

ULTRAFILTRACIJA U PRIPREMI PITKE VODE (1. dio)

*Krešimir PEČAR, dipl. ing.
Hrvojka BAJTAL, dipl. ing.*

Svaki napredak tehnološkog stupnja razvoja u različitim poljima ljudskog promišljanja prožet je idejama i naporima generacija stručnjaka. Oni svojim pregalačkim radom i neprestanim usavršavanjem dostupnih tehnologija mijenjaju stvarnost, omogućavajući svakodnevni napredak i približavanje željenom stupnju održivog razvoja Homo sapiensa. Kao i mnoge druge, tako se i tehnologija pripreme pitke vode intenzivno usavršavala kroz posljednja desetljeća. To je omogućilo da se danas već uobičajeno primjenjuje postupak ultrafiltracije za pripremu pitke vode. U članku se daje prikaz te tehnologije s iskustvom njezine ugradnje za pripremu pitke vode bolničkog kompleksa Strmac nedaleko od Nove Gradiške, pri čemu će u ovom, prvom dijelu najprije biti pojašnjene njezine glavne značajke.

Umjesto glomaznih filtarskih postrojenja za pripremu pitke vode koja su opterećena određenim nedostacima (velike dimenzije posuda i armature, razmjerno visoki tlakovi filtracije te s njima povezan povećan gubitak na energiji, filtarska ispunja sklona intenzivnom razvoju neželjenih kolonija bakterija, ispiranju i stvrdnjavanju itd), razvijena je tehnologija ultrafiltracije koja je našla svoje uporište u gospodarskim, ekološkim, globalnim i tržišnim razlozima.

Ultrafiltracija kao tehnika membranske separacije pronalazi sve veću i opsežniju primjenu u raznim industrijskim djelatnostima te tehnologijama prerade vode: za pripremu pitke vode ili za pročišćavanje otpadnih voda.

Lječilišno-zdravstveni kompleks 'Strmac'

Lječilišno-zdravstveni kompleks 'Strmac' smješten je na južnim obroncima Psunja, nedaleko od Nove Gradiške, 1,5 km sjeverno od istoimenog izletišta. Arhitektonski kompleks sanatorija podignut je u blizini potoka Šumetlice, na izduženom platou koji je okružen šumom, dok su prostorne dispozicije sjever - jug (il. 1). Postojeće građevine

i sve dogradnje povezane su u jedinstvenu funkcionalnu cjelinu zajedničke namjene: lječilišno-zdravstveni kompleks, dom za psihički bolesne odrasle osobe i centar za mentalno zdravlje.

Rubni uvjeti vodoopskrbe kompleksa

Vodoopskrba na lokaciji lječilišta se izvodi iz vodozahvata koji se nalazi uzvodno od lokacije bolnice te se voda iz potoka Šumetlica na njemu uzima preko dvije taložnice i vodospreme kapaciteta oko 120 m³ te gravitacijskim cjevovodom od polivinilklorida i promjera DN 125 transportira do bolnice.

Tlak vodoopskrbne mreže na lokaciji bolnice iznosi 5 bar zahvaljujući povoljnoj visinskoj razlici između vodozahvata i bolnice. Voda iz Šumetlice je mikrobiološki neispravna za piće, dok se zbog dotrajalosti i neodržavanja taložnice vodozahvata te njezine filtarske ispune, na izlazu iz nje pojavljuju dodatna fizikalna i kemijska onečišćenja: mutnoća i povišena koncentracija mangana.

O tehnologiji ultrafiltracije

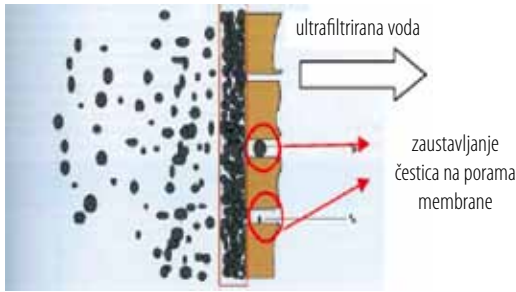
Ultrafiltracija je jednostavan fizikalni proces koji se odvija na porama ispunjenoj membrani (il. 2). Pod niskim tlakom voda koja se filtrira dolazi na membrane, a čestice, mikroorganizmi i organske tvari prisutne u vodi se na njima zaustavljaju. Razlog tome je mikroveličina pora na membranama koja služi kao filtarska barijera.

Sve bakterije, alge, mikroorganizmi, paraziti, gljivice i organske čestice veće od 0,01 μm zaustaju pred membranskim preprekom. Rezultat je vrlo čista voda.

Ultrafiltracijski proces odvija se na kapilarnim, elastičnim vlaknima od polietersulfona (PES) koja

Ilustracija 1
Longitudinalni
lječilišni
paviljon u
kompleksu
Strmac
izgrađen
1958. godine





Ilustracija 2 Shema procesa ultrafiltracije

su gusto pakirana unutar kućišta od neplasticiziranog PVC-a (PVC-U) (il. 3).

Tehnički podaci o uređajima su sljedeći (il. 4):

- kompaktni uređaji s modularnim rasporedom prema potrebama korisnika
- potpuna opremljenost (crpka, predfilter, predtretman, programabilni logički kontroler)
- izvedba cjevovoda od nehrđajućeg čelika ili PVC-a
- komunikacija s drugim sustavima nadzora
- uključena oprema za CIP (eng. cleaning in place).

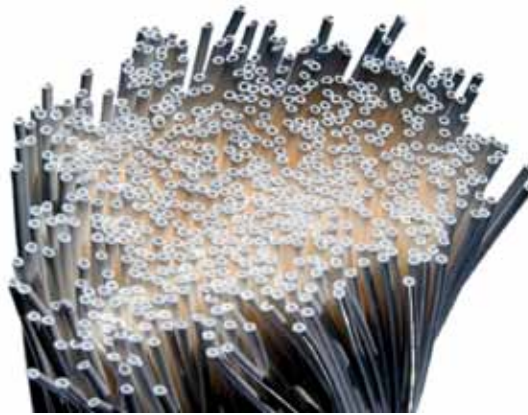
Više je prednosti te tehnologije:

- konstantna kvaliteta vode
- uklanjanje bakterija i gljivica > 7 log
- uklanjanje virusa > 6 log
- mala potrošnja energije
- prihvatljivost za okoliš
- jednostavna za rukovanje i održavanje
- gotovo bez potrošnje kemikalija
- sigurnost i učinkovitost.

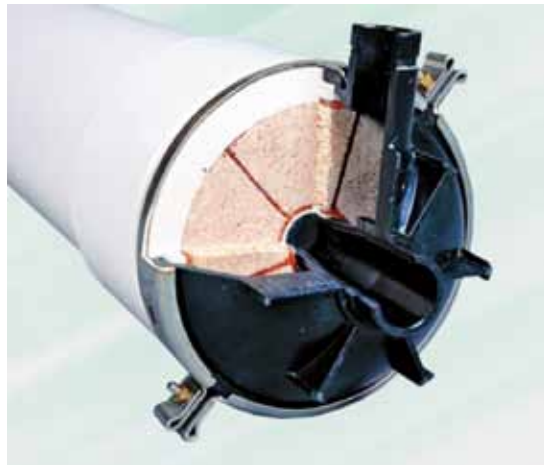
Zašto ultrafiltracija umjesto pješčanih filtera?

Filtracija pješčanim filterima dugo je u svijetu bila metoda za obradu vode bez premca. Simulirajući prirodni tok u kojem voda prolazi kroz slojeve šljunka i pijeska, pješčani filter je pročišćava kroz slojeve pijeska, odnosno filtersku ispunu. To je svojevremeno bio revolucionaran način pročišćavanja pitke vode koji su vremenom kao osnovni način pročišćavanja prihvatile mnoge zajednice i gradovi. Ali, tehnološka unaprjeđenja nose nove dobrobiti u vidu nove tehnologije: ultrafiltracije s nanomembranama.

Danas već postoji mnogo primjera u kojima je ultrafiltracija zamijenila upotrebu pješčanih filtera. To se prvenstveno odnosi na učinkovitost i uklanjanje patogenih mikroorganizama, zauzimanje manje prostora za ugradnju, jednostavnost rukovanja i vođenja te široku mogućnost primjene na mnogim mjestima u lancu postupaka obrade vode.



Ilustracija 3 Kapilarna vlakna od PES-a i kućište od PVC-U-a



Najveća prednost ultrafiltracije je to što, bez obzira na stupanj onečišćenja ulazne vode, filtrirana voda uvijek zadržava istu visoku razinu kvalitete i čistoće. Pješčani filter ne može filtrirati takvom učinkovitošću. Teške kiše, poplave ili druge kontaminacije ulazne vode smanjuju učinkovitost slojeva pijeska pri uklanjanju čestica. Skokovi u mikrobiološkoj opterećenosti takve vode, potkapacitiranost pješčanih filtera ili nedovoljno često ispiranje pijeska na kojem se potom odvija novi mikrobiološki rast rezultiraju samo djelomičnim uklanjanjem patogenih mikroorganizama.

Ultrafiltracija, dakle, uspješno zamjenjuje pješčane filtre u industrijskim postrojenjima i bazenskim kompleksima.

Zbog tehnološke izvedbe nije ovisna o promjeni vanjskih parametara ulazne vode i stoga pruža pouzdanu opskrbu kvalitetnom vodom. ■



Ilustracija 4 Uređaj za ultrafiltraciju



ULTRAFILTRACIJA U PRIPREMI PITKE VODE (2. dio)

Krešimir PEČAR, dipl. ing.
Hrvojka BAJTAL, dipl. ing.

Svaki napredak tehnološkog stupnja razvoja u različitim poljima ljudskog promišljanja prožet je idejama i naporima generacija stručnjaka. Oni svojim pregalačkim radom i neprestanim usavršavanjem dostupnih tehnologija mijenjaju stvarnost, omogućavajući svakodnevni napredak i približavanje željenom stupnju održivog razvoja Homo sapiensa. Kao i mnoge druge, tako se i tehnologija pripreme pitke vode intenzivno usavršavala kroz posljednja desetljeća. To je omogućilo da se danas već uobičajeno primjenjuje postupak ultrafiltracije za pripremu pitke vode. U članku se daje prikaz te tehnologije s iskustvom njezine ugradnje za pripremu pitke vode bolničkog kompleksa Strmac nedaleko od Nove Gradiške, pri čemu će u ovom, drugom dijelu biti riječi o samom tehnološkom rješenju.

Prema Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (NN 47/2008), takva voda mora odgovarati u njemu navedenim kemijskim i mikrobiološkim zahtjevima. Da bi se taj zahtjev mogao ispuniti, vodu iz potoka Šumetlica je prije ulaza u zasebni sanitarni vodoopskrbni sustav bolničkog kompleksa Strmac pokraj Nove Gradiške trebalo obraditi i pripremiti za piće te dodatno dezinficirati.

Ultrafiltracija kao tehnološko rješenje za obradu izvorske vode iz Šumetlice je odabrana na temelju nekoliko čimbenika koji određuju tijek i uspješnost obrade. Oni se prvenstveno iščitavaju iz analize vode, njezinih fizikalno-kemijskih svojstava, zahtjeva za količinom i kvalitetom te mogućnosti maksimalnog iskorištenja okruženja (prostor, gravitacija i sl.) u kojem se nalazi.

Postojeći vodoopskrbni cjevovod koji povezuje vodospremu i bolnicu je izgrađen od cijevi od polivinilklorida s promjerom DN 125 i trenutno služi za kompletnu vodoopskrbu na lokaciji.

Kako je, međutim, analiza vode pokazala neispravnost vode iz potoka za sanitarne potrebe

zbog mikrobiološkog onečišćenja, nužno je bilo razdvojiti linije za protupožarnu i sanitarnu vodu. Tako se napojni cjevovod zadržao kao zajednički na potezu od vodospreme do postrojenja za pripremu pitke vode. Nakon postrojenja i obrade pitke vode, linija sanitarne vode od cijevi od polietilena visoke gustoće s promjerom DN 90 kao zasebna napaja sanitarne prostore, kuhinje i ostale potrebne prostore objekata, dok se postojeći vodoopskrbni cjevovod od PVC-a s promjerom DN 125 na lokaciji zadržava samo u protupožarnoj funkciji i iz njega je uzimanje vode za piće zabranjeno.

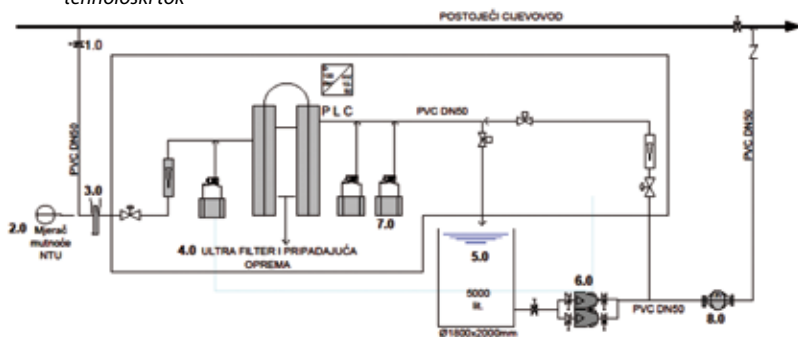
Na temelju dostupnih podataka i navedenog stanja, konstruirano je postrojenje za ultrafiltraciju koje, vodeći računa o sastavu vode i parametrima maksimalne dopuštene koncentracije, može zadovoljiti traženu kvalitetu vode za piće (il. 1, 2 i 3).

Proces ultrafiltracije temelji se na odvajanju polimeriziranih makromolekula i suspendiranih materijala pomoću membranske barijere i razlike tlakova.

Značajke sustava ciljano su određene prema:

- obliku, sastavu i svojstvima ulazne vode
- kemizmu vode (pH, ionska jakost, kinetika reakcije)
- karakteristikama membrane
- tangencijalnom protoku i transmembranskom tlaku (TMP)
- sposobnosti uklanjanja tvari (eng. cutt-off rating)
- vijeku trajanja membrana

Ilustracija 1
Shema sustava i
tehnološki tok



- iskorištenju sustava
- vođenju, rukovanju i održavanju sustava.

Ulazna, izvorska voda opterećena je povećanom koncentracijom suspendirane i huminske tvari, što uzrokuje povećanu mutnoću. Dodatno je mikrobiološki opterećena s različitim udjelom bakterija Enterobacteriaceae i Escherichia. Dodatno, kvaliteta i opterećenost navedenih parametara mijenjaju se u ovisnosti o vanjskom utjecaju temperature i prirodnom kružnom toku vode.

Kontrola ulazne kvalitete vode kojom se vodi automatizirani proces obrade, odvija se putem 'in-line' mjerenja mutnoće. Na osnovi dobivene informacije sustav pokreće jedan od programiranih načina rada (modova) i proizvodnju vode.

Načelno, proces ultrafiltracije i obrade vode podijeljen je u sljedeće korake:

1. predtretman (pripremna obrada)
2. filtracija
3. povratno pranje, odnosno ispiranje
4. dezinfekcija (kloriranje)
5. distribucija.

Predtretman

Ulazna, izvorska voda sadržava suspendirane čestice i pijesak koji se prethodno uklanjaju na mehaničkom, samočišćenju filtru. Značajke filtra, radni tlakovi i vremena filtracije, odnosno ispiranja programirani su za maksimalnu zaštitu membrana od fizikalnog oštećenja, nakupljanja blata i nečistoća u cjevovodu i čepljenja membrana te za neometanu proizvodnju.

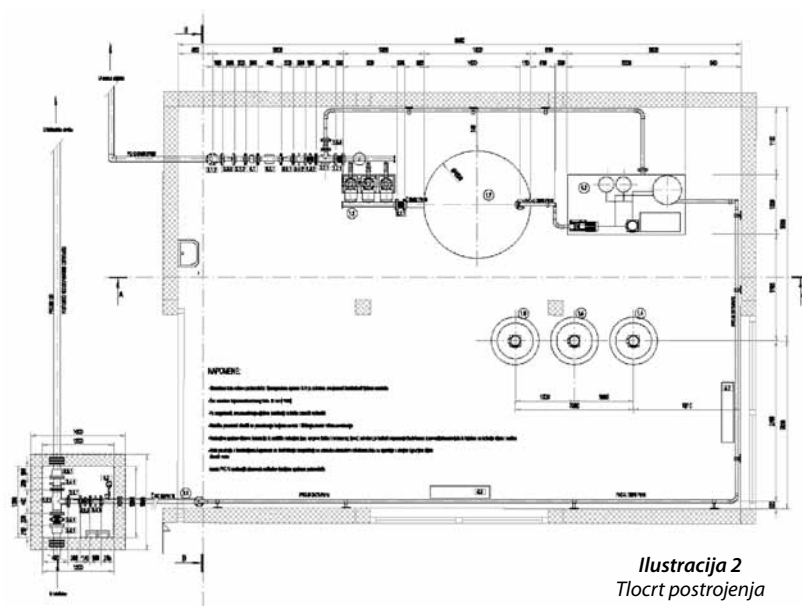
Ovisno o mjerenoj mutnoći, zaštita sustava i membranski fluks održavaju se programiranim doziranjem potrebne količine flokulanta. Smanjujući opterećenje organski otopljene tvari, time se održava učinkovitost membrana i omogućuje 80 - 90%-tni 'cutt off rating' (uklanjanje makromolekula).

'In-line' koagulacija dozira se prema načelu izračuna, tj. odnosu aktivnog metalnog iona koagulantna i otopljenog organskog ugljika (Me/DOC u mg/mg).

Predtretirana voda potom odlazi na sustav membrana ultrafilterskog postrojenja.

Filtracija

Tehnološkim rješenjem za filtraciju je predviđen sustav 3M-UF dizzer XL0.9 MB60-2, dimenzija 2000 × 2000 × 1000 mm (il. 4). Sustav membrana uklanja i filtrira makročestice, odvajajući ih iz vodenog medija prema načelu selektivnosti membrane i razlici tlakova koji se javljaju na njezinoj površini. Rezultat takve obrade je bakteriološki ispravna ultrafiltrirana voda koja zadržava



Ilustracija 2
Tlocrt postrojenja

sve mineralne karakteristike pitke vode i esencijalne ione (kalcij, magnezij, hidrogenkarbonate) koji joj daju vrijednost i okus. Pravilnim odabirom vrste membrana omogućuje se potreban fluks njezinom površinom. Membrane su odabrane prema načelu sastava vode, a uklanjanje čestica odvija se u rasponu 10 - 30 kD (kilo Daltona) molekulske težine (il. 5).

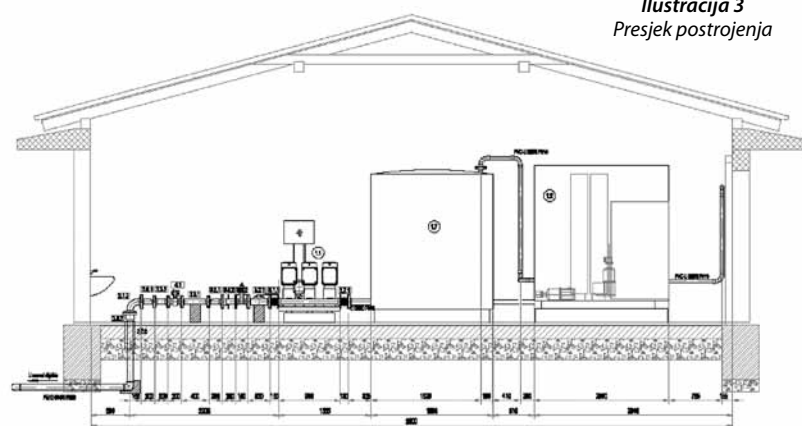
Učinak ultrafiltracije izračunat je na temelju odnosa ulazne vode i izlaznog ultrafiltrata.

Načelo postavljene ultrafiltracije omogućuje visoki stupanj radnog učinka i proizvodnju ultrafiltrata u količini 10 - 15 m³/h.

Optimiranjem protoka preko membrana i proizvodnje ultrafiltrata postignut je ekonomičan odnos jačine crpki i potrošnje električne energije.

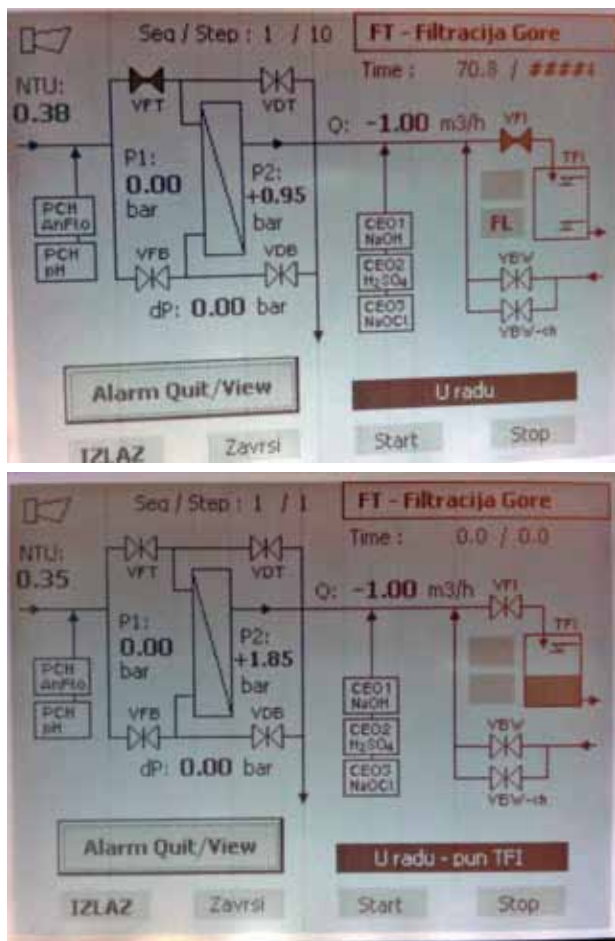
Radni tlak ulazne vode iznosi 2 - 2,5 bar što omogućuje neometanu filtraciju. Kontrola sustava odvija se prema načelu kontrole TMP-a i vremena filtracije.

Tijekom procesa filtracije koji se odvija pod tlakom, ulazni tlak ispred membrane konstantno



Ilustracija 3
Presjek postrojenja

Ilustracija 4
Ekranski prikaz radnog statusa početka ultrafiltracije i zaustavljene proizvodnje (puni spremnici)

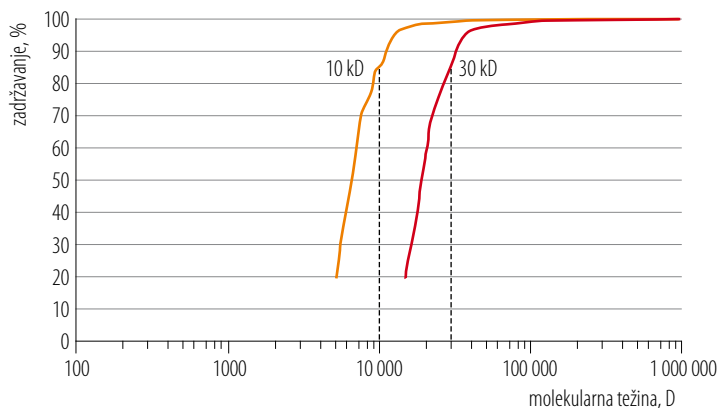


raste stvaranjem taloga na ulaznoj strani membrane.

Pad TMP-a (razlika ulaznog i izlaznog tlaka koji nastaje na površini membrane) od 0,3 bar zaustavlja proizvodnju ultrafiltracije i pokreće automatski programirano pranje ('back wash') sustava.

Također, u ovisnosti od opterećenja vode, sustav je programiran za vremensku filtraciju kojom se regulira količina proizvedenog ultrafiltrata i smanjuje mogućnost čepjenja membrana i zašto u filtraciji uslijed nakupljenog depozita.

Ilustracija 5
Zadržavanje čestica na membranama u ovisnosti o njihovoj molekularnoj težini



Povratno pranje ('back wash') i ispiranje

Općenito, sustav se vodi prema načelu 40 min proizvodnje i 2 x 60 s povratnog pranja na gornjoj i donjoj strani membrane. U načine rada uključeno je i ispiranje sustava te kemijski potpomognuto pranje (CEB). Ono je programirano prema načelu brojača radnih ciklusa filtracije i pokreću se ovisno o zadanim parametrima vode i radnom stanju uređaja. Uključuje doziranje minimalnih količina kemikalija potrebnih za namakanje, odnosno pranje nakupljenog foulinga organskog i anorganskog porijekla na površini membrane. Odabrane kemikalije za CEB-ove su: sulfatna kiselina (36%-tna), natrijeva lužina (49%-tna) i natrijev hipoklorit (12%-tni) za periodičnu dezinfekciju membrana. Svaka od tih kemikalija dozira se preko vlastitog dozirnog sustava, odnosno crpki kojima upravlja programabilni logički kontroler ultrafiltracijskog uređaja. Kao što je već navedeno, CEB-ovi su programirani vremenski i na temelju praćenja parametara sustava, prvenstveno TMP-a (il. 6). Iznimno, CEB-ove je, kao i forsirano pranje, moguće pokrenuti i ručno, odabirom načina manualnog rada na displeju PLC-a (il. 7).

Nakon završetka ultrafiltracijskog ciklusa, voda odlazi u spremnike pitke vode kapaciteta 2 x 5 m³.

Dezinfekcija (kloriranje)

Neposredno na izlazu postavljena je dozirna stanica koja doziranjem NaClO održava dezinfekcijsku ispravnost vode, održavajući potreban rezidual klora u mreži (0,2 - 0,3 ppm slobodnog klora).

Uređaj za dezinfekciju sirove vode se sastoji od spremnika (plastične posude) dimenzija ø650 x 750 mm i volumena 200 l sa zaštitnom kadom dimenzija ø800 x 500 mm te uređaja za doziranje s dozirnom crpkom s ručnom mješalicom, dozirnim ventilom te usisnom košarom s prekidačem razine.

Doziranje otopine NaClO odvija se dozirnim crpkama prema trenutnom protoku sirove vode kroz sustav za filtriranje koji se mjeri magnetskim mjeračem protoka.

Distribucija - automatski regulirani crpni blok

Crpni blok za podizanje tlaka ('booster') se sastoji od tri jednake crpke u hidraulički paralelnom radu na zajedničkom postolju (tablica 1).

Blok je isporučen u kompletu s frekventnim regulatorom broja okretaja crpki, automatikom za potpuno automatski rad (smještenom na zajedničkom postolju s crpkama u gotovi upravljački ormarić), ugrađenim motorskim zaštitama,

regulatorom i svom ostalom potrebnom elektroopremom (tablica 2). Crpke rade automatski, sukladno potrebama sustava pomoću osjetnika tlaka (tlačni senzori). Pomoću hidrostanice se pitka voda distribuira u sustav potrošača.

Zaključak

Sukladno prvim provedenim ispitivanjima kakovće vode za sanitarnu vodoopskrbu bolničkog kompleksa Strmac nakon ugradnje uređaja za pripremu pitke vode, postignuti su zadovoljavajući rezultati po svim ranije ugroženim fizikalno-biološko-kemijskim parametrima.

U tom pogledu, odabrano tehnološko rješenje prema načelu ultrafiltracije omogućuje:

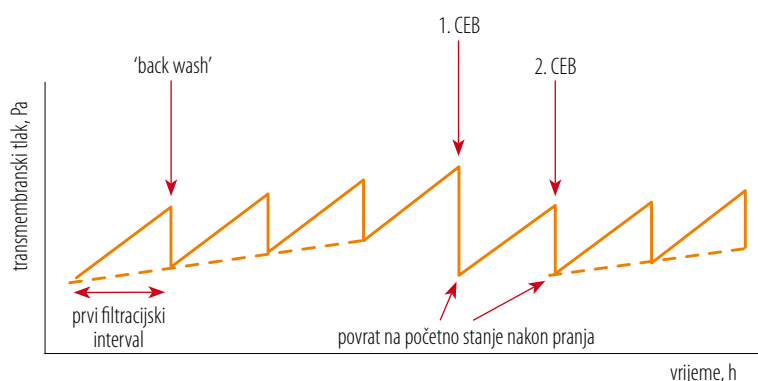
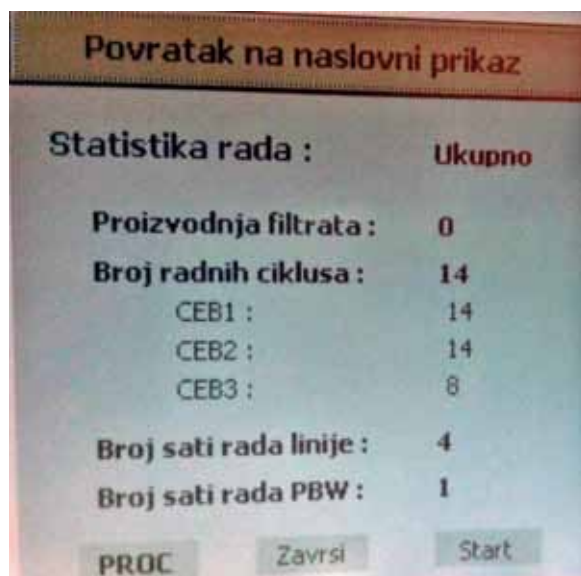
- vodu konstantne i nepromijenjene kvalitete, bez obzira na promjenjivost ulaznih karakteristika (mutnoća, mineralni sastav, organsko opterećenje) jer pore ultrafiltracijskih membrana poput sita iz pitke vode uklanjaju prisutne mikroorganizme (bakterije i viruse) i suspendirane tvari
- veću sigurnost i minimalni utjecaj na okoliš jer, kao čisti mehaničko-fizikalni proces, ultrafiltracija bitno smanjuje potrebu za korištenjem kemikalija u proizvodnji vode ili naknadnoj obradi otpada, zadržavajući potrebnu mineralnu ravnotežu pitke vode
- jednostavno rukovanje i vođenje sustava, kontrolu radnih parametara i održavanje funkcionalnosti postrojenja
- minimalni utrošak energije i prostora, uz maksimalnu učinkovitost
- mogućnost recikliranja i reusa vode (adut zbog kojega će ultrafiltracija vrlo brzo pronaći sve veću uporabu u proizvodnji vode visoke čistoće). ■

Tablica 1 Karakteristike bloka pri radu 2 + 1R

podaci	iznosi
količina dobave Q	1,0 - 8,0 l/s
visina dobave ΔH	3,5 bar
broj okretaja n	2970 min ⁻¹
minimalni ulazni tlak p_{ul}	1,0 bar (aps) (voda iz otvorenog spremnika)
električna snaga crpki (400 V, 50 Hz, 10,0 A, uključivanje DOL, IP55) P_2	2 × 4,0 kW
maksimalni gabariti	900 × 940 × 1115 mm
ukupna masa	oko 250 kg

Tablica 2 Praćenje operativnih parametara - pogonski dnevnik

datum	dogadaj
PIS01	ulazni tlak na vrhu membrane
PIS02	ulazni tlak na dnu membrane
PIS03	tlak filtrata
TMP	transmembranski tlak (razlika PIS01-PIS03)
TS01	temperatura vode
FIC01	ulazni protok
FIC02	protok filtrata
FIC03	volumen povratnog pranja
NTU01	ulazna mutnoća
NTU02	izlazna mutnoća
pH	
ulazni tlak	bar
Index	operativni mod: aut-ručno
F01	doziranje flokulanta
CEB 1	doziranje NaClO
CEB 2	doziranje NaOH
CEB 3	doziranje H ₂ SO ₄
dezinfekcija	doziranje NaClO
ostalo	



Ilustracija 6
Porast TMP-a u ovisnosti o vremenu i karakteristične točke pokretanja pranja i CEB-ova

Ilustracija 7
Prikaz radnih ciklusa pranja i CEB-ova