

PRIMJENA STIMELA OKRUŽENJA MODELIRANJA NA FILTER STANICAMA U BIH

Suvada JUSIĆ

Građevinski fakultet Univerziteta u Sarajevu, Sarajevo, Bosna i Hercegovina

REZIME

Brzi pješčani filteri se najviše koriste na filter stanicama za pripremu vode za piće (FS) u Bosni i Hercegovini (BiH). Članak opisuje koristi i ograničenja pri primjeni modela procesa brzog pješčanog filtriranja iz Stimela okruženja modeliranja. Pokazana je efektivna primjena ovog modela kroz primjere dvije filter stanice u BiH (FS »Crkvice« Zenica i FS »Tilave« Sarajevo). Pokazano je da je primjena modela u pripremi vode za piće izazov i način poboljšanja upravljanja, projektovanja i razumijevanja procesa. Na kraju su date i smjernice za nastavak istraživanja i daljni doprinos u ostvarenju dobrih rezultata primjene modeliranja u pripremi vode za piće. Rad daje prikaz dijela rezultata originalnog naučnog istraživanja (Jusić, 2011). Ova tema je relativno nova i nedovoljno istražena i u razvijenim zemljama. U BiH, a vjerovatno i u bližem okruženju, ovo je prvo detaljnije istraživanje.

Ključne reči: priprema vode za piće, modeliranje, Stimela okruženje, filter stanica, brzo pješčano filtriranje.

1. UVOD

U novije vrijeme se snabdijevanje vodom za piće odvija u sve nepovoljnijim uslovima. Razloga ima više, ali su bitni sljedeći: (a) izvorišta se nedovoljno štite od zagađivanja (zone zaštite su često sasvim formalne, bez ikakvih sankcija za zagađivače i one koji narušavaju propisane režime zaštite, tako da su podvrgnute sve snažnijim antropogenim uticajima); (b) prostornim planovima se ne štite prostori koji su planirani za potencijalno proširenje novih izvorišta, tako da se isti sve češće zaposjedaju drugim sadržajima, kojima nije mjesto u zoni izvorišta, zbog čega postojeća izvorišta rade u sve nepovoljnijim uslovima. To je uslovalo kontinuiran razvoj istraživanja različitih metoda kojima se pokušavaju da prevaziđu ti sve ozbiljniji problemi.

Tako se razmatraju konvencionalne metode pripreme vode za piće (Busuladžić, 2009). Usljed problema sa kvalitetom vode, koji se javljaju na nekim izvorištima u Srbiji na primjer, razmatraju se i razvijaju metode za uklanjanje arsena (Jovanović, 2011), kao i metode za uklanjanje nitrata iz vode ((Ljubisavljević, 2012). Za snabdijevanje vodom osim komponente kvaliteta bitan je i kvantitet. Razmatraju se uticaji hidrogeoloških parametara na početni kapacitet bunara sa horizontalnim drenovima, ugroženih kolmiranjem (Pušić, 2012). U skladu sa tim se razvijaju i metode hidrodinamičkih analiza o mogućnostima proširenja nekih izvorišta u aluvijalnim sredinama (Đurić, 2012). Razmatraju se uticaji opadanja nivoa podzemnih voda na procese starenja vodozahvatnih objekata (Majkić-Durusun, 2012). Metoda koja može biti način za poboljšanje uslova snabdijevanja vodom svakako je i primjena matematičkih modela. U ovom pravcu razvijeno je niz modela. Tako, na primjer, za specifične uslove u karstu formiran je 3D model karstnih kanala u zoni isticanja vrela, kao podloga za zahvatanje podzemnih voda (Milanović, 2012).

Polazna hipoteza koja se željela dokazati ovim radom, jeste da je modeliranje način za poboljšanje uslova snabdijevanja vodom, u smislu povećanja efikasnosti procesa pripreme vode za piće na filter stanicama (FS) (Jusić, 2011). Generalno, cilj modeliranja je efikasnije koristiti podatke svakodnevnog monitoringa, te raspoložive kapacitete jedne FS, kako bi se povećala efikasnost procesa, te smanjila ovisnost rada FS isključivo od iskustva operatera i uobičajene prakse (Olsson, 2003).

Primjena modela je provedena na dvije stanice, koje koriste konvencionalne brze pješčane filtere – FS »Crkvice« u Zenici i FS »Tilave« u Sarajevu. Različita problematika rada ove dvije stanice usmjerila je primjenu modela u različitim pravcima, a s krajnjim ciljem poboljšanja efekata filtriranja. Prilikom primjene modela nastojalo se da se zadovolje sljedeći principi:

- korištenje raspoloživih mogućnosti modela,
- princip zadovoljenja graničnih uslova (maksimalna dopuštena mutnoća, pad pritiska, optimalno trajanje ciklusa filtriranja, vrijeme simulacije...),
- maksimalno korištenje instaliranih kapaciteta FS (objekata i opreme...),
- principi jednostavnosti i ekonomičnosti.

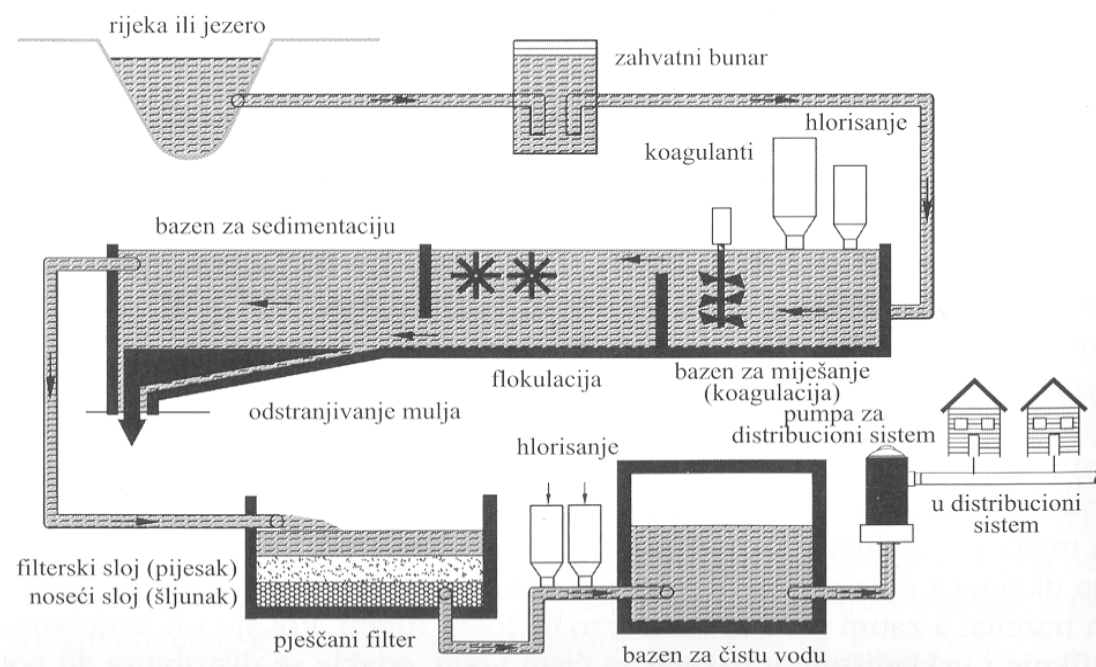
2. OSNOVNO O STIMELA OKRUŽENJU MODELIRANJA

Stimela je paket modela specijalno dizajniran za modeliranje kvaliteta vode. Sve naučno – stručne informacije o Stimela okruženju modeliranja pokriva Tehnički Univerzitet u Delftu (TU Delft) – Holandija, a informatičku podršku i samu web stranicu ovog okruženja najviše razvija i daje usluge u njenoj implementaciji, DHV Water BV Group (*Dudley, 2008*), (*Rietveld, 2005*). Stimela nastoji da ispuni zahtjeve modeliranja i u oblasti praktične primjene, ali i naučno stručnog usavršavanja. Programirana je u programskom jeziku MATLAB/Simulink. Stimela je okruženje za standardizirane matematičke modele različitih procesa, u sklopu pripreme vode za piće. Treba napomenuti da

postoje dvije verzije ovog okruženja, jedna verzija omogućava modeliranje samo pojedinačnih procesa, a druga modeliranje cjelokupnog procesa prerade. U ovom radu korištena je verzija Stimela okruženja namijenjena za modeliranje pojedinačnih procesa raspoloživa na web stranici (www.stimela.com). Efikasna primjena modela filtriranja, podrazumijeva poznavanje samog procesa filtriranja, ali i poznavanje samog modela. Poznavanje modela podrazumijeva poznavanje njegove strukture, definisanje potrebnih ulaznih, operacionih i kalibracionih elemenata (parametara), ograničenja i razumijevanje izlaza.

3. OSNOVNE KARAKTERISTIKE FS »CRKVICE« I FS »TILAVE«

Za efikasnu primjenu modeliranja potrebna je prethodna detaljna analiza karakteristika same FS, kako bi se ispravno definisala problematika njenog rada i efikasan put primjene modeliranja, u cilju poboljšanja efikasnosti procesa. Obje stanice koriste površinsku vodu kao izvor vodosnabdijevanja i konvencionalni tretman za pripremu vode za piće (Slika 1) (*Busuladžić, 2009*).



Slika 1. Tipični dijagram toka objekata i uređaja za tretman pitke vode (*Đurić, 2001*)

3.0. FS »Crkvice« Zenica

Kapacitet FS »Crkvice« je 200 l/s. Na ovoj stanici koriste se gravitacioni brzi pješčani filteri sa jednoslojnom ispunom od kvarcnog pijeska (dvije linije po 4 filterska polja), radi oslobađanja vode od preostalih sitnih flokula, odnosno zaostalih suspendovanih i koloidnih materija, koje nisu zadržane u prethodnim operacijama prerade (Slika 1). Pranje filtera vrši se samo vodom (rezervoar za pranje filtera, koristi se i kao distribicioni rezervoar za obližnje naselje).

Problematika, vezana za filtriranje na FS »Crkvice«, jeste nedostatak adekvatne filterske regulacije i nedovoljne količine vode za pranje. To je usmjerilo pravac primjene modeliranja na analizu promjene manipulativnih/operacionih parametara (Tabela 1), vezanih za pranje filtera i, u vezi s tim, mogućnost efikasnije filterske regulacije (produženje ciklusa filtriranja, smanjenje potrebnih količina vode za pranje i slično).

3.1. FS »Tilave« Sarajevo

Kapacitet FS »Tilava« je 180 l/s. Filtriranje na ovoj stanici se provodi u filterskim bazenima sa jednoslojnom pješčanom ispunom. Bazen za filtriranje sačinjava 6 filterskih polja, raspoređenih u dvije linije po tri polja, a u središnjem dijelu je smještena cijevna galerija. Rezervoar za pranje filtera smješten je na manjem uzvišenju iznad taložnika, tako da voda za pranje filtera dolazi gravitaciono. Pranje filtera vrši se samo vodom.

Problematika filtriranja na FS »Tilave« vezana je za staru, dotrajalu i ishabanu ispunu, te njenu neodgovarajuću visinu. To je usmjerilo pravac primjene modela filtriranja ka iznalaženju optimalnih karakteristika ispune, odnosno optimalnih ulaznih projektnih parametara (Tabela 1) uz zadržavanje postojećih kapaciteta stanice (dimenzije objekta i oprema).

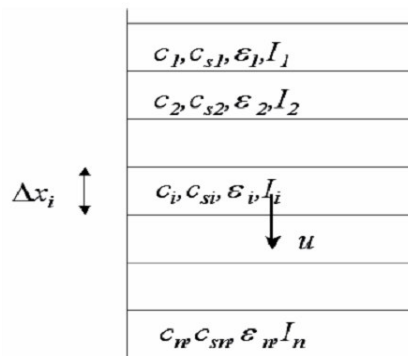
4. KORISNA SAZNANJA / BENEFITI PRI PRIMJENI MODELA

Modeliranje uključuje fazu razvoja i fazu primjene modela. Fazu razvoja čini matematska formulacija procesa (Jegatheesan, 2005) i (Graham, 2009), odnosno odgovarajuće analitičko polazište, te razrada i programiranje algoritma rješavanja procesa. Faza

primjene podrazumijeva testiranje modela, te nakon toga njegovu efikasnu primjenu. Na osnovu primjene modela filtriranja Stimela okruženja na FS »Crkvice« i FS »Tilave« (Jusić, 2011), došlo se do nekih korisnih saznanja, odnosno zaključaka vezano za efikasnije korištenje monitoringa sa FS, bolje razumijevanje i upravljanje procesom, te efikasnije korištenje kapaciteta FS.

4.0. Analitičko polazište

Matematskim formulacijama, odnosno graficima, može se opisati hidraulika toka kroz poroznu sredinu filtera (Jaćimović, 2009); bilans materije koja se izdvaja pri mehanizmima filtriranja; promjena koeficijenta filtriranja kao posljedica kolmacije; promjene kvaliteta filtrata i promjene pritiska u funkciji vremena (Rietveld, 2005), a koje su opet posljedica kolmacije filterske ispune. Proces konvencionalnog brzog filtriranja je proces čija je matematska formulacija, pri razvoju modela u Stimela okruženju, bazirana na Marodas-ovoj jednačini za promjenu koncentracije čestica zagađenja i Carman Kozeny-ovoj jednačini za određivanje gubitaka u filterskoj ispuni. Samo matematsko formulisanje procesa, te rješavanje ovih matematskih jednačina, podrazumijeva pretpostavljanje idealnih uslova tečenja u reaktoru u kom se odvija proces. Tako, pri procesu filtriranja, filterski bazen, odnosno ispuna, se posmatra kao reaktor. U Stimela okruženju modeliranja, koristi se PFR - Plug Flow Reactor (Slika 2), odnosno model sa idealnim hidrodinamičkim uslovima tečenja, u kome se razmatraju promjene (kontrolnih) parametara procesa (Ghebremichael, 2008). U PFR-u tipu modela, odnosno reaktoru, parametri filtriranja se mijenjaju po dubini, a u jediničnom elementu su konstantni. U slučaju procesa filtriranja kontrolni /izlazni parametri su koncentracija čestica i pad pritiska.



Slika 2. Šematska prezentacija tijela filterske ispune–reaktora (PFR) (van Schangen, 2009) (Rietveld,2005)

Parametri označeni na prethodnoj šemi, imaju sljedeće značenje:

- Δx_i – visina filterske ispune (i-tog jediničnog elementa) (m),
- c_i – koncentracija čestica u vodi (i-tog jediničnog elementa) (g/m^3),
- $c_{s,i}$ – koncentracija čestica u ispuni/čvrstoj fazi (depozit) (i-tog jediničnog elementa) (g/m^3),
- I_i – gradijent pada pritiska po jedinici dubine ispune (-),
- ϵ_i – porozitet i-tog jediničnog elementa (-),
- u – brzina čestica u vodi / brzina tečenja kroz reaktor (m/s),
- c_n – koncentracija čestica u n-tom jediničnom elementu - filtriranoj vodi (filtratu) (g/m^3).

U advekciono-disperznom tipu modela kvaliteta (ili PFR / Plug Flow Reactor - modelu ravnomjernog tečenja), koji se koristi u Stimela okruženju za opisivanje procesa filtriranja, ističu se tri osnovna prenosna mehanizma odgovorna za transport, odnosno prijanjanje i odvajanje koloidnih i suspendovanih čestica iz ne filtrirane vode – advekcija, difuzija i disperzija. Metod izabran za prezentaciju ovih prenosnih mehanizama u filterskom bazenu, odnosno reaktoru (Slika 2), je opšta jednačina održanja materije izražena u diferencijalnom obliku.

U nastavku je data matematska formulacija kontrolnih parametara procesa filtracije - promjene koncentracije čestica u ispuni, a zatim promjene pritiska u tijelu filterske ispune.

Matematska formulacija promjene koncentracije

Kao što je prethodno već napomenuto, Maroudas-ovu jednačinu (1) koristi Stimela model konvencionalnog brzog filtriranja pri matematskom opisu promjene koncentracije čestica zagađenja pri filtriranju. Ova jednačina detaljnije razmatra stvaranje depozita, odnosno akumuliranje čestica u tijelu ispune u prelaznom stepenu filtriranja, odnosno makroskopskom pristupu koji koristi Stimela okruženje. Maroudas-ova jednačina je ustvari jedna od jednostavnijih obrada Ives-ove jednačine, a glasi:

$$k_2 = \frac{u}{\epsilon} \lambda_0 \left(1 - \frac{c_s}{c_{s,u}}\right) \left. \begin{matrix} \\ c_{s,u} = \epsilon_0 \rho_s \zeta \end{matrix} \right\} \Rightarrow k_2 = \frac{u}{\epsilon} \lambda_0 \left(1 - \frac{c_s}{\epsilon_0 \rho_s \zeta}\right) \quad (1)$$

Pri čemu je:

- λ – koeficijent filtriranja (kolmirane ispune) (m^{-1}),
- λ_0 – koeficijent filtriranja čiste ispune (m^{-1}),
- k_2 – koeficijent transfera (stepen filtriranja) (s^{-1}),
- c_s – koncentracija čestica u ispuni/čvrstoj fazi (depozit) (g/m^3),
- $c_{s,u}$ – koncentracija zasićenja ispune filtera česticama (depozit zasićenja) (g/m^3),
- ϵ_0 – porozitet čiste ispune (-),
- ϵ – porozitet (kolmirane ispune) (-),
- ζ – maksimalno zapunjavanje pora (-),
- ρ_s – gustoća čestica (kg/m^3).

Matematska formulacija promjene gubitka pritiska

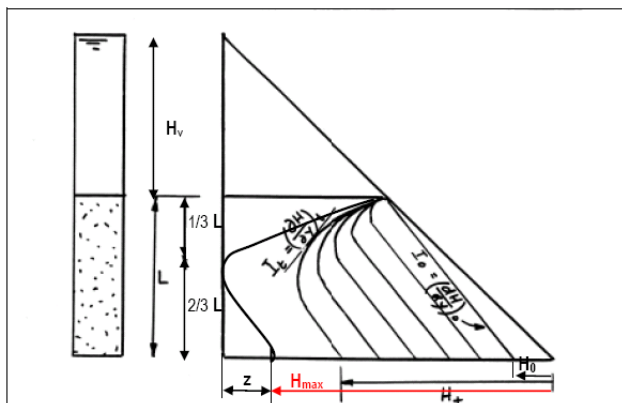
U slučaju čistog filtera gubitak, odnosno gradijent promjene, pritiska proračunava se prema Karman-Kozenijevoj (Carman Kozeny's) jednačini za laminarni tok – jednačina (2), koja je zajedno sa Maroudas-ovom jednačinom (1) osnova za modeliranje u Stimela okruženju modeliranja (Rietveld, 2005), (Graham, 2009):

$$I_0 = 180 \frac{\nu}{g} \frac{(1 - \epsilon_0)^2}{\epsilon_0^3} \frac{u}{d_0^2} \quad (d_0 = \sigma d_{10}) \dots\dots\dots (2)$$

$$I_t = I_0 \frac{\epsilon_0^2}{\left(\epsilon_0 - \frac{c_s}{\rho_s}\right)^2}$$

gdje je:

- I_0 – početni gradijent promjene pritiska (za čistu ispunu) (-),
- I_t – gradijent promjene pritiska nakon vremena t (-),
- ν – kinematski viskozitet (m^2/s),
- ϵ_0 – porozitet čiste ispune (-),
- g – gravitaciono ubrzanje (m/s^2) = 9,81 m/s^2 ,
- u – brzina vode (m/s),
- d_0 – hidraulički dijаметar zrna (m),
- σ – faktor oblika zrna,
- d_{10} – prečnik otvora sita kroz koji prolazi 10 % ispitivanog pijeska (m) ($\equiv d_{ef}$),
- d_{ef} – efektivni prečnik zrna (m).



Slika 3. Šematska prikaz dijagrama promjene/pada pritiska u tijelu ispunu (Graham, 2009)

Na Slici 3 dat je dijagram promjene pritiska za čistu i kolmiranu ispunu, gdje su jasno naznačeni gradijenti promjene pritiska (I_0 , I_1) i pad pritiska nakon vremena t (H_+), te maksimalni pad pritiska koji neće dozvoliti pojavu vakuuma u ispunu (H_{max}), pri čemu je:

$$H_{max} = H_v + L - z, \quad (z = 2/3 (L - H_0)) \quad (3)$$

Na osnovu Slike 3, oznake predstavljaju:

L – visina filterske ispunu (m);

H_v – visinu sloja vode iznad ispunu (m);

H_{max} – maksimalni hidraulički gubitak kroz zaprljanu ispunu – bez pojave vakuuma (m).

4.1. Definisane algoritma rješavanja procesa filtriranja

Postupak primjene modeliranja pretpostavlja korištenje algoritma, odnosno definisanog slijeda radnji koje proizilaze iz samog programa modela (Campos, 2006). Prilikom primjene Stimela modela korišten je algoritam rješavanja konvencionalnog brzog filtriranja, odnosno program (MATLAB/Simulink), kao formulacija ovog algoritma. Polazeći od odgovarajućih početnih, to jest ulaznih i graničnih uslova, prolazi se kroz definisani slijed radnji algoritma, kako bi se dobilo zadovoljavajuće rješenje. Kraj blok dijagrama jeste završna/posljednja radnja koja znači dobivanje zadovoljavajućeg rješenja, to jest ne prekoračene granične vrijednosti kontrolnih parametara, uz prethodno provedenu kalibraciju i ostvareno određeno poboljšanje, koje znači ustvari efektivnu primjenu modela. Ovim je dat doprinos u definisanju algoritma rješavanja modeliranja procesa konvencionalnog brzog filtriranja iz Stimela okruženja. Tako u slučaju primjene modeliranja procesa filtriranja, ili bilo kojeg drugog

procesu prerade na bilo kojoj drugoj FS, ti koraci bi bili više manje slični ovdje navedenim:

- definisanje karakteristika - problematike rada stanice (FS),
- definisanje pravca primjene modela na osnovu definisane problematike rada FS i mogućnosti modela,
- definisanje odgovarajuće baze podataka za modeliranje,
- testiranje (kalibracija i validacija) modela,
- (efikasna) primjena modela - zavisi od definisane problematike rada,
- diskusija rezultata modeliranja...

4.2. Definisane baze podataka i testiranje modela

Na bilo kojoj stanici (FS), u cilju dostizanja standarda kvaliteta vode za piće, provode se odgovarajuća mjerenja određenih parametara. Ovi podaci se uredno skupljaju i čuvaju, ali se nedovoljno koriste u svrhu poboljšanja procesa (Rietveld, 2007). Primjenom modeliranja, definisanjem odgovarajuće baze podataka za modeliranje određenog procesa prerade, ovi podaci koji se mjere na stanici koriste se efikasnije, to jest koriste se u cilju poboljšanja efikasnosti samog procesa putem modeliranja. Tabela 1. definiše potrebne parametre za modeliranje procesa filtriranja (Jusić, 2011). Na osnovu modela ostalih procesa iz Stimela okruženja, moguće je formulisati na sličan način potrebnu bazu podataka za modeliranje bilo kog drugog procesa prerade.

Formiranje baze podataka urađeno je na osnovu poznavanja strukture primjenjenog Stimela okruženja modeliranja. Strukturu modela procesa čine blokovi, a u sklopu njih sadržane su datoteke parametara relevantnih za taj blok modela (Tabela 1). U Tabeli 1 su date i vrijednosti svih parametara modeliranja procesa filtriranja za obje filterske stanice, za koje je model kalibriran.

Parametri modela procesa su definisani programom. Tako su, na primjer, Lambda, Konstanta začepljenja, Masena gustoća flokula i Broj kompletno izmješanih reaktora, kalibracioni parametri bloka Filter (Rietveld, 2005). Parametar Lambda (1/s) jeste koeficijent transfera (k_2 (1/s)), koji je direktno proporcionalan koeficijentu filtriranja (λ (1/m)) prema jednačini (1). Ovi koeficijenti definišu efekat nakupljanja čestica iz vode koja se filtrira na zrnima ispunu. Konstanta začepljenja, kao bezdimenzionalni parametar, definiše

ustvari procjenu stepena kolmacije/začepljenja filterske ispune ($c_{s,u}$ u jednačini (1)), a kao rezultat odmicanja procesa filtriranja. Masena gustoća flokula (kg/m^3) jeste parametar koji je putem Maroudas-ove jednačine (1), definisan kao gustoća, odnosno koncentracija čestica. Činjenica jeste da su mehanizmi filtriranja (transporni, mehanizmi prijanjanja i odvajanja), komplikovani i

zavise od niza fizičkih i hemijskih karakteristika vode, čestica i ispune. Tako, na primjer, transportni mehanizmi osim sedimentacije (koja zahtijeva gustoću veću od 1000 kg/m^3) su i difuzija, intercepcija, inercija i hidrodinamička akcija. Broj kompletno izmješanih reaktora traži ustvari definisanje broja jediničnih elemenata tijela ispune (Δx_i) (Slika 2).

Tabela 1. Vrijednosti parametara modeliranja procesa filtriranja za kalibriran model FS »Crkvice« i FS »Tilava«

BLOK	KVALITET VODE			FILTER									POVRATNO PRANJE			MJERENJA				KOMETAR	
	Ulazni - poremećaja			Ulazni - projektni					Kalibracioni				Operacioni /manipulativni			Izlazni / kontrolni					
	Proticaj (m^3/h)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Mutnoća (NTU)	Površina lica filtera (m^2)	Nivo vode iznad filterske ispune (m)	Visina tijela ispune (m)	Veličina zrna (mm)	Porozitet filtera (%)	Lambda (1/s)	Konstanta začepljenja (-)	Masena gustoća flokula (kg/m^3)	Broj kompletno (-) izmješanih reaktora	Vrijeme ciklusa filtriranja (h)	Vrijeme povratnog pranja (min)	Početno vrijeme za povratno pranje (h)	Simulirane vrijednosti		Granične vrijednosti			
Pad pritiska (m)																Mutnoća (NTU) [*] (Efikasnost procesa %)	Pad pritiska (m)	Mutnoća (NTU)			
FS	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)
»Crkvice«	709	14	3.0	168	1.3	0.7	0.7	40	0.05	20-1	7	2-5	24	5	0.3	1.6	3.0 - 1.2 (99.9)	1.7	1.2	Slika 4	
»Tilava«	648	10	3.0	137.5	I tip ispune				0.058	28-1	8.7	2-5	24	11	0.0	1.55	3.0 - 0.9 (99.9)	1.5	1.0	Slika 5	
					1.0	0.7	0.7	38													
					II tip ispune				0.025	26-1	9	4-8	36	11	0.0	1.65	3.0 - 0.9 (99.9%)	1.6	1.0	Slika 6	
					1.0	1.2	0.9	40													
III tip ispune				0.021	24-1	10	6-12	48	11	0.0	1.8	3.0 - 0.8 (100%)	1.8	1.0	Slika 7						
1.0	1.8	1.1	42																		

* prva vrijednost predstavlja ulaznu/početnu koncentraciju mutnoće, a druga izlaznu (simuliranu) mutnoću

Nakon formiranja baze podataka, u cilju efikasne primjene modela filtriranja na FS »Crkvice« i FS »Tilava«, provedena je kalibracija modela, odnosno procjena prethodno definisanih kalibracionih parametara. Kalibracija modela vodovodnih sistema razmatra se i u radu (Branislavljević, 2008) i za to se koristi aparat genetskih algoritama. Problemima kalibracije i upoređivanjem različitih pristupa tom važnom procesu bavi se i rad (Kalđerović, 2012). Kalibracione parametre je teško tačno izračunati, odnosno tačno odrediti, s obzirom na brojne faktore koji na njih utiču, pa je potrebno izvršiti njihovu procjenu, odnosno kalibraciju. Podešene vrijednosti kalibracionih parametara koje daju kalibriran model date su u Tabeli 1 (kolone (10), (11), (12) i (13)). Zadavane su različite alternative, koristeći iskustvo i relevantne podatke iz literature (Rietveld, 2005), kako bi se procijenile, odnosno podesile vrijednosti ovih parametara, koje će dati prihvatljivu grešku između rezultata simuliranja

(Tabela 1, kolone (17) i (18)) i graničnih vrijednosti mjerenja kontrolnih parametara (Tabela 1, kolone (19) i (20)). Kao granična vrijednost kontrolnih parametara uzeta je MDK mutnoće (kolona (20)), definisana Pravilnikom o higijenskoj ispravnosti vode za piće, i pad pritiska (kolona (19)) izračunat prema jednačini (3). Što se tiče izlaznog/kontrolnog parametra pada pritiska, koji se treba definisati u bazi podataka modeliranja procesa filtriranja, on se ne mjeri ni na jednoj od ove dvije FS. Granični, odnosno maksimalni pad pritiska (H_{\max}) Tabela 1, kolona (19) izračunat je, posebno za svaku FS i za svaki tip ispune iz geometrijskih odnosa dijagrama pritiska (Lindquist, Michau (Slika 3)), jednačina (3). H_0 je početni gubitak pritiska koji je određen prema Carman-Kozeny formuli (2), odnosno kontrolisan na osnovu grafičkog prikaza izlaznih rezultata (Slike 4, 5, 6 i 7). Za određivanje vrijednosti z korištena je pretpostavka da se nečistoće izdvajaju na znima prve trećine visine ispune filtera (Slika 3).

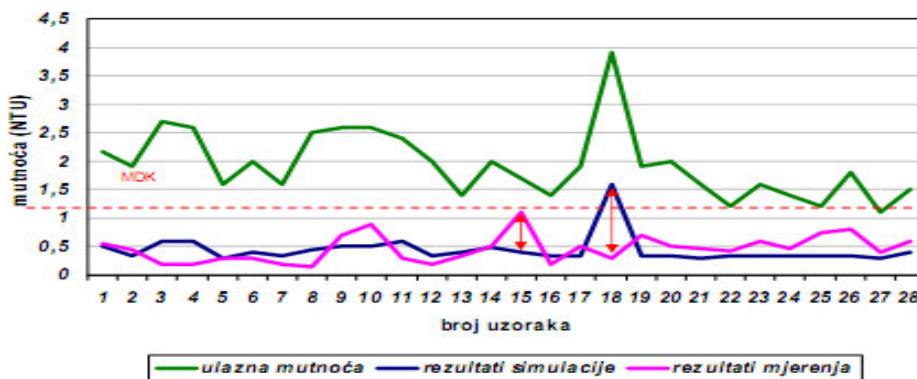
Na primjer, za FS »Crkvice« maksimalni pad pritiska od 1,7m (Tabela 1, Slika 4) određen je na sljedeći način: $H_{max} = 1,3m + 0,7m - 0,3m = 1,7m$; $z = 2/3 \cdot (0,7m - 0,25m) = 0,3m$; pri čemu je $H_0 = 0,25m$.

Također, pri testiranju i efikasnoj primjeni modela korišten je uslov (ograničenje) da se maksimalni pad pritiska (H_{max}) dostigne u vremenu t_2 (vrijeme dostizanja H_{max}), jednakom ili nešto kraćem od vremena t_1 (vrijeme dostizanja granične mutnoće) (označeno na Slikama 5, 6 i 7).

U namjeri da se izvrši provjera pouzdanosti i dokaže valjanost kalibriranog modela, provedena je i validacija modela. Tako na primjeru FS »Crkvice« za validaciju modela su korišteni podaci koji nisu korišteni pri kalibraciji – a uzeti su pod različitim uslovima proticaja, temperature i opterećenja filtera. Dijagram na Slici 4.a daje prikaz promjene mutnoće u toku mjeseca januara i to mutnoće kao ulaznog parametra (zeleno linija) i mutnoće kao izlaznog kontrolnog parametra i to rezultati mjerenja na FS (pink linija) i rezultata modeliranja, odnosno simulacije (plava linija). Analizom ovog dijagrama, može se uočiti da prethodno

kalibriran model daje zadovoljavajuće rezultate i pri promjenjenim uslovima filtriranja, koji nisu korišteni pri kalibraciji. Uglavnom i pritisci i mutnoće, kao izlazni parametri modeliranja, su u granicama prethodno definisanim. Određena mala odstupanja izmjerenih rezultata i rezultata simulacije, vezano za mutnoću, mogu se opravdati utjecajem koagulanta, koji se i pri niskim ulaznim mutnoćama ipak dodaje na ovoj FS, istina u malim dozama.

Kao što se vidi iz Tabele 1, na primjeru FS »Tilava« gdje je potrebno zamjeniti dotrajalu ispunu, model je kalibriran na tri različita tipa ispune. Tabela 2 definiše osnovne karakteristike uobičajena tri tipa jednoslojne ispune brzih pješčanih filtera. Radi se o jednoslojnoj pješčanoj filterskoj ispuni. Osnovne karakteristike razmatrana tri tipa ispune definisane su kroz granulometrijski sastav, visinu tijela ispune, te brzine filtriranja pri normalnom i forsiranom režimu filtriranja. Tako, na primjer, ispuna tipa I ima najsitniju granulaciju zrna, koja se kreće od 0,5 do 1,2 mm. Ekvivalentni prečnik zrna se kreće od 0,7 do 0,8 mm. Ovaj tip ispune zahtijeva manju visinu, ali i manje brzine filtriranja u odnosu na II i III tip ispune (Tabela 2).



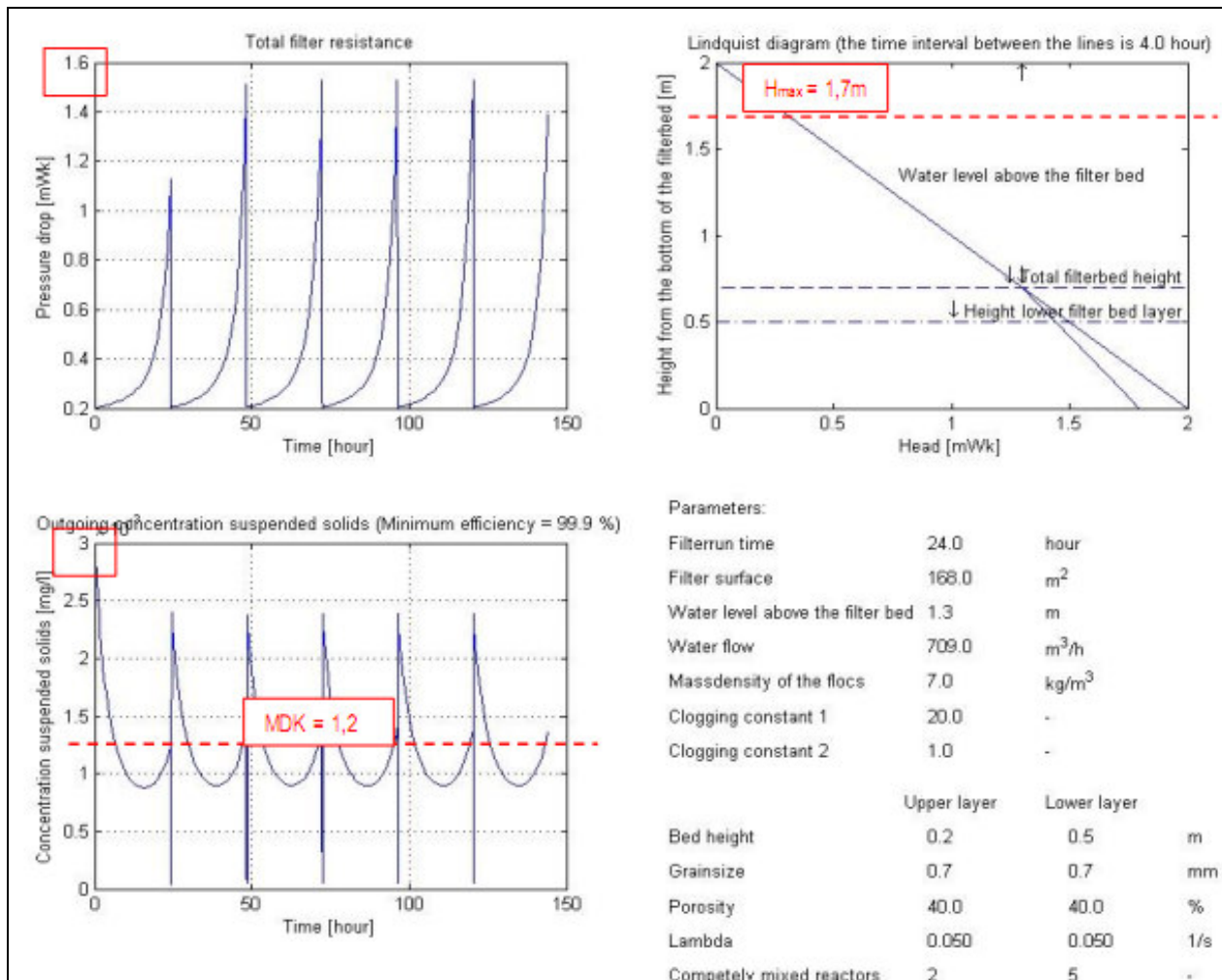
Slika 4a. Validacija modela na podatke mutnoće (mjesec januar) (FS »Crkvice«)

Tabela 2. Karakteristike tri uobičajena tipa jednoslojne ispune brzih pješčanih filtera [1]

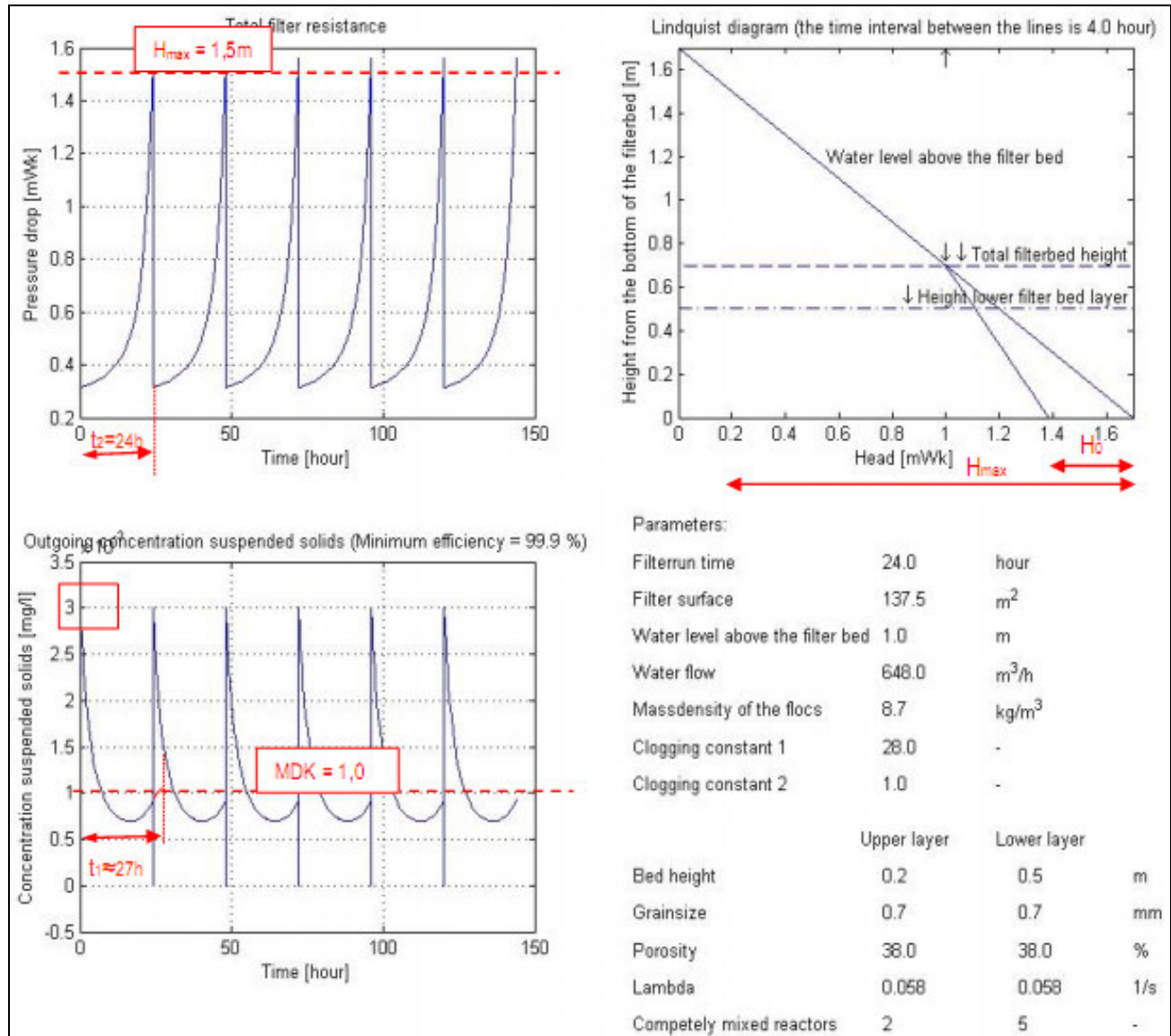
BRZI FILTER SA JEDNOSLOJNOM ISPUNOM	KARAKTER FILTERSKOG SLOJA					Računska brzina filtriranja pri normalnom režimu v (m/h)	Dopuštena brzina filtriranja pri forsiranom režimu v_f (m/h)
	granulometrijski sastav				Debljina sloja (visina tijela ispune) (m)		
	prečnik zrna (mm)			Koefficient heterogenost i K_h			
	minimalni	maksimalni	ekvivalentni				
TIP I	0,5	1,2	0,7 - 0,8	2,0 - 2,2	0,7	6,0	7,5
TIP II	0,7	1,5	0,9 - 1,0	1,8 - 2,0	1,2 - 1,3	8,0	10,0
TIP III	0,9	1,8	1,1 - 1,2	1,5 - 1,7	1,8 - 2,0	10,0	12,0

Slike 4, 5, 6 i 7, na koje se poziva u Tabeli 1 (kolona (21)), daju grafički prikaz izlaznih parametara kalibriranog modela procesa filtriranja. Tako na primjer, Slika 6 se odnosi na FS »Tilava«, gdje je model

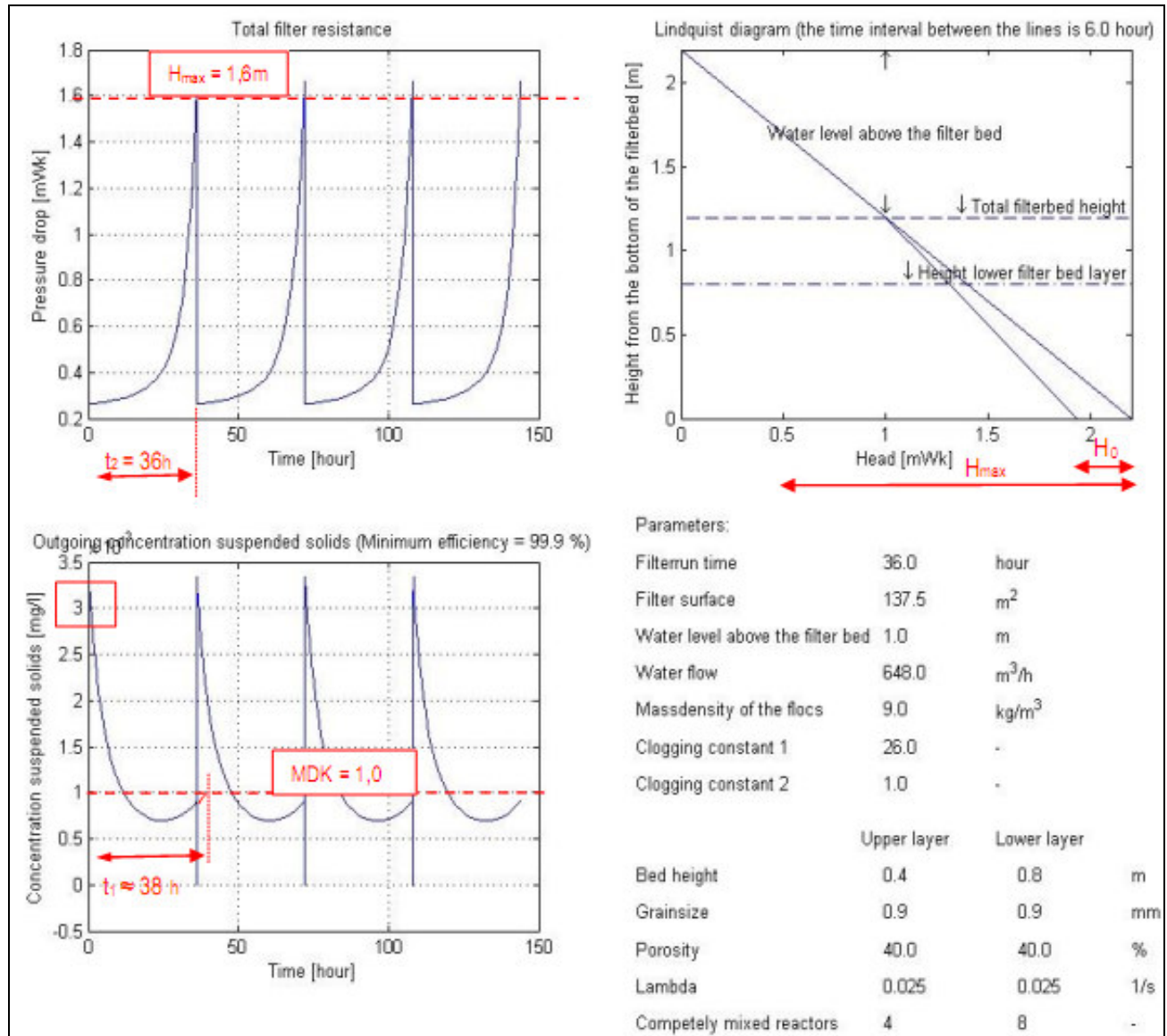
kalibriran za II tip filterske ispune (prema Tabeli 2). Odabir jednog od ova tri tipa ispune za FS »Tilava« objašnjen je u poglavlju 4.4.



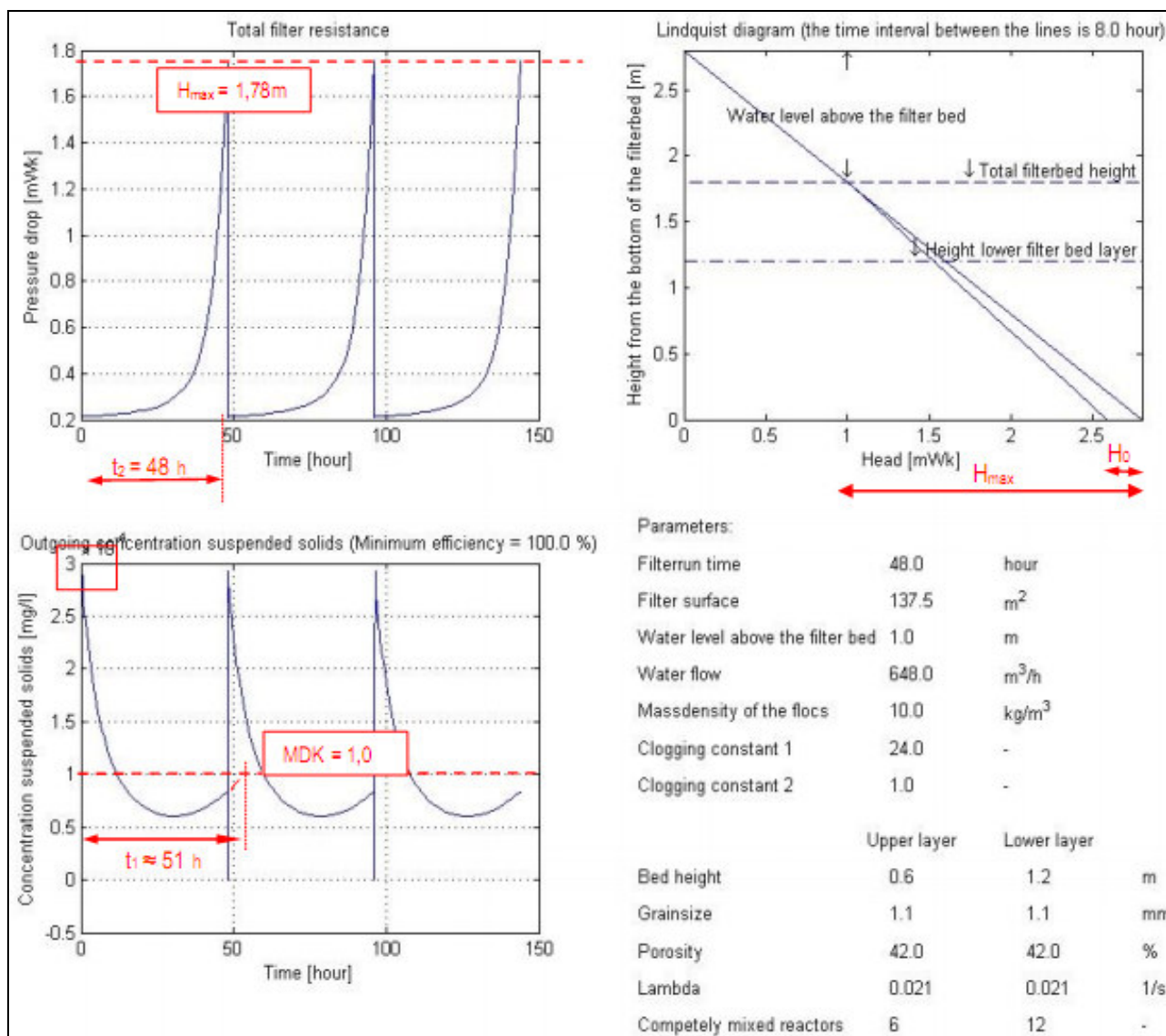
Slika 4. Grafički prikaz izlaznih rezultata kalibriranog modela (FS »Crkvice«)



Slika 5. Grafički prikaz izlaznih rezultata kalibriranog modela – I tip ispune (FS »Tilava«)



Slika 6. Grafički prikaz izlaznih rezultata kalibriranog modela – II tip ispune (FS »Tilava«)



Slika 7. Grafički prikaz izlaznih rezultata kalibriranog modela – III tip ispune (FS »Tilava«)

4.3. Edukacioni doprinos modeliranja – bolje razumijevanje procesa

Prisutna problematika u radu FS zahtijeva potrebu boljeg razumijevanja utjecaja raznih parametara na procese prerade. Primjenom modeliranja, moguća je brza i jeftina analiza velikog broja alternativa na način da se izmjenom različitih ulaznih ili operacionih parametara prati utjecaj na izlazne/kontrolne parametre. Na ovaj način, dokazuje se edukacioni efekat pri primjeni modeliranja, s obzirom na pružanje mogućnosti boljeg razumijevanja procesa, povećanjem

uvida kako različiti parametri djeluju na sam proces. Isto tako modeliranje, odnosno oponašanje utjecaja izmjene na primjer, manipulativnih (operacionih) parametara na izlazne parametre procesa prerade vode, može podržati operatera u donošenju odluka pri upravljanju radom filter stanice.

Na osnovu brojnih simulacija pri primjeni modeliranja filtriranja (Jusić, 2011), uočeno je da se povećanjem *Vremena ciklusa filtriranja*, uz nepromjenljivost svih ostalih parametara kalibriranog modela, ostvaraje značajan porast pada pritiska u ispuni (pojava

vakuuma), a mutnoća filtrirane vode također raste. S druge strane smanjenje *Vremena ciklusa filtriranja* uzrokuje smanjenje pada pritiska u ispuni, kao i smanjenje mutnoće filtrata, odnosno koncentracije zagađenja.

U Tabeli 3. analiziran je uticaj ulaznih projektnih parametara (koji definišu svojstva filterske ispune) na

ostale parametre modeliranja. Tako, na primjer, analizom utjecaja vezanih za različite tipove ispune (tip I, II i III) na izlazne kontrolne parametre, *Mutnoću* i *Pad pritiska*, može se uočiti da ispunjena sitnija granulacije, odnosno *Veličine zrna*, uzrokuje veći *Pad pritiska*, to jest stvara veći otpor pri tečenju. S druge strane, sitnija granulacija daje bolji efekat u uklanjanju koloidnih materija, odnosno utiče na efikasnije obaranje *Mutnoće*.

Tabela 3. Interakcija parametara testiranih/kalibriranih modela tri tipa ispune (FS »Tilava«)

Tip ispune	Ulazni - projektni			Kalibracioni				Ope- racioni	Izlazni / kontrolni				Efikasnost procesa (%)	
	Visina tijela ispune (m)	Veličina zrna (mm)	Porozitet filtera (%)	Lambda (1/s)	Konstanta začepljenja (-)	Masena gustoba flokula (kg/m ³)	Broj kompletno izmješanih reaktora (-)		Vrijeme ciklusa filtriranja (h)	Simulirane vrijednosti		Granične vrijednosti		
										Pad pritiska (m)	Mutnoća (NTU)	Pad pritiska (m)		Mutnoća (NTU)
(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(17)	(18)	(19)	(20)	(18)		
I	0.7	0.7	38	0.058	28	8.7	2-5	24	1.55	0.9	1.48	1.0	99.9	
II	1.2	0.9	40	0.025	26	9.0	4-8	36	1.65	0.9	1.62	1.0	99.9	
III	1.8	1.1	42	0.021	24	10.0	6-12	48	1.8	0.8	1.78	1.0	100.0	

Većinu navedenih zakonitosti interakcije parametara, koje su uočene pri primjeni modela filtriranja iz Stimela okruženja, potvrđuju i iskustveni podaci iz prakse primjene filtriranja na terenu, kao i pilot istraživanja. Naime, uvidom u međusobni utjecaj različitih parametara omogućeno je bolje razumijevanja procesa i time odabir optimalnih vrijednosti pojedinih parametara.

4.4. Efikasnije korištenje kapaciteta filter stanice

Korak efikasne primjena modela, znači poboljšanje, odnosno povećanje efikasnosti procesa (u ovom slučaju filtriranja) nakon prethodnog uspješnog testiranja (Slika 2). To znači obezbjeđenje izlaznih parametara u propisanim granicama uz što manja ulaganja resursa za obezbjeđenje ovih granica. Ovo minimiziranje ulaganja znači odabir odgovarajućih vrijednosti manipulativnih parametara i/ili iznalaženje optimalnih vrijednosti ulaznih projektnih parametara (Tabela 1).

Modeliranje procesa prerade vode omogućava potpunije (maksimalno) korištenje planiranih ili postojećih kapaciteta FS: objekata, opreme, vode za pranje, električne energije, hemikalija. Prethodno navedeno znači smanjenje operacionih troškova i minimiziranje negativnog utjecaja na okoliš (na primjer, minimiziranje

gubitaka vode za pranje filtera, potrošnje hemikalija, potrošnje energije i sl), što znači efikasniju pripremu vode za piće, uz korištenje tzv. najbolje raspoložive tehnike (BAT- best available techniques). Naime, na FS u BiH najviše su zastupljeni konvencionalni brzi pješčani filteri, kao raspoloživa tehnika filtriranja za uslove u BiH. Ova tehnika filtriranja uz pomoć modeliranja može postati najbolja raspoloživa tehnika (BAT) za postojeće uslove.

Prilikom primjene modela na FS »Crkvice« definisana je optimalna vrijednost *Vremena ciklusa filtriranja*, za različite vrijednosti ulaznih mutnoća. Optimalnije filtriranje podrazumijeva, pored ostalog, produženje *Vremena ciklusa filtriranja*, jer to znači manju potrošnju vode za pranje, manju potrošnju hemikalija, manju potrošnju električne energije za prepumpavanje vode, manju produkciju otpadne vode / vode od pranja.... Ovo produženje definisano je u Tabeli 4. Naime, pri postepenom smanjenju ulazne mutnoće (na primjer od 3,0 prema 1,5 NTU - Tabela 4, kolona (2)) postoji mogućnost produženja *Vremena ciklusa filtriranja* (od 24 do 48 h - Tabela 4, kolona (3)). Pri tome su kontrolni parametri, *Mutnoća filtrirane vode* i *Pritisci*, u optimalnim propisanim granicama (Tabela 4, kolona (8)). U slučajevima ovih nižih ulaznih mutnoća

preporuka je da se korištenje koagulantna svede na minimum, a ciklus produži zavisno od vrijednosti ulazne mutnoće, prema Tabeli 4.

Tabela 4. Podešavanje vrijednosti Vremena ciklusa filtriranja u postizanju optimalnih izlaznih kontrolnih parametara (FS »Crkvice« – Zenica)

BLOK	KVALITET VODE FILTER		OPERACIONI / MANIPULATIVNI PARAMETRI			IZLAZNI KONTROLNI PARAMETRI		KOMENTAR
	Parametri modeliranja koji se ne mijenjaju	Ulazna mutnoća (NTU)	Vrijeme ciklusa filtriranja (h)	Vrijeme povratnog pranja (min)	Početno vrijeme za povratno pranje: (h)	Pad pritiska (m)	Mutnoća (NTU)	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	
Proticaj:709 m ³ /h Temperatura: 14°C Površina lica filtera: 168 m ² Nivo vode iznad filterske ispune: 1.3m Visina tijela ispune: ..0.2 m+0.5 m Veličina zrna:..... 0.7 mm Porozitet filtera: 40% Lambda: 0.05 l/s Konst.začepjenja: 20 i 1 Masena gustoća flokula: .. 7 kg/m ³ Broj kompletno izmješanih reaktora:..... 2 – 5	3	24	5	0.3	1.6	1.2	Kontrolni parametri u optimalnim granicama (granične vrijednosti: pad pritiska 1.7m. mutnoća 1.2NTU)	
	2.5	29	5	0.3	1.6	1.1		
	2.0	36	5	0.3	1.6	0.8		
	1.8	40	5	0.3	1.6	0.8		
	1.5	48	5	0.3	1.6	0.6		

Na primjeru FS »Tilava«, gdje je potrebno odabrati optimalnu ispunu (s obzirom da je postojeća dotrajala), model je prethodno kalibriran za tri različita tipa ispune (Tabele 1 i 2), što znači da će svaki od ova tri tipa ispune dati izlazne parametre u granicama. Korištenjem modela detaljnije su razmatrana sva tri tipa ispune, a uzimajući u obzir kriterije ekonomičnosti i jednostavnosti uz maksimalno korištenje postojećih kapaciteta i opreme na FS, postizanje veće brzine filtriranja, postizanje dužeg ciklusa filtriranja i s tim u vezi korištenje manjih količina vode za pranje ispune, te postizanje manjeg koeficijenta uniformnosti ispune.

Najoptimalnije zadovoljenje navedenih kriterija pruža ispunu tipa II, što se može zaključiti diskusijom izlaznih rezultata modela (poglavlje 4.1). Ispuna tipa II, u odnosu na ispunu tipa I, omogućava veće brzine, odnosno veće površinsko opterećenje filtera. Prodiranje čestica zagađenja u tijelo ispune je dublje, s obzirom na manji koeficijent uniformnosti (cca 1,4). Ovo uslovljava i duži ciklus filtriranja u odnosu na ispunu I tipa (36h), te manje količine vode za pranje (Tabela 3). Što se tiče

konstruktivnih karakteristika objekta i opreme, može se konstatovati da postojeće dimenzije i položaj kanala za pranje mogu biti zadržani/iskorišteni, što znači moguće je efikasno iskoristiti postojeće konstruktivne karakteristike objekta i opreme. Nije potrebno nadvišenje objekta filtera, a ni kanala za odvod vode za pranje (Jusić, 2011). Ovim je pokazana pozitivna strana primjene modela u pravcu odabira optimalnije ispune, uz korištenje postojećih kapaciteta FS, kao ulaznih projektnih parametara. Za predloženi tip ispune primjenom modela definisani su optimalni operacioni parametri (Tabela 1).

4.5. Dostupnost Stimela okruženja modeliranja

Ono što je svakako prednost korištenja modela iz Stimela okruženja, jeste da je raspoloživa verzija na web stranici www.stimela.com besplatna. Istina ova verzija je ograničena na modeliranja pojedinačnih procesa prerade vode. Svakom vodovodnom preduzeću, ili bilo kojoj zainteresovanoj strani, ostaje otvorena mogućnost nabavke kompletne razvijene verzije Stimela

okruženja modeliranja, koja omogućava modeliranje cjelokupnog procesa prerade, ali zahtijeva i kompletnija mjerenja, odnosno automatizaciju i centralizaciju sistema vodosnabdijevanja. Ova verzija nije besplatna, naprotiv, nabavna cijena ovog cjelokupnog softvera je visoka.

5. OGRANIČENJA I SMJERNICE ZA DALJNJU EFIKASNU PRIMJENU MODELA

Kako bi u budućnosti, primjena modeliranja na FS u BiH ali i u okruženju, zaista značila mogućnost podrške u pripremi vode za piće (od edukacije, planiranja, projektovanja, eksploatacije, održavanja i unapređenja efekata same stanice) potrebno je ukazati i na određena ograničenja, odnosno ukazati na pravce daljnjih djelovanja i istraživanja u ovoj oblasti, kako bi se ova ograničenja minimizirala, te potpunije iskoristile mogućnosti modeliranja. U nastavku su navedene neke smjernice u cilju potpunijeg korištenja prethodno rezimiranih pozitivnih mogućnosti primjene modeliranja na FS u BiH.

5.0. Kompletiranje baze podataka modeliranja

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. Treba napomenuti i to da kalibracija nije zadatak koji se jednom za svagda izvrši. Tokom vremena može doći do odstupanja između modela i stvarnog sistema, pa se tada ponovo vrši kalibracija.

U vezi sa podacima potrebnim za formiranje baze podataka za modeliranje procesa prerade, treba napomenuti da problem predstavlja i neraspolaganje sa određenim ulaznim podacima, što dovodi do potrebe za njihovim procjenama, najčešće korištenjem uprosječenih podataka iz odgovarajuće literature, te vlastitog iskustva i intuicije samog istraživača. Ovo iziskuje potrebu za dodatnim mjerenjima određenih parametara, kako bi baza podataka parametara modeliranja (Tabela 1) bila kompletnija i pouzdanija. Ono što pretpostavlja efikasniju i pouzdaniju primjenu rezultata modeliranja jesu i kontinuirana mjerenja parametara modeliranja, odnosno dodatna mjerenja sa stanovišta kompletiranja ove baze podataka – umanjeње negativnih efekata korištenja nekih pretpostavki i procjena pri formulisanju baze podataka.

Naime, pri formiranju baze podataka modeliranja sa FS »Crkvice« i FS »Tilave«, s obzirom na nedostatak nekih podataka / mjerenja, korištene su određene procjene. Ovdje se prvenstveno misli na nedostatak mjerenja mutnoće neposredno ispred filtera, kao i mjerenja, odnosno kontrola pada pritiska nakon filtriranja (u podfilterskom prostoru). Prema tome, u cilju kompletiranja baze podataka modeliranja uočena je potreba za dodatnim monitoringom.

5.1. Modernizacija opreme u vodovodnim preduzećima

Ograničavajući element za primjenu modeliranja na FS u BiH svakako je nedovoljna kompjuterizacija sistema. Nažalost mnoge stanice nemaju ni podršku kompjutera, odnosno registracija podataka vrši se ručno. Primjena modeliranja podrazumijeva modernizovanje načina rada u vodovodu, prvenstveno uvođenje računarske tehnike. Uvođenje kompjutera (PC-Personal Computer), je polazni element za uvođenje sistema kontrole i pohranjivanja podataka - na primjer SCADA sistemom, uobičajenim u razvijenim zemljama. Uvođenje ovog sistema jedan je od ciljeva za daljnju automatizaciju, odnosno centralizaciju rada stanica, koji omogućava raspoloživost podataka van granica same stanice.

5.2. Dodatna edukacija kadrova – korisnika modela

Modeliranje pripreme vode za piće u sklopu sistema vodosnabdijevanja svakako podrazumijeva i dodatnu edukaciju i trening osoblja/kadrova uključenog u rad stanice. Obuka korisnika programa, odnosno modela, neophodna je kako bi on mogao kvalifikovano da koristi programe i da kritički analizira rezultate dobijene proračunom, odnosno modelom. Sama grafička interpretacija izlaznih rezultata modeliranja (Slika 2), jedan je od načina olakšanja korištenja modela krajnjem korisniku... Korisnik treba biti obučen da razumije taj rezultat i da odgovarajuće reaguje u cilju eventualne promjene tog rezultata, a u cilju odgovarajućeg poboljšanja.

Činjenica je da, iako su istraživanja u oblasti modeliranja procesa pripreme vode za piće u razvijenim zemljama, u zadnjim decenijama, dosta napredovala nema još velike primjene u praksi (Rietveld, 2005), (van Schagen, 2009). Na tom putu predstoji vrijeme popularizacije, demonstracije pojedinih modela, poboljšanja u standardizaciji u instaliranju, integraciji pojedinih modela, poboljšanju pristupa software-ima i organizaciji obuke za pojedine modelske tehnike.

6. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Praćenje posljednjih dostignuća u oblasti modeliranja procesa pripreme vode za piće preduslov je za realizaciju primjene modeliranja na FS. Ovaj rad predstavlja svojevrsan doprinos uvođenju – omogućavanju i poticanju primjene modeliranja procesa pripreme vode za piće u BiH i šire, bilo u edukaciji, projektovanju, odvijanju samog procesa ili daljnjem fundamentalom istraživanju procesa pripreme vode za piće.

Na bilo kojoj stanici za pripremu vode za piće, ukoliko se ona planira, projektuje, ili je u eksploataciji, definisanjem problematike njenog rada, uzimajući u obzir mogućnosti modela, postoji mogućnost efikasne primjene modela i postizanja odgovarajućeg poboljšanja. U prethodnim poglavljima definisane su, odnosno potvrđene su pozitivne mogućnosti primjene modeliranja iz Stimela okruženja na FS u BiH. Naime, definisana je procedura, odnosno koraci pri primjeni modeliranja procesa konvencionalnog filtriranja. Ovi koraci bi bili manje više slični za slučaj korištenja modela na bilo kojoj drugoj stanici (FS). Dokazano je i da primjena modela znači bolju i efikasniju primjenu podataka koji se prate na stanici, kroz definisanje baze podataka za modeliranje. Dokazano je da primjena modela znači bolje razumjevanje procesa povećanjem uvida kako različiti parametri djeluju na sam proces, posebno na njegove izlazne/kontrolne parametre. Također, koristeći mogućnosti modeliranja, dokazana je mogućnost efikasnijeg korištenja raspoloživih kapaciteta FS (na primjer, izborom odgovarajućeg tipa ispune, odnosno odgovarajućih operacionih parametara). Dokazano je da modeliranje može biti instrument podrške u pripremi vode za piće, maksimalno koristeći raspoložive podatke i instalirane kapacitete, to jest opremu i objekte stanice.

Primjena modeliranja znači podršku procesima prerade bez velikog oslanjanja na iskustvene podatke i skupa pilot istraživanja. Također, prihvatanje modeliranja znači i balansiranje između prethodno navedenih ograničenja i prednosti primjene modeliranja.

LITERATURA

[1] Branislavljević, N. i D. Prodanović (2008): Kalibracija matematičkih modela vodovodnih sistema primenom genetskog algoritma, *Vodoprivreda*, 234-236. s.191-200

- [2] Busuladžić, H. (2009): Konvencionalne metode prečišćavanja voda za piće, *Vodoprivreda*, 237-239, s. 61-68
- [3] Campos, L. C. Campos., Smith, S. R. i Graham, N. J. D. (2006). Deterministic-Based Model of Slow Sand Filtration. I: Model Development i II: Model Application. *Journal of Environmental Engineering* © ASCE, 872-899.
- [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] Đurić, D. (2001). Snabdijevanje vodom za piće. Arhitektonsko građevinski fakultet, Univerzitet u Banja Luci, Banja Luka, str. 232.
- [6] Đurić, D. i drugi (2012): Hidrodinamička analiza Proširenja izvorišta 'Petrovaradinska ada', *Vodoprivreda*, 258-260, s. 265-272
- [7] Ghebremichael, K. i Tipping, J. (2008). Aeration and Gas Transfer - Theoretical aspect. Materijal sa kratkog kursa magistarskog studija Hidroinformatike, UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft, Holandija, 88.
- [8] Graham, N., Buiteman, J.P. i Ghebremichael, K. (2009). Filtration. Materijal nastavne jedinice u sklopu kursa postiplomskog studija: Conventional Water Treatment (koordinatorka: Ghebremichael K.), UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft, Holandija, 141.
- [9] Jaćimović, N., T. Hosoda, M. Ivetić (2009): Analiza pojave nestabilnosti kod dvofaznog strujanja u poroznoj sredini, *Vodoprivreda*, 240-242, s.151-158
- [10] Jegatheesan, V. i Vigneswaran S. (2005). Deep Bed Filtration: Mathematical Models and Observations. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 35, 515–569.
- [11] Jovanović, B., D. Ljubislavljević, Lj. Rajaković (2011): Uklanjanje arsena iz vode adsorpcijom na nekonvencionalnim materijalima, *Vodoprivreda*, 252-254, s. 127-150
- [12] Jusić, S. (2011). Modeliranje konvencionalnog brzog filtriranja. Doktorski rad (mentor: H.Bajraktarević Dobran), Građevinski fakultet Univerziteta u Sarajevu, Sarajevo, 149.

- [13] Kaluđerović, D. (2012): Prilog kalibraciji i i oceni parametara matematičkih modela podzemnih voda, Vodoprivreda, 258-260, s.233-240
- [14] Ljubisavljević, D, V. Rajaković-Ognjanović (2012): Uklanjanje nitrata iz vode za piće primenom biološke denitrifikacije, Vodoprivreda, 258-260, s.163-169
- [15] Majkić-Durusun, B. i drugi (2012): Uticaj opadanja nivoa podzemnih voda na procese starenja vodozahvatnih objekata, Vodoprivreda, 258-260, s.181-189
- [16] Milanović, S. i drugi (2012): Formiranje 3D modela karstnih kanala u zoni isticanja vrela kao podloga za zahvatanje podzemnih voda u karstu, Vodoprivreda, 258-260, s. 160-174
- [17] Olsson, G., Newell, B., Rosen, C. i Ingildsen, P. (2003). Application of information technology to decision support in treatment plant operation. IWA - Water Science and Technology IWA Publishing, Vol. 47, No.12, 35-42.
- [18] Pušić, M. i drugi (2012): Analiza uticaja nekih hidrogeoloških parametara na početni kapacitet bunara sa horizontalnim drenovima, Vodoprivreda, 258-260, s.175-181
- [19] Rietveld, L., Ross, P., Dillon, G. i Dudley J. (2007). Conceptual design modelling framework. TECHNEAU Integrated Project Funded by the European Commission, D 5.4.3, 20.
- [20] 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.
- [21] 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.

APPLICATION STIMELA ENVIRONMENT MODELING TO FILTER STATIONS IN BIH

by

Suvada JUSIĆ

Faculty of Civil Engineering University of Sarajevo, Bosnia and Herzegovina

Summary

Rapid sand filtration is widely used for the potable water treatment plants (DWTP) in Bosnia and Herzegovina (BiH). This article describes the benefits and limitations of using of the rapid sand filter process model from Stimela environment modeling. It is shown effective application of this model through examples of two DWTP in BiH (DWTP »Crkvice« Zenica and DWTP »Tilave« Sarajevo). It has been shown that the application of the model in potable water treatment is a challenge and a way to improve the management, design and understanding of the process. On the end,

there are given guidelines for further research and further contribute to the achievement of good results of the application of modeling in the potable water treatment. Paper gives an overview of the results of original scientific research [1]. This topic is relatively new and unexplored in developed countries. In BiH, and probably in the neighboring area, it presents the first detailed study.

Key words: potable water treatment, modeling, Stimela environment, treatment plant, rapid sand filtration.

Redigovano 08.07.2013.