

MJERENJE RIJEČNOG TOKA IZ SATELITA – SWOT MISIJA

prof. emeritus Ognjen Bonacci

Suvremena tehnologija pruža znanosti, ali i mnogobrojnim ljudskim praktičnim djelatnostima neslućene mogućnosti. Jedna od takvih otvorila se i hidrologiji. Satelitska opažanja kombinirana s algoritmima razvijenim od strane stručnjaka koji se bave riječnim inženjerstvom mogli bi pomoći u premoštenju velikih praznina u saznanjima o globalnim riječnim procesima u prostorima gdje nedostaju mjereni podatci.

Voda predstavlja esencijalni planetarni resurs koji se na svim prostorima Zemlje tijekom vremena vrlo brzo mijenja izobilja u nedostatak. Na taj način izravno utječe na sve ostale lokalne, regionalne pa i planetarne procese od onih bioloških do socio-političkih. U izučavanju složenih i dinamičnih zbivanja, vezano s kruženjem vode u prirodi, ključnu ulogu igra hidrologija kao praktična inženjerska disciplina, ali i teoretska znanost. Svaka država i/ili više država regije (npr. one koje dijele slivove velikih rijeka) pokušavaju stvoriti sustave praćenja promjena riječnih hidroloških svojstava na svojim prostorima s ciljem optimalnog upravljanja vodnim resursima, a osobito zbog učinkovitije borbe s ugrozama koje se javljaju zbog viška ili nedostatka vode na njihovim prostorima.

U hidrološkom ciklusu jednu od ključnih uloga igraju otvoreni vodotoci kao provodnici velikih vodnih količina s kopna u oceane. Rijeke su najuočljivije arterije i glavni elementi tog sustava. Nije pretjerano tretirati ih kao vidljivi krvotok planete. Tijekom njihove geološke prošlosti, ali i danas još intenzivnije, voda koja protječe njihovim koritima igra ključnu ulogu u formiranju krajobraza, pružanja podrške ekološkim sustavima, ali osobito razvoju ljudskih zajednica. U posljednjih stotinjak godina kao posljedica ljudskih aktivnosti njihov okoliš i ekosustavi su bili izloženi najintenzivnijim i vrlo agresivnim promjenama. Činjenica je da su pritisci na njih ne samo od strane čovjekovih djelatnosti, već i zbog dinamičnih i teško predvidljivih prirodnih procesa sve snažniji. Iako je čovjek postao svjestan negativnih posljedica, ovaj proces u najnovije vrijeme nije ni zaustavljen pa čak niti usporen, nasuprot tome on je opasno ubrzan. Da bi ga se shvatilo, a potom i ublažile njegove negativne posljedice, potreba za globalnim praćenjima hidroloških stanja na rijekama na Zemlji postala je nužnost.

Treba biti svjestan da do sada nije dovoljno shvaćen složen međuodnos između riječne hidrologije, morfologije i ekologije. Neophodan preduvjet za učinkovitije upravljanje slatkovodnim planetarnim sustavom na svim razinama predstavlja poznavanje vodnih količina koje protječu rijekama na površini Zemlje. Ne radi se ovdje o akademskoj, već o vrlo praktičnoj problematici. Poznavanje točnih vrijednosti riječnih protoka duž cijelog vodotoka značajno će pomoći u donošenju pravovremenih i učinkovitih odluka u upravljanju njenim vodnim resursima u cilju sprječavanja (ili barem ublažavanja) problema zagađenja, smanjenju ugroza od poplava i suša, sprječavanju sukoba među korisnicima itd.

Postojeća praksa praćenja vodnih količina na rijekama zasnovana na raspoloživoj tehnologiji omogućava kontrolu vodnih stanja samo na lokacijama gdje je hidrološki mjerni instrument instaliran. Ovi su podatci uglavnom dostupni samo nacionalnim službama koje vrše mjerenja i brinu se za funkcioniranje postojećih mjernih sustava. Kako se postojeći sustav pokazao nedovoljno učinkovitim, satelitska misija nazvana *Surface Water and Ocean Topography (SWOT)* odlučila je 2021. godine lansirati satelit koji će omogućiti radikalno poboljšanje praćenja stanja riječnog toka na planeti. SWOT je zajednički razvijen od strane NASA-e, Francuskog nacionalnog centra za svemirska istraživanja (*France's Centre National d'Etudes Spatiales - CNES*), Kanadske svemirske agencije (*Canadian Space Agency*), i Svemirske agencije Ujedinjenog Kraljevstva (*UK Space Agency*). Daljinska mjerenja vršena iz svemira predstavljaju novi alternativni i obećavajući pristup mjerenju i procjeni stanja vodnih količina u riječnim tokovima na globalnom planu.

Stručnjaci SWOT-a objašnjavaju suštinu njihove ideje na sljedeći način: „Koristit ćemo satelitska mjerenja rijeka te upotrijebiti osnovne zakone tečenja i principe očuvanja mase s ciljem određivanja protoka duž riječnih tokova. Koristimo se metodama koje omogućavaju da se taj pristup nazove tehnikom *mass-conserved flow law inversion - (McFL)*.”

Pošto je globalna bilanca površinskih voda nedovoljno poznata za poboljšavanje razumijevanja složenog i dinamičnog sistema resursa slatke vode, neophodno je koordinirati postojeća terenska mjerenja i modele s daljinskim satelitskim motrenjima. Taj će zadatak obavljati NASA/CNES SWOT satelit.

Jedna od bitnih zadaća ove misije je procjena riječnog protoka na neizučeni slivovima, dakle na slivovima na kojima nedostaju terenska mjerenja. SWOT će korištenjem McFLI tehnike i algoritama procjenjivati protok u rijekama. Koristit će klasične hidrauličke izraze (npr. Manning-ovu jednadžbu, hidrauličku geometriju itd.) u kombinaciji s principima očuvanja mase na riječnim dionicama. Na taj će se način izgraditi jednostavan, ali ograničeni sustav jednadžbi koji će omogućiti izračunavanje (procjenu) nepoznatih (mjerjenjima neobuhvaćenih) protoka. SWOT će kontinuirano pratiti promjene poprečnih presjeka i pada vodnog lica tijekom vremena. Na taj je način zadatak McFLI tehnologije sveden na definiranje veličine bazične površine (*baseflow area*) i Manningov-og koeficijenta hrapavosti.

Preliminarni rezultati su potvrdili da bi McFLI mogao postati pouzdano oruđe za globalne hidrološke analize. Usporedbom s terenskim mjerjenjima ustanovljeno je da greška procjene protoka u većini slučajeva manja od 30 %. Radi se na poboljšanju postignutih rezultata McFLI tehnike u sljedeća tri smjera: (1) Poboljšanju točnosti i robusnosti McFLI rezultata uključivanjem u proces procjene pomoćnih podataka sa satelita, modela i terenskih mjerenja; (2) Razvojem novih McFLI algoritama korištenjem novih ili do sada nedovoljno korištenih zakona tečenja; (3) Sustavnim testiranjem McFLI algoritama u cilju definiranja različitih klasa rijeka zasnovanih na geografskim svojstvima i raspoloživim podacima za potrebe korištenja na neizučeni slivovima.

McFLI tehnike nove su u hidrologiji, a bitne su zbog toga jer pružaju realnu mogućnost prevladavanja postojećih velikih praznina u razumijevanju globalnih procesa kretanja slatkih voda na Zemlji. Njihovom primjenom hidrološko modeliranje je postavljeno na makro planetarnu dimenziju. Praćenje i predviđanje bilance voda tretira riječni protok kao rezultat oborina, evapotranspiracije i drugih interaktivnih procesa. Unatoč postignutom velikom napretku monitoringa pomoću satelita postoje još brojni nedostaci u postojećim globalnim i regionalnim hidrološkim modelima koje će trebati prevladati s ciljem postizanja pouzdanijih rezultata.

Novi pristup globalnoj planetarnoj riječnoj hidrologiji, zasnovan na poznatim fizičkim principima tečenja vode, neophodno je potreban stoga jer praktično nije moguće izravno daljinski mjeriti protok u rijekama. Satelitima ekstremne poteškoće predstavlja snimiti riječno dno kroz duboku i mutnu vodu, ali oni mogu precizno mjeriti širinu, visinu i pad vodnog lica rijeke kao i njihovu promjenu tijekom vremena. Dakle, nedostatak je u nemogućnosti preciznog definiranja oblika dna korita, a time i baznog toka. Koristeći zakone fizike moguće je procijeniti i protok bez mjerenja dubine vode.

Danas su razvijeni brojni modeli riječnog toka koji značajno variraju po složenosti od onih najkompleksnijih, koji koriste cjelovitu jednadžbu očuvanja mase i kretanja, do onih koji proces opisuju jednostavnim empirijskim izrazima i koriste samo nekoliko ključnih parametara.

Istovremeno svi oni su suočeni sa značajnim poteškoćama definiranja otpora tečenju. Problemi se javljaju kod određivanja hrapavosti pri meandriranju riječnog toka kod tečenja kroz kanjone, preko slapova itd. Modelima su potrebni upravo neki podaci koje je moguće izmjeriti daljinskim satelitskim mjerjenjima. Kad se njih uključi u McFLI algoritam, koji je zasnovan na očuvanju mase, moguće je dosta pouzdano odrediti protok. Princip očuvanja mase korišten u riječnoj hidrologiji zasnovan je na jednostavnoj pretpostavci da je količina vode koja uđe na neku dionicu rijeke jednaka količini vode koja iz nje izađe. Ona važi za dionice na kojima nema površinskog ili podzemnog dotoka ili otjecanja ili brana i akumulacija.

Najveća prednost SWOT misije u odnosu na sadašnje stanje kontrole riječnog toka je u činjenici da se mjerena svojstva rijeka obavljaju kontinuirano. To omogućava da se tijekom vremena detaljno prate promjene poprečnih presjeka otvorenih vodotoka, razine vode te pada vodnog lica. Satelit koji će biti lansiran 2021. godine opažat će najmanje 90 % rijeka, jezera i oceana na površini Zemlje. Orbita satelita oko Zemlje trajat će 21 dan.

McFLI algoritam razvijen je tako da traži najbolju procjenu stvarnog oblika riječnog poprečnog presjeka (imajući u vidu činjenicu da satelitskim mjerjenjima nije moguće izmjeriti kompletan poprečni presjek), otpor tečenju i protok za svaki pojedini poprečni presjek tijekom vremena poštujući principe očuvanja mase i kretanja. Za rješavanje ove složene i nedovoljno jasne problematike koriste se specifične stohastičke i determinističke tehnike kojima se definira protok i izračunava njegova nepouzdanost.

Glavni doprinos ove misije očekuje se u boljem određivanju protoka na neizučeni slivovima i u saznanjima koliko vode protječe kroz riječne sustave na planeti u određenom trenutku. Ova saznanja bitno će utjecati na hidrologiju i njen razvoj, ali i ulogu u budućnosti.

Za potpuni uspjeh ove misije bit će potrebno organizirati suradnju s institucijama u brojnim (najbolje svim) državama svijeta. Važno je naglasiti da ovu suradnju treba ostvariti prije samog lansiranja satelita. Sav potencijal koji nudi McFLI bit će moguće ostvariti ako se planetarna hidrološka zajednica uključi u njega sa svojim mjerenim podacima kao i modelima koje koriste u riječnoj hidrologiji te iskustvima stečenim njihovim korištenjem.

Kao konačno, treba naglasiti da namjera SWAT-a i McFLI-a nije da zamjene hidrološko modeliranje i ukinu ili smanje terenska mjerenja na riječnim hidrološkim postajama. Upravo obratno, McFLI će moći postići svoje ciljeve samo ako se koriste i razvijaju novi hidrološki modeli i poboljša i poveća brojnost hidrološkim mjerjenjima na rijekama. Samo će na taj način biti moguće pouzdano odgovoriti na pitanje na koje danas nema odgovora: „Koliko vode protječe kroz rijeke na planeti i kako se ta količina mijenja u prostoru i vremenu“. Radi se o pitanju čiji je odgovor bitan za budućnost čovječanstva i okoliša. ■