

NUMERIČKO MODELIRANJE I SIMULACIJA TRANSPORTA ZAGAĐENJA NERETVOM

Hata MILIŠIĆ, Haris KALAJDŽISALIHović
Građevinski fakultet Univerziteta u Sarajevu, B&H
Nenad JACIMOVIĆ
Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu

REZIME

Otpadne vode, ispuštene u vodotok, podliježu procesima transporta i miješanja. Nakon potpunog poprečnog miješanja, problem je dalje moguće razmatrati jednodimenzionalno. Cilj istraživanja ovog rada bio je modelirati proticaj, salinitet i opterećenja biohemijske potrošnje kisika i otopljenog kisika (BPK_5 i O_2) duž rijeke Neretve na potezu od Mostara do Žitomislića.

MIKE 11 - hidrodinamički simulacijski program je korišten kao model toka i transporta, te procesa kvaliteta vode u vodotoku. Hidrodinamički model (HD) korišten je za proračun nivoa vode i proticaja u rijeci, a advektivno – disperzni model (AD) i model kvaliteta vode (WQ) korišteni su za modeliranje saliniteta te pronosa i širenja BPK_5 i O_2 koncentracije. Kalibracija modela obavljena je na osnovu raspoloživih eksperimentalnih podataka, a za verifikaciju su korišteni podaci dobijeni statističkom obradom druge mjerene vremenske serije. Usporedna analiza između mjerenih i simuliranih podataka pokazala je da je model MIKE 11, samo ako je dobro kalibrisan, u stanju predvidjeti dovoljno tačna opterećenja BPK_5 i O_2 te saliniteta na razmatranom slivnom području.

Ključne riječi: disperzija, model, transport zagađenja, kvalitet vode, MIKE11

1 UVOD

Jedan od većih problema današnjice je zagađenje voda, a modeliranje transporta i disperzije zagađenja jedan je od načina procjenjivanja njegove razine. Zbog značaja procesa pronosa i širenja zagađenja u površinskim tokovima javlja se i potreba za daljnjim istraživanjem ove problematike.

Danas postoji veliki broj manje ili više složenih simulacijskih modela transporta zagađenja i kvaliteta voda. Važno pravilo kod primjene modela je da se složenost modela treba prilagoditi raspoloživom fondu podataka na osnovu kojih se model izrađuje, jer sama složenost modela neće poboljšati rezultat. Simulacijski modeli su jedino moguće sredstvo utvrđivanja stanja voda na računskim profilima na kojima se ne prati stanje kvaliteta voda [3]. Modeli mogu biti različitog nivoa složenosti, a tačnost rezultata u najvećoj mjeri zavisi od kvaliteta kalibracije i od tačnosti podataka na osnovu kojih se provodi kalibracija i verifikacija modela [3][5][7][11][13].

Izražena degradacija kvaliteta vode vodotoka u posljednjim decenijama dvadesetog vijeka, čiji su uzrok različiti izvori, ranije koncentrisani, a danas sve češće rasuti, dovela je do razvoja zakonskih propisa čijom se primjenom teži očuvanju kvaliteta vode vodotoka. Ove mjere su uglavnom restriktivnog karaktera i najčešće ograničavaju ispuštanje zagađujućih materija u vodotoke, bilo da je zagađenje kvalitativno ili kvantitativno. Međutim, u mnogim slučajevima, navedene mjere nisu dovele do zahtijevanog kvaliteta voda, jer je problem mnogo kompleksniji i prevazilazi granice korita vodotoka i uskok priobalja [9].

Radi rješavanja navedenog problema i postizanja cilja - održivog korištenja voda, uveden je integralni pristup pri upravljanju kvalitetom voda, koji se izričito zahtijeva Okvirnom direktivom o vodi EU (Water Framework Directive 2000, WFD Council Directive 2000/60/EC) [9]. Ovako kompleksan pristup zahtijevao je razvoj kompleksnijih oruđa koja bi se koristila pri obradi brojnih ulaznih podataka, kao i pri uspostavljanju uzročno - posljedičnih veza među različitim činiocima. Zato se savremena procjena utjecaja različitih faktora na životnu sredinu, a time i vodnih resursa, bazira na

primjeni numeričkih modela pronosa zagađenja, te kvaliteta vode [2][8][10][11][12][13].

Prednost modeliranja nad korištenjem eksperimentalnih metoda ogleda se u sljedećem:

- modeliranje disperzije posjeduje fleksibilnost pri planiranju (moguće je provesti mnoge «što – ako» scenarije);
- nemoguće je provoditi eksperiment za utjecaje iz nepostojećih izvora;
- moguće je modelirati utjecaje maksimalnih koncentracija za razna vremenska osrednjenja pod najgorim hidrološkim uslovima;
- cijena modeliranja je mnogo manja (i vremenski i novčano).

U svijetu postoji bogato iskustvo u matematičkom modeliranju pojava nestacionarnog tečenja u otvorenim vodotocima, te procesa miješanja i transporta zagađenja. [2][8][10][11][12]. Osnovu za pomenuta modeliranja čine komercijalni programski paketi, koji su svoju primjenu našli širom svijeta. Riječ je o Danskom modelu MIKE 11, te o američkim modelima HEC RAS, QUAL2E idr. [6][10][11].

Uzimajući u obzir gore pomenuto, cilj ovoga rada jeste:

- Modeliranje i simulacija prostorne i vremenske promjene parametara kvaliteta vode (saliniteta, O_2 i BPK_5) u rijeci Neretvi na potezu od HE Mostar do VS Žitomislići primjenom numeričkog modela MIKE 11 (kalibracija i verifikacija modela);
- Prognoziranje budućih stanja kvaliteta vode za planski period od 2012. do 2022. god. na osnovu već uspostavljenog (kalibrisanog) numeričkog modela rijeke Neretve.

2 NUMERIČKI MODEL MIKE 11

2.1 Opis modela

Softverski paket "MIKE 11", razvijen je u Danskom Hidro Institutu DHI [6]. To je numerički model jednodimenzionalnog nestacionarnog tečenja u prirodnim vodotocima. Njegova glavna područja primjene su analiza poplava i ublažavanje šteta, analiza sloma brana, procjene kvaliteta vode u rijekama i jezerima, transport nanosa, studije riječne morfologije, pojava saliniteta u rijekama i estuarijima idr.[10][11].

Temelji se na integrisanoj modelarnoj strukturi s različitim osnovnim i dodatnim modelima, od kojih svaki simulira određenu pojavu u riječnim sistemima. Pored osnovnog hidrodinamičkog modela (HD), nadograđen je dodatnim modelima kao što su model za

hidrologiju (RR), advekciju - disperziju (AD), kvalitet vode (WQ) i transport sedimenta (ST) [6].

HD model je osnovni model koji daje rješenja hidrodinamike strujanja na modeliranom području. AD model služi za analizu advektivno – disperzivnog pronosa toplote i mase otopljene ili suspendovane materije (bilo koje vrste), i to na osnovu dobijene slike strujanja iz HD modela. Analiza prostorne i vremenske raspodjele koncentracija polutanta ostvaruje se modelom WQ koji se ponovno oslanja na rješenje hidrodinamike strujanja i pronosa, odnosno rješenja dobijena iz HD i AD modela [6].

Da bi model bio implementiran na razmatranom području, potrebno je izvršiti njegovu kalibraciju te verifikaciju. Ima interface za GIS koji omogućava pripremu ulaznih podataka modela i predstavljanje izlaznih podataka modela u GIS okruženju. To je priznati i dobro testirani softver koji se kontinuirano usavršava i proširuje, te uveliko koristi u hidrotehničkoj praksi [10][11].

2.2 Modeliranje hidrodinamičkih procesa

Hidrodinamički model (HD) je srž sistema i rješava ili potpune hidrodinamičke (Saint Venantove) jednačine ili jednu od dvije jednostavnije verzije pod nazivom jednačina difuznog i kinematičkog vala [6].

Potpune dinamičke jednačine date su sljedećim izrazima:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\alpha Q^2}{A} \right) + g \cdot A \frac{\partial h}{\partial x} - g \cdot A (S_0 - S_f) = 0 \quad (2)$$

gdje je:

A - površina poprečnog presjeka, t - vrijeme, Q - proticaj, x - udaljenost nizvodno, q - bočni dotok po dužini jedinice, g - gravitaciono ubrzanje, h - dubina, α - koeficijent brzine, S_0 - pad dna kanala i S_f - pad linije energije.

Softver za rješavanje jednačina (1) i (2) koristi metodu konačnih razlika i to implicitnu Abbott-Ionescu shemu [1][6] dijeleći kanal na niz segmenata po dužini. Čvorovi predstavljaju granice između dionica, gdje je svaki drugi čvor dubina ili proticaj naizmjenice. Primarni granični uslovi u oba kraja kanala, i uzvodni i nizvodni, su poznate vremenske serije proticaja i dubine (nivoa) vode.

2.3 Modeliranje transportnih procesa

Advektivno – disperzni (AD) model temelji se na jednodimenzionalnoj jednačini očuvanja mase rastvorenih ili suspendovanih materija (npr. soli ili kohezivnih sedimenata). Ponašanje nekonzervativnih supstanci, koje linearno propadaju, se također može simulirati u AD modelu. Jednodimenzionalna jednačina advekcije - disperzije koja uzima u obzir i efekat razgradnje materije prvog reda data je sljedećim izrazom [4][6][7][10][13]:

$$\frac{\partial AC}{\partial t} + \frac{\partial QC}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left(AD \frac{\partial C}{\partial x} \right) = -AKC + C_2q \quad (3)$$

gdje je: Q proticaj [L^3T^{-1}], C je koncentracija [ML^{-3}], D je koeficijent disperzije [L^2T^{-1}], A je površina poprečnog presjeka [L^2], K je linearni koeficijent raspadanja [T^{-1}], C_2 je izvor/izljev koncentracije [ML^{-3}], q je bočni dotok [$L^2 T^{-1}$], x je udaljenost u pravcu toka [L], a t je vrijeme [T].

Jednačina (3) opisuje dva transportna procesa: advektivni (ili konvektivni) i disperzivni transport i rješava se numerički primjenom implicitne sheme konačnih razlika, što dovodi do zanemarive numeričke disperzije. Primijenjena proračunska shema u advekciono – disperznom modelu je stabilna čak i za veliki Peclet-ov broj, odnosno za [6]:

$$Pe = v \frac{\Delta x}{D} > 2 \quad (4)$$

Prostorni i vremenski korak bi trebao biti odabran na takav način da konvektivni, Courant-ov, broj Cr bude manji od 1 [6].

$$Cr = v \frac{\Delta t}{\Delta x} < 2 \quad (5)$$

AD model preuzima izlazne podatke iz hidrodinamičkog modela kao svoje ulazne podatke, dok je koeficijent disperzije (D) opisan kao funkcija srednje brzine (V) kao što je prikazano u jednačini (6) [6].

$$D = aV^b \quad (6)$$

gdje je "a" faktor disperzije i "b" eksponent disperzije.

2.4 Modeliranje kvaliteta vode

Model kvaliteta vode (WQ) je vezan za AD model i simulira reakcijske procese složenih sistema, uključujući i razgradnju organskih materija, fotosintezu, nitrifikaciju i izmjene kisika s atmosferom. Parametri njihovog masenog stanja se izračunavaju za sve mrežne tačke u svim koracima, koristeći metod racionalne

ekstrapolacije u integrisanom dvo-stepenom postupku s AD modelom.

Model kvaliteta vode se sastoji od šest nivoa složenosti reakcijskih procesa i uključuje modeliranje otopljenog kisika i BPK_5 s nutrijentima, HPK s nutrijentima, eutrofikaciju, teške metale, fero-oksidaciju, proširenu eutrofikaciju i nutrijente. Fosfor i koliformne komponente se također mogu dodati na bilo koji nivo kompleksnosti [6].

3 PRIMJENA MODELA NA RIJEKU NERETVU

3.1 Opis područja

Rijeka Neretva je najveća kraška rijeka u slivu Jadranskog mora. Njena ukupna dužina iznosi 225 km, od kojih su 203 km u Bosni i Hercegovini, dok se zadnja 22 km nalaze u Hrvatskoj. Srednji i donji dio Neretve, u kojem teče kroz Bosnu i Hercegovinu značajno doprinosi zagađenju koje ugrožava biodiverzitet delte. Neretva ima prosječni godišnji proticaj od 194,4 m³/s, a veličina hidrogeološke slivne površine u Federaciji BiH iznosi 5745 km². [11].

Za Neretvu je karakteristična velika neravnomjernost proticaja u toku godine. Ljetni proticaji su niski, a zimski visoki. Vodom najbogatiji mjeseci su decembar i april, a najsiromašniji august i septembar, pa juli. Brojne hidrološke stanice, na čitavom slivu rijeke sa dugogodišnjim nizom sistemskih hidroloških osmatranja vodostaja i mjerenja proticaja čine da je sliv rijeke Neretve hidrološki izučen [11].

Najveći grad na rijeci Neretvi je Mostar. Zbog proteklih ratnih dejstava broj stanovnika ove regije umanjio se sa približno 127.000 na oko 100.000, a 90 % gradskih industrijskih kapaciteta prestalo je sa radom. U Mostaru trenutno ne postoji postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda. Samo neki dijelovi grada su opremljeni kanalizacijom. Do danas je izgrađeno približno 50 km kanalizacije, i sva se izljevaju u Neretvu na oko 35 različitih lokacija [3].

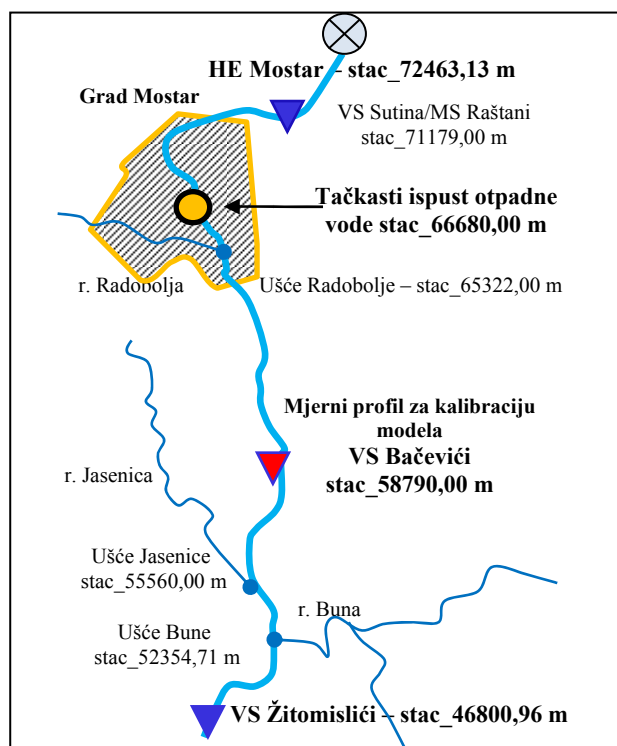
Glavni (i jedini) prihvati svih otpadnih i oborinskih voda je rijeka Neretva u koju se ulijevaju svi mali i veliki tokovi kao i bujice sa okolnih planina. Osnovni zagađivači vode su prevelika i nekontrolisana upotreba pesticida u poljoprivredi, te neprečišćene otpadne vode naselja i industrije. Unatoč ovakvim uslovima, kvalitet vode u rijeci Neretvi i dalje je

općenito u II klasi, s tim da povremeno spadne i u III klasu, u vrijeme ljetnih sušnih mjeseci [3].

3.2 Ulazni podaci i postavka modela

Računsku oblast modela predstavlja rijeka Neretva neposredno nizvodno od akumulacije HE Mostar do vodomjerne stanice Žitomislići (slika 1.). Ukupna dužina razmatranog poteza iznosi oko **26,0 km**. Proračunska dionica sadrži jedan segment vodotoka sa **229** proračunskih tačaka, te **50** poprečnih profila. Usvojena vrijednost proračunskog prostornog koraka iznosi $\max \Delta x = 300 \text{ m}$, a vremenskog $\Delta t = 10 \text{ sec}$. Numerički model uključuje i pritoke rijeke Neretve na razmatranju dionici **Radobolju, Jasenicu i Bunu**.

U radu je tretirano ispuštanje gradskih (komunalnih i dijela industrijskih) otpadnih voda užeg urbanog područja grada Mostara koje se nesmetano ispuštaju u Neretvu bez prethodnog prečišćavanja. Odabrana lokacija komunalnog ispusta u gradu Mostaru nalazi se neposredno nizvodno od VS Mostar na lokalitetu Carinskog mosta na stacionaži **66680,00 m**. Ovaj ispust je obalni, tačkastog tipa i lociran je oko **5,8 km** nizvodno od HE Mostar (slika 1.).



Slika 1. Shematski prikaz računске dionice rijeke Neretve na potezu od HE Mostar do VS Žitomislići

Za formiranje računске oblasti strujanja korištene su sljedeće podloge i podaci [8][11]:

- Digitalizirane geodetske podloge (orto-foto snimci) u inundacijama u razmjeri 1:1000 i snimljeni poprečni profili duž toka rijeke Neretve na potezu od HE Mostar do VS Žitomislići.
- Osmotreni hidrološki podaci (proticaji i vodostaji) kao i podaci o kvalitetu vode na sljedećim mjernim stanicama:
 - Sutina/Raštani - neposredno ispod HE Mostar
 - Raštani
 - Bačevići
 - Buna na rijeci Buni
 - Žitomislići

3.3 Kalibracija i verifikacija modela

U ovome radu su na odabranom segmentu rijeke Neretve (HE Mostar – VS Bačevići – VS Žitomislići) simulirana pojedina stanja kvaliteta vode primjenom numeričkog modela MIKE 11. Modelirani su BPK₅ i otopljeni kisik O₂ kao ključni parametri kvaliteta vode, te salinitet. Modeliranje kvaliteta vode ostvareno je preko WQ modela u kome se mogu odabrati različiti nivoi složenosti modela. U ovome radu je odabran nivo 1 (BOD – DO model sa temperaturom) uzimajući u obzir advekciju, disperziju i najvažnije biološke, hemijske i fizikalne procese, dok je modeliranje saliniteta ostvareno preko AD modela.

Za kalibraciju transportno – kvalitativnog (AD/WQ) modela bilo je potrebno prethodno kalibrirati hidrodinamički model rijeke Neretve. Prema tome, kalibracija modela obuhvaćena ovim radom odnosi se na definisanje vrijednosti koeficijenata hrapavosti, koeficijenata disperzije, te vrijednosti relevantnih koeficijenata razgradnje organske materije i obogaćivanja vode kisikom iz atmosfere.

Kalibracija hidrodinamičkog (HD) modela (slika 2.) sprovedena je na mjerene vrijednosti nivoa vode na VS Bačevići, gdje je ulaz u model (uzvodni granični uslov) bilo ispuštanje iz HE Mostar - vodni val 28. - 31. 03. 2005.god., a nizvodni granični uslov mjereni (registrovani) nivogram na VS Žitomislići [11]. Nakon sprovedene kalibracije provedena je i verifikacija modela (slika 3.) i to na mjereni proticaj od 28. - 30. 06. 1979. god. (period malih voda) na istoj VS Bačevići [7]. Kalibracija AD/WQ modela (slike 4., 5., 6., 7., 8. i 9.) obavljena je na osnovu raspoloživih eksperimentalnih podataka (simultano mjerenje proticaja i kvaliteta vode u junu 1979.god.)

[7], a za verifikaciju modela (slike 10. i 11.) korišteni su statistički obrađeni mjereni podaci kvaliteta vode za 2009. god. (srednje vrijednosti) [3].

3.4 Simulacija budućih stanja

Nakon sprovedene kalibracije i verifikacije numeričkog modela urađena je i simulacija budućeg stanja kvaliteta vode rijeke Neretve za planski period od 2012. – 2032. god. (planski prag 2022. god.) i to za 2 scenarija:

- Scenario 1 (bez postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda – slika 12.).
- Scenario 2 (sa planiranom izgrađenom I fazom postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda – slika 13.).

Modeliran je samo BPK_5 kao ključni pokazatelj kvaliteta vode.

4 REZULTATI I DISKUSIJA

Tokom sprovedenih simulacija vršena je prvo kalibracija koeficijenata hrapavosti upoređivanjem proračunatih i registrovanih vodostaja na VS Bačevići. Koeficijenti hrapavosti su tarirani duž toka i po visini poprečnog presjeka sve dok se nije dobilo dobro slaganje proračunatih i osmotrenih vrijednosti. Pošto u proračun nisu posebno unošeni objekti na toku, koeficijenti hrapavosti obuhvataju i lokalne otpore tih objekata (mostova idr.). Koeficijenti otpora dobijeni kalibracijom hidrodinamičkog modela kreću se u rasponu od $n \approx 0,030 - 0,085 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ [11]. Na slikama 2. i 3. prikazani su rezultati kalibracije i verifikacije hidrodinamičkog modela. Na pomenutim slikama se vidi dobro slaganje mjenjenih i simuliranih vrijednosti vodostaja i proticaja na razmatranom kontrolnom profilu Bačevići.

Tokom kalibracije AD/WQ modela upoređivane su simulirane i mjerene koncentracije električne provodljivosti (saliniteta) te BPK_5 i O_2 na VS Bačevići. Kalibracijom AD modela dobijene su vrijednosti koeficijenata disperzije koje se kreću u rasponu od $130 - 280 \text{ m}^2/\text{s}$, osrednjene za pojedine dionice razmatrane računске oblasti.

Koeficijenti razgradnje dobijeni kalibracijom WQ modela kreću se u rasponu od $0,5 - 1,5 \text{ 1/dan}$, što odgovara vodotocima kakva je rijeka Neretva (brdski vodotok sa izrazitom turbulencijom), dok se koeficijent reaeracije kreće u prosjeku oko $2,0 \text{ 1/dan}$. Kako postoji veoma veliki broj faktora koji utječu na stvaranje/razgradnju modeliranih parametara kiseoničkog režima (BPK_5 i O_2) praktično je bilo

nemoguće obezbijediti toliki broj eksperimentalnih podataka koji bi opisali iste, te nije bilo moguće izvršiti precizno tariranje transportno - kvalitativnog modela. Na slikama 5., 7. i 9. se jasno uočavaju ta odstupanja, međutim ponašanje vodotoka na ovakvu vrstu procesa model ipak dobro opisuje. Statističkom analizom mjenjenih i simuliranih vrijednosti nivoa vode i modeliranih parametara kvaliteta vode došlo se do sljedećih koeficijenata determinacije (tabela 1.)

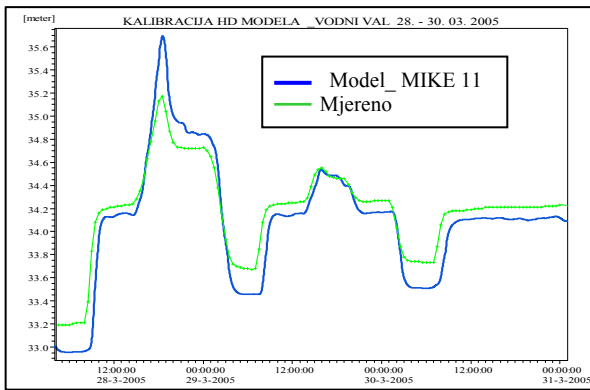
Tabela 1. Statistička analiza rezultata kalibracije

Parametar modela	Koeficijent determinacije R^2
Nivo vode (H) [m]	0,946
Salinitet [PSU]	0,623
O_2 [mgO_2/l]	0,658
BPK_5 [mgO_2/l]	0,512

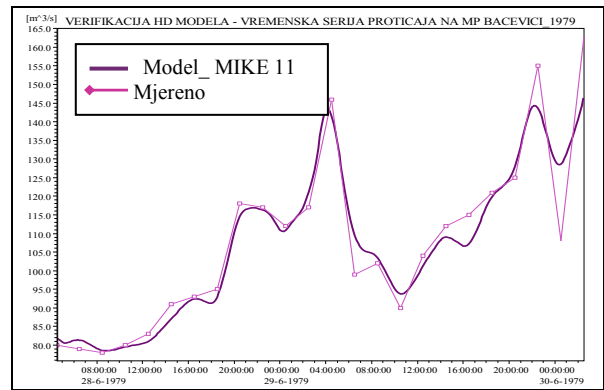
5 ZAKLJUČCI

U ovome radu je primjenom numeričkog modela MIKE 11 modeliran (simuliran) pronos ispuštenog zagađenja iz grada Mostara duž toka rijeke Neretve te pojedina stanja kvaliteta vode. U sklopu provedenih simulacija izvršena je kalibracija i verifikacija modela (simulacija postojećeg stanja) te simulacije budućih stanja kvaliteta vode rijeke Neretve sa različitim scenarijima upravljanja. Na osnovu rezultata provedenih simulacija može se zaključiti:

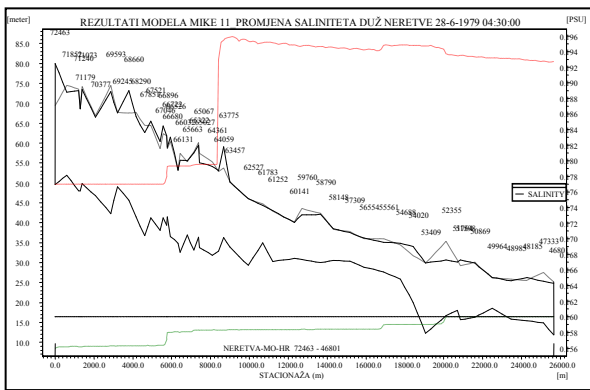
- Razmatrajući isključivo simulirane parametre kvaliteta vode, ustanovljeno je da postojeće stanje kod mjerodavnih protoka (male vode) rijeke Neretve zadovoljava uslove kategorizacije voda ("Službeni list R BiH", broj 2/92 i 13/94, "Službeni list SR BiH", broj 42/67).
- Iako se kvalitet vode rijeke Neretve već u postojećem stanju prema svim modeliranim pokazateljima može ocijeniti zadovoljavajućim, izgradnjom I faze postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda Grada Mostara (**100 000 ES**), ostvarit će se dodatno poboljšanje kvaliteta vode rijeke Neretve pri mjerodavnom protoku.
- Ako se na osnovu rezultata modeliranja pronosa i miješanja zagađenja u rijeci Neretvi trebaju donositi odluke o upravljanju vodnim resursima u slivu ili odluke o izgradnji objekata i drugih zahvata za ekološku zaštitu, tada se mora uzeti u obzir stepen propagirane nepouzdanosti (ulazni podaci o teretu zagađenja i procijenjeni parametri modela) u konačna rješenja [2][5][13].



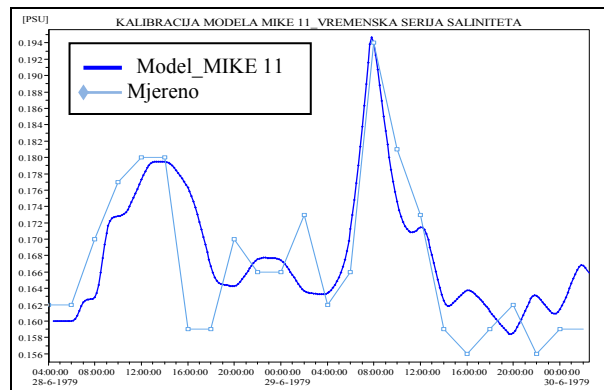
Slika 2. Kalibracija HD modela - uporedni prikaz simuliranih i mjenjenih vodostaja tariranog modela na VS Bačevići (28.-31.03.2005.god.)



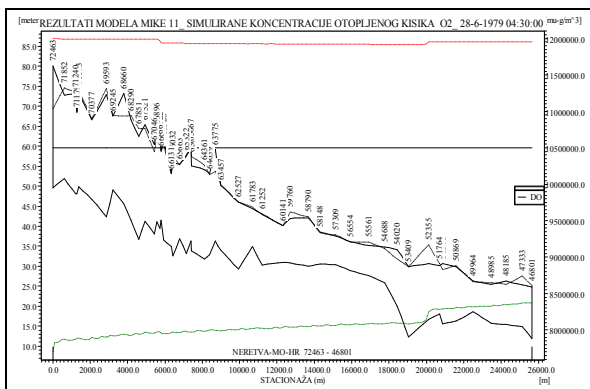
Slika 3. Verifikacija HD modela - uporedni prikaz simuliranih i mjenjenih proticaja tariranog modela na VS Bačevići (28.-30.06.1979.god.)



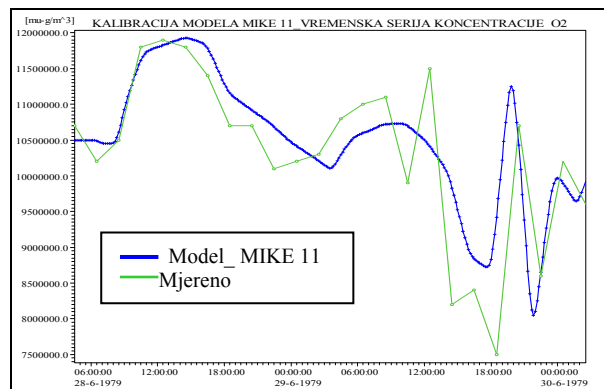
Slika 4. Kalibracija AD/WQ modela – promjena saliniteta duž toka rijeke Neretve (28.-30.06.1979.god.)



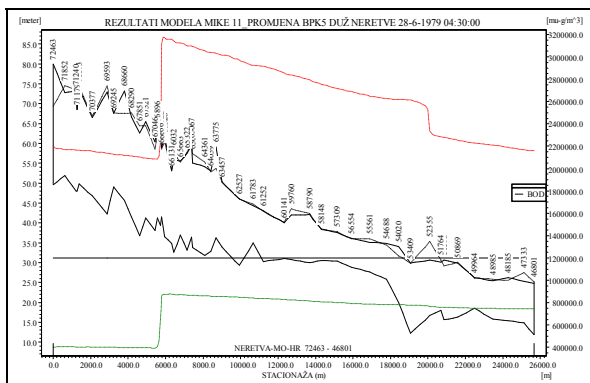
Slika 5. Kalibracija AD/WQ modela - uporedni prikaz simuliranog i mjenjenog saliniteta tariranog modela na VS Bačevići (28.-30.06.1979.god.)



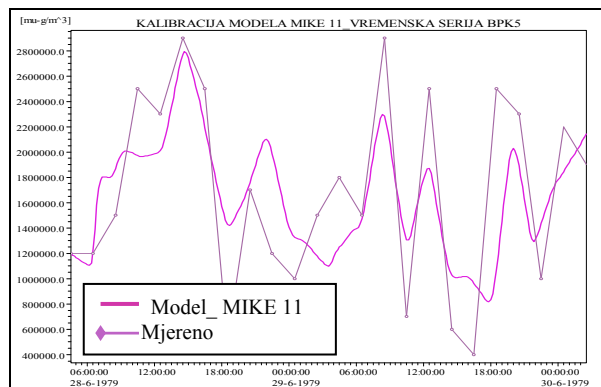
Slika 6. Kalibracija AD/WQ modela – promjena koncentracije O₂ duž toka rijeke Neretve (28.-30.06.1979.god.)



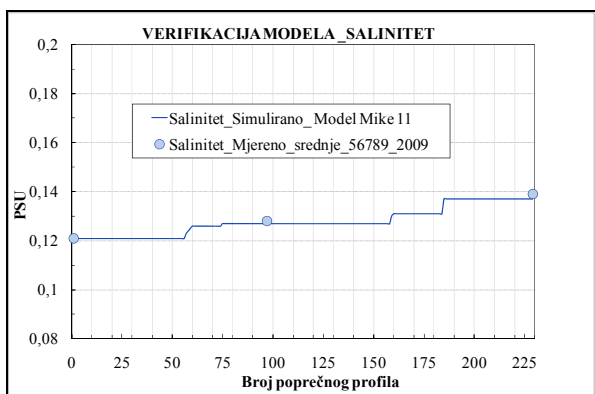
Slika 7. Kalibracija AD/WQ modela - uporedni prikaz simuliranih i mjenjenih koncentracija O₂ tariranog modela na VS Bačevići (28.-30.06.1979.god.)



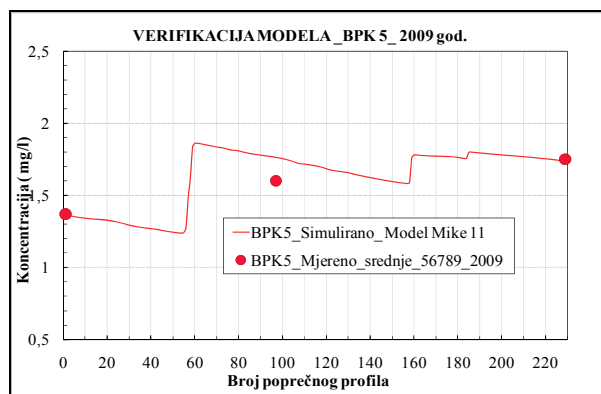
Slika 8. Kalibracija AD/WQ modela – promjena koncentracije BPK₅ duž toka rijeke Neretve (28.-30.06.1979.god.)



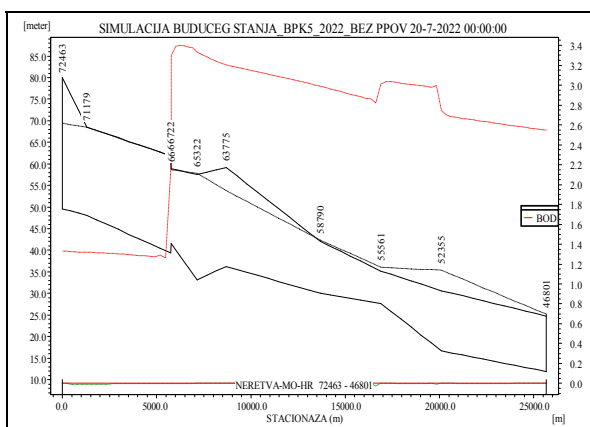
Slika 9. Kalibracija AD/WQ modela - uporedni prikaz simuliranih i mjenjenih koncentracija BPK₅ tariranog modela na VS Bačevići (28.-30.06.1979.god.)



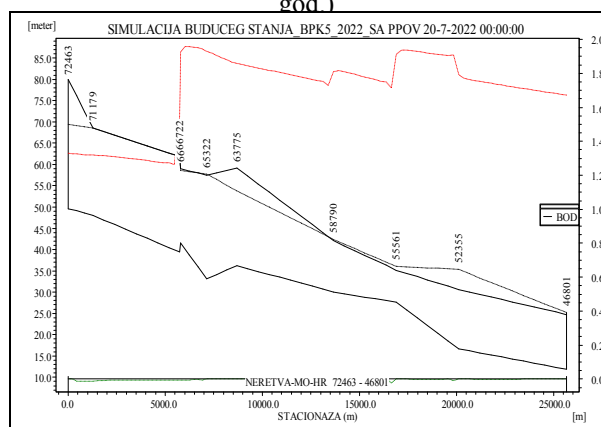
Slika 10. Verifikacija AD/WQ modela - uporedni prikaz simuliranog i mjenjenog saliniteta tariranog modela na VS Bačevići (osrednjeno za 2009. god.)



Slika 11. Verifikacija AD/WQ modela - uporedni prikaz simuliranih i mjenjenih koncentracija BPK₅ tariranog modela na VS Bačevići (osrednjeno za 2009. god.)



Slika 12. Simulacija budućeg stanja kvaliteta vode za 2022. god - promjena BPK₅ duž r. Neretve Scenarij 1_Bez PPOV



Slika 13. Simulacija budućeg stanja kvaliteta vode za 2022. god. - promjena BPK₅ duž r. Neretve Scenarij 2_Sa PPOV

LITERATURA

- [1] Abbott, M.B. and Ionescu, F.: On the numerical computation of nearly-horizontal flows, *Journal of Hydraulic Research*, 1967, 5, pp. 97-117.
- [2] Andričević, R., Vranješ, M., Ljubenković, I., Gotovac, H.: Modeliranje širenja i miješanja ispuštenog onečišćenja u vodotocima, Centar za ekološka istraživanja – Građevinsko - Arhitektonski fakultet Sveučilišta u Splitu, 2005.
- [3] Antunović, M.: Monitoring program i kvaliteta površinskih voda u 2009. godini u FBiH u nadležnosti AVP Jadranskog mora Mostar, Sarajevo, 2010.
- [4] Bajraktarević - Dobran, H.: Uzdužna turbulentna disperzija u otvorenim prirodnim vodotocima brdskog tipa, Magistarski rad, Građevinski fakultet Univerziteta u Sarajevu, 1979.
- [5] Branisavljević, N., Prodanović, D., Jovanović, M.: Propagacija neodređenosti kod linijskih modela otvorenih tokova, *Vodoprivreda*, 2009, vol. 41, br. 4-6.
- [6] DHI, Mike11: A Modelling System for Rivers and Channels, Reference Manual, 2003.
- [7] Hrelja, H.: Prilog metodama utvrđivanja tereta zagađenja gradskih otpadnih voda direktnim i indirektnim postupkom, Magistarski rad, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1981.
- [8] Jovanović, M., Kapor, R., Prodanović, D., Zindović, B.: Numerička simulacija koncentrisanog ispuštanja izbagerovanog nanosa u maticu reke, *Vodoprivreda*, 2007, vol. 39, br. 1-3.
- [9] Miličević, D., Milenković, S., Potić, O.: Water quality modeling role in implementation of the Water Framework Directive, *Architecture and Civil Engineering*, 2010, Vol. 8, No 2, pp. 247-260.
- [10] Radwan M., Willems P., El-Sadek A., Berlamont, J.: Modelling of dissolved oxygen and biochemical oxygen demand in river water using a detailed and a simplified model, *Proc. intl. J. River Basin Management*, 2003: 1(2), 97-103.
- [11] Zavod za vodoprivredu d.d. Sarajevo: Glavni preventivni plan odbrane od poplava FBiH, Sarajevo, 2008.
- [12] Zindović, B., Jovanović, M., Kapor, R., Prodanović, D.: Modeliranje kvaliteta vode u zalivu primenom modela ravanskog toka, *Vodoprivreda*, 2007, vol. 39, br. 1-3, str. 91-96.
- [13] Vouk, D., i saradnici: Analiza pouzdanosti pri numeričkom modeliranju kvalitete vodotoka, *Građevinar*, 2008, vol. 60, br. 7, str. 601-607.

NUMERICAL MODELLING AND SIMULATION OF POLLUTANT TRANSPORT IN NERETVA

by

Hata MILIŠIĆ, Haris KALAJDŽISALIHović
Faculty of Civil Engineering University of Sarajevo, BiH
Nenad JACIMOVIĆ
Faculty of Civil Engineering University of Belgrade

Summary

Waste water, discharged into the river system is in processes of transport and mixing. After fully cross mixing, the pollution transport is one-dimensional. The aim of the study was to model the discharge, salinity and biochemical oxygen demand and dissolved oxygen (BOD and DO) loads along the Neretva River, on the section of Mostar to Žitomislić. MIKE-11 a one-dimensional hydrodynamic simulation program was utilized to model stream flow transport and water quality processing in the river system. Hydrodynamic Modele (HD) was applied to calculate water level and flow for the river. Advection-Dispersion and Water

Quality Modele (AD/WQ) was used to transport and spreading of salinity and BOD and DO concentrations. Model is calibrated on the basis of available experimental data. Data of another time series are used for verification of last mentioned. The comparative analysis between measured and simulated data showed that MIKE-11 is able to predict sufficiently accurate BOD and DO loads and salinity at the catchment outlet.

Key words: dispersion, model, pollutant transport, water quality, MIKE11

Redigovano 20.09.2012.