

ZNANSTVENO STRUČNI SKUP S MEĐUNARODNIM SUDJELOVANJEM

*Hidrologija u službi zaštite i korištenja voda,  
te smanjivanja poplavnih rizika –  
Suvremeni trendovi i pristupi*

Brela, 18. - 20. listopada 2018.

---

**PRIMJENA NADZIRANOG UČENJA ZA  
REKONSTRUKCIJU PROTOKA NA PRIMJERU  
EKSTREMNOG VELIKOVODNOG DOGAĐAJA**

**APPLICATION OF SUPERVISED LEARNING FOR  
RECONSTRUCTION OF FLOW EXEMPLIFIED  
BY EXTREME HIGH WATER EVENT**

**Jadran Berbić<sup>a</sup>**

*KLJUČNE RIJEČI: nadzirano učenje, protok, ekstremni velikovodni događaji*

*KEYWORDS: supervised learning, flow, extreme high water events*

## **1. UVOD**

U hidrologiji se ponekad javlja potreba procjene protoka u razdoblju u kojem još nisu bile uspostavljene hidrološke postaje na razmatranom području ili iz nekog razloga nedostaju pojedini podaci protoka, primjerice pri velikovodnim događajima. Ukoliko u blizini postoje meteorološke postaje s nizom mjerenja u razmatranom razdoblju, pretpostavka je da je na temelju tih podataka i postojećih mjerenja protoka na obližnjoj hidrološkoj postaji moguće rekonstruirati protok za razdoblje bez mjerenja. U radu je ispitana mogućnost primjene modela nadziranog učenja za ovu svrhu, a na primjeru velikovodnog događaja u području Zadra. Cilj rada je bio dobiti preliminarnu (okvirnu) sliku o mogućnosti izgradnje modela. Izgradnja, kalibracija

---

<sup>a</sup> Državni hidrometeorološki zavod, Grič 3, Zagreb, 10 000, Republika Hrvatska, jberbic@hotmail.com

i verifikacija modela izvršena je za razdoblje kad su prisutna mjerenja protoka (za razdoblje 1998.-2016.). Nadalje, rekonstruirani su protoci za 2017. godinu (uključuje velikovodni događaj od 11. rujna 2017.) te je analizirana i diskutirana točnost tako dobivenih protoka.

## 2. PRIMIJENJENA METODOLOGIJA

Početna ideja bila je ispitati mogućnost primjene nadziranog učenja za rekonstrukciju protoka pri velikovodnim događajima, u situaciji pri kojoj su dostupna mjerenja s meteoroloških postaja u dužem razdoblju nego mjerenja protoka. Razvoj takve metodologije zanimljiv je iz razloga što ponekad velikovodni događaji mogu uzrokovati oštećenja na hidrološkim postajama, kao što se dogodilo prilikom bujične poplave na području Zadra i Nina 11. rujna 2017. Na vodotocima Miljašić Jaruga i Bokanjačko Blato tada su premašena povratna razdoblja od 1000 godina prema mjerenjima zabilježenima do 2016. godine (Oskoruš i drugi, 2017, Oskoruš i drugi, 2018). Stoga su prikupljeni satni podaci o protoku s obližnjih hidroloških postaja – Poljaki i Boljkovac na vodotoku Miljašić Jaruga te Bokanjačko Blato ulaz i Bokanjačko Blato izlaz na vodotoku Bokanjačko blato (DHMZ, 2017a). Rekonstrukcija satnog protoka bila bi korisna jer omogućuje naknadne analize obima velikovodnog događaja. S druge strane, za predmetno područje navedeno predstavlja veliki izazov. Vodotoci Miljašić Jaruga i Bokanjačko Blato su izrazito bujičnog karaktera, s dugim razdobljima potpuno suhog korita, dok je na slivu prisutna jedna meteorološka postaja sa satnim mjerenjem podataka (glavna meteorološka postaja Zadar). Meteorološka mjerenja na području Zadra provode se od 1960., a događaj iz 2017. nije prvi događaj s ovako velikom količinom oborine. Dana 11. rujna 1986. izmjerena je količina oborine od 352,2 mm (količina pala od 07:00 prema UTC+1 10. rujna do 07:00 11. rujna 1986.). Tad je ukupna mjesečna količina oborine iznosila 374,5 mm, dok prosječna mjesečna količina oborine za rujna iznosi 105,7 mm. Minimalna je pala 1985. te je iznosila 1,2 mm (DHMZ, 2017b).

Primijenjena su tri modela nadziranog učenja: neuronska mreža, metoda potpornih vektora te metoda najbližih susjeda. Podaci iz razdoblja od 1998. do 2016. godine su pri svakoj gradnji modela kronološki dijeljeni na dijelove za gradnju, kalibraciju i verifikaciju modela, redom 60%, 20% i 20% podataka. Godina 2017. ostavljena je za dodatnu verifikaciju modela. Izgradnja svakog modela započela je izračunom unakrsne korelacije ulaznih varijabli s protokom za odabrani broj koraka prije i nakon modeliranog protoka, a za izračun su korišteni samo dijelovi podataka za izgradnju i kalibraciju. Konfiguracija modela je uvijek slagana na sljedeći način: za zadane varijable te zadan broj koraka unazad i unaprijed birane su varijable i koraci s antikorelacijom/korelacijom manjom/većom od zadanog praga korelacije, na način da se odabere određeni postotak najvećih korelacija. Sposobnost modela prvo je ispitana na dvije uzvodne hidrološke postaje – Bokanjačko Blato ulaz na vodotoku Bokanjačko Blato te Poljaki na vodotoku Miljašić Jaruga.

Satni protoci su modelirani koristeći zabilježene satne podatke s GMP Zadar te su obzir uzete sljedeće varijable: količina, trajanje te intenzitet oborine, temperatura, tlak i relativna vlažnost zraka. Izgrađeni su modeli za cijelo razdoblje godine, varirajući broj koraka te prag korelacije, zadržavajući parametre modela konstantnima, s ciljem dobivanja preliminarnе slike o mogućnosti primjene modela. Kako dobiveni rezultati nisu bili zadovoljavajući, ispitana je mogućnost izgradnje posebnih modela za određena razdoblja u godini: 12., 1. i 2. mjesec, 3., 4. i 5. mjesec, 6., 7. i 8. te 9., 10. i 11. mjesec. No, korelacije varijabli s protokom su i za ovakvu podjelu zapravo neznajčajne te su dobiveni modeli i dalje nezadovoljavajuće točnosti, mada nešto bolji. Stoga je zaključeno da s korištenim podacima nije moguće rekonstruirati satni protok. Vrijeme odziva vodotoka na oborinu je vrlo kratko (cca 5-6 sati), a jednom meteorološkom postajom nije moguće obuhvatiti prostornu i vremensku varijabilnost oborine. Obzirom na karakter vodotoka, rješenje bi možda trebalo tražiti u korištenju satelitskih snimaka oblačnosti te temperature vrha oblaka kao ulaznih podataka za modeliranje. Takav podatak obuhvaća prostornu varijabilnost potencijalne oborine, a vremenski je vrlo frekventan (svakih 15 minuta).

Sljedeći korak bio je rekonstrukcija srednjeg dnevnog protoka. Tu je situacija po pitanju prisutnosti podataka povoljnija. Uz dnevne podatke s GMP Zadar (količina oborine, srednja, minimalna i maksimalna dnevna temperatura, tlak i relativna vlažnost zraka), na raspolaganju su i količine oborine s kišomjernih postaja Ljubač, Poličnik, Donji Zemunik, Sukošan te podaci s klimatološke postaje Novigrad (količina oborine, srednja, minimalna i maksimalna dnevna temperatura, relativna vlažnost zraka; DHMZ, 2017b). Isti postupak izgradnje modela primijenjen je i u ovom slučaju te su dobiveni rezultati točniji nego u slučaju rekonstrukcije satnih protoka.

### **3. ZAKLJUČAK**

S korištenim podacima nije moguće dobiti zadovoljavajuće rezultate satnog protoka. Rekonstrukcija srednjih dnevnih protoka dala je bolje rezultate, s tim da još ima prostora za ispitivanje mogućih konfiguracija modela (kombinacije ulaznih varijabli). Korelacije ulaznih varijabli na raspolaganju s protocima na hidrološkim postajama su načelno niske, a vodotoci su izrazito bujičnog karaktera. Također treba napomenuti da je cilj rada bio dobiti preliminarnu sliku o mogućnosti izgradnje modela te da još postoji prostora za izbor konfiguracije i parametara modela. Kroz naredno vrijeme planira se detaljno ispitivanje točnosti te odabir najboljih modela. Bez obzira na krajnji rezultat, obzirom na dosad uočeno za daljnji razvoj modela predlaže se izrada automatizacije odabira konfiguracije modela s mogućnošću variranja količine varijabli i koraka. Pojedine varijable mogu doprinijeti točnosti modela u jednoj konfiguraciji, ali i smanjiti točnost modela u drugoj konfiguraciji (Berbić, 2017). Automatizacija bi trebala omogućiti odabir minimalno potrebne konfiguracije koja osigurava zadovoljavajuću točnost. Za rekonstrukciju satnih protoka na predmetnom području predlaže se razvoj modela na temelju satelitskih snimaka oblačnosti i temperature

oblaka, obzirom da se njima mogu obuhvatiti prostorne i vremenske raznolikosti potencijalne oborine.

## LITERATURA

- [1] Berbić, J. (2017): *Model upravljanja hidrotehničkim sustavima pomoću predviđanja nadziranim učenjem*, doktorska disertacija, Građevinski fakultet, Sveučilište u Zagrebu.
- [2] Državni hidrometeorološki zavod, DHMZ (2017a): *Hidrološka baza podataka HIS 2000*.
- [3] Državni hidrometeorološki zavod, DHMZ (2017b): *Relacijska meteorološka baza podataka*.
- [4] Oskoruš, D., Berbić, J., Macek, K., Lončar, T. (2017): *Ektremne rujanske poplave u Zadru i Ninu*, Hrvatska vodoprivreda (25/221), 25-33.
- [5] Oskoruš, D., Berbić, J., Vujnovic, T., Macek, K. (2018): *Extreme Floods in Zadar and Nin (Croatia) in September 11, 2017*, 11th HyMeX Workshop, 29 May-2 June 2018, Lecce, Italija.