

ODNOSI HIDROLOŠKO-HIDRAULIČKIH PARAMETARA U VODOTOCIMA – PRIMJER RIJEKE MIRNE

BOJAN ĐURIN¹, VLADO CETL², NIKOLA KRANJČIĆ², HRVOJE MATIJEVIĆ²

¹ Sveučilište Sjever, Odjel za graditeljstvo, Varaždin, Hrvatska

² Sveučilište Sjever, Odjel za geodeziju i geomatiku, Varaždin, Hrvatska

Sažetak

Uslijed klimatskih promjena i ljudske aktivnosti dolazi do sve češćih poplava, ali i sušnih perioda. Općenito je prepoznat trend smanjenja oborina, ali povećan je broj ekstremnih pojava kratkotrajnih oborina sa velikim intenzitetima, koje uzrokuju izlivanje vodotoka. Kod bujičnih vodotoka, kao što je rijeka Mirna, oborine izravno utječu na povećanje protoka. U svrhu što pouzdanijeg definiranja utjecaja oborina na moguće poplave, kao i na sušne periode, potrebno je utvrditi međusobnu povezanost hidroloških i hidrauličkih parametara vodotoka. Prikazano istraživanje analizira odnose najznačajnijih hidrološko – hidrauličkih parametara, a to su srednji dnevni protok, srednja brzina tečenja i površina poprečnog presjeka analiziranih profila na primjeru rijeke Mirne u Istri. Mjerenja navedenih parametara izvršena su u vremenskom periodu od 2021-2025. godine. Pri tome su utvrđene funkcionalne zavisnosti u obliku kvadratne parabole na osnovu hidrometrijskih mjerenja na lokacijama kod Staze sedam slapova, mjerne postaje Motovun i mjerne postaje Portonski most.

Ključne riječi

protok, brzina, poprečni presjek, rijeka Mirna, povezanost

1 Uvod

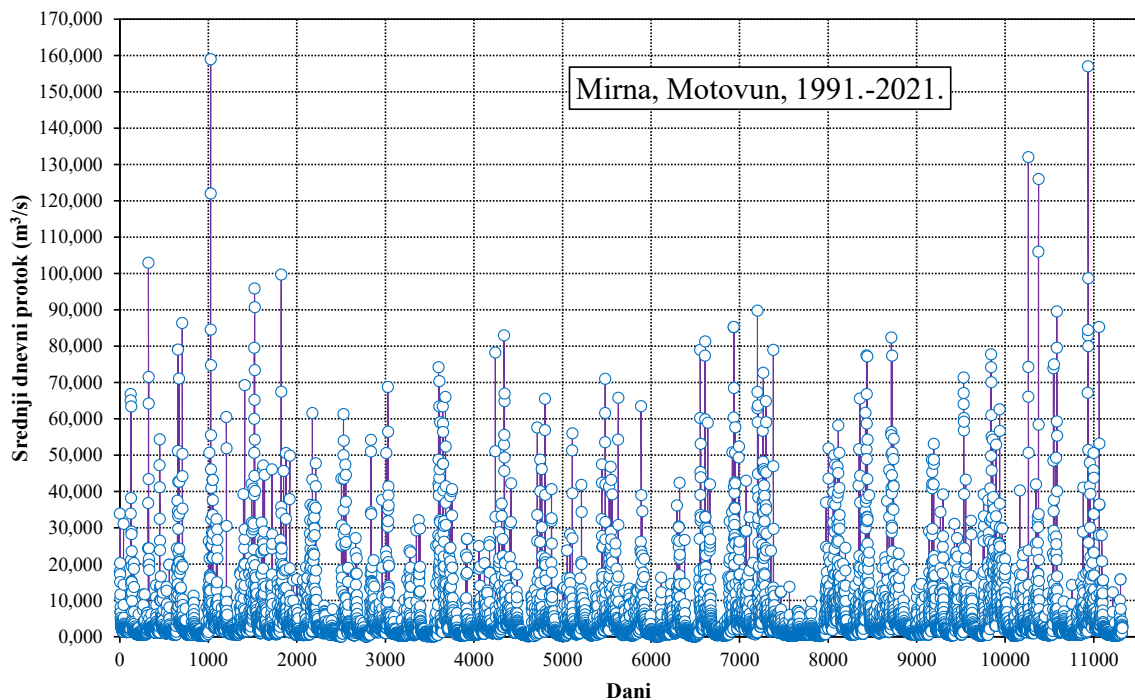
Odnosi između osnovnih hidroloških parametara vodotoka predstavljaju izazov, ali i imperativ kod predviđanja poplava, pojave vodnih valova i bujica, ali i sušnih perioda za najrazličitije svrhe. Konkretno, funkcionalne veze između protoka, brzina i poprečnih presjeka vodotoka u pravilu nisu definirani za većinu vodotoka u Hrvatskoj, ali i u svijetu, pri čemu je na raspolaganju ograničeni broj postojećih bibliografskih jedinica, koje i ne opisuju u potpunosti veze između navedenih parametara (Goring *et al.*, 1997; Hooke, 2007; Kadmiel Oliver *et al.*, 2025). Osim raspoloživih protočnih krivulja za pojedine mjerne hidrološke postaje te raspoloživih podataka o poprečnim presjecima za iste od strane Državnog hidrometeorološkog zavoda Republike Hrvatske (DHMZ), najveći problem predstavlja izostanak podataka o brzinama tečenja, što je preduvjet za kompletno definiranje hidroloških svojstava nekog vodotoka. Izostanak ostalih hidrauličkih parametara tečenja, kao što su hidraulički radijus i omočeni obod onemogućava pouzdane izračune hidrauličkih svojstava tečenja, odnosno nepouzdanost ulaznih podataka za modeliranje i dimenzioniranje različitih hidrotehničkih građevina i zahvata. Rad prikazuje odnose između srednjih dnevnih protoka, srednjih brzina tečenja i površina poprečnih presjeka kod analizirane tri lokacije na rijeci Mirni, slika 1.



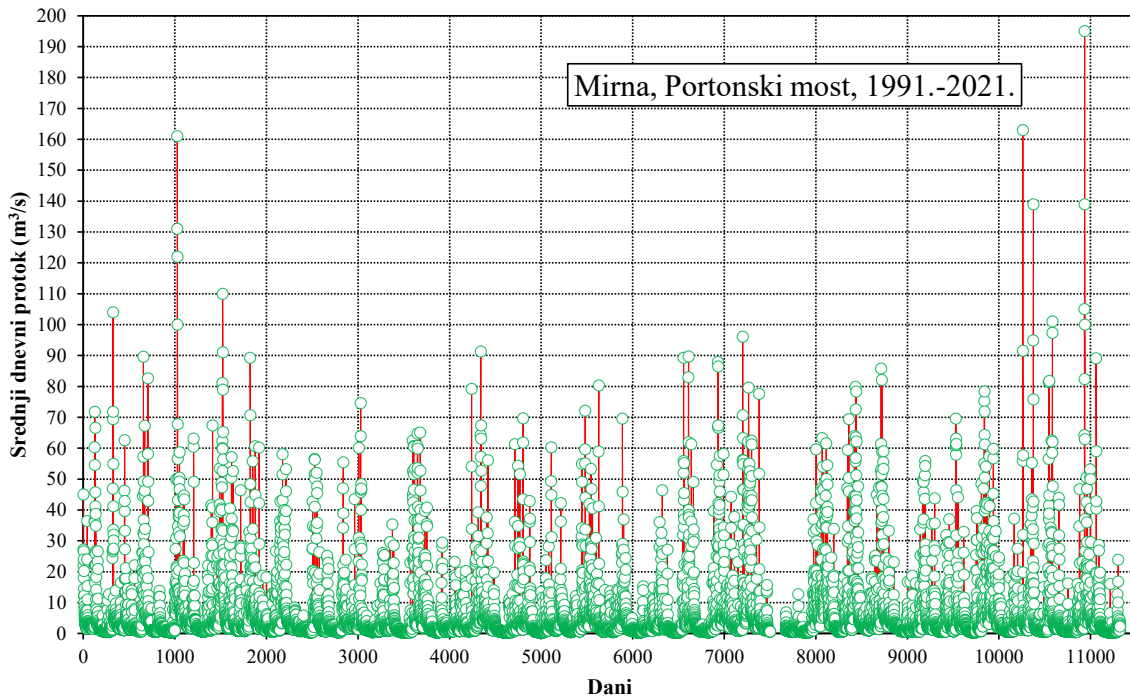
Slika 1. Lokacije hidrometrijskih mjerenja (DHMZa, 2026)

Rijeka Mirna je najznačajniji vodotok Istre, odnosno Istarske županije (Felja *et al.*, 2015). Sliv Mirne obuhvaća oko 725 km², Mirna nastaje spajanjem vodotoka Rečine i Drage, a nakon 38,5 km toka utječe u Jadransko more u Tarskoj uvali na zapadnoj obali Istre, u blizini Novigrada (Đanić, 2022).

Rijeka Mirna je bujičnog karaktera, što je vidljivo u velikim promjenama srednjih dnevnih protoka, slika 2 i 3.



Slika 2. Srednji dnevni protok na mjernoj hidrološkoj postaji Motovun u vremenskom periodu od 1991-2021. (DHMZb, 2026)



Slika 3. Srednji dnevni protok na mjernoj hidrološkoj postaji Portonski most u vremenskom periodu od 1991-2021. (DHMZb, 2026)

Rijeka Mirna tijekom povijesti je često bila izložena čestim i intenzivnim poplavama, naročito u donjem toku. Značajne velike poplave bile su u rujnu 2022. godine i u ožujku 2025. godine, što je uzrokovalo značajne štete na poljoprivrednim površinama, kao i ruralnim i urbanim sredinama. Zbog toga su u prošlosti provedeni brojni regulacijski zahvati, izgradnja zaštitnih nasipa, kanala, obaloutvrda i drugih hidrotehničkih građevina u svrhu smanjenja rizika od poplava i osiguranja sigurnosti stanovništva te održivog upravljanja vodnim resursima (Hrvatske vode, 2021). Drugim riječima, rijeka Mirna je “kanalizirana”, pri čemu je njezin prvobitni tok presječen, odnosno izmješten.

2 Metode

Tijekom hidrometrijskih mjerenja na rijeci Mirni, korišten je ultrazvučni mjerač brzine tečenja vode (Acoustic Doppler Velocity meter (ADV)). Slike 4-6 prikazuju analizirane lokacije mjerenja; Stazu sedam slapova, Motovun i Portonski most.



Slika 4. Lokacija mjerenja "Staza Sedam Slapova"



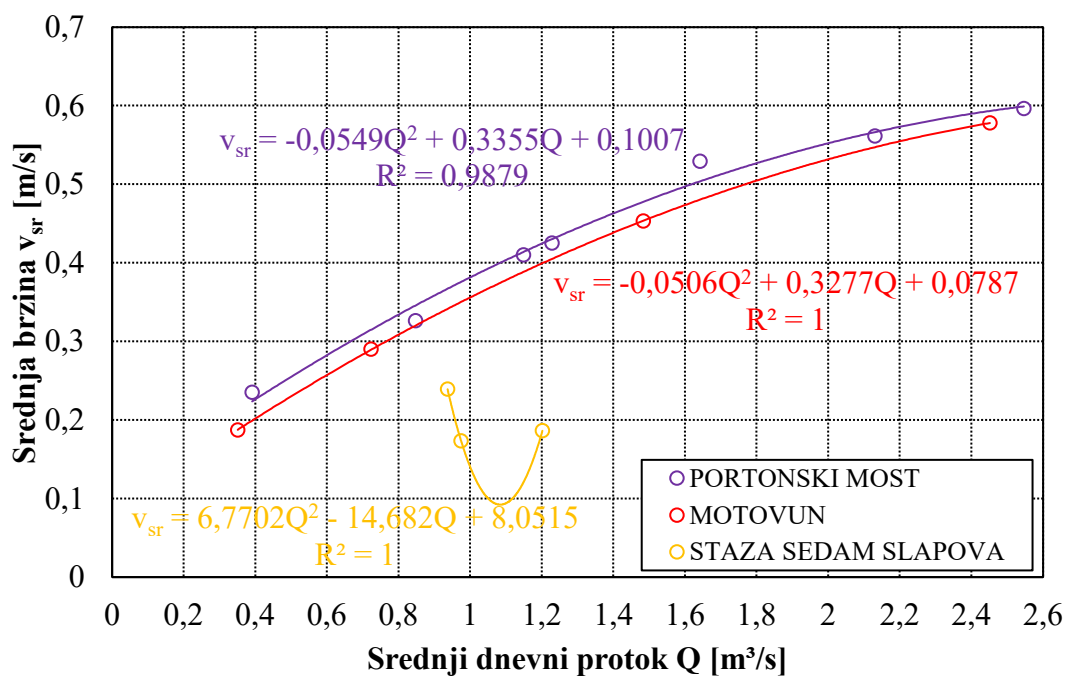
Slika 5. Lokacija mjerenja "Motovun"



Slika 6. Lokacija mjerenja "Portonski most"

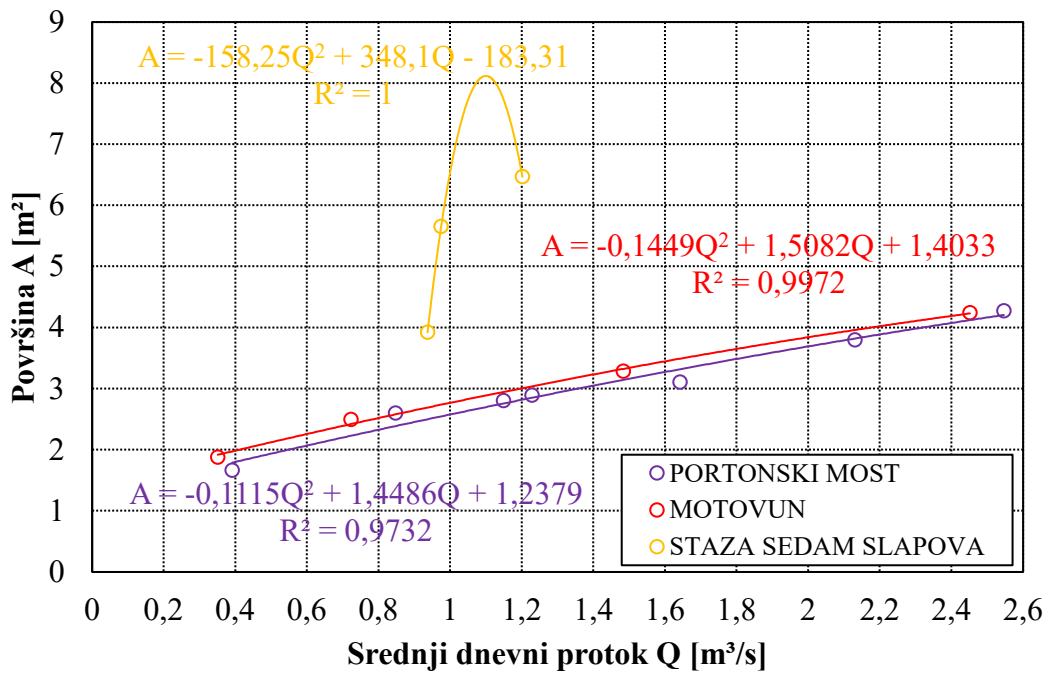
3 Rezultati

Na slici 7 prikazana je međusobna ovisnost srednjeg dnevnog protoka Q [m³/s] i srednje brzine v_{sr} [m/s].



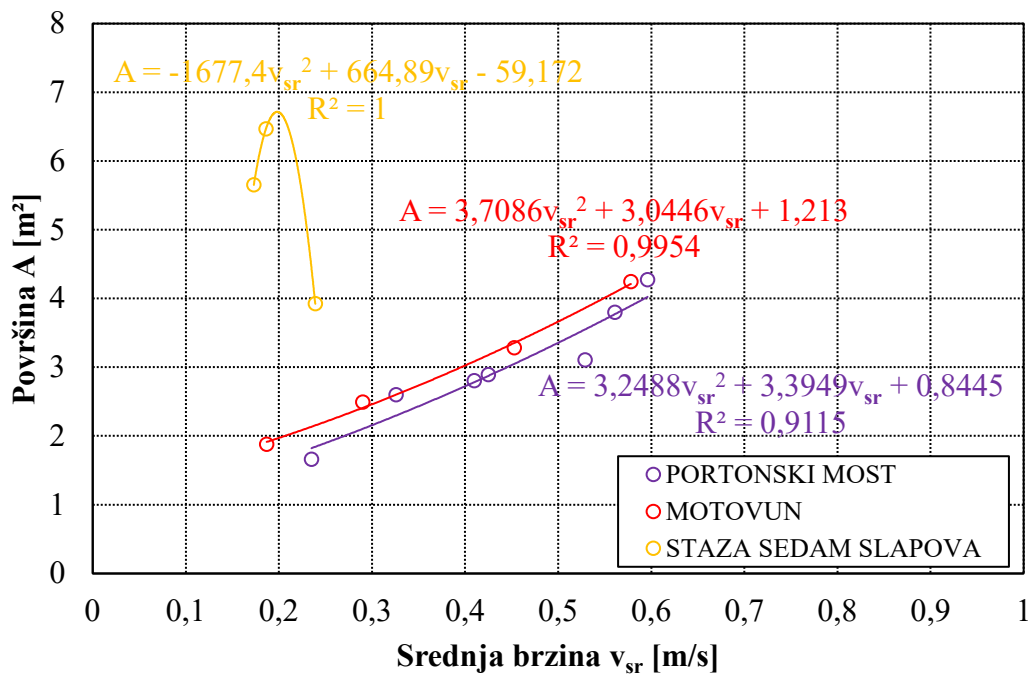
Slika 7. Dijagram odnosa srednjeg dnevnog protoka i srednje brzine

Slika 8 prikazuje odnos srednjeg dnevnog protoka Q [m³/s] i površine profila A [m²].



Slika 8. Odnos srednjeg dnevnog protoka i površine profila

Odnos srednje brzine v_{sr} [m/s] i površine profila A [m²] prikazan je na slici 9.



Slika 9. Odnos srednje brzine i površine profila

Vidljivo je da lokacije s većim brojem izmjerenih vrijednosti daju pouzdanije funkcionalne povezanosti između analiziranih parametara. Lokaciju Staza sedam slapova potrebno je uzeti s oprezom, budući da tri izmjerene vrijednosti daju veliko preklapanje i zbog toga rezultati dobiveni na ovoj lokaciji nemaju značajnu praktičnu vrijednost i njihova pouzdanost je upitna.

Također je potrebno uzeti u obzir kako regulacijski zahvati na rijeci Mirni mogu uzrokovati neprirodne promjene parametara koji pokazuju hidrološko-hidraulička svojstva vodotoka, što u konačnici može dovesti i do pogrešno definiranih ovisnosti ostalih parametara o njima, odnosno pogrešne zaključke.

Najbolja povezanost na osnovi vrijednosti R^2 vidljiva je na dijagramu odnosa srednjeg dnevnog protoka i srednje brzine na lokacijama Motovun i Portonski most (slika 7). Navedeno je vidljivo na dijagramu odnosa između srednjeg dnevnog protoka i površine poprečnog presjeka na lokaciji Motovun (slika 8) i na dijagramu odnosa srednje brzine i površine poprečnog presjeka (slika 9), također na lokaciji Motovun.

4 Zaključak

Dobivene funkcionalne zavisnosti predstavljaju pouzdane ulazne podatke za dimenzioniranje i monitoring najrazličitijih hidrotehničkih građevina. Uz stručni doprinos, istraživanje daje znanstveni doprinos u svrhu detaljnog opisivanja svojstava tečenja vodotoka, koji omogućavaju kalibriranje i provjeru rezultata dobivenih različitim komercijalnim modelima, ali i znanstvenim modelima koji se definiraju za pojedine vodotoke.

Buduća istraživanja analizirati će ovisnost pojedinih hidroloških i hidrauličkih parametara s obzirom na funkciju više varijabli u svrhu potpunijeg shvaćanja odnosa između tih parametara. Npr., planira se analizirati odnose između protoka i srednje brzine, zatim protoka i površine poprečnog presjeka, brzine i hidrauličkog radijusa te ostale međusobne kombinacije dobivenih parametara, odnosno veličina. Dobivenim funkcijskim odnosima moguće je odrediti veličinu pojedinih parametara za visoke i niske vodostaje u slučaju kad ili pojedini parametri nisu na raspolaganju ili u slučaju nemogućnosti ulaska u vodotok radi protoka koji bi predstavljali opasnost i za mjeritelje i za mjernu opremu. Analiza u vidu povezanosti putem funkcije više varijabli također će se izvršiti u nastavku ovog istraživanja. Najveći doprinos očekuje se u razvoju metodologije, gdje će se na osnovu mjerenja parametara do kojih je najjednostavnije doći (dubina) ili ih proračunati (hidraulički radijus), moći definirati protok kao varijabla odlučivanja u hidrološkoj analizi.

Dodatne informacije dati će provođenje geodetskih mjerenja korištenjem totalne stanice, GNSS uređaja te bespilotne letjelice. Uz to, preporučuje se uključivanje naprednih mjernih tehnika i opreme, poput ADCP-a za mjerenje protoka u uvjetima kada nije moguće ulaziti u vodu, kako bi se potvrdile i provjerile veličine dobivene korištenjem ranije utvrđenih funkcijskih veza.

Zahvala

Ovaj je rad nastao u sklopu projekta *Hidrološko-geodetski model za predviđanje poplava i suša* (IP-UNIN-TEH-2025-11), koji financira Europska unija – NextGenerationEU. Izneseni stavovi i mišljenja samo su autorova i ne odražavaju nužno službena stajališta Europske unije ili Europske komisije. Ni Europska unija ni Europska komisija ne mogu se smatrati odgovornima za njih.

Literatura

Đanić, A. (2022) Studija o ocjeni prihvatljivosti zahvata za ekološku mrežu - Stabilizacija pokosa korita na dijelu vodotoka Mirna. Zagreb: OIKON. Dostupno na: https://www.buzet.hr/images/uploads/files/Studija_Glavna_za_EM_stabilizacija_pokosa_Mirna.pdf (Preuzeto: 26. siječnja 2026).

Državni hidrometeorološki zavod - sektor za hidrologiju (DHMZa). Dostupno na: <https://hidro.dhz.hr/> (Preuzeto: 19. prosinac 2025).

Državni hidrometeorološki zavod (DHMZb). Srednji dnevni protoci za rijeku Mirnu. (2026).

Felja, I., Fontana, A., Furlani, S., Bajraktarević, Z., Paradžik, A., Topalović, E., Rossato, S., Čosović, V., and Juračić, M. (2015) "Environmental changes in the lower Mirna River valley (Istria, Croatia) during Upper Holocene," *Geologia Croatica*, 68(3).

Goring, D. G., Walsh, J. M., Rutschmann, P., and Trösch, J. (1997) "Modelling the distribution of velocity in a river cross-section," *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 31(2), pp. 155–162.

Hooke, J.M. (2007) "Monitoring morphological and vegetation changes and flow events in dryland river

channels,” *Environmental Monitoring and Assessment*, 127(1–3), pp. 445–457. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10661-006-9294-6>.

Hrvatske vode. Upravljanje rizicima od poplava na području sliva rijeke Mirne, stručni izvještaj (2021).

Kadmiel, O., Umar, A., Mallam, N.N., Abubakar, M. (2025) “Hydrological Analysis of Stream Flow, Velocity, and Cross-Sectional Dynamics of River Benue at Jimata Bridge,” *Journal of Agricultural and Environmental Science Research*, 7(1), pp. 326-350.