

Optimizacija procesa ispiranja brzih filtera za kondicioniranje voda

Dalibor Carević, Goran Lončar, Vladimir Andročec

Ključne riječi

brzi filter,
kondicioniranje voda,
ispiranje,
proces,
optimizacija,
fizički model

Key words

rapid filter,
water conditioning,
rinsing,
process,
optimisation,
physical model

Mots clés

filtre rapide,
traitement d'eau,
rinçage,
procédé,
optimisation,
modèle physique

Ключевые слова

быстродействующий
фильтр,
кондиционирование вод,
промывка,
процесс,
оптимизация,
физическая модель

Schlüsselworte

Schnellfilter,
Wasseraufbereitung,
Ausspülung,
Prozess,
Optimierung,
physikalisches Modell

D. Carević, G. Lončar, V. Andročec

Prethodno priopćenje

Optimizacija procesa ispiranja brzih filtera za kondicioniranje voda

Istraživanjem na hidrauličkom fizičkom modelu provedena je optimizacija procesa ispiranja brzih filtera u postrojenjima za kondicioniranje vode. Optimizacija u smislu određivanja minimalnog vremena potrebnog za cjelokupni proces ispiranja pri kome stabilnost podnica neće biti ugrožena, a odnošenje filterarskog materijala će biti minimalno. Rezultati mjerenja na hidrauličkom fizičkom modelu uspoređeni su s rezultatima mjerenja u filterarskom polju na stvarnom uređaju.

D. Carević, G. Lončar, V. Andročec

Preliminary note

Optimizing rinsing process for the rapid water-conditioning filters

The rinsing process optimization for rapid filters of water conditioning plants was conducted by means of an appropriate hydraulic physical model testing. The optimization was aimed at defining the minimum time needed to complete the entire rinsing process without damaging the floor stability, and with a minimum loss of filtering material. The hydraulic physical model test results were compared with measurement results obtained at the filtering field on a real-size device.

D. Carević, G. Lončar, V. Andročec

Note préliminaire

L'optimisation du procédé de rinçage pour filtres rapides de traitement d'eau

L'optimisation du procédé de rinçage pour filtres rapides de traitement d'eau a été faite par essais sur modèle hydraulique physique. L'objectif de cette optimisation a été de définir le temps minimum pour compléter le procédé de rinçage total sans dégâts au niveau de plancher, et avec une perte minimale des matériaux filtrants. Les résultats des essais sur modèle hydraulique physique ont été comparés avec les résultats de mesure obtenus au champs de filtrage d'un dispositif à dimensions normales.

Д. Царевич, Г. Лончар, В. Андрочец

Предварительное сообщение

Оптимизация процесса промывки быстродействующих фильтров по кондиционированию вод

В работе даётся описание того, как исследованием на гидравлической физической модели проведена оптимизация процесса промывки быстродействующих фильтров в установках по кондиционированию воды. Оптимизация в смысле определения минимального времени, необходимого для целого процесса промывки, при котором стабильность помостка не будет угрожена, а вынос фильтровального материала будет минимальным. Результаты измерений на гидравлической физической модели сравнены с результатами измерений в фильтровальном поле на действительном оборудовании.

D. Carević, G. Lončar, V. Andročec

Vorherige Mitteilung

Optimierung des Ausspülungsprozesses von Schnellfiltern für Wasseraufbereitung

Die Optimierung des Prozesses der Ausspülung von Schnellfiltern in Anlagen für Wasseraufbereitung wurde durch Forschung am hydraulischen physikalischen Modell durchgeführt. Die Optimierung hat den Sinn der Bestimmung der minimalen für den kompletten Ausspülungsprozess notwendigen Zeit, wobei die Stabilität der Grundfläche nicht gefährdet wird, und der Abtrag des Filtermaterials minimal bleibt. Die Ergebnisse der Messung am hydraulischen physikalischen Modell sind mit den Ergebnissen der Messung im Filterfeld an der realen Anlage verglichen.

Autori: Doc. dr. sc. **Goran Lončar**; prof. dr. sc. **Vladimir Andročec**, Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, Kačićeva 26, Zagreb; **Vedran Petrov**, dipl. ing. građ., Sveučilište u Splitu Građevinsko-ArHITEKTONSKI fakultet, Matice hrvatske 15, Split

1 uvod

Moderni uređaji za kondicioniranje vode načinjeni su od niza tehnoloških postupaka kojima se kvaliteta vode podiže na zahtijevanu razinu. Cilj optimizacije cjelokupnog procesa kondicioniranja sastoji se od optimizacije rada svakog parcijalnog procesa. Cilj je ovog istraživanja postizanje minimalnog vremena rada brzih filtara u tijeku rada odnosno gravitacijskom procjeđivanju kroz slojeve brzih filtara. S obzirom da tijekom vremena pri gravitacijskom procjeđivanju dolazi do kolmatacije filtarskih slojeva i pada kvalitete vode koja se procijedila kroz njih, potrebno je provesti i proces ispiranja. Prema tome, proces ispiranja smatra se nužnom «smetnjom» u radu sustava zbog čega ga je potrebno vremenski minimizirati. S druge strane treba poštivati i kriterij minimalizacije troškova (iskorištavanje tehnologije i njezine eksploatacije u okviru procesa ispiranja, odnošenja filtarskog materijala) kao i kriterij statičke sigurnosti svih konstrukcijskih elemenata koji čine sustav brzih filtara.

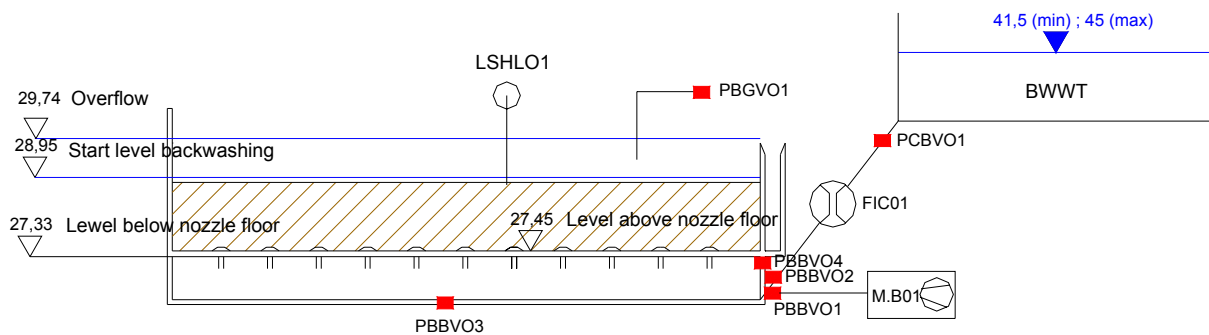
Motivacija ovog istraživanja jest problem podizanja podnica koji se pojavio u probnom radu uređaja za kondicioniranje vode «Butoniga» u Istri. Uređaj za kondicioniranje vode «Butoniga» jedan je od modernijih u Hrvatskoj (dovršen 2002. godine), a u svom cjelokupnom tehnološkom procesu sadrži i proces brze filtracije.

Građevina brzih dvoslojnih filtara izvedena je sa 8 filtarskih polja (A-H) ukupne ploštine 480 m² (60 m² po

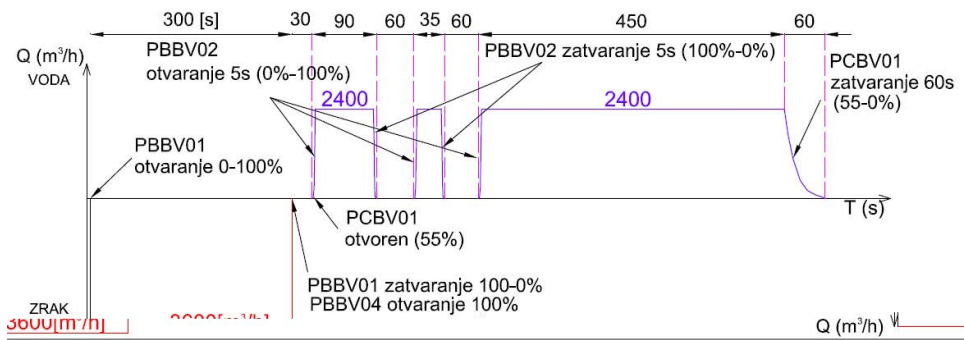
filtarskom polju). Filtarski slojevi nalaze se na armiranobetonskoj ploči (podnici) debljine 12 cm, s kotom gornjeg ruba 27,45 m n.m. Ploča je s dnom na koti 27,33 m n.m. oslonjena na konzolne dijelove monolitne konstrukcije. Ispod ploče na jednoj je strani filtarskog polja izvedeno 8 pravokutnih (20 x 5cm) i 16 kružnih otvora (Φ 6 cm) za odzračivanje površine. Donji je filtarski sloj debljine 0,6 m i sastoji se od pijeska sa srednjim promjerom zrna $D_{50\%} = 0,55$ mm, omjerom $D_{60\%}/D_{10\%} = 1,59$ i gustoćom $\rho_{\text{pijesak}} = 2630$ kg/m³. Gornji je sloj debljine 0,8 m od materijala komercijalnog naziva Aquafilt, kojega je srednji promjer zrna $D_{50\%} = 0,95$ mm, omjer $D_{60\%}/D_{10\%} = 5,62$ i gustoća $\rho_{\text{aquafilt}} = 2070$ kg/m³.

Na slici 1. prikazani elementi imaju sljedeće značenje:

- PBGV01 – dovod vode u vrijeme filtracije (On/Off zatvarač)
- PBBV01 – odvod zraka u vrijeme ispiranja (On/Off zatvarač)
- PBBV02 – dovod vode iz rezervoara u periodu ispiranja (On/Off zatvarač)
- PBBV03 – odvod vode iz komore ispod filtara u vrijeme filtracije (On/Off zatvarač)
- PBBV04 – odvod zraka iz komore ispod filtara u vrijeme ispiranja (On/Off zatvarač)
- M.B01 – uređaj za upuhivanje zraka
- PCBV01 – regulacijski zatvarač
- FIQC01 – mjerac protoka



Slika 1. Shematski prikaz glavnih građevinskih i hidrauličkih dijelova vezanih za proces ispiranje brzih filtara u Tvornici vode «Butoniga»



Slika 2. Shematski prikaz prvobitnoga tehnološkog procesa ispiranja

BWWT – rezervoar vode za ispiranje
LSHL01 – uređaj za registriranje razina vode.

Prvobitni tehnološki proces ispiranja koji je pretpostavio izvođač uređaja za kondicioniranje sadržavao je karakteristične cikluse prikazane na slici 2. Prikazane vrijednosti protoka odnose se na jedno filtarsko polje. Ukupni je broj sapnica u jednom filtarskom polju 3300.

Pri mjerenju tlakova ispod i iznad podnih ploča, u naravi, pokazali su se relativno veliki pomaci podnica ispod filtarskih slojeva brzog filtra i isipavanje filtarskog materijala ispod nje, što je neprihvatljivo zbog traženog uvjeta stabilnosti cijele konstrukcije. Zbog toga su provedena daljnja istraživanja na fizikalnom i numeričkom modelu s kojima se analizirala stabilnost pri različitim uvjetima tehnološkog procesa.

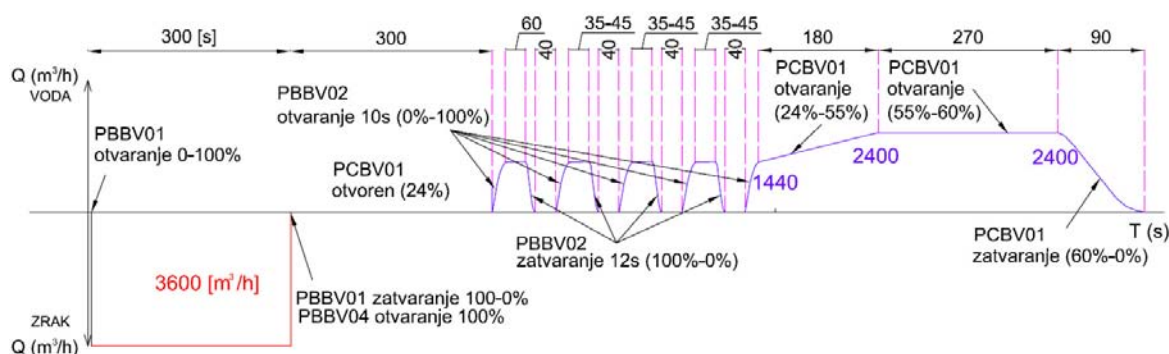
2 Hidraulički fizikalni model

Kako bi se pronašli uzroci registriranih pomaka podnih ploča pri procesu ispiranja u naravi te provela optimizacija samog procesa ispiranja, u Hidrotehničkom labora-



Slika 3. a) ugrađena filtarska sapnica, spojevi piezometara i elektroničkih tlakomjera na fiksno postolje, b) ugrađeni filtarski materijal iznad podnice

Na fizikalnom modelu nije bilo moguće apsolutno točno reproducirati strujanje u komori ispod podnice zato što je ono u postrojenju (u naravi) izrazito složeno. Nije postignuta niti apsolutna sličnost svih dinamičkih efekata koji nastaju pri oscilacijama tlakova, što je nedostatak ovakvog modela.



Slika 4. Nova «optimizirana» tehnološka shema procesa ispiranja

toriju Građevinskog fakulteta u Zagrebu izgrađen je jedinični hidraulički model u mjerilu 1:1 (slike 3. i 4.). Time se omogućilo vizualno promatranje procesa ispiranja te mjerenje odgovarajućih fizikalnih veličina.

Jedno filtarsko polje u naravi ima 60 m² i 3300 sapnica. Jedinični fizikalni model sadrži jednu sapnicu i njoj pripadajući dio filtarskog bazena od 0,018 m². Stijenke modela izvedene su od pleksiglasa da bi kretanje čestica pijeska, vode i mjehura zraka bilo uočljivo. Ugrađena mjerna oprema omogućuje mjerenje tlakova i protoka za stacionarnih i nestacionarnih procesa te protoke vode ili zraka kroz filtarske slojeve. Otvori kroz koje se upuštaju zrak i voda ugrađeni su na postolju kolone sukladno izvedbi građevine u naravi. Iznad ulaznog dijela postavljena je podnica debljine 12 cm u koju je ugrađena i filtarska sapnica. Na modelu su tlakomjeri velike osjetljivosti. Detalji ugradnje filtarske sapnice te spojevi piezometara i elektroničkih tlakomjera na fiksno postolje prikazani su na slici 3.

2.1 Rezultati istraživanja na fizikalnom modelu

Na fizikalnom modelu mjereni su tlakovi ispod p_{ispod} i iznad podnice p_{iznad} pri stacionarnim i nestacionarnim režimima rada ispiranja, kako je to prikazano u tablici 1. Prikazane su vrijednosti ukupnog protoka kroz 3300 sapnica jednog filtarskog polja da bi rezultati bili usporedivi s kasnije prikazanim rezultatima mjerenja u naravi. Stacionarni režimi praćeni su kroz vrijeme od 5 minuta u kojem su zadržavani konstantni protoci vode i zraka. Gubitak filtarskog materijala predstavlja omjer mase materijala koja je iznesena iz modela putem preljeva i inicijalno postavljene mase filtarskog materijala.

Visina između krune preljeva i gornjeg ruba podnice ista je na fizikalnom modelu kao i u Tvornici vode «Butoniga». Pokusima 11-14 obuhvaćeno je istraživanje utjecaja brzine prirasta protoka ispiranja vodom na gubitak filtarskog materijala.

Tablica 1. Provedeni pokusi na jediničnom hidrauličkom modelu i nomenklatura pokusa

Pokus	stacionarno/nestacionarno	Protoci (m ³ /h)		P_{ispod} (kPa)	P_{iznad} (kPa)	Δp (kPa)	gubitak filterškog materijala (%)
		zrak	voda				
1	stacionarno	0	641	29,1	27,2	2,0	0
2	stacionarno	0	891	31,4	29,4	2,1	0
3	stacionarno	0	1069	31,7	29,5	2,2	0
4	stacionarno	0	1675	36,5	34,3	2,2	0
5	stacionarno	0	2257	32,9	30,5	2,4	0
6	stacionarno	0	2851	33,5	30,6	2,9	1
7	stacionarno	0	3445	34,3	30,7	3,6	2
8	stacionarno	3300	1800	41,2	29,4	11,8	6
9	stacionarno	3300	2400	44,1	30,4	13,7	12
10	stacionarno	3300	3600	49,1	30,4	19,1	30
11	nestacionarno (10s)	0	1200-2400				15
12	nestacionarno (60s)	0	1200-2400				5
13	nestacionarno (120s)	0	1200-2400				2
14	nestacionarno (180s)	0	1200-2400				0

Prema statičkom proračunu kritična razlika tlakova ispod i iznad podnice iznosi $\Delta p_{kritično} = 9,5$ kPa.

Na temelju provedenih pokusa na jediničnom hidrauličkom modelu zaključeno je sljedeće:

- Predviđeni protoci vode kroz sapnice, u stacionarnom režimu, neće ugroziti stabilnost podnica. Čak i pri protoku vode koji je 45 % veći (3450 m³/h) od planiranog (2400 m³/s), stabilnost podnice neće biti ugrožena. Odnosnje filterškog materijala preko preljeva pri predviđenom protoku 2400 m³/s iznosi manje od 1 %.
- Koeficijenti filtracije prije fluidizacije imaju vrijednosti $k_{pijesak} = 0,0031$ m/s i $k_{aquafilt} = 0,0037$ m/s
- Fluidizacija filterškog tijela pri ispiranju samo s vodom počinje pri protocima 1300 m³/h, a što je u suglasju s podacima objavljenim u literaturi [4].
- Nakon početka fluidizacije hidraulički otpori kroz taj sloj postaju konstantni s vrijednosti koja približno odgovara težini potopljenog filtra [3,4].
- Pri istodobnom protoku zraka (3300 m³/h) i vode dolazi do ugrožavanja stabilnosti podnice već pri protoku vode od 1200 m³/h, što je samo 50 % od protoka vode predviđenog s početnim tehnološkim postupkom (2400 m³/h).
- U predviđenom tehnološkom procesu regulacijski je zatvarač PCBV01 otvoren 24 % odmah nakon završetka faze ispiranja sa zrakom. Voda se iz rezervoara BWWT pokreće u cjevovod i komoru ispod filterškog polja s brzim otvaranjem On/Off ventila PBBV02 u trajanju od 5 sekundi. Predviđena pauza od 30 s između faze ispiranja sa zrakom i vodom zasigurno nije dovoljna za potpunu evakuaciju zraka iz komora

ispod filterških polja. Početak ispiranja, predviđen za ispiranje samo s vodom, zapravo je ispiranje s mješavinom vode i zraka. Sa On/Off zatvaračima nije moguće potpuno precizno kontrolirati vremena zatvaranja.

- Izražena je ovisnost između brzine prirasta protoka od 1100 m³/h (prije fluidizacije) do 2200 m³/h (nakon fluidizacije) i gubitka filterškog materijala.

2.2 Optimizirana shema tehnološkog postupka ispiranja

Na temelju navedenih zaključaka dobivene su i smjernice za daljnju provedbu analiza vezanih za potrebne izmjene tehnološkog procesa ispiranja:

- Vrijeme pauze između ispiranja zrakom i vodom potrebno je povećati na 300 sekundi.
- On/Off ventil PBBV02 potrebno je zamijeniti regulacijskim ventilom (tip «butterfly») kojim će se omogućiti produljenje vremena otvaranja.
- U razdoblju kratkih pulseva ispiranja vodom nije poželjno prelijevanje preko krune preljeva u odvodni kanal. Prelijevanje u odvodni kanal treba se ostvariti tek u zadnjem dugom pulsu ispiranja vodom [5]. Radi što boljeg stupnja ispiranja potrebno je odrediti maksimalne protoke u kratkim pulsevima ispiranja vodom pri kojima još uvijek neće doći do prelijevanja.
- U zadnjem «dugom pulsu» ispiranja vodom potrebno je odrediti vrijeme u kojem će se dodatno otvoriti zatvarač PCBV01 do stupnja potrebnog za postizanje protoka ispiranja od minimalno 2200 m³/h, a da pri tome ne dolazi do gubljenja filterškog materijala.

Za predloženu «optimiziranu» shemu tehnološkog procesa (slika 4.) provedena je i dinamička analiza maksimalnih protoka u kratkim pulsevima ispiranja vodom pri kojima neće doći do prelijevanja. Analiza je provedena jednostavnim numeričkim proračunom. Proračunom je obuhvaćena i vremenska varijacija razlike tlakova ispod i iznad podnice. Numerički je proračun zasnovan na rješavanju Bernoullijeve jednadžbe za sustave pod tlakom eksplicitnom metodom konačnih diferencija. Proračun je proveden za sljedeće početne i rubne uvjete. Vremenski korak proračuna jest $\Delta t = 0,1$ s.

Punjenje komore ispod podnice do donjnjeg ruba podnice:

- $\xi_{PCBV01}(0) = 100 \rightarrow$ zatvarač PCBV01 («butterfly») otvoren 24 % (slika 5.)
- $\xi_{PBBV02}(0) = \infty \rightarrow$ zatvarač PBBV02 («butterfly») zatvoren
- $Q(0) = 0$ m³/s; $h_{komora}(0) = 27$ m; $h_{rez}(0) = 45$ m; $h_{cijev-komora} = 27,07$ m
- $A_{komora} = 60$ m²; $A_{rez} = 112,4$ m²; $A_{cijev} = 0,283$ m²; $L_{cijev} = 173,5$ m; $D_{cijev} = 0,6$ m; $\lambda = 0,02$ $\xi_{UL} = 0,5$; $\xi_{ARMATURA} = 1,5$
- zatvarač PBBV02 - otvaranje od 0 % do 100 % u 10 s i zatvaranje od 100 % do 0 % u 12 s.

Prekid proračuna kad se dosegne razina

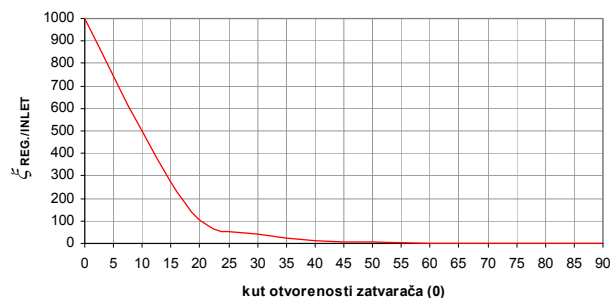
$$h_{komora(0+n\Delta t)} = 27,37 \text{ m.}$$

$$\Delta Q_{(t)} = \frac{h_{rez(t)} - h_{komora(t)} - \frac{Q_{(t)}^2}{2gA_{cijev}^2} \left(\xi_{UL} + \xi_{PCBV01(t)} + \xi_{PBBV02(t)} + \xi_{ARMATURA} + 1 + \lambda \frac{L_{cijev}}{D_{cijev}} \right)}{\frac{L_{cijev}}{gA_{cijev}}} \Delta t \quad (1)$$

$$Q_{(t+\Delta)} = Q_{(t)} + \Delta Q_{(t)} \quad (2)$$

$$h_{komora(t+\Delta t)} = h_{komora(t)} + \Delta h_{komora(t+\Delta t)};$$

$$\Delta h_{komora(t+\Delta t)} = \frac{(Q_{(t+\Delta t)} + Q_{(t)})\Delta t}{2A_{komora}} \quad (3)$$



Slika 5. Krivulja koeficijena lokalnog gubitka za «butterfly» ventile PCBV01 i PBBV01

$$h_{rez(t+\Delta t)} = h_{rez(t)} - \Delta h_{rez(t+\Delta t)};$$

$$\Delta h_{rez(t+\Delta t)} = \frac{(Q_{(t+\Delta t)} + Q_{(t)})\Delta t}{2A_{rez}} \quad (4)$$

Punjenje filtarskih slojeva pijeska i aquafilta vodom

Proračun se nastavlja uz zamjenu jednadžbe (1) jednadžbom (5) u kojoj je uzet u obzir i gubitak tlaka prolaskom kroz filtarske slojeve koji su fluidizirani pri protocima ispiranja $Q_{ispiranja} > 1300$ m³/s (7) kao i gubitak tlaka prolaskom kroz sapnicu (8). Jednadžba (8) dobivena je interpolacijom rezultata mjerenja na fizikalnom modelu za stacionarna stanja (tablica 1.).

$$\Delta Q_{(t)} = \frac{h_{rez(t)} - h_{komora(t)} - A - \Delta h_{filteri(t)} - \Delta h_{podnica(t)}}{\frac{L_{cijev}}{gA_{cijev}}} \Delta t \quad (5)$$

$$A = \frac{Q_{(t)}^2}{2gA_{cijev}^2} \left(\xi_{UL} + \xi_{PCBV01(t)} + \xi_{PBBV02(t)} + \xi_{ARMATURA} + 1 + \lambda \frac{L_{cijev}}{D_{cijev}} \right) \quad (6)$$

$$\Delta h_{filteri} = \frac{300(1 - p_{pijesak})Q_{(t)}^2 L_{pijesak(t)}}{Re^{0,8} p_{pijesak}^3 A_{komora}^2 2gd_{pijesak}} + \frac{300(1 - p_{aquafilt})Q_{(t)}^2 L_{aquafilt(t)}}{Re^{0,8} p_{aquafilt}^3 A_{komora}^2 2gd_{aquafilt}} \quad (7)$$

$$\Delta h_{podnica(t)} = 0,89Q_{(t)}^3 - 1,24Q_{(t)}^2 + 0,63Q_{(t)} \quad (8)$$

$$L_{pijesak(t+\Delta t)} = L_{pijesak(t)} + \Delta h_{komora(t+\Delta t)};$$

$$L_{aquafilt(t+\Delta t)} = L_{aquafilt(t)} + \Delta h_{komora(t+\Delta t)} \quad (9)$$

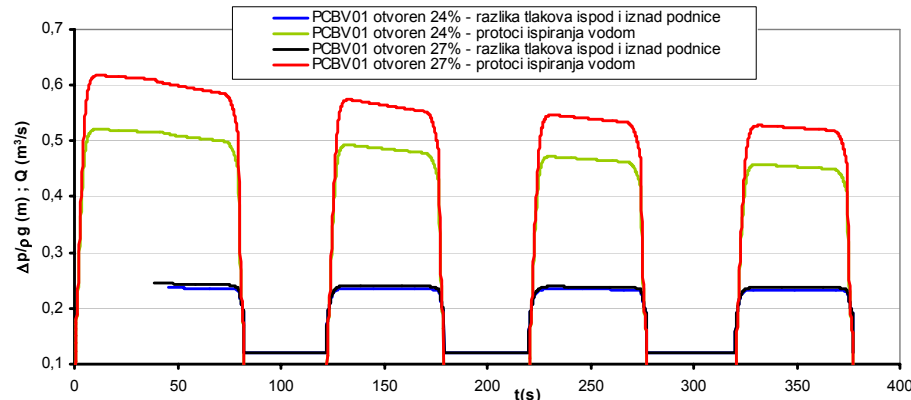
Na slici 6. prikazane su vremenske varijacije protoka i razlika tlakova ispod i iznad podnice za otvorenosti regulacijskog ventila od 24 % (kut otvorenosti 21,6° \rightarrow $\xi_{PCBV01} = 100$) i 27 % (24,3° \rightarrow $\xi_{PCBV01} = 75$). Prikazani rezultati numeričkog proračuna odnose se na prva četiri pulsa ispiranja filtara s vodom. Na slici 7. prikazane su i vremenske varijacije razine vodnog lica u komori također dobivenog na temelju numeričkog proračuna.

Na osnovi rezultata dobivenih numeričkim modelom zaključeno je da se pri protocima do 2200 m³/h neće pojaviti prelijevanje u razdoblju od prva 4 pulsa pranja vodom.

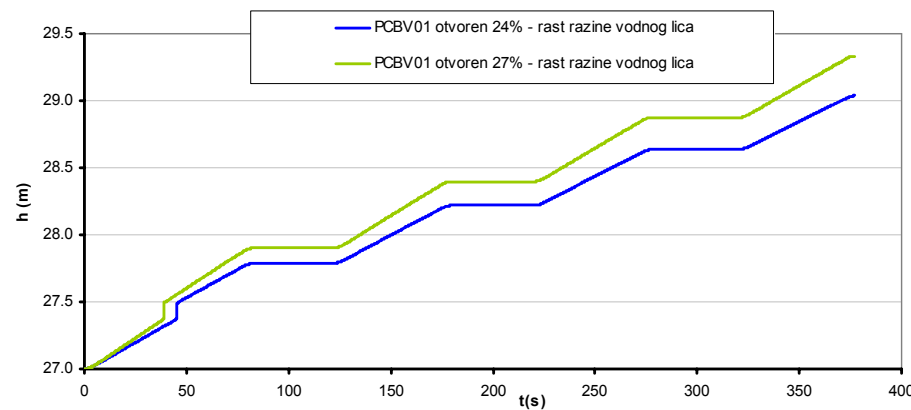
Za mjerenja u naravi primijetilo se da pri upotrebi protoka ispiranja od 2200 m³/h, u prva 4 «kratka» pulsa ispiranja vodom, određena količina filtarskog materijala izbija na površinu te da se jedan dio filtarskog materijala odnosi preko preljeva za «dugog» petog pulsa ispira-

nja vodom. Na fizikalnom je modelu, pri stacionarnom režimu rada utvrđeno da je protok ispiranja od 2200 m³/h granična vrijednost iznad koje se pojavljuje i gubitak filterskog materijala ako dolazi i do prelijevanja. Zbog toga je u konačnoj tehnološkoj shemi za maksimalni

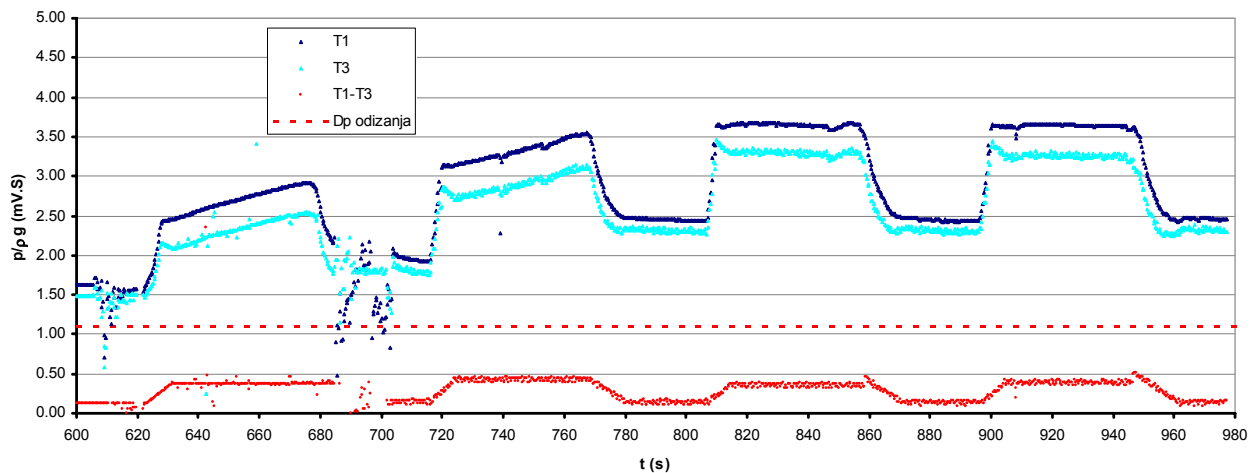
protok ispiranja vodom u prva 4 pulsa usvojena maksimalna dozvoljena vrijednost 1900 m³/s. Na temelju provedenih nestacionarnih pokusa na fizikalnom modelu usvojeno je i minimalno vrijeme od 180 sekundi za otvaranje zatvarača PCBV01 od 24 % do 55 %



Slika 6. Prikaz vremenske varijacije protoka i razlika tlakova ispod i iznad podnice za otvorenosti regulacijskog ventila od 24 % (21,60 → ξ PCBV01 = 100) i 27 % (24,30 → ξ PCBV01 = 75)



Slika 7. Prikaz vremenske varijacije razine vodnog lica u komori dobivenog na temelju provedenoga numeričkog proračuna



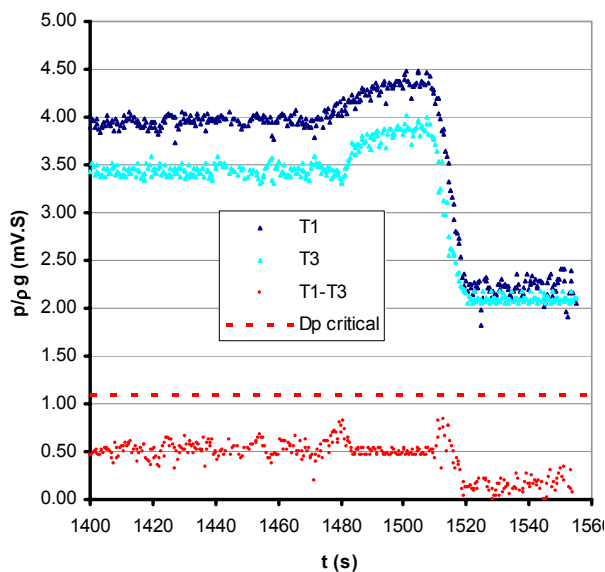
Slika 8. Prikaz vremenske serije izmjerenih tlakova u prva četiri pulsa ispiranja vodom (mjerenje u naravi – prema optimiziranom tehnološkom procesu)

u zadnjem «dugom» pulsu pranja. Takvim odabirom vremena otvaranja, odnosno postupnim povećanjem protoka ispiranja onemogućuje se intenzivno podizanje filterskog materijala prema površini i njegov gubitak pri nastupu prelijevanja.

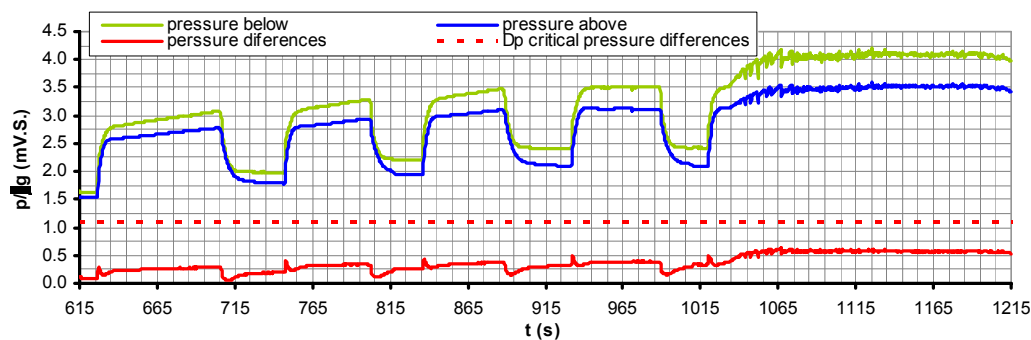
3 Usporedba rezultata mjerenja u naravi, na fizikalnom i na matematičkom modelu

Mjerenje tlakova ispod i iznad podnice u naravi na novom «optimiziranom» tehnološkom procesu ispiranja provedeni su tlakomjerima (T1 i T3) koji su bili postavljeni u sredini filterskog polja. Frekvencija uzorkovanja jest 2 Hz. Na slici 8. je prikaz izmjerenih tlakova u prva četiri pulsa ispiranja vodom, a na slici 9. slijed s kraja petog pulsa.

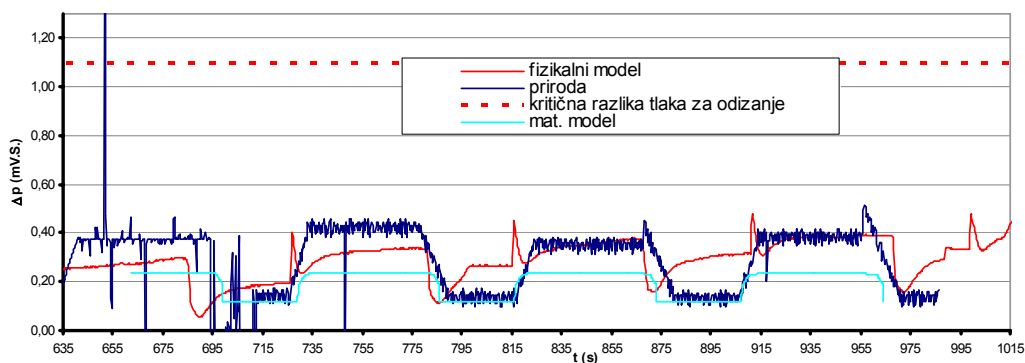
Rezultati mjerenja tlakova ispod i iznad podnice na fizikalnom modelu za novi «optimizirani» tehnološki proces dani su na slici 10. za prva četiri i dio petog pulsa ispiranja vodom.



Slika 9. Prikaz vremenske serije izmjerenih tlakova s kraja petog pulsa ispiranja vodom (mjerjenje u naravi – prema optimiziranom tehnološkom procesu)



Slika 10. Prikaz izmjerenih tlakova za prva četiri i dio petog pulsa ispiranja vodom (mjerjenje na fizikalnom modelu – prema optimiziranom tehnološkom procesu)



Slika 11. Prikaz slijeda izmjerenih razlika tlakova ispod i iznad podnice u prva četiri pulsa ispiranja vodom (mjerjenje u naravi – prema optimiziranom tehnološkom procesu)

Usporedba izmjerenih razlika tlakova ispod i iznad podnice u naravi («Butoniga») i na fizikalnom modelu

LITERATURA

- [1] GFZ – Hidraulčka analiza brzih filtara postrojenja za kondicioniranje vode Butoniga, 2002.
- [2] GFZ – Hidraulčka analiza brzih filtara postrojenja za kondicioniranje vode Butoniga – novi tehnološki proces, 2002.

prikazana je na slici 11. za prva četiri pulsa ispiranja vodom.

4 Zaključak

Dinamika rada tehnološkog procesa ispiranja filtara jest područje od posebne pozornosti u projektiranju pješčanih filtara. Nepravilnom se dinamikom mogu izazvati oštećenja konstrukcijskih dijelova filtara i time načiniti znatne ekonomske štete. Prikazani model ispitivanja, koji uključuje fizikalni i matematički model, dobro opisuje procese u naravi i najjeftiniji je način definiranja rada ispiranja filtara. Razlike u rezultatima mjerenja u naravi i na fizikalnom modelu nastaju zbog nemogućnosti fizikalnog modela da potpuno opiše sve fizikalne procese. Dinamički efekti oscilacija tlakova nastaju inercijskim djelovanjem dovodnog cjevovoda od rezervoara do komore i same komore. Ti efekti nisu prikazani fizikalnim modelom koji je bez dovodnog cjevovoda i smanjene veličine komore. Prikazani je matematički model još ograničeniji što se tiče opisivanja složenih inercijskih djelovanja. Upotreba relativno jednostavnih modela,

matematičkog i fizikalnog, snažan je alat u dimenzioniranju procesa pročišćavanja pješčanih filtara.

- [3] Gulić, I.: *Kondicioniranje vode*, HSGI sveučilišni udžbenik, Zagreb 2003.
- [4] Fair, G. M.; Geyer, J. Ch.; Okun D. A.: *Elements of Water supply and Wastewater disposal*, John Willey & Sons, New York, 1971.
- [5] Twort, A. C.; Law, F. M.; Crowley, F. W.: *Water Supply*, Edward Arnold, 1985.