavanja vode i nastanka poplava. Raster nagiba terena generiran je iz digitalnog modela reljefa (DMR) u QGIS-u, a vrijednosti su prema [1] razvrstane u pet klasa (tablica 1).

Temeljna pretpostavka je da se rizik od poplava smanjuje s udaljenošću od vodotoka. Zone bliže vodotocima i drenažnoj mreži podložnije su poplavama zbog izravne izloženosti prelijevanju korita i kanala tijekom ekstremnih hidroloških događaja. U ovoj studiji udaljenost od kanala drenažne mreže modelirana je u QGIS-u definiranjem koncentričnih pojaseva čije su granice određene udaljenostima iz tablice 1.

Hidrološke grupe tla svrstane su prema metodologiji [2] u četiri glavne kategorije (A, B, C, D) ovisno o infiltracijskom kapacitetu i potencijalu površinskog otjecanja odražavaju sposobnost tla za zadržavanje vode. Podaci o pripadnosti tla hidrološkim grupama preuzeti su iz baze ORNL DAAC [2] te su klasifikacijske vrijednosti prikazane u tablici 1.

Dreniranost tla određuje infiltracijski kapacitet i intenzitet površinskog otjecanja. Na temelju pedološke karte Republike Hrvatske te relevantnih izvora [3, 4], tipovima tla dodijeljene su ocjene dreniranja, objedinjene u pet razreda (tablica 1). Viši razredi označavaju slabiju infiltraciju i veću sklonost otjecanju. Urbana područja, zbog nepropusnosti, svrstana su u najviši razred te predstavljaju najrizičnije zone za lokalne poplave.

Način korištenja i pokrov zemljišta izravno utječu na infiltraciju, evapotranspiraciju i dinamiku površinskog otjecanja. U ovom istraživanju korištena je baza Corine Land Cover 2000 [5], čiji su elementi svrstani u pet klasa: stambena područja, prometnice, vodene površine, vegetacijska područja i pašnjaci (tablica 1).

Digitalni model reljefa (DMR) predstavlja prostornu podlogu za analizu nadmorskih visina te identifikaciju reljefnih depresija sklonih akumulaciji oborinske vode. U ovoj studiji korišten je DMR dobiven obradom LiDAR podataka [6]. Visinske vrijednosti klasificirane su metodom prirodnih prekida u pet razreda (tablica 1), pri čemu su niže visine terena povezani s većom opasnošću od poplava zbog potencijalno veće uzvodne površine sliva.

Gustoća drenažne mreže kvantificira razgranatost hidrografske mreže i utjecaj na površinsko otjecanje. U ovom radu, izračunata je kao omjer ukupne duljine vodotoka, dobivenih iz DMR-a i površine analiziranog područja. Vrijednosti su klasificirane metodom prirodnih prekida u pet klasa, čime se omogućuje prostorna analiza gustoće kanala i njihove uloge u distribuciji otjecanja (tablica 1).

Za procjenu ekstremnih oborina korišten je podataka o 90. percentilu dnevnih količina oborina iz CERRA-Land regionalne reanalize za razdoblje 1984.-2024. [7]. Podaci su prostorno interpolirani Kriging metodom te su klasificirani u pet razreda (tablica 1). Viši razredi označavaju područja s izraženijim intenzitetom ekstremnih oborina, što upućuje na povećanu opasnost od poplava.

2.3. Višekriterijska analiza i određivanje težinskih koeficijenata

Za utvrđivanje težinskih koeficijenata prethodno navedenih podloga primijenjen je analitički hijerarhijski proces (AHP), kojim se složeni problem podložnosti poplavama razlaže na međusobno povezane kriterije i organizira ih unutar hijerarhijske strukture. Relativna važnost pojedinih kriterija određuje se izradom matrice usporednih parova. Za usporedbu kriterija dodjeljuju se vrijednosti u rasponu od 1 do 9, koji kvantificiraju koliko je jedan kriterij značajniji u odnosu na drugi kriterij. Takvim sustavnim vrednovanjem metoda generira hijerarhijski poredak kriterija, koji precizno odražava njihov doprinos konačnom rezultatu. Konzistentnost matrice parnih usporedbi provjerena je izračunom omjera konzistentnosti (CR). Ukoliko je vrijednost CR manja od 10%, matrica se smatra usklađenom. Nakon postizanja prihvatljive razine konzistentnosti, dobiveni težinski koeficijenti mogu se koristiti kao pouzdani ulazni parametri u daljnjoj višekriterijskoj analizi prostornih slojeva [1].

Na temelju dobivenih težinskih koeficijenata, izrađena je karta podložnosti poplavama koja integrira prostorne kriterije kao što su nagib, udaljenost od drenažne mreže, hidrografske i pedološke karakteristike, korištenje zemljišta, nadmorska visina i gustoća drenažne mreže.

Meteorološki podaci, odnosno sloj 90. percentila ekstremnih oborina, analizirani su odvojeno od prostornih podloga. Takav pristup omogućio je precizno vrednovanje prostornih obilježja promatranog područja kao i specifičnog doprinosa ekstremnih oborina na podložnost poplavama, s obzirom na njihovu vremensku i dinamičku varijabilnost.

U završnoj fazi analize, rezultati dobiveni višekriterijskom analizom prostornih podloga povezani su s meteorološkim slojem oborina korištenjem dodatnih težinskih koeficijenata, čime je omogućena integracija svih relevantnih kriterija u izradu konačne karte podložnosti poplavama. Dobivene vrijednosti su potom podijeljene u pet razreda podložnosti, koristeći standardizirane vrijednosti od 1 do 5, gdje viši razredi odražavaju viši stupanj podložnosti poplavama. Na taj način, dobivena je detaljna prostorna procjena distribucije poplavne podložnosti na području istraživanja.

3. Rezultati

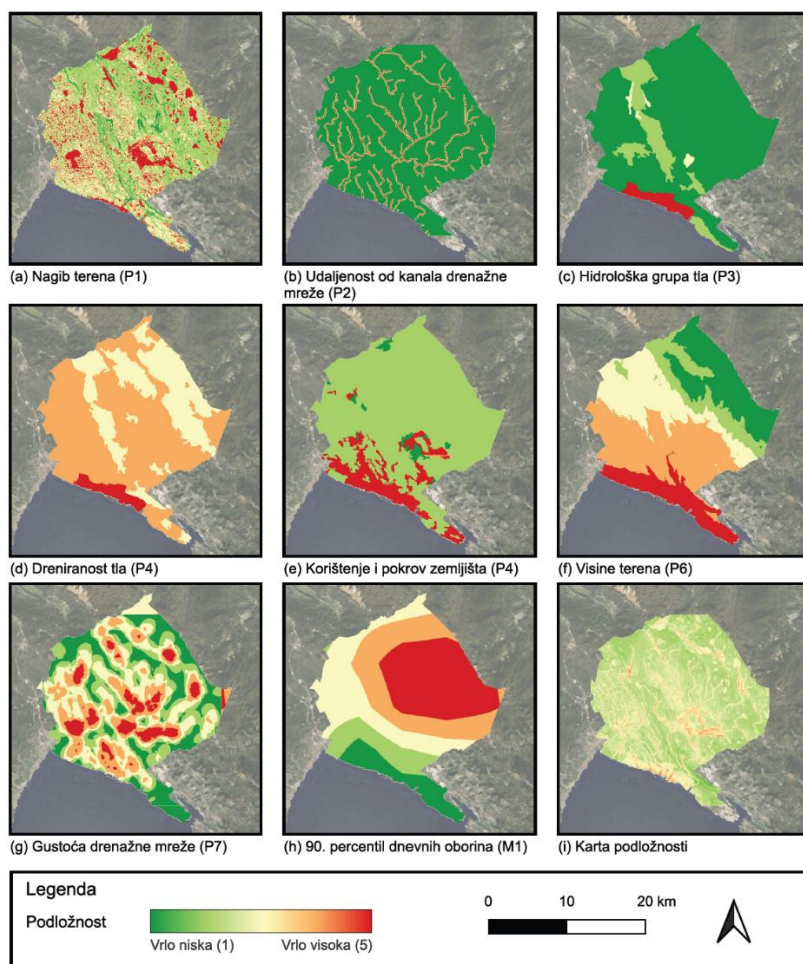
Za potrebe analize svi kriteriji – nagib terena (P1), udaljenost od kanala drenažne mreže (P2), hidrološka grupa tla (P3), dreniranost tla (P4), korištenje i pokrov zemljišta (P5), nadmorska visina terena (P6), gustoća drenažne mreže (P7) i 90. percentil dnevnih oborina (M1) – standardizirani su na kategoričke vrijednosti od 1 (vrlo niska podložnost) do 5 (vrlo visoka podložnost). Granice pojedinih klasifikacijskih razreda prikazane su u tablici 1.

Tablica 1. Granice klasifikacijskih razreda kriterija podložnosti poplavama

Kriterij	Vrlo niska (1)	Niska (2)	Umjerena (3)	Visoka (4)	Vrlo visoka (5)
P1	> 32°	12 – 32°	5 – 12°	2 – 5°	< 2°
P2	> 100 m	75 – 100 m	50 – 75 m	25 – 50 m	< 25 m
P3	A	B	C	D	Urbani prostori
P4	< 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5
P5	Pašnjaci	Vegetacijsko područje	Vodene površine	Prometnice	Stambeno područje
P6	> 1081 m	793 – 1081 m	497 – 793 m	243 – 497 m	< 243 m
P7	< 0.29 km/km ²	0.29 – 0.65 km/km ²	0.65 - 1.03 km/km ²	1.03 – 1.49 km/km ²	> 1.49 km/km ²
M1	< 23 mm	23 – 26 mm	26 – 29 mm	29 – 32 mm	> 32 mm

Prostorne podloge integrirane su primjenom AHP metode, pri čemu je dobiveni omjer konzistentnosti iznosio 7 %, što potvrđuje prihvatljivu razinu dosljednosti u procjeni (tablica 2).

U završnoj fazi, karta podložnosti (dobiven na temelju prostornih obilježja P1 – P7) povezala se s meteorološkom podlogom oborina (M1), s udjelom prostorne komponente od 85 % i meteorološke od 15 %. Ovakav omjer daje prednost prostorno stabilnim čimbenicima, dok ekstremne oborine imaju dodatni utjecaj s obzirom na svoju varijabilnost. Konačna karta podložnosti podijeljena je u pet klasa, omogućujući identifikaciju područja visoke podložnosti



Slika 1. Karte korištenih podloga klasificirane prema podložnosti (a – h) te konačna karta podložnosti (i).

Tablica 2. Težinski koeficijenti prema AHP-u.

Kriterij	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	Težina %
P1	1	2	3	3	3	4	3	29.75
P2	1/2	1	2	2	3	4	3	21.24
P3	1/3	1/3	1	1	2	4	3	14.08
P4	1/3	1/3	1	1	2	4	3	14.08
P5	1/3	1/3	1/2	1/2	1	4	3	10.38
P6	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1	3	5.62
P7	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1	4.84

poplavama. Slika 1 prikazuje prostornu distribuciju vrijednosti svih analiziranih podloga prema klasama podložnosti, kao i konačnu kartu podložnosti dobivenu višekriterijskom analizom.

4. Zaključak

U ovome radu provedena je procjena podložnosti poplavama na odabranom području u Primorsko-goranskoj županiji, koristeći višekriterijsku analizu u GIS okruženju primjenom analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP). Standardizacija i klasifikacija prostornih i meteoroloških podloga omogućila je izradu detaljne karte podložnosti rezolucije 10 m, koja identificira zone visoke podložnosti na promatranom području. Rezultati ukazuju na to da su područja visoke podložnosti smještena u priobalnim i visoko urbaniziranim naseljima, osobito onima s nepropusnim pokrovom zemljišta i visokom gustoćom kanalske mreže, kao i područjima koja su izložena jakim oborinama. U budućem radu istražiti će se mogućnost uključivanja dodatnih prostornih podloga generiranih u okviru hidrološke analize sliva u GIS okruženju te javno dostupnih prostornih podloga iz Copernicus programa, kao što je gustoća nepropusnih površina i prostorna raspodjela vegetacije. Pored toga, uz karte podložnosti izraditi će se i karte opasnosti generiranjem oborinskih podloga u kojim je intenzitet oborine povezan s vjerojatnosti pojave te karata rizika kombiniranjem opasnosti od poplava s potencijalnim štetama na izloženoj infrastrukturi i objektima.

Literatura

- [1] Vujović, F. i dr.: A Comparison of the AHP and BWM Models for the Flash Flood Susceptibility Assessment: A Case Study of the Ibar River Basin in Montenegro, *Water*, vol. 17, 2025, 844, <https://doi.org/10.3390/w17060844>
- [2] Ross, C.W. i dr.: Global Hydrologic Soil Groups (HYSOGs250m) for Curve Number-Based Runoff Modeling, ORNL DAAC, USA, 2018, <https://doi.org/10.3334/ORNLDAAC/1566>
- [3] Pedologija – Interaktivna pedološka karta RH na podlozi Google Earth, https://pedologija.com.hr/Zem_resursi.html, pristupljeno: 13.05.2025.
- [4] Ruralni razvoj – Studija određivanja područja pod utjecajem prirodnih i specifičnih ograničenja u poljoprivredi s kalkulacijama, <https://ruralnirazvoj.hr/>, pristupljeno: 13.05.2025.
- [5] CORINE Land Cover 2000 (raster 100 m), Europe, 6-yearly – version 2020_20u1, May 2020, <https://land.copernicus.eu/>, pristupljeno: 07.05.2025.
- [6] Državna geodetska uprava – Digitalni model reljefa (DMR) dobiven obradom LiDAR podataka, <https://dgu.gov.hr/>, pristupljeno: 14.01.2025.
- [7] Copernicus Climate Data Store – CERRA-Land sub-daily regional reanalysis data for Europe from 1984 to present, <https://cds.climate.copernicus.eu/>, pristupljeno: 24.02.2025.