

## NOVI PRISTUPI MODELIRANJU PRIPREME VODE ZA PIĆE

Suvada JUSIĆ

Građevinski fakultet Univerziteta u Sarajevu, Sarajevo, Bosna i Hercegovina

### REZIME

U radu su definisani ciljevi razvoja i primjene modela za simuliranje procesa pripreme vode za piće. Dat je pregled aktuelnih, raspoloživih modela namjenjenih podršci procesima prerade vode. Definisane su njihove osnovne karakteristike, odnosno prednosti i nedostaci. U cilju veće primjene ovih modela u praksi, u skorije vrijeme razvijaju se novi međunarodni projekti, odnosno platforme. Ovi projekti, polazeći od pozitivnih karakteristika postojećih modela, dalje razvijaju model u cilju prevladavanja negativnih karakteristika, a s krajnjim ciljem veće i efikasnije primjene modela pripreme vode za piće u praksi. S obzirom da ovi međunarodni projekti u velikoj mjeri polaze od pozitivnih karakteristika Stimela okruženja modeliranja, ovo okruženje je detaljnije razmatrano u radu.

**Ključne reči:** priprema vode za piće, modeliranje procesa, Stimela okruženje, TECHNEAU projekat

### 1. UVOD

Priprema vode za piće je sklop kompleksnih fizičko, hemijskih i bioloških procesa prerade vode koji se odvijaju u postrojenju (stanici) sistema vodosnabdijevanja. Step en složenosti ove pripreme zavisi od kvaliteta vode izvorišta, kao i od zahtjeva kvaliteta vode (za piće) propisanih odgovarajućom zakonskom regulativom. Investicioni i operacioni troškovi sistema prerade vode, kao i energetska efikasnost su, također, ključni faktori u odabiru tehnologije prerade. Odabir tehnologije prerade i projektovanje objekata stanice zahtjevaju složen inženjerski pristup, uključujući specijaliste oblasti hidrotehnike, hidraulike, hemije, mašinstava, elektri ke, informatike itd. Složenost i step en interakcije uključenih procesa određuju numeričko modeliranje i simulaciju procesa, kao mandatornu fazu u postupcima odabira tehnologije i projektovanja stanica (postrojenja) za preradu vode, sa glavnim ciljem usmjerenim ka

povećanju efikasnosti i smanjenju troškova i također efikasnijem upravljanju u kriznim situacijama.

Generalno se može reći da iskustva u modeliranju procesa za pripremu vode za piće nisu velika. U hemijskoj industriji modeliranje se pojavljuje od 1960.g, u preradi otpadnih voda od 1970.g, a u pripremi vode za piće tek od 1990. godine (*Dudley i dr, 2008*). Razlozi male upotrebe modeliranja u oblasti pripreme vode za piće su količina podataka potrebna za testiranje, odnosno kalibriranje modela i krutost modela kada se primjenjuju van kalibriranog regiona. Također, matematičko modeliranje uglavnom je posmatrano kao 'akademska vježba', dok je za rad i projektovanje 'stvarne' stanice korišten pristup 'od oka', to jest, pristup baziran na osnovu iskustava uposlenih/operatora na stanici. U dosadašnjoj praksi rad stanice za pripremu vode za piće, od planiranja, projektovanja, kontrole i održavanja, uglavnom je baziran na iskustvu, odnosno ustaljenoj praksi. Ipak, u skorije vrijeme, na modeliranje se sve više gleda kao na mogućnost podrške u postizanju veće efikasnosti rada stanice. Posljednja dostignuća u ovoj oblasti usmjerena su ka dobijanju modela sa konceptom 'stvarne stanice za preradu vode', kao sredstva za oponašanje (simulatora) već izgrađene stanice i time alata za pomaganje operateru u iznalaženju optimalnih odrednica za rad same stanice (*Jusić, 2013*). U novije vrijeme pomoću boljeg monitoringa, instrumentarija, te sofisticiranih kompjuterskih, posebno numeričkih metoda, počinje korištenje računara i matematskog modeliranja i u pripremi voda. Istina, ova primjena je još uvijek u početnoj fazi i uglavnom prisutna u razvijenim zemljama (*Worm i dr, 2013*).

### 2. AKTUELNI MODELI PRIPREME VODE

#### 2.0. Ciljevi modeliranja procesa pripreme vode za piće

Internetska tehnologija omogućava bržu i efikasniju razmjenu informacija između operatera, laboranta,

inženjera i time realizaciju mnogih poboljšanja u pripremi vode. Numeričko modeliranje i prethodno pomenuta razmjena informacija, daje mogućnost adekvatnog simuliranja uticaja raznih parametara na efikasnost procesa. Prisutna problematika u radu filter stanice, odnosno pripreme vode za piće u sklopu sistema vodosnabdijevanja, zahtijeva potrebu boljeg razumijevanja uticaja raznih parametara na procese prerade. Također, složeni mehanizmi, na primjer procesa filtriranja, koji još uvijek nisu u potpunosti rasvijetljeni, mogu se bolje razumjeti primjenom modeliranja (Busuladžić, 2009) (Ljubisavljević i Jonović, 2013). Prema tome, primjena modeliranja može da znači, pored ostalog, bolje razumjevanje procesa pripreme vode (bez velikog oslanjanja na iskustvene podatke) i bolju primjenu podataka koji se prate na stanici (bez obavljanja skupih pilot istraživanja) (Hamouda, 2014). Većina ciljeva modeliranja definišu se kao ciljevi poboljšanja, to jest, minimiziranja ili maksimiziranja specifičnog kriterija. Koristeći mogućnosti softvera, cilj je osigurati kvalitet vode u skladu sa standardima kvaliteta vode za piće (sigurno vodosnabdijevanje), a pri tome minimizirati operacione troškove i negativan uticaj na okoliš (npr. minimizirati gubitke vode za pranje filtera, potrošnju hemikalija, potošnju energije i sl). Generalno, ciljevi uvođenja modeliranja na stanicama za pripremu vode, kao što je prethodno pomenuto, usmjereni su na doprinose u sljedećem (Rietveld, 2005) (Ulinici i dr, 2014):

- kontrola procesa,
- projektovanje novih i rekonstrukcija postojećih stanica,
- edukacione svrhe,
- fundamentalna istraživanja procesa, a sve s krajnjim ciljem poboljšanja efekata rada stanice.

## 2.1. Osnovno o raspoloživim okruženjima modeliranja

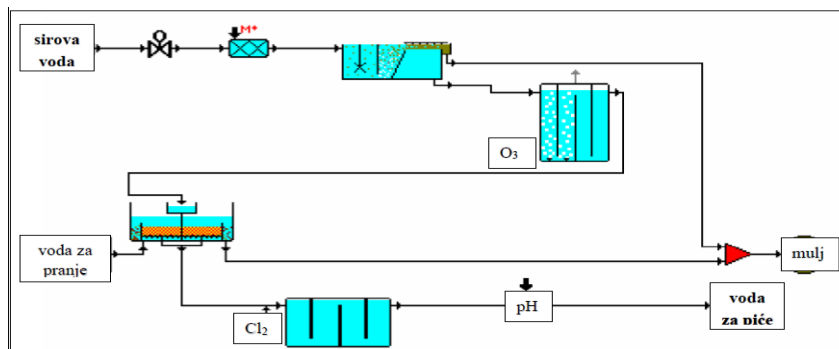
Aktuelni softverski paketi za modeliranje i simulaciju procesa pripreme vode za piće imaju uglavnom iste, prethodno navedene ciljeve - namjenjeni su za

projektovanje, rekonstrukciju, kontrolu/upravljanje, optimizaciju procesa i/ili razumijevanje, odnosno istraživanje samog procesa. Oni su generalno slični u smislu njihove upotrebe. U nastavku su navedeni aktuelni raspoloživi modeli namjenjeni za podršku procesima pripreme vode za piće, a u zgradama su navedene institucije, odnosno kompanije, koje su razvile ove modele, odnosno softvere.

- OTTER (WRc – Komisija za istraživanje voda, SAD),
- Stimela (Tehnički Univerzitet u Delftu, Holandija),
- Metrex (Tehnički Univerzitet u Duisburgu, Njemačka),
- WTP (EPA US– Agencija za zaštitu okoliša, SAD),
- WatPro (Hydromantis, Kanada),
- TAPWAT (RIVM – Nacionalni institut za javno zdravstvo i okoliš, Holandija).

U nastavku su navedene osnovne informacije o ovim modelima (Dudley i dr, 2008) (Hamouda, 2014).

**OTTER.** OTTER je paket modeliranja dizajniran za dinamičku simulaciju svojstava operacija, u sklopu stanice za pripremu vode za piće. Tipična upotreba softvera uključuje podršku u donošenju odluka (kontrola) u cilju poboljšanja rada operacija i projektovanja stanice. Manju namjenu ima za naučno istraživačke svrhe. Može biti korišten za simulaciju kompletne pripreme vode u sklopu stanice (Slika 1), ali uglavnom se koristi za simulaciju pojedinačnih procesa. Ovaj program se kontinuirano razvija. OTTER se koristi širom svijeta, ali pretežno u SAD - u. Verzija 2, OTTER-a, uključuje mogućnosti modeliranja rada sljedećih operacija pripreme vode: podešavanja pH i hemijskog formiranja flokula, bistenja, brze pješčane filtracije, adsorpcije GAC (granularni aktivni ugalj), ozonizacije, dezinfekcije i prerade mulja.



Slika 1. OTTER dijagram toka operacija (Dudley i dr, 2008)

OTTER ima mogućnost da uključi preko 50 parametara kvaliteta vode, uključujući mutnoću, boju, pH, TOC (engl. TOC - Total Organic Carbon), metale... Svaki od modela pojedinačnih procesa kodiran je u programskom jeziku FORTRAN i povezani su u grafički međusklop (Slika 1). Nekoliko studija je provedeno koristeći OTTER. Generalno sve su bile uspješne, ali treba istaknuti potrebu za relativno velikim brojem podataka/parametara u svrhu uspješne kalibracije i upotrebe. Empirijska priroda koagulacije i flokulacije znači da kalibrirani modeli ovih procesa ne mogu biti primjenjeni van kalibriranog područja, ograničavajući univerzalnost efekata modeliranja van ovog regiona.

**Stimela.** Stimela je paket modela specijalno dizajniran za modeliranje kvaliteta vode. Okruženje je razvijeno od strane Tehničkog Univerziteta u Delftu – Holandija, Kiwa<sup>1</sup> i DHV Group<sup>2</sup>. Sve naučno – stručne informacije o Stimela okruženju modeliranja pokriva ovaj Univerzitet, a informatičku podršku i samu web stranicu ovog okruženja najviše razvija i usluge u njejoj implementaciji daje DHV Water BV (*DHV Water BV, 2016*). Stimela znači voz na Zulu jeziku. Ime je inspirisano karakteristikom spajanja modela procesa u cjelokupan sklop pripreme vode u sklopu stanice (*Bajkin i Vojinov, 2009*). Voz u stvari predstavlja stanicu, čiji su vagoni pojedini procesi u sklopu pripreme vode za piće. Stimela nastoji da ispuni sve prethodno navedene ciljeve modeliranja (poglavlje 2.0) i u oblasti praktične primjene, ali i naučno stručnog usavršavanja. Programiran je u programskom jeziku MATLAB/Simulink. Različiti procesi pripreme vode za piće mogu biti dinamički modelirani, što znači da se promjene u vremenu i prostoru mogu pratiti. Procesni pripreme vode, koji se mogu modelirati u sklopu Stimela okruženja su sljedeći: aeracija, brza filtracija, filtracija sa granularnim aktivnim ugljem, omekšavanje i ozonizacija. Svaki od pojedinih procesnih modela ovog okruženja se kontinuirano razvija. Pojedinačni modeli mogu se povezati.

**Metrex.** Metrex program je razvijen na Univerzitetu u Duizburg-u, Njemačka. Kao i Stimela, i Metrex koristi platformu MATLAB/Simulink za programiranje, ali jednostavniju verziju, te je manje fleksibilan u odnosu na Stimelu. Kombinuje analitičke i numeričke modele procesa uobičajenih u preradi površinskih voda, kao što

su procesi mikroprocjeđivanja, ozonizacije, flokulacije, taloženja, brzog filtriranja, GAC filtracije (filtracije sa granularnim aktivnim ugljem), biorazgradnje i dezinfekcije. Metrex je razvijen kao alat za naučno - stručno istraživanje, više nego za primjenu u praksi (inženjstvu). Naglasak je na uklanjanju čestica i ozonizaciji. Egzistiraju dva nivoa u simulaciji pomoću Metrex-a. Prvi je dizajniran da simulira cjelokupnu stanicu sa svim operacijama, dok drugi nivo obezbjeđuje podršku u projektovanju i dimenzioniranju pojedinačnih procesa.

**WTP.** Model Water Treatment Plant (WTP) razvijen je od strane Agencije za zaštitu okoliša - SAD (Environmental Protection Agency - EPA), s ciljem da bude podrška u procesu dezinfekcije i da da svoj doprinos u rješavanju problematike opasnih nus produkata dezinfekcije. Ovaj model nije namjenjen za pojedinačne stanice, odnosno pojedinačno projektovanje i analizu, već je baziran na globalnoj regresionoj analizi.

**WatPro.** WatPro je izrađen od strane Hydromantis Inc - Kanada. Namjenjen je modeliranju pripreme vode za piće, sa fokusiranjem na modeliranje dezinfekcije i njenih nus produkata. Mada su i drugi procesi pripreme podržani ovim programskim paketom, oni su od manjeg značaja. Model dezinfekcije kalkuliše CT parametre (umnožak koncentracije C i vremena zadržavanja T) bilo gdje u sklopu stanice, predviđa mogućnost nastajanja nus produkata dezinfekcije i određuje deaktiviranje i redukciju mikrobiološkog zagađenja, putem korištenja dezinfekcionog sredstva i procesa prerade. WatPro koristi jednačine modeliranja i tehnike kalibracije za svaku jedinicu procesa, koji se zatim povezuju i grafički interpretiraju.

**TAPWAT.** TAPWAT (engl. Tool for the Analysis of the Production of drinking WATER – alat za analizu produkcije, odnosno pripreme vode za piće) je okruženje modeliranja sa ciljevima predviđanja kvaliteta pitke vode, uključujući nivo zdravstvenog rizika od mikro-organizama. Također, cilj ovog okruženja modeliranja je određivanje mogućnosti nalaženja patogenih mikroorganizama i nus produkata dezinfekcije pri preradi vode. Model je razvijen prema

<sup>1</sup> Kiwa je nezavisna i visoko kvalificirana i certificirana organizacija, koja pruža usluge inspekcije i testiranja tehnologija, treninge i konsultacije, a sa ciljem poboljšanja kvaliteta. Ove usluge pruža u mnogim sektorima, a posebno u sektoru vode, energije, infrastrukture itd. Kiwa je međunarodna organizacija sa sjedištem u preko 40 zemalja u kojima pruža svoje usluge.

<sup>2</sup> DHV Group jeste grupacija koja pruža konsultantske, inženjerske i usluge menadžmenta u oblastima transporta, industrije, okoliša i vode. Aktivni su širom svijeta. DHV Water BV je ogranak ove grupacije sa sjedištem u Holandiji.

standardima RIVM-a (RIVM– Nacionalni institut za javno zdravstvo i okoliš, Holandija), to jest, prema standardima institucije koja je razvila ovaj model i trenutno se ne koristi van RIVM-a.

## 2.2. Rezime karakteristika okruženja modela prerade vode.

Svaki od prethodno pomenutih modela ima svoje specifične karakteristike (Hamouda, 2014), (Dudley i dr, 2008). Rezime tih karakteristika dat je u nastavku.

- OTTER sadrži modele za uobičajene procese pripreme vode i manje konvencionalni procesi mogu zahtijevati razvoj prikladnijeg matematičkog modela.
- Glavna svrha STIMELA okruženja je podrška istraživanju i razvoju i kontrolisanje primjenljivosti. Fokusiran je ka daljnjem razvoju modela. Programiranje je otvoreno, struktuirano i grafički izlaz je fleksibilan.
- METREX je razvijen da istraži primjenu modeliranja, s ciljem boljeg razumjevanja procesa uklanjanja čestica. Nema primjenljivost u praksi. Nije aktivno razvijan.
- WTP (Water Treatment Plant) model razvijen je da simulira uopšten slučaj, a ne slučaj specifičan za lokaciju. Model je uglavnom korišten za procjenu projekta, odnosno konfiguracije i dimenzija objekata stanice, a ne za optimizaciju operacija i namjenjen je prvenstveno za dezinfekciju.
- WatPro slično kao i WTP ima prvenstvenu namjenu za modeliranje procesa dezinfekcije.
- TAPWAT razmatra prisustvo patogenih mikroorganizama i nus produkata dezinfekcije pri pripremi vode. Korištenjem nacionalnih standarda ograničena je njegova primjenljivost.

U tabeli 1. sumirane su karakteristike prethodno navedenih modela.

Tabela 1. Rezime karakteristika modela za procese pripreme vode (Dudley i dr, 2008) (Hamouda, 2014)

Modeli: karakteristike	OTTER	Stimela	Matrex	WTP	WatPro
Dinamičnost?	DA	DA	DA	NE	NE
Prerada mulja?	DA	NE	NE	NE	NE
Recirkulacija?	DA	DA	NE	NE	NE
Dizinfekcija?	DA	DA	DA	DA	DA
Bistrenje?	DA	NE	DA	NE	NE
Filtracija?	DA	DA	DA	NE	NE
Lako proširenje?	NE	DA	NE	NE	NE
Projektovanje i u radu?	DA	DA	NE	DA	DA
Istraživačka upotreba?	NE	DA	DA	NE	NE
Lakoća upotrebe?	DA	NE	NE	DA	DA

## 3. DALJNI PRAVCI RAZVOJA I PRIMJENE MODELIRANJA

Činjenica je da primjena modela nije zaživjela u praksi generalno zbog dva glavna razloga, a to je količina potrebnih podataka za kalibraciju modela i nemogućnost primjene van regiona kalibracije. Daljnji rad na razvoju modeliranja, u oblasti pripreme vode za piće, biće provoden s krajnjim ciljem veće primjene modela u praksi (Worm i dr, 2013) (Worm, 2012). U vezi s tim, strategija daljnjeg razvoja modeliranja usmjerena je ka:

- razvoju mogućnosti većeg prilagođavanja modela,
- lakoći upotrebe programa,
- boljem razumjevanje procesa i njihovih interakcija,
- standardizaciji u instaliranju,
- povezanosti sa drugim modelima,
- integraciji različitih modela,
- adekvatnom grafičkom izlazu s ciljem izvještavanja i poređenja rezultata analize.

### Međunarodni projekti / platforme modeliranja.

Također je realizovano formiranje međunarodne platforme za razmjenu znanja i iskustava o matematičkom modeliranju u ovoj oblasti, kao što je na primjer TECHNEAU projekat (TECHNEAU - engl. Technology Enabled Universal Access to Safe Water – tehnološki omogućen univerzalni pristup zdravoj / sigurnoj vodi) (Rietveld i dr, 2009). TECHNEAU, jeste najveći istraživački projekat vezan za pitke vode, finansiran od strane Evropske unije (EU). Pored ostalih ima zadatak razvoja novog okvirnog okruženja modela za simulaciju procesa pripreme vode za piće, kako bi se što vjernije oponašali ovi procesi. Ovaj projekat je fokusiran na koristi od kompjuterizacije u sklopu pripreme vode za piće u sklopu stanice. Razvoj novog okvirnog okruženja modela pretpostavlja korištenje pozitivnih karakteristika postojećih, prethodno opisanih modela za simulaciju. Okruženja modeliranja, OTTER i Stimela, odabrani su kao osnovni okvir za razvoj novog modela u sklopu TECHNEAU projekta. Ciljevi i namjere TECHNEAU projekta sumirane su sljedećim: (a) Bolja fleksibilnost programa (otvorena struktura sa mogućnošću prilagođavanja, lakoća upotrebe, standardizacija u instaliranju...). (b) Preuzimanje najboljih mogućnosti Stimela i OTTER okruženja modela. (c) Dodavanje novih modela razvijenih unutar TECHNEAU projekta. (e) Osiguranje bolje povezanosti među pojedinim procesnim modelima, uzimajući u obzir njihov međusobni uticaj. (f) Priprema nove razvijene platforme za isporuku programa slobodno dostupne na Internetu. (g) Komunikacija sa drugim platformama sličnih ciljeva. (h) Upućivanje na slabosti postojećih modela, na primjer vezano za karakteristike

modela za koagulaciju i flokulaciju, gdje su modeli previše empirijski i imaju ograničen rang primjenljivosti van kalibriranog područja. • Efikasnost kalibracije - problemi sa velikim brojem podataka, visokom učestalošću mjerenja, te uzrokovanjem problema sa nepoznatim ograničenjima.

Uzimajući u obzir prethodno navedene ciljeve, prema četvrtom izvještaju TECHNEAU projekta, (*Rietveld i dr, 2009*), razvijena je prva Evropska verzija TECHNEAU platforme modeliranja - Evropski simulator za pripremu vode tzv. 'SimEau' (engl. - European Water Treatment Simulator – evropski simulator prerade vode) (*Hamouda, 2014*). Ova prva verzija uključuje osnovne modele za sirovu vodu i dva procesna modela: *balancing tank* i *pellet softening model*. *Balancing tank model* jeste jedan od najjednostavnijih dinamičkih modela, koji razmatra probleme ravnoteže (npr. vezano za zapreminu). *Pellet softening model* jeste model namjenjen simuliranju procesa omekšavanja u sklopu pripreme vode za piće. Opis ovih modela dat je u prethodno pomenutom četvrtom izvještaju TECHNEAU projekta. Ovi modeli razvijeni su od strane kompanije WRc-a (Komisija za istraživanje voda, SAD), a testirani su na Tehničkom fakultetu u Delftu, Holandija. U budućem periodu, planira se razviti i uključiti u 'SimEau' više drugih procesnih modela (na primjer modeli filtriranja, aeracije, dezinfekcije...), nastojeći dalje usavršiti i prilagoditi već raspoložive modele (okruženja Stimele, OTTER...).

Osim TECHNEAU projekta, kao platforme za modeliranje različitih procesa prerade vode, treba pomenuti i WaterSPOT i PROMICIT projekte, koji imaju slične ciljeve (*van der Helm i dr, 2012*). Svi ovi projekti su u stvari namjenjeni simuliranju procesa pripreme vode za piće u sklopu stanice, a u cilju njenog daljnjeg optimiziranja, i sa ciljevima sličnim ciljevima TECHNEAU projekta (prethodno definisani ciljevi). Naravno, da bi se uspješno obavila i razmjenila znanja i iskustva različitih modela za simulaciju, u sklopu ovih platformi, neophodno je bilo prethodno izvršiti standardizaciju, na primjer, njihovih simbola i parametara i certifikaciju modela. Standardizacija je nužna za dobru komunikaciju o teoretskim principima, koji čine podlogu formulama, a certifikacija modela jeste nužna u namjeri kontrole kvaliteta i valjanosti različitih matematičkih modela. Svakako da će

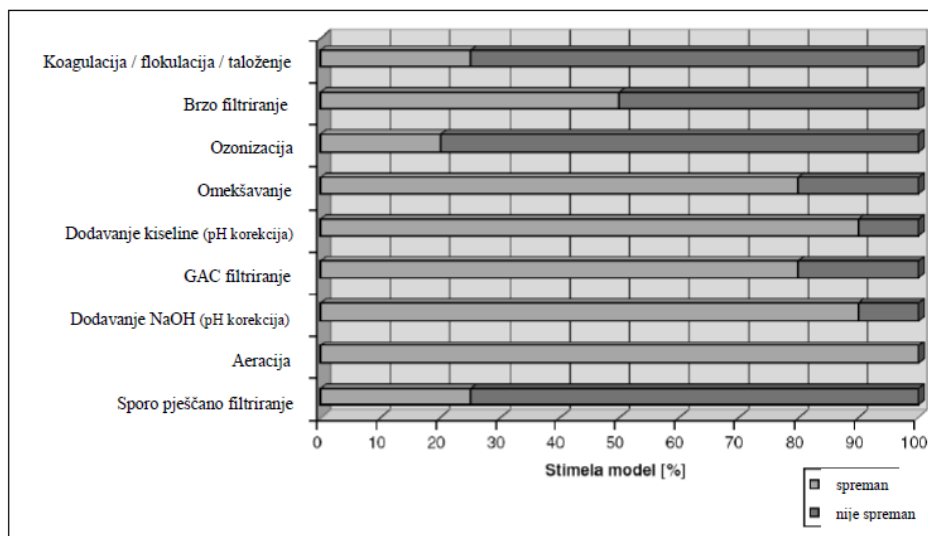
dostignuća u realizaciji postavljenih ciljeva, prethodno pomenutih platformi, značiti daljnji doprinos u primjenljivosti modeliranja, s ciljem razumijevanja i poboljšanja efekata procesa.

TECHNEAU ili WaterSPOT projekat, kao što je već pomenuto, kao polazište koriste pozitivne mogućnosti Stimela okruženja, što je svakako bio dodatni argument da se Stimela okruženja nešto detaljnije istraži u ovom radu (4. poglavlje). U nekoj narednoj fazi istraživanja ili primjene Stimele, svakako treba iskoristi nova saznanja do kojih će se doći putem ovih platformi, prvenstveno putem realizacije prethodno postavljenih ciljeva, odnosno strategije razvoja i primjene.

#### 4. MODELIRANJE PRIPREME VODE U STIMELA OKRUŽENJU

U ovom poglavlju dat je detaljniji opis Stimela okruženja modeliranja. Razmotrene su trenutne mogućnosti i iskustva u razvoju i primjeni ovog okruženja. Također su navedeni generalni ciljevi i mogućnosti u njegovom daljnjem razvoju i primjeni. Kao što je prethodno navedeno, Stimela je okruženje za standardizirane matematičke dinamičke modele različitih procesa u sklopu pripreme vode za piće. U Stimela okruženju modela različitih procesa pripreme vode za piće, različit je i stepen razvoja, odnosno efikasnosti i spremnosti za primjenu pojedinih modela. Modeliranje nekih procesa je teško uopštiti, odnosno matematski formulisati, na primjer, koagulaciju i flokulaciju, dok procesi kao što su aeracija i omekšavanje imaju solidne modele. Slika 2. daje uvid u mogućnosti Stimele za razne procese prerade. Vidljivo je da u ovom okruženju, posebno na modelima pojedinih procesa, kao što su koagulacija /flokulacija/taloženje, sporo filtriranje, ozonizacija (na Slici 2. obilježeni većim dijelom tamnijim poljem), treba još dosta raditi, kako bi i modeli ovih procesa bili spremniji za upotrebu.

Procesi pripreme vode, koji se mogu uspješnije modelirati u sklopu Stimela okruženja (Slika 2) su aeracija, brza filtracija, filtracija sa granularnim aktivnim ugljem (GAC-filtriranje), omekšavanje i podešavanje pH.



Slika 2. Sadašnje stanje-status Stimela modeliranja različitih procesa pripreme (Jusić, 2011)

#### 4.1. Razvoj modela Stimela okruženja modeliranja

##### **MATLAB / Simulink – programski jezik i alatni okvir.**

Modeliranje u Stimela okruženju je bazirano na numeričkoj integraciji parcijalnih diferencijalnih jednačina (Kaluderović, 2012) (Milišić i Kalajđizalihović, 2012). Parcijalne diferencijalne jednačine simuliraju karakteristike pojedinih procesa. Programiranje numeričkog rješenja, prethodno definisanih parcijalnih diferencijalnih jednačina, u Stimela okruženju modeliranja, izvršeno je u programskom jeziku MATLAB (Worm, 2012). Osnovni objekt MATLAB-a je pravougaona  $n \times m$  matrica. MATLAB je moderno matematičko i simulaciono okruženje, koje se može koristiti za modeliranje i analizu dinamičkih sistema. Zbog mogućnosti lakog učenja i široke primjene koristi se, ne samo u akademske, već i u komercijalne svrhe. Tokom godina je prema zahtjevima mnogih korisnika stalno dopunjavan i prilagođavan raznim oblastima primjenjene matematike i numeričnog računanja. Mnogo je dorada MATLAB-a da bi se pojednostavila njegova upotreba u širokom spektru područja, te je, s tim u vezi, nekoliko stotina toolbox-ova (alatnih okvira) na raspolaganju.

Najšire korišten alatni okvir jeste simulacioni alat Simulink. Simulink je proširenje MATLAB-a, koje se koristi za simulaciju dinamičkih sistema. Posjeduje korisnički grafički prikaz, te stoga ima oblik windows programa. U mnogome doprinosi većoj funkcionalnosti MATLAB-a. Upravo ovaj okvirni alat – MATLAB / Simulink - koriste Stimela i Metreks, okruženja modeliranja. Korištenje MATLAB / Simulink-a čini

modele Stimela okruženja jednostavnim i pristupačnim, struktura modela je otvorena i fleksibilna, grafička vizuelizacija rezultata je također dostupna i nije neophodno da korisnik uči MATLAB ili Simulink.

Nakon pokretanja programskog jezika MATLAB, potrebno je pristupiti Simulink-u. To se postiže kucanjem naredbe »simulink« u radnom prostoru MATLAB-a (Dudley i dr, 2008). Nakon startanja programa, glavna biblioteka blokova će biti prikazana u novom prozoru. Većina blokova, koji su potrebni za kreiranje blok dijagrama cjelokupnog postupka prerade vode u sklopu stanice, se nalaze u ovoj biblioteci. Sve što je potrebno učiniti jeste izabrati odgovarajuće biblioteke, u sklopu njih odgovarajuće blokove i međusobno ih povezati formirajući odgovarajući blok dijagram (Slika 3). Dalje u sklopu svakog bloka postoje datoteke (engl. file-ovi). Da bi vidjeli kontekst svake datoteke, potrebno je kliknuti na određenu datoteku, čime se otvara njen dijalog meni sa parametrima, čije vrijednosti treba unijeti (Slika 4). Za odgovarajući proces, u sklopu odgovarajuće datoteke, definisani su odgovarajući parametri, koji definišu taj proces. U nastavku je nešto detaljnije pojašnjena, ovdje ukratko sumirana struktura Stimela okruženja.

##### **Struktura Stimela – biblioteke, blok dijagrami i datoteke parametara.**

Blokovi pojedinih procesa prerade vode, kao što je prethodno pomenuto, smješteni su u biblioteci modela Stimela okruženja. Biblioteka Stimela okruženje modeliranja sadrži baznu biblioteku (basic modules library), kontrolnu (control) i biblioteke pojedinačnih procesa, kao što su aeracija (aeration

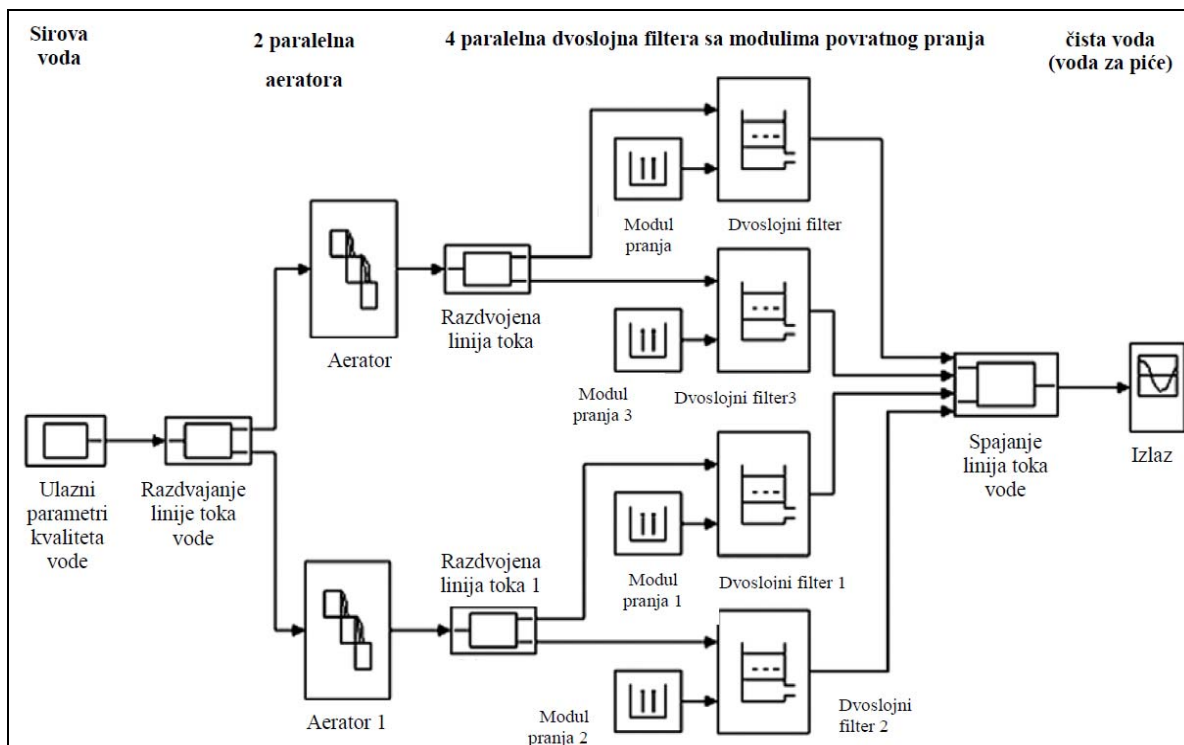
library), filtracija (filtration library), omekšavanje (softening library) itd. Svaka od ovih biblioteka sadrži odgovarajuće blokove, kao što su ulazni blokovi sirove vode, određeni blokovi u sklopu procesa pripreme vode (aeracija, filtracija, omekšavanje, ozonizacija...), kontrolni blokovi i grafički izlazni blokovi.

Blokovi mogu biti međusobno povezani u tzv. blok dijagram, formirajući kompletan niz operacija u sklopu pripreme vode (Dudley i dr, 2008) (Slika 3). Na taj način moguće je simulirati kompletnu stanicu sa svim njenim procesima prerade, startajući sa ulaznim blokom sirove vode (water quality input), a završavajući izlaznim blokom pripremljene vode za piće (output). Izlaz prvog modela (proces prerade) jeste ulaz za naredni model procesa. Efekti promjena izazvani prethodnom operacijom prerade vode procjenjuju se i uzimaju u obzir u narednim operacijama, odnosno medelima tih operacija.

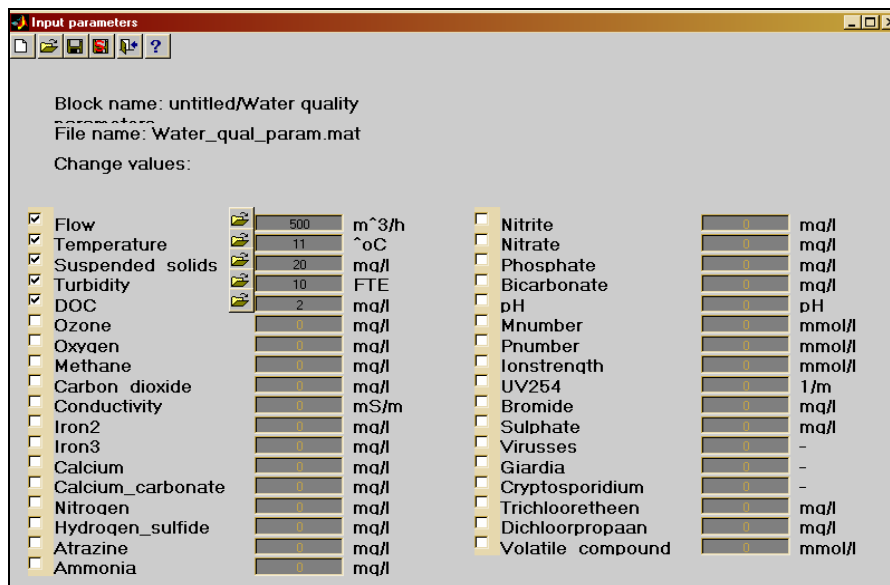
Model, odnosno blok, pojedinačnog procesa, u Stimela okruženju, u osnovi se sastoji od 6 datoteka putem kojih su definisani odgovarajući parametri. Početna datoteka (file započinjanja) definisana je ulaznim parametrima, te uobičajenim diferencijalnim jednačinama. Dodatno, parametri kvaliteta, koji su od interesa za proces, su

također definisani ovom datotekom. U procesnoj datoteci su obrađeni odgovarajući parametri procesa. Otvaranjem, na primjer, procesne datoteke zadaju se projektni i kalibracioni parametri, karakteristični za taj proces. Projektni parametri su fiksni. Parametri kalibracije zavise od procesa i mogu biti dobiveni eksperimentima ili se usvajaju prema preporukama (Rietveld i Dudley, 2006). Sistemska datoteka je srce modela. U ovoj datoteci diferencijalne jednačine su date u matricnom zapisu. Također, putem grafičke izlazne datoteke definisani su izlazni parametri. Grafička izlazna datoteka daje mogućnost vizuelizacije izlaza iz numeričke integracije. Kontrolna datoteka može se koristiti za daljnje podešavanje, odnosno rukovanje blokovima procesa, variranjem/promjenama kalibracionih ili operacionih parametara. Preostala datoteka određuju grafičko povezivanje za unesene procesne parametre.

Stimela modeli procesa pripreme vode za piće zahtijevaju definisanje različitih parametara kvaliteta vode (parametri ovisni od konkretnog procesa). Svaki blok sadrži datoteke, odnosno parametre koji su relevantni za taj blok i proces prerade, te druge podatke koji opisuju stanje tih procesa (gubici pritiska u filterima, stepen zasićenja aktivnog uglja, veličina zrna



Slika 3. Primjer povezivanja modela različitih procesa i blokova - Stimela okruženje (Dudley i dr, 2008)

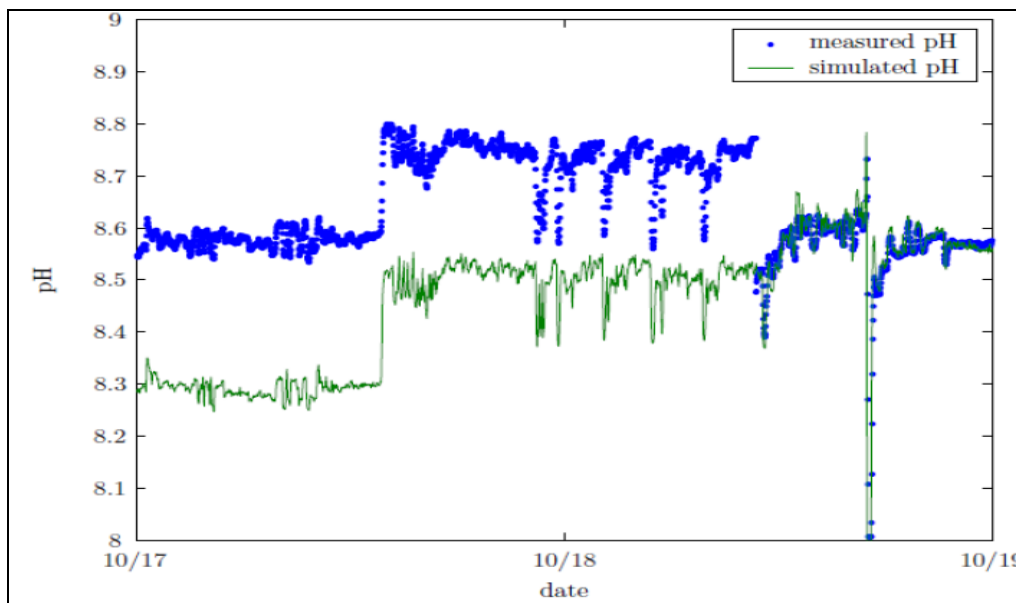


Slika 4. Stimela dijalog meni ulaznih parametara (Jusić, 2011)

u reaktoru za omekšavanje). Slika 4. daje izgled dijaloga ekrana za unos ulaznih parametara u ulaznom bloku Stimela okruženja.

Simulacija modeliranjem može biti pokrenuta nakon definisanja svih potrebnih parametara u okviru prethodno definisanih datoteka, birajući metod povezivanja u blok dijagram, veličinu koraka i vrijeme

simulacije. Nakon simulacije dobiva se grafički izlaz (eventualno i tabelarni prikaz), otvaranjem izlaznog bloka (Slika 3). Proračunate vrijednosti iz izlaznih blokova modela mogu se uporediti sa izmjerenim vrijednostima (Slika 5) i dalje, u okviru primjene modela, provoditi kalibraciju, verifikaciju, odnosno testiranje modela koristeći odgovarajuću bazu podataka.



Slika 5. Primjer uporedbe mjerenih i rezultata simulacije pH za Reaktor 6 (model za omekšavanje) za stanicu Weesperkarspel (Rietveld i dr, 2009)



#### 4.2. Primjena Stimela okruženja modeliranja

Najvažniji faktori za uspjeh u daljnjem razvoju i primjeni Stimele su: otvorena struktura, fleksibilnost modela iz okruženja, korisnička pristupačnost (pored ostalog i kroz jasan i pregledan (grafički ili tabelarni) blok izlaznih rezultata), verifikacija i certifikacija modela i slobodna distribucija. Jedan od ciljeva Stimele je poticanje upotrebe modeliranja u sklopu stanica za pripremu vode za piće. Postizanje ovog cilja traži stvaranje velike platforme korisnika.

Simela okruženje modeliranja raspoloživo je besplatno na Internetu, na web stranici (*DHV Water BV, 2016*). Treba napomenuti da je ova verzija Stimele, dostupna na Internetu, ograničena na modeliranja pojedinačnih procesa prerade vode. Krajnji korisnik, to jest vodovodno preduzeće, da bi koristilo ovaj paket za simuliranje cjelokupne pripreme vode za piće, mora platiti ovaj softver (*Rietveld i Dudley, 2006*), to jest kompletnu verziju Stimela okruženja.

Stimela je jedino okruženje modela koje pokušava da pokrije sve oblasti, odnosno ciljeve modeliranja definisane u 1. Poglavlju, to jest, i edukaciju, naučno-stručna istraživanja procesa, ali i projektovanje i sam rad, odnosno kontrolu procesa pripreme vode za piće. Istina, ova praktična upotreba Stimela okruženja je za sada prisutna u početnoj fazi i uglavnom u nekim holandskim i njemačkim vodovodnim kompanijama (*Worm i dr, 2013*).

Stimela je okruženje modeliranja koje je razvijeno i koje se i dalje razvija u prethodno pomenutoj kompaniji DHV Water BV (*DHV Water BV, 2016*) i Tehničkom Univerzitetu u Delftu – Holandija. Upravo ovaj Univerzitet ima dužu tradiciju korištenja modeliranja u edukacione i naučno istraživačke svrhe. Modeliranje se tako koristi pri objašnjavanju studentima različitih mehanizama pripreme vode i pri optimiziranju projektovanja i rekonstrukcije, na primjer. Na ovom Univerzitetu već je odbranjeno par naučno stručnih disertacija, koje se bave razvojem i primjenom modela Stimela okruženja, sa sljedećim naslovima:

- »Integracija modela procesa pripreme vode za piće i softver za automatizaciju procesa«, (doktorski rad) (*Worm, 2012*);
- »Modelski bazirana kontrola stanica za pripremu vode za piće«, (doktorski rad) (*van Schagen, 2009*);

- »Modelska validacija i nova strategija u kontroli Stanice za pripremu vode za piće Wim Mensink«, (magistarski rad) (*Yuan, 2009*);
- »Integrirano modeliranje ozonizacije za optimizaciju pripreme vode za piće«, (doktorski rad) (*van der Helm, 2007*);
- »Poboljšanje operacija pripreme vode za piće kroz modeliranje«, (doktorski rad) (*Rietveld, 2005*);

Također su urađeni i napisani mnogi projekti i naučni radovi iz ove oblasti. Neki od ovih projekata i radova korišteni su u ovom radu (*Worm i dr, 2013*), (*van der Helm i dr, 2012*), (*Rietveld i dr, 2009*), (*Dudley i dr, 2008*), (*Rietveld i Dudley, 2006*) i dr).

Da bi se osigurala praktična upotreba i primjenljivost Stimela modela, nekoliko holandskih kompanija za vodu (Waterleiding Maatschappij Limburg; Waterleidingbedrijf Midden-Nederland; Water Fryslân; Waterleiding Maatschappij Overijssel; Wim Mensink i Weesperkarspel – Amsterdam) odnosno stanica za pripremu vode za piće, direktno su uključene u primjenu i daljni razvoj Stimela okruženja.

Tako, na primjeru stanice za pripremu vode za piće Wim Mensink iz Amsterdama, primjenom modeliranja kontrole procesa omekšavanja dokazana je mogućnost povećanja efikasnosti ovog procesa i kapaciteta ove stanice (*Worm i dr, 2013*). Također, vezano za mogućnosti primjene rezultata modela Stimela okruženja, na primjer, doktorska disertacija »Poboljšanje/unapređenje operacija pripreme vode za piće kroz modeliranje« (*Rietveld, 2005*) (*Rietveld i dr, 2009*), dokazuje mogućnost poboljšanja efekata procesa ozonizacije, omekšavanja i filtriranja sa aktivnim ugljem, primjenom modela iz ovog okruženja. Tako je, na primjer, vezano za modeliranje procesa filtriranja sa aktivnim ugljem, dokazana mogućnost produženja vremena regeneracije aktivnog uglja primjenom mogućnosti modeliranja.

Modeli iz Stimela okruženja, koji se danas primjenjuju u prethodno navedenim kompanijama, za operacije i projektovanje, su uglavnom primjer off-line (diskontinuirane) upotrebe modela. Da bi modeli radili kontinuirano i dobro, sva mjerenja na stanici moraju biti kontinuirano raspoloživa. Ovo zahtijeva potpunu automatizaciju, kompjuterizaciju i korištenje Internet tehnologije, odnosno PLC i SCADA sistema. U skorijoj budućnosti predviđena je upotreba Stimele i kao modela

za predviđanje / kontrolu kvaliteta vode (engl. MPC – Model Predictive Control) - koristeći prednosti internet tehnologije. Ovo će voditi pouzdanijem kvalitetu vode, i u incidentnim situacijama, uz istovremeno minimiziranje troškova i negativnog uticaja na okoliš.

Također, u razvijenom svijetu, u cilju daljeg povećanja efikasnosti u pripremi vode za piće, vodovodne kompanije vrše centralizaciju i automatizaciju. Tako je u Holandiji, na primjer, u cilju centralizacije, broj vodovodnih kompanija smanjen je sa preko 200 (prije 60-ak godina) na svega 10-ak (*Worm, 2012*).

## 5. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Konkretna primjena modeliranja, na stanicama za pripremu vode za piće, još uvijek je ograničena na pojedinačne procese, a još manje na kompletnu stanicu. Također, ta sporadična upotreba prisutna je uglavnom u razvijenim zemljama (*Worm i dr, 2013*). Nažalost, u BiH, a i u okruženju, ni modeliranje pojedinačnih procesa pripreme vode nije prisutno u praksi. U cilju veće primjene modela u kontroli kvaliteta vode radi se na razvoju cjelovitih, dinamičkih modela za kompletnu stanicu za preradu vode (*van der Helm i dr, 2012*) (*Hamouda, 2014*). Kao što je u Poglavlju 4 već napomenuto, Stimela i OTTER modeli, s obzirom na svoje pozitivne karakteristike, odabrani su i koriste se kao bazni modeli za razvoj nove okvirne platforme modela pripreme vode za piće u sklopu TECHNEAU ili WaterSPOT projekta, kao međunarodnih, odnosno evropskih platformi simulatora pripreme vode za piće. Glavna svrha Stimele je podrška daljnjem razvoju i primjeni modela u sklopu stanica, pa i preko prethodno pomenutih projekata.

Modeliranje procesa u sklopu stanice za pripremu vode za piće, jeste izazov i realna mogućnost za poboljšanje kvaliteta i pouzdanosti rada same stanice, na način maksimalnog korištenja instaliranih kapaciteta, odnosno infrastrukture, odlažući nova ulaganja. S tim u vezi, neophoda je dodatna edukacija i trening osoblja uključenog u rad stanice, kao karike u primjeni modeliranja i njihova saradnja sa stručnjacima iz oblasti programiranja, kao karike u fazi razvoja modeliranja ove oblasti. Upotreba modela, automatizacija i centralizacija vodovodnih kompanija vodi sigurnijem, kvalitetnijem i ekonomičnijem vodosnabdijevanju, bez velikog oslanjanja na iskustvo pojedinaca uposlenih u kompaniji. Konačno, uvođenje modeliranja trebalo bi da znači jednostavnost, održivost i ekonomičnost.

## LITERATURA

- [1] Bajkin, J. i Vojinović-Miloradov, M. (2009): Pregled najčešće korištenih postupaka prečišćavanja pijaće vode u Kanadi, *Vodoprivreda*, N0 237-239, s.87-92
- [2] Busuladžić, H. (2009): Konvencionalne metode prečišćavanja voda za piće, *Vodoprivreda*, N0 237-239, s.61-67
- [3] DHV Water BV (2016): Stimela Online Dynamic – Stimela. Web stranica za modeliranje procesa pripreme vode za piće (<http://www.stimela.com>).
- [4] Dudley, J., G. Dillon i L. C. Rietveld (2008): Water treatment simulators. *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA*, Vol.57, No.1, 13-21.
- [5] Hamouda, M. A., Best, J., Anderson, W. B. i Huck, P.M. (2014): What Dynamic Simulation Can Add to Water Utility Risk Assessment, Conference: 2014 OWWA/OMWA Joint Annual Conference and Trade Show, London, May 4th - 7th, 2014
- [6] Jusić, S. (2011): Modeliranje konvencionalnog brzog filtriranja. Doktorski rad (mentor: H.Bajraktarević Dobran), Građevinski fakultet Univerziteta u Sarajevu, Sarajevo, 149.
- [7] Jusić, S. (2013): Primjena Stimela okruženja modeliranja na filter stanicama u BiH, *Vodoprivreda*, N0 261-263, str.81-97.
- [8] Kaluđerović, D. (2012): Prilog kalibraciji i i oceni parametara matematičkih modela podzemnih voda, *Vodoprivreda*, 258-260, s.233-240
- [9] Ljubisavljević D. i Jonović M. (2013): Matematičko modeliranje brzih pješčanih filtera, *Vodoprivreda*, N0 264-266 s.231-256
- [10] Milišić, H., Kalajdzisalihović, H. I Jaćimović, N. (2012): Numeričko modeliranje i simulacija transporta zagađenja Neretvom, *Vodoprivreda*, 258-260, s. 199-206.
- [11] Rietveld, L. i Dudley, J. (2006): Models for Drinking Water Treatment: Review State-of-the-Art, TECHNEAU Integrated Project Funded by the European Commission, s. 19.
- [12] Rietveld, L., Ross, P. i Dudley, J. (2009): TECHNEAU Water Treatment Simulator: Modelling Framework (Version 3.0). TECHNEAU

- Integrated Project Funded by the European Commission D 5.4.4, 61.
- [13] Rietveld, L.C. (2005): Improving Operation of Drinking Water Treatment through Modelling, PhD Thesis (doktorski rad), Faculty of Civil Engineering and Geosciences, University of Technology, Delft, 141.
- [14] Ulinici, S.C., Vlad, G., Vāju, D., Balint, I., Băisan, G., Mihaela Hetvary, M. (2014): Numerical modeling of processes in water treatment plants as a basis for an optimal design. ECOTERRA - Journal of Environmental Research and Protection, Vol. 11, No.3, 41-57.
- [15] van der Helm, A.W.C. (2007): Integrated modeling of ozonation for optimization of drinking water treatment. PhD Thesis (doktorski rad), Faculty of Civil Engineering and Geosciences, University of Technology, Delft, Holandija, 151.
- [16] van der Helm, A.W.C., Oonincx, M., Lapikas, T., van Schagen, K.M. i Rietveld, L C. (2012): A Drinking Water Treatment Plant Simulator Using Real-time Plant Data for Enhanced Operator Training and Model Evaluation. Water Science and Technology: Water Supply, Vol 12, (No. 2), 241-249.
- [17] van Schagen, K.M. (2009): Model-Based Control of Drinking-Water Treatment Plants. PhD Thesis (doktorski rad), Faculty of Civil Engineering and Geosciences, University of Technology, Delft, 169.
- [18] Worm, G.I.M. (2012): Integration of drinking water treatment plant process models and emulated process automation software. PhD Thesis (doktorski rad), Tehnički univerzitet u Delftu TU Delft, 128.
- [19] Worm, G.I.M., Wuister, J.J.G., van Schagen, K.M. i Rietveld, L C. (2013): Evaluation of control strategies for drinking water treatment plants using a process model. Journal of Water Supply: Research and Technology AQUA, Vol 62, (No.4), 234-244.
- [20] Yuan, X. (2009): Model Validation and New Water Control Strategies in Drinking Water Treatment Plant Wim Mensink. MsC Thesis (magistarski rad), Faculty of Civil Engineering and Geosciences, University of Technology, Delft, 92.

## STATE OF THE ART IN THE MODELING OF WATER TREATMENT

by

Suvada JUSIĆ

Faculty of Civil Engineering University of Sarajevo, Bosnia and Herzegovina

### Summary

The paper defines the objectives for the development and application of the model to simulate the process of preparation of drinking water. It is given an overview of the actual, actually available models intended for supporting the processes of water treatment. Their characteristics, advantages and disadvantages are defined. In order to increase the application of these models in practice a new international projects and platforms are recently developed. These projects, starting from the positive characteristics of existing models, have further developed the model in order to

overcome the negative characteristics of the current models, but with the aim of greater and more effective application of the model of water treatment in practice. Since these international projects largely used the positive characteristics of Stimela modeling environment, this environment is more considered in this paper.

Key words: drinking water treatment, process modelling, Stimela environment, TECHNEAU project

Redigovano 08.11.2016.