

POSTROJENJE ZA PREČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA BILEĆA PO 'SBR' TEHNOLOGIJI – REALIZACIJA I EFEKTI PREČIŠĆAVANJA

Nedeljko SUDAR i Momir PERIĆ
Zavod za vodoprivredu, Bijeljina
Dragana ĐOKIĆ-VASIĆ dipl.hem.-master
Institut za vode, Bijeljina

REZIME

Obaveza da se prečišćavanjem otpadnih voda obuhvate i manja naselja (Direktiva o vodama EU za sva naselja preko 2000 stanovnika) nametnula je potrebu da se iznalaze racionalnije tehnologije za postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda (PPOV). Zahtjevaju se sažetiji gabariti i racionalnije izvedbe objekata. Sa objedinjavanjem više tehnoloških operacija u jednom građevinskom objektu teži se da postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda (PPOV) budu što kompaktnija, zauzimaju malu površinu i rade u automatskom režimu. Takvo racionalno PPOV je isprojektovano i nedavno sagrađeno u Bileći. Predviđena je fazna izgradnja postrojenja, za krajnju fazu 15.000 ES. Primjenjena je savremena 'SBR' tehnologija ('Sequencing Batch Reactor'), koja je na minimalnom prostoru (0,86 ha) omogućila realizaciju PPOV visoke efikasnosti, koja sadrži i tercijalni tretman. Postrojenje je pušteno u rad krajem 2011., a ispitivanja pokazatelja prečišćenih voda pokazuju odlične rezultate prečišćavanja. Efekti su bolji od onih koji su traženi strogim kriterijumima, jer se radi o postrojenju koje služi za zaštitu kvaliteta voda Bilećkog jezera, dragocjenog ekosistema koga treba zadržati u stanju oligotrofije. Povoljni su i ekonomski i prostorni pokazatelji za prvu fazu izgradnje od 5.000 ES: jer su projektnim rješenjem postignute znatne uštede u pogonskim troškovima, potrebom za radnim osobljem, površinom za njegov smještaj, uz napomenu da je postrojenje skladno uklopljeno u postojeći prirodni ambijent Bilećkog jezera.

Ključne riječi: prečišćavanje otpadnih voda, „SBR“ tehnologija, tercijalni tretman, Bilećko jezero

1. UVOD

Bilećko jezero ima izuzetan značaj u vodoprivrednom prostoru Republike Srpske. Ono je ključni dio Višenamjenskog hidroenergetskog sistema Trebišnjice,

ali je i dragocjen vodni i ekološki potencijal najvišeg nivoa značajnosti, ne samo za Republiku Srpsku veći i za širi prostor ovog dijela Evrope. Zato je jedan od ključnih zadataka, da se to jezero sa svojom ukupnom zapreminom od 1.277,6 miliona m³ održava u stanju najvišeg kvaliteta, da bi moglo da ispuni sve svoje brojne i vodoprivredne namjene: vodosnabdijevanje, navodnjavanje, poboljšanje režima malih voda, ribolov, turizam, ekološka valorizacija, uređenje prostora, itd. Zbog toga se tim jezerskim sistemom upravlja na integralan način, od kojih je jedan od ključnih ciljeva i održavanje jezera u stanju najvišeg kvaliteta–oligotrofiji.

Da bi se taj cilj ostvario, jedan od bitnijih zadataka je bio prečišćavanje otpadnih voda najvećeg koncentrisanog zagađivača jezera – grada Bileće Postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda koje je izgrađeno 1967. godine zbog neodržavanja, u lošim ekonomskih uslovima, cijene vode koje ne pokrivaju ni troškove proste reprodukcije, ubrzo je bilo potpuno devastirano (slika 1.). Posljedice su bile: ispuštanje otpadnih voda grada Bileće neposredno u akumulaciju, uz sve ekološke posljedice takvog stanja. Zbog toga su najprije rađene studije i elaborati o mogućnostima revitalizacije devastiranog PPOV, ali se od toga odustalo, jer je ocijenjeno da je to gotovo neizvodljiv zadatak. Procijenjeno je da bi troškovi obnove prevazišli izgradnju novog PPOV, sa upitnim kvalitetom prečišćavanja prema zastarjeloj tehnologiji. Zbog toga je odlučeno da se pristupi projektovanju i realizaciji novog postrojenja, uz primjenu najsavremenijih racionalnih tehnologija, koje su u međuvremenu razvijene u svijetu i koje se tek počinju primjenjivati na našim prostorima. Projekat novog postrojenja je 2008. godine uradio Zavod za vodoprivredu iz Bijeljine. Izgradnja PPOV započela je u novembru 2010. godine (investitori: Hidroelektrane na Trebišnjici, Vlada Republike Srpske i Svjetska Banka; izvođač radova: Higma d.o.o. iz Bijeljine; projektni i izvođački nadzor: Zavod za vodoprivredu iz

Bijeljine i Hidroelektrane na Trebišnjici iz Trebinja). Postrojenje je otpočelo sa probnim radom i stabilizacijom tehnoloških procesa prečišćavanja u avgustu 2011. godine. Zapaža se da je PPOV izgrađeno u rekordno kratkom roku, za samo 8 mjeseci. Nakon dva mjeseca probnog rada PPOV, izvršena su potrebna ispitivanja i usklađivanja ugrađene opreme na primarnom i sekundarnom tretmanu, a nakon toga i na terciarnom tretmanu (filtraciji), i na kraju na liniji za prinudnu dehidraciju viška mulja. Nakon toga je PPOV stabilizovalo efektivnost, pa se moglo pristupiti analizi pokazatelja učinka procesa prečišćavanja. U članku će biti prikazani ključni pokazatelji projektnog rješenja primjenjene tehnologije prečišćavanja, tehničkih rješenja koja su obezbjedila ekonomsku racionalizaciju pogonskih troškova i osnovne pokazatelje ostvarenog stepena prečišćavanja, iz kojih se vidi da se radi o postrojenju koje je veoma racionalno i efikasno u radu.



Slika 1. Staro postrojenje u Bileći

2. PROJEKTNO RJEŠENJE POSTROJENJA PO 'SBR' TEHNOLOGIJI

Kod razrade projektnog rješenja postrojenja korišćeni su: Urbanistički plan Bileće 2002–2015., raspoloživa tehnička dokumentacija, pravilnici, uredbe i Smjernice vodoprivrednih organa RS, literaturni, kao i podaci prikupljeni na terenu obilaskom i anketiranjem pojedinih stručnih službi u gradu Bileći. Prikupljeni podaci sa terena bili su okvirni i nedovoljni, pa je Projektant zatražio od nadležnog Ministarstva poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede Republike Srpske dodatna pojašnjenja u smislu dobijanja vodoprivrednih Smjernica – vodoprivrednih uslova za izradu projektnog dokumentacije. Uslovi iz Smjernica u potpunosti su definisali potreban kvalitet prečišćene vode koji se mora obezbjediti, da bi se prečišćena voda mogla upustiti u recipijent–Bilećko jezero.

Smjernice su date uz poštovanje osnovnih odredbi Zakona o vodama Republike Srpske, a posebno odredbi iz slijedećih podzakonskih akata: • Pravilnika o uslovima ispuštanja otpadnih voda u površinske vode (Sl. glas. RS br. 44/01), • Pravilnika o uslovima ispuštanja otpadnih voda u javnu kanalizaciju (Sl. glas. RS br. 44/01), i • Uredbe o klasifikaciji voda i karakterizaciji vodotoka (Sl. gl. RS br. 02/01).

Pored navedenih uslova, koji su pri projektovanju PPOV Bileća u potpunosti ispunjeni, sagledana su i predložena rješenja (u skladu sa Zakonom o vodama i Okvirnoj direktivi o vodama 2000/60/EC) za slijedeće specifične uslove: • urbano područje grada Bileće dijelom pripada zonama sanitarne zaštite izvorišta „Vrelo Trebišnjice“, pa je u skladu sa tom činjenicom potrebno izvršiti tretman svih otpadnih voda grada i industrije u skladu sa “ Pravilnikom o mjerama zaštite, načinu određivanja i održavanja zona i pojaseva sanitarne zaštite, područja na kojima se nalaze izvorišta, kao i vodnih objekata i voda namjenjenih ljudskoj upotrebi (Sl. glas. RS br. 07/03)”; • urbano područje grada Bileće dijelom pripada neposrednom slivu akumulacije „Bilećko jezero“, pa je u skladu sa tom činjenicom potrebno izvršiti primarni tretman oborinskih voda. U tom smislu je minimum zahtijeva uklanjanje pijeska, masnoća i ulja iz oborinske vode prije ispuštanja u akumulaciju.

Osnovni pokazatelji o planskim elementima vezanim za broj stanovnika, korišćeni su iz Urbanističkog plana Bileće, ali su provedene i dodatne demografske analize. Polazna osnova za projekciju broja stanovnika u projektnom periodu bila je analiza trenda kretanja stanovništva, te intenzivne promjene i migracije izazvane ratnim dejstvima, koje su uticale na cjelokupni društveno-ekonomski razvoj grada i opštine. Projekcija broja stanovnika sačinjena je na osnovu analize komponenti prirodnog kretanja stanovništva (nataliteta, mortaliteta i prirodnog priraštaja) i mehaničkih karakteristika (migracija) u dosadašnjem periodu, te na osnovu sljedećih pretpostavki o njihovom kretanju u planskom periodu: • u gradu Bileći u planskom periodu ostvariće se postepeni oporavak privrede; • obezbjediće se uslovi za povratak izbjeglog i zbrinjavanje raseljenog stanovništva; • zaustaviće se pad stope nataliteta; • u planskom periodu stopa mortaliteta će biti manja, i • u planskom periodu održavaće se stopa prirodnog priraštaja. Na osnovu usvojenih pretpostavki i analize komponenti prirodnog priraštaja u Tabeli 1. data je kratkoročna projekcija broja stanovnika za Bileću do 2020. godine.

Tabela 1. Projekcija broja stanovnika za Bileću 2011-2020. godina

Područje	Broj stanovnika		
	2011.	2015.	2020.
Opština	16.369	17.023	17.680
Ostala naselja	5.719	5.724	5.730
Grad	10.650	11.299	11.950

Bileća je do 1992. godine imala veoma razvijenu industriju, koja se prije svega odnosila na tekstilnu i metaloprerađivačku granu. Grad je imao značajne prerađivačke kapacitete, a najvažniji su bili: „Bilećanka“ (tekstilna industrija); „Kovnica“ (metaloprerađivačka industrija); „Žitoprodukt“ (prehrambena industrija) i GP „Viduša“ (oblast građevinarstva). Pored navedenih preduzeća bilo je razvijeno i ugostiteljstvo, kao i trgovina na malo i veliko. Međutim, sa promjenama koje su nastale tokom ratnih događanja, došlo je do značajne stagnacije u svim privrednim kapacitetima, zastoja u proizvodnji, a time i u razvoju novih tehnologija i praćenju savremenih dostignuća.

I danas postoje navedene firme, ali njihov uticaj na grad, pa i opštinu je veoma mali, iako postoje pozitivni pomaci i pokušaji u obnovi, revitalizaciji starih prerađivačkih i proizvođačkih kapaciteta.

Predtretmani upotrebljenih voda vršeni su u tekstilnoj industriji „Bilećanka“ i metaloprerađivačkoj industriji „Kovnica“. U Bilećanki su 1962. godine bili izgrađeni samo egalizacioni bazeni, a potom 1976. godine kompletno postrojenje za predtretman industrijskih otpadnih voda (slika 2.) i to: linija za tretman otpadnih voda koje nastaju u procesu pranja vune i linija za predtretman otpadnih voda koje nastaju od bojenja tekstilnih proizvoda.



Slika 2. Postrojenje za predtretman, AD "Bilećanka"

Trenutno su obje linije postrojenja za predtretman konzervirane i djelimično devastirane, ali bi se za relativno kratko vrijeme mogle ponovo pustiti u pogon, ukoliko dođe do pokretanja proizvodnje.

Na osnovu navedenih pokazatelja o količinama i predtretmanima, može se zaključiti da nema značajnijih količina industrijskih otpadnih voda, niti aktivnih predtretmana. Ipak, prilikom proračuna ukupnog kapaciteta postrojenja, u obzir će se uzeti razvoj potencijalnih industrijskih kapaciteta.

U pogledu monitoringa kvantiteta i kvaliteta otpadnih voda, prema podacima dobijenim od nadležnih iz JP „Vodovod“ a.d. Bileća, ne postoje nikakve fizičko-hemijske analize o kvalitetu otpadnih voda, kao ni mjereni podaci o njihovoj količini. Na osnovu uvida na terenu i procjena iz komunalnog preduzeća Bileća, usvojena je prosječna dnevna količina otpadnih voda koje dolaze do Postrojenja u iznosu od 15 L/s, što je potvrđeno i naknadnim mjerenjima.

Imajući u vidu sve naprijed iznesene podatke i činjenicu da su otpadne vode koje će dolaziti na gradsko postrojenje praktično sanitarnog porijekla, a da o njima ne postoje detaljni mjereni podaci, može se konstatovati da su se pri projektovanju postrojenja za tretman upotrebljenih voda grada Bileće koristili literaturni podaci karakteristični za naselja bez značajne industrije u kojima preovlađuju sanitarne otpadne vode. Usvojeni literaturni podaci za opterećenje otpadnih voda koje nastaju od stanovništva dati su u Tabeli 2.

Tabela 2. Specifično zagađenje otpadne vode po stanovniku i danu

Parametar	Otpadna voda	Koncentracija
BPK5	60 grBPK5/St.d	250 mgO ₂ /L
HPK	120 grO ₂ /St.d	400 mgO ₂ /L
Susp. materije	70 gr/St.d	300 mg/L
Azot-N	11 grN/St.d	50 mgN/L
Fosfor- P	2,5 grP/St.d	12 mgP/L

Kroz dodatno provedene analize količina pitke voda koja se crpi iz vodozahvata-pitkih voda koje koriste domaćinstva, može se konstatovati da su dobijeni pokazatelji u potpunom neskladu sa savremenim stremljenjima o potrošnji pitke vode. Prema raspoloživim podacima vodovoda Bileća, na godišnjem nivou isporučuje se prosječna količina pitke vode u iznosu od 85 L/sec, dok je na glavnom kolektoru kod postrojenja količina otpadnih voda cca 15 L/sec.

Ovakvo stanje se može objasniti na više načina, ali jedan od najvjerojatnijih je činjenica da je vodovodna mreža stara, sa gubicima i do 60%. Pored toga i kanalizaciona mreža je na pojedinim trasama stara skoro 100 godina, što ukazuje i na mogućnost velikih gubitaka u kanalizacionoj mreži. Iz svega proizilazi da je stvarno stanje, odnosno količina upotrebljenih voda domaćinstava i industrije, koja u principu radi 10-20% nekadašnjih kapaciteta, nepoznata i da se ne može osloniti ni na kakve relevantne podatke. Današnja tendencija potrošnje pitke vode u EU kreće se od 100-140 L/st. dan.

Bez obzira na navedene pretpostavke sa sigurnošću se može usvojiti da će se nakon rekonstrukcije kanalizacione mreže i računajući na postepeno oživljavanje industrije, za prvu fazu izgradnje novog postrojenja (5000ES), specifična produkcija upotrebljenih voda po stanovniku i danu iznositi:

$$q_{\text{usv. spec.}} = 200 \text{ L/st. dan}$$

Ova veličina odstupa od naprijed datih svjetskih standarda, ali njena struktura u našim uslovima življenja se može rasčlaniti na sljedeće parametre:

- 140 L otpadna voda od stanovništva
- 40 L upotrebljena voda od industrije
- 20 L infiltrirana količina vode

Gradska kanalizaciona mreža Bileće je mješovitog tipa, na nju je priključeno cca. 40% gradskog stanovništva, tako da u budućnosti predstoji jedan veoma važan i složen posao, a to je razvoj sistema i razdvajanje oborinske i kanalizacije otpadnih voda. Priključivanje domaćinstava na nove kanalizacione kolektore će biti fazno, u zavisnosti od razvoja sistema, a o perspektivnom razvoju industrije nema pouzdanih planskih podataka.

Na osnovu poznatih činjenica usvojeno je da se, kao osnovni zadatak postavi izgradnja gradskog postrojenja za prečišćavanje upotrebljenih otpadnih voda, potom izgradnja separtanog i razvoj kanalizacionog sistema na urbanom području grada Bileće. Shodno realizaciji navedenih zadatka dograđivaće se i samo postrojenje, koje je podijeljeno na tri faze od po 5.000 ES, (ekvivalentnih stanovnika).

Imajući u vidu prethodna razmatranja i usvojene parametre opterećenja dobijena je ukupna količina upotrebljenih voda koja se može očekivati na postrojenju:

$$Q_1 = 1.000 \text{ m}^3/\text{dan} \quad \text{I faza, (početak gradnje)}$$

$$Q_2 = 3.000 \text{ m}^3/\text{dan} \quad \text{III faza, (krajnja faza)}$$

Za prvu fazu izgradnje karakteristične veličine protoka su:

$$Q_{\text{sr}} = 42 \text{ m}^3/\text{h} \quad (24\text{h})$$

$$Q_{\text{max/h}} = 83 \text{ m}^3/\text{h} \quad (12\text{h})$$

Za krajnju fazu izgradnje, (III faza) karakteristični protoci su:

$$Q_{\text{sr}} = 125 \text{ m}^3/\text{h} \quad (24\text{h})$$

$$Q_{\text{max/h}} = 188 \text{ m}^3/\text{h} \quad (16\text{h})$$

Uredbom o klasifikaciji i kategorizaciji vodotoka, prema klasifikaciji kvaliteta površinskih voda Republike Srpske, površinska akumulacija Bilećko jezero je svrstana u 2. klasu vodotoka. Stanje Bilećke akumulacije, kada je u pitanju kvalitet vode u posljednje vrijeme je sve kritičnije zbog neadekvatne kontrole koncentrisanih zagađivača i velikih oscilacija nivoa jezera (i do 40 metara) u hidrološki sušnim godinama. Alarmantan je i podatak da je u sušnom periodu, u posljednje vrijeme počelo da se pojavljuje cvjetanje jezera, što je prvi pokazatelj pogoršanja kvaliteta vode akumulacije i procesa eutrofikacije. Da bi se adekvatno odgovorilo postavljenim zahtjevima, konačno rješenje predloženog sistema prečišćavanja upotrebljenih voda treba projektovati za navedene specifične uslove koje posjeduje Bilećko jezero, koje kao vještačko vodno tijelo (jako modifikovano) pripada „osjetljivim područjima“, odnosno područjima koja su jako osjetljiva na zagađenja vode, pa su i uslovi kvaliteta tretirane vode koja se upušta, posebno propisani. Iz navedenog razloga nije se dovoljno zadržati na sekundarnom tretmanu upotrebljenih voda, nego je potrebno predvidjeti i tercijarni tretman kojim bi se sa sigurnošću redukovali svi prisutni parametri zagađenja.

Prateći savremene postupke i tehnologije prečišćavanja sanitarnih upotrebljenih voda, osnovni i sada najčešće primjenjivani postupak tretmana je biološki, sa aktivnim muljem (mikroorganizmi), uz prinudni unos kiseonika u upotrebenu vodu pomoću komprimovanog vazduha. Glavni parametri zagađenja koji se nalaze u rastvorenom ili ne rastvorenom stanju redukuju se u tretiranoj upotrebnoj vodi ugradnjom u ćelijsku masu mikroorganizama ili se hemijski prevode u nerastvoreno stanje i u vidu taloga zajedno sa viškom aktivnog mulja evakušu iz tretirane vode. Principi tretmana upotrebljenih voda su slični, samo je pitanje vrste upotrebljenog hemijskog sredstva za precipitaciju

fosfora, načina unosa i transfera kiseonika u upotrebijenu vodu kao i povezanosti tehnoloških postupaka koji se odvijaju sukcesivno jedan za drugim.

Usvojena je koncepcija tretmana upotrebljenih voda modifikovanim „SBR“ postupkom koji se sastoji od slijedećih objekata i opreme:

- grube rešetke,
- fine rešetke,
- aerisanog pjeskolova sa odjeljivačem ulja i masti i silosom za prihvata izdvojenog materijala,
- retezije za oborinske i upotrebljene vode, na lokaciji PPOV Bileća,
- bioreaktora sa selektorom, difuzorima i dekanterom,
- kompresorskih stanica sa duvaljkama,
- otvorenih brzih gravitacionih filtera sa retezijama i mjeračem proticaja,
- bazena za prihvat i doziranje svih diskontinuirano nastalih otpadnih voda na postrojenju,
- stanica za pripremu i doziranje rastvora za precipitaciju fosfora, kontaktnu filtraciju i dehidraciju viška mulja,
- ugušćivača viška mulja,
- objekta za prinudnu dehidraciju viška mulja sa uređajem za prinudnu mašinsku, dehidraciju,
- komandnog objekta sa laboratorijom, komandnom sobom i prostorom za smještaj hemikalija,
- elektro-motornog razvoda, nadzorno-upravljačkog i daljinskog upravljanja sistemom SCADA.

Mehanički tretman, kao i tretman viška mulja je dimenzioniran i izveden za kapacitet krajnje faze, kao i prateći objekti, dok je biološki tretman podijeljen po fazama, od po 5000 ES.

Tehnološka šema uređaja za prečišćavanje upotrebljenih voda stanovništva i industrije urbanog područja Bileće, 3×5000 ES, sa svim elementima tehnološkog ciklusa i objektima postrojenja, prikazana je na slici 9.

„SBR“ tehnologija (engleski „Sequencing Batch Reactor“) trenutno predstavlja najzastupljeniju metodu biološkog tretmana sanitarnih i predtretiranih industrijskih otpadnih voda. U principu radi se o klasičnoj metodi tretmana otpadnih voda sa aktivnim muljem i dubinskom aeracijom, ali sa modifikovanim i prilagođenim objektom za biološki tretman, pri čemu se tri glavne tehnološke operacije odvijaju u jednom građevinskom objektu, a time se postiže značajna ekonomska i prostorna racionalizacija postrojenja. Tehnološke operacije u biorektoru se odnose na:

- proces punjenja i aeracije, (2h)
- proces taloženja i bistrenja tretiranih upotrebljenih voda, (1h)
- proces dekantacije izbistrenih voda (1h)

Praktično, radi se o biološkom rektoru koji se koristi i kao taložnik uz sekvencijalno, tj. naizmjenično punjenje i pražnjenje dva identična bazena u kojima jedan ciklus tretmana otpadnih voda traje 4 sata. Na taj način imamo dvije linije u kojima se naizmjenično odvijaju biološki procesi, pri čemu svaki reakcioni bazen ima dvanaestočasovno punjenje i aeraciju otpadnih voda, dok druga polovina dana otpada na druge dvije operacije, taloženje i dekantaciju tretiranih otpadnih voda. Postoji više varijanti SBR sistema koje su zavisno od korisnika modifikovane i prilagođene raznim nivoima tretmana, pri čemu je biološki rektor (slika 3.) podijeljen na dva dijela od kojih je jedan manji i predstavlja tzv. 'selektor', a drugi veći i predstavlja 'glavni bioreaktor'. Bioreaktori su korisne zapremine $V=800\text{m}^3$, unutrašnjih dimenzija $20\times 10\times 5\text{m}$, snabdjeveni su difuzorima vazduha (2×120 komada) koji su raspoređeni po cijeloj površini bazena, pumpama za recirkulaciju aktivnog mulja, kao i uređajima za dekantaciju izbistrene vode, koji su specijalno konstruisani da mogu kontrolisano da odvede izbistrenu vodu bez plivajućih materija i povlačenja istaloženog mulja. U bazenu se preko sonde za mjerenje koncentracije kiseonika kontroliše njegov sadržaj i unos, podešava dinamika i kapacitet rada duvaljki, čime se utiče na što racionalnu potrošnju električne energije, pomoću automatskog podešavanja i upravljanja sistemom SCADA. Intenzivnom i produženom aeracijom u periodu punjenja bioreaktora postižu se pozitivni efekti procesa nitrifikacije i redukcije sadržaja organskog zagađenja, kao i ugradnja dijela fosfornih jedinjenja u ćelijsku građu mikroorganizama. Tu se istovremeno vrši i recirkulacija aktivnog mulja pri čemu se suspenzija aktivni mulj-voda vraća na početak bazena označenog kao selektor u kome se odvija proces denitrifikacije i intenzivnog mješanja sa novom sirovom otpadnom vodom. U selektoru je uspostavljena anoksidna zona u kojoj se odvijaju procesi redukcije nitratnih jedinjenja do elementarnog azota, kao i djelimično povratno otapanje fosfora iz ćelijske mase mikroorganizama, koje je manje od mase fosfora koji se ugrađuje u ćelijsku građu u procesu intenzivne aeracije.

Nakon prolaska otpadne vode kroz selektor i mješanja sa suspenzijom povratnog aktivnog mulja, masa ulazi u glavni bioreaktor u kome se odvija proces nitrifikacije i

razgradnja rastvorenih organskih materija u procesu produžene aeracije. Tok otpadne vode iz selektora ka bioreaktoru je laminaran i miješanje otpadne vode i aktivnog mulja je spontano potpomognuto komprimovanim vazduhom, koji se unosi u reaktor pomoću duvaljki niskog pritiska i sistema pulsirajućih, perforiranih gumenih membrana.

U slučaju nedovoljnog uklanjanja prisutnih fosfornih jedinjenja iz otpadne vode biološkim postupkom, predviđena je mogućnost doziranja rastvora $FeCl_3$ kao pomoćnog sredstva za hemijsku precipitaciju istih. Zavisno od odabranog izvođača radova za izvođenje kompletnog postrojenja i usvojenog sistema modifikovane SBR tehnologije, čiji je on nosilac biće prilagođeni svi detalji vođenja tehnološkog procesa prečišćavanja otpadnih voda, sa posebnim osvrtom na procese nitrifikacije, denitrifikacije i uklanjanja fosfornih jedinjenja iz otpadnih voda. Kompletan proces tretmana otpadnih voda u bioreaktoru vodi se automatski preko instalisanih PLC elemenata sa posebnim algoritmom upravljanja, koji se nalaze u komandnoj sobi postrojenja.

Projektom zahtijevani efekti redukcije parametara zagađenja koji se nalaze u otpadnim vodama modifikovanim „SBR“ postupkom su veoma visoki i za predloženu tehnologiju iznose:

$$\begin{array}{ll} C_{BPK5} \leq 10-15 \text{ mgO}_2/\text{L} & C_{NH4-N} \leq 1,0 \text{ mgN/L} \\ C_{HPK} \leq 50 \text{ mgO}_2/\text{L} & C_{N_{tot}} \leq 6,0 \text{ mgN/L} \\ C_{susp.mat.} \leq 10-15 \text{ mg/L} & C_{P_{tot}} \leq 1,0 \text{ mg/L} \end{array}$$



Slika 3. „SBR“ Bioreaktor

Poslije sekundarnog tretmana i postizanja garantovanih efekata prečišćavanja, tretirane vode se upućuju na

tercijarni tretman (slika 4.), kako bi se postigli maksimalni efekti redukcije parametara zagađenja, koji nepovoljno utiču na opšte stanje kvaliteta vode u Bilećkom jezeru, tj. stimulatивно djeluju na proces eutrofikacije vještačke akumulacije.



Slika 4. Filterska jedinica sa retenzijama

Nakon predviđene kontaktne filtracije na otvorenim, brzim gravitacionim pješčanim filtrima, uz prethodno doziranje određene količine rastvora $FeCl_3$, gdje se uklanjaju preostale čestice suspendovanih materija, a time i dio organskih materija i jedinjenja fosfora, projektom zahtijevani kvalitet tercijarno prečišćene otpadne vode bi trebao da bude:

$$\begin{array}{ll} C_{BPK5} \leq 5,0 \text{ mgO}_2/\text{L} & C_{NH4-N} \leq 1,0 \text{ mgN/L} \\ C_{HPK} \leq 50 \text{ mgO}_2/\text{L} & C_{N_{tot}} \leq 6,0 \text{ mgN/L} \\ C_{susp.mat.} \leq 5,0 \text{ mg/L} & C_{P_{tot}} \leq 0,1-0,5 \text{ mg/L} \end{array}$$

Jedan od osnovnih kriterija projektovanja i izgradnje postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda u Bileći je **faznost**. U tom smislu je utvrđena krajnja faza planskog obuhvata do 2040. godine i ukupni kapacitet budućeg postrojenja od 15.000 ekvivalentnih stanovnika. Predviđeno je da se ovaj kapacitet podijeli na tri faze i da se prema tom parametru modulski dimenzioniraju osnovni objekti za biološki tretman otpadnih voda ('bioreaktori'). Na bazi ove pretpostavke prva faza izgradnje postrojenja, računajući na početak gradnje u 2010. godini, ima kapacitet od:

$$N_1 = 5.000 \text{ ES}$$

da bi se docnije, kada se za to pokaže potreba, proširila za slijedećih 5.000 ES, u drugoj fazi izgradnje, itd.

Mehanički tretman otpadnih voda se dimenzioniše u I fazi za kapacitet krajnje faze, dok se tercijarni tretman tako dimenzioniše da se gradi u dvije faze (dogradnja trećeg filterskog polja).

Međutim, sistem je veoma fleksibilan, dozvoljava da se proširenje postrojenja vrši onako kako to bude zahtijevao razvoj kanalizacionog sistema tj. dinamika izgradnje i priključivanja stanovništva na gradsku kanalizacionu mrežu, kao i intenzitet revitalizacije i formiranja novih proizvodnih preduzeća, koja u svojim pogonima budu imala produkciju tehnoloških otpadnih voda.

Projektovani i izgrađeni objekti postrojenja uklopljeni su i raspoređeni na lokalitetu postojećeg postrojenja, ukupne površine $P=0,86$ ha. Najveća dužina lokaliteta je $L=112$ m, a najveća širina je $B=85$ m.

Projektom rješenjem su ispunjeni najbitniji zadaci i ciljevi racionalizacije: tehnoloških procesa, troškova u fazi izgradnje i eksploatacije i prostornih pokazatelja. Imajuću u vidu navedene zadatke, objekti postrojenja su u visinskom pogledu raspoređeni na tri nivoa, kako bi se po glavnoj tehnološkoj liniji tretmana otpadnih voda obezbjedio gravitacioni tok vode. Objekti su skladno ukomponovani, na najvišem nivou su objekti primarnog tretmana (gruba rešetka, fina rešetka, aerisani pjeskolov, razdjelno okno, kontejneri sa kompresorima, retenzija) i komandna zgrada; na srednjem nivou su objekti sekundarnog tretmana (SBR bioreaktori za tri faze) dok su na najnižem nivou objekti tercijarnog tretmana (filterska jedinica sa retenzijama) i objekti za tretman viška mulja (ugušivač mulja sa pumpnom stanicom, silos mulja i objekat za prinudnu dehidraciju mulja. Bazen za prihvatanje diskontinuirano nastalih otpadnih voda na postrojenju smješten je na najnižoj koti postrojenja, jer gravitaciono prihvata sve "viškove prljavih voda" koje nastaju na samom postrojenju, (slika 5.).

Stabilnost objekata postrojenja osigurana je armirano betonskim gravitacionim potpornim zidovima (slika 6.). Projektovana su dva podužna i jedan poprečni potporni zid, čime su stvoreni preduslovi za stvaranje visinske denivelacije za gravitacioni tok vode i skladno uklapanje objekata u prirodni ambijent okoline Bilećkog jezera.

Lokalitet postrojenja je opremljen sa neophodnim pratećim instalacijama koje omogućavaju potpunu

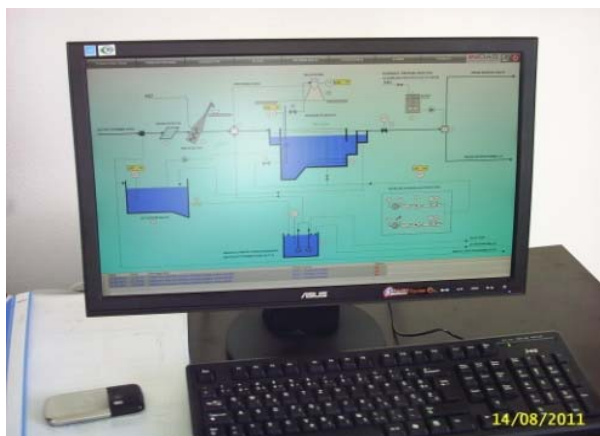


Slika 5. Dipoziciorno rješenje unutrašnjeg uređenja



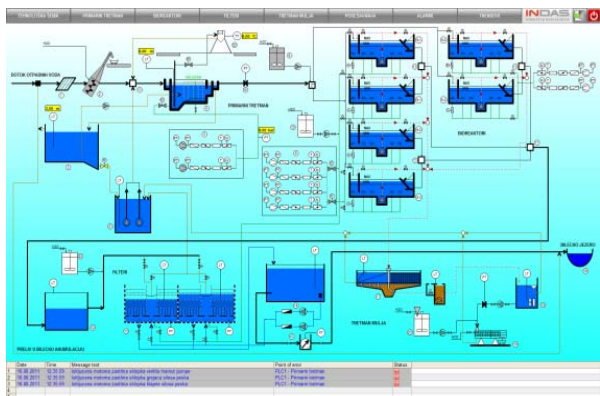
Slika 6. Potporni zidovi u krugu postrojenja

funkcionalnost u radu. To su: hidrantska mreža, oborinska kanalizacija, elektro instalacije i nadzorno-upravljački sistem, vanjska rasvjeta, servisna sobračajnica, zaštitna ograda i nova pristupna saobraćajnica. Upravljanje i nadzor tehnoloških procesa na postrojenju je potpuno automatizovan. Postignuta je potpuna sinhronizacija rada tehnoloških cjelina, a automatski rad postrojenja realizuje se preko računara (slika 7.) smještenog u komandnoj sobi, koji je spojen sa procesnim računarem (PLC). U glavnom razvodnom ormanu, koji se nalazi u komandnoj zgradi, takođe je instalisan procesni računar (PLC). Procesni računar vodi postrojenje u automatskom režimu rada (na osnovu informacija iz pogona tj. senzora i programa realizovanih u svojoj konfiguraciji, i on uključuje/isključuje pojedine izvršne organe: elektomotore, ventile, pumpe, kompresore i sl.).



Slika 7. Centralni računar sa SCADA sistemom automatskog upravljanja

U elektro ormanu filterske jedinice takođe je predviđena posebna PLC jedinica koja upravlja procesom filtracije i tretmana mulja. Prikupljanje, arhiviranje i obrada relevantnih podataka i parametara iz pogona i daljinsko upravljanje izvršnim organima, vrši se sistemom SCADA. U sistemu SCADA razrađena je detaljna tehnološka šema (slika 8.), na osnovu koje su uspješno definisani načini rada opreme, kontrola procesa i sve mogućnosti korekcija i usklađivanja u radu postrojenja, na osnovu dobijenih pokazatelja prečišćavanja (npr. doziranje hemikalija i sl.).



Slika 8. Tehnološka šema postrojenja, u sistemu nadzorno-upravljačkog sistema SCADA

Pored automatskog, omogućen je ručni pogon i upravljanje po pojedinim objektima i tehnološkim cjelinama, u slučaju pojave havarijskih stanja na postrojenju.

Za postrojenje je izgrađen rezervni izvor elektro napajanja (dizel električni agregat), sa koga se nesmetano mogu napojiti svi potrošači u sistemu postrojenja, u slučaju nestanka električne energije.

Monitoring prečišćene vode na postrojenju odnosi se na stalno praćenje kvantiteta i kvaliteta sirove i prečišćene vode. Količina sirove i prečišćene vode će se mjeriti elektromagnetnim mjerачem proticaja (dva mjerачa, jedan posle primarnog tretmana i jedan posle tercijarnog tretmana), koji može arhivirati mjerene podatke u željenom vremenskom intervalu (nedelja, mjesec, godina itd.). Ovakvom sitematizacijom podataka otvara se mogućnost provođenja raznih analiza na periodičnom i godišnjem nivou. Stalni ili povremeni monitoring kvaliteta prečišćene vode vršiće se u laboratoriji na postrojenju, koja je opremljena da izvrši određivanje slijedećih parametara:

- pH vrijednost
- BPK₅
- HPK
- elektroprovodljivost
- koncentracija suspendovanih materija
- koncentracija ukupnog azota
- koncentracija ukupnog fosfora
- koncentracija ukupnog ugljenika

Uzorkovanje tretirane vode, za monitoring kvaliteta tretirane otpadne vode vrši se na izlivnom-mjestu za uzorkovanje, pored elektromagnetnog mjerачa u filter stanici. Analize kvaliteta sirove i tretirane otpadne vode su neophodne za uspješno praćenje i vođenje tehnološkog procesa prečišćavanja (korekcije količina hemikalija koje se dodaju u tehnološkom procesu, unos kisika u tehnološki ciklus biološke razgradnje i td.).

3. EKONOMSKI I PROSTORNI POKAZATELJI

Ekonomski pokazatelji izgradnje i eksploatacije postrojenja su izuzetno povoljni. Nakon konačne izgradnje postrojenja očekuje se planirana priključenost N=15.000 ES. Vrijednost prve faze izgradnje postrojenja iznosila je $2,5 \times 10^6$ EUR. Mora se napomenuti, da su zbog planirane faze izgradnje i kompleksnosti radova u narednim fazama izgradnje, odmah izvršeni svi predviđeni iskopi u stijenskom masivu, prije svega - dubinska miniranja, kako bi se u narednim fazama izgradnja obavljala bez rizika po već izgrađene objekte. Ti tehnološki, nužni dodatni radovi su povećali troškove izgradnje postrojenja u prvoj fazi, ali će biti kompezirani u narednim fazama. U cilju ekološkog i prostornog uređenja tog prostora temeljne

jame bioreaktora II i III faze su zasute materijalom iz iskopa, nakon čega je izvršeno humuziranje i zatravljivanje tih površina. Finalizacijom zemljanih radova (iskopa u stijenskom masivu), omogućeno je da se naredne faze izgradnje postrojenja, obave bez većih poteškoća i oštećenja na postojećim objektima i instalacijama postrojenja.

Na osnovu poređenja investicionih vrijednosti objekata i planiranog kapaciteta, nakon finalizacije svih radova, dobije se vrijednost izgradnje postrojenja za krajnju fazu oko 230 EUR/stan. Dobijeni ekonomski pokazatelj - specifične cijene izgradnje postrojenja je povoljan i prihvatljiv, naročito ako se u obzir uzme činjenica da se radi o 'malim' postrojenjima, koja su uvek specifično skuplja. Specifična cijena izgradnje kod sličnih, izgrađenih postrojenja u regionu, iznosi od 250÷350 EUR/stanovniku.

Veoma je značajno da se napomene, da je usvojenom visinskom denivelacijom objekata postrojenja, u tehnološkom procesu u potpunosti obezbjeđen gravitacioni tok sirove i tretirane vode. Ovakvim tehničkim rješenjem izbjegnute su dvije pumpne stanice, postignuta je značajna ušteda u investicionim troškovima, ali i značajne uštede u domenu pogonskih i eksploatacionih troškova, pojednostavljenje procesa prečišćavanja i povećanje pouzdanosti u eksploataciji. Može se konstatovati da su pored izuzetno povoljnih specifičnih troškova izgradnje, postignute značajne uštede kod pogonskih troškova, izbjegavanjem prepumpnih stanica, ali i racionalnim izborom duvaljki za bioreaktor, koje su najznačajniji potrošači električne energije na postrojenju.

Povoljna odabrana konfiguracija postrojenja i padovi terena na odabranom lokalitetu, omogućili su da se objekti slože i skladno uklope na veoma malom prostoru. U konačnoj fazi izgradnje postrojenja, na projektovanu priključenost za krajnju fazu, pokazatelji angažovanog prostora na postrojenju su takođe povoljniji, i iznose 0,57 m²/stanov. Pored navedenog pokazatelja angažovanog prostora projektnim rješenjem, odabranim materijalima i načinom unutrašnjeg uređenja, postrojenje je skladno ukopljeno u prirodni ambijent Bilečkog jezera.

4. PROBNI RAD POSTROJENJA I OSNOVNI PARAMETRI PREČIŠĆAVANJA

Postrojenje je izgrađeno u rekordnom roku, za osam mjeseci, nakon čega je otpočeo probni rad. Probni rad

se odvijao fazno, prema zahtijevima i uslovima iz tehnološkog procesa: prva faza primarni i sekundarni tretman, zatim tercijarni tretman i prinudna dehidracija mulja. Formiranje tehnoloških procesa na postrojenju trajalo je veoma kratko, samo oko 20 dana, jer su temperaturni uslovi pogodovali ubrzanju biološkog procesa u bioreaktoru. U toku probnog rada postrojenja izvršeno je testiranje parametara otpadne i prečišćene vode na postrojenju. Uzeti su uzorci sirove vode (uzorak 1), iza bioreaktora (uzorak 2) i poslije filtracije (uzorak 3). Ispitivanje je izvršila ovlašćena laboratorija Instituta za vode iz Bijeljine. Kako je vidljivo (Tabela 3.), parametri redukcije su izuzetno dobri i iznad očekivanja, kako iza biološkog, tako i poslije tercijarnog tretmana (filtracije).

5. ZAKLJUČCI

Projektovano i izgrađeno postrojenje za tretman upotrebljenih voda urbanog područja grada Bileće koncipirano je najsavremenijom 'SBR' tehnologijom, fleksibilno je, i omogućava faznu izgradnju u skladu sa stepenom razvoja kanizacionog sistema Bileće. Usvojena je savremena tehnologija tretmana upotrebljenih voda, koja se pokazala veoma uspješnom i trenutno se najčešće primjenjuje za mala i srednja postrojenja u Evropskoj uniji. Izgradnjom postrojenja u Bileći pokazalo se da su postrojenja sa projektovanom 'SBR' tehnologijom prihvatljiva i na našim prostorima, što je i dokazano na osnovu parametara prečišćene vode.

Zbog visokih zahtijeva u pogledu kvaliteta efluenta usvojen je sekundarni tretman 'SBR' modifikovanim postupkom u 'SBR bioreaktorima' i tercijarni tretman, na brzim gravitacionim filterima, čime je postignuta maksimalna redukcija azotnih i fosfornih jedinjenja. U tehnološkom procesu predviđeno je doziranje rastvora za hemijsku preprecipitaciju fosfora, prije ulaska otpadne vode u bioreaktor, a u tercijarnom tretmanu, prije filtracije se dozira flokulaciono sredstvo, (rastvor feri hlorida), koji omogućava okrupnjavanje sitnih čestica suspendovanih materija aktivnog mulja ili fosfornog taloga nastalog hemijskom precipitacijom, koji se u procesu kontaktne filtracije uspješno izdvajaju na filterima. Predviđeno je automatsko doziranje rastvora polielektrolita, kao flokulacionog sredstva, u ugušćeni mulj, neposredno prije ulaska mulja u mašinu za prinudnu dehidraciju.

Osiguran je funkcionalan i automatski rad postrojenja, daljinsko upravljanje i sakupljanje podataka izvršnim

Tabela 3. Uporedni podaci o kvalitetu otpadne i prečišćene vode-PPOV Bileća (Uzorkovano: 29.09.2011. godine, Qd = 728 m³/dan)

Rb	Ispitivani parametar	Jed.mjere	Uzorak 1 (Sirova voda)	Uzorak 2 (poslije sekundar. tretmana)	Zahtijevano Projektom	Uzorak 3 (poslije tercijalnog tretmana)	Zahtijevano Projektom
1	Ukupni alkalitet	g/m ³	418	230		204	
2	Ukupne suspend. mat.	g/m ³	186	7	≤ 10-15 mg/L	4	≤ 5 mg/L
3	Taloživost nakon 30 min.	mL/L	10	<0,50	<0,5		
4	BPK ₅ (razbl. i zasijav.)	g/m ³	291	6,8	≤ 10-15 mgO ₂ /L	5	≤ 5 mgO ₂ /L
5	HPK (O ₂ bihromatni)	g/m ³	491	32,1	≤ 50 mgO ₂ /L	18	≤ 50 mgO ₂ /L
6	NO ₂ -N	g/m ³	0,002	0,048		0,034	
7	NO ₃ -N	g/m ³	0,07	3,25		2,54	
8	NH ₃ -N	g/m ³	33,93	1,44	≤ 1,0 mgN/L	0,34	≤ 1 mgNL
9	Ukupni N po Kjeldalu	g/m ³	80,7	1,47		1,07	
10	Ukupni azot	g/m ³	80,77	4,77	≤ 6,0 mgN/L	3,64	≤ 6 mgN/L
11	Ukupni fosfor	g/m ³	8,83	0,232	≤ 1,0 mg/L	0,151	≤ 0,1-0,5 mg/L
12	Ukup. čvrste materije	g/m ³	1164	515		430	
13	Gubitak žarenjem	g/m ³	546	119		62	
14	Pepeo	g/m ³	618	396		368	
15	Elektroprovodljivost	μS/cm	1027	715		596	
16	pH	-	7,42	7,50		7,74	
17	DOC	g/m ³	42,14	5,89		4,53	

sistemom SCADA, te gravitacioni tok sirove i prečišćene upotrebene vode, čime su pogonski troškovi svedeni na minimum, a i ostali ekonomski parametri su veoma povoljni.

Veoma je bitno da su se izgradnjom postrojenja u Bileći stekli uslovi za kvalitetan tretman otpadnih voda, ali otvorili i novi zadaci i obaveze da se u daljnim aktivnostima u potpunosti jasno izdefinišu obaveze, čijom bi se realizacijom u potpunosti zaštitilo Bilećko jezero. Ti zadaci se odnose na :

1. Razdvajanje postojećeg mješovitog kanalizacionog sistema i fazna izgradnja novog separatnog kanalizacionog sistema urbanog područja Bileće sa postupnim proširenjem na prigradska naselja, u cilju usmjeravanja svih količina otpadne vode na izgrađeno postrojenje. Ovom aktivnošću bi se stekli optimalni uslovi za rad postrojenja, odnosno eliminisalo bi se razblaženje i pad temperature otpadne vode u zimskim mjesecima, te ostale nepovoljnosti koje mogu da negativno utiču na funkcionalnost i efikasnost predložene tehnologije
2. Stvaranje preduslova za minimalan tretman oborinskih voda u smislu uklanjanja suspendovanog nanosa, te ulja i masti iz oborinske vode, kroz izgradnju zasebne kolektorske mreže

oborinskih voda i objekata koji će obezbjediti navedeni tretman

3. Obezbjedenje kvalitetnog disponiranja oborinskih voda van zone vodozahvata gradskog vodovoda i očuvanje zone neposredne zaštite gradskog izvorišta pitke vode, odnosno produženje glavnog kolektora oborinskih voda.

Zakoni, pravilnici i uredbe o kvalitetu i zaštiti voda u Republici Srpskoj su jasni i veoma strogi. Svim stručnjacima koji se bave zaštitom životne sredine, preostaje jedino da ih poštuju i da daju svoj puni doprinos na zaštiti prirodnih bogatstava, koja su u većini slučajeva ugrožena i zahtijevaju od svih učesnika veliku ozbiljnost i odgovornost prilikom izvršenja zadataka, a naročito na podizanju svijesti kod svakog pojedinca našeg društva, da se i lično stara o očuvanju vode, najdragocijeg prirodnog i ekološkog resursa.

LITERATURA

- [1] Idejno rješenje i Glavni projekat Postrojenja za prečišćavanje upotrebjenih voda stanovništva i industrije urbanog područja grada Bileće, Zavod za vodoprivredu, Bijeljina, 2008.

- [2] Idejno rješenje kanalizacionog sistema urbanog područja grada Bileće“, Zavod za vodoprivredu, Bijeljina, 2010.
- [3] Projekat „Upravljanje akumulacijama i hidroelektranama sistema Trebišnjica“, Zavod za vodoprivredu, Bijeljina, 2010.
- [4] Miloje Milojević: Snabdevanje vodom i kanalisanje naselja, Građevinski fakultet Beograd, 1987.
- [5] Gordon M. Fair, John C. Geyer i Daniel A. Okun : Water and wastewater Engineering, Volume 2. Water purification and Wastewater Treatment and Disposal, Wiley International Edition, 1967.
- [6] Dr. Božo Dalmacija: Osnovi upravljanja otpadnim vodama”, Univerzitet u N. Sadu, Novi Sad, 2010.
- [7] Wilderer, P., Irvine, R., Goronszy, M., Artan, N., Demoulin, G., Keller, J., Morgenroth, E., Nyhius, G., Tanako, K., Torrigos, M.: SBR Technology. Scientific and Technical Report, Nr. 10, IWA
- [8] Boller M, 1983 Weitergehende gewässerschutz, massnahmen im einzugsgebiet, Stehender gewasser”, Matsche N. 1989.
- [9] Forbildung kurs biologische abwasserreinigung, Wiener mitteilungen, Wasserabwasser-gewasser, phosphorentfernung”
- [10] Demoulin G., Goronszy M.C., Bell S. :Cyclic Activated Sludge Technology replaces Conventional Treatment Systems – First Operation Experiences in Europe, Millenium Conference Leeds (UK), February 2000.
- [11] Demoulin G.: Innovative Process Technologies for the Treatment of Wastewater in the EU, Konferenz über “Neue Technologien zur Abwasserreinigungs-Wirtschaftlichkeit und Betriebserfahrungen”, VDI Düsseldorf, 1998.
- [12] Wilhelm von der Emde, Savremena primjena procesa sa aktivnim muljem u kondicioniranju otpadnih voda naselja i industrije GF Univerziteta u Sarajevu, Zavod za hidrotehniku građevinskog fakulteta u Sarajevu, 1973.

WASTEWATER TREATMENT PLANT BILECA SBR TECHNOLOGY – IMPLEMENTATION AND EFFECTS OF THE TREATMENT

by

Nedeljko SUDAR and Momir PERIC
Institute for Water Management, Zavod za vodoprivredu, Bijeljina
Dragana ĐOKIĆ-VASIĆ dipl.hem.-master
Institut for water, Bijeljina

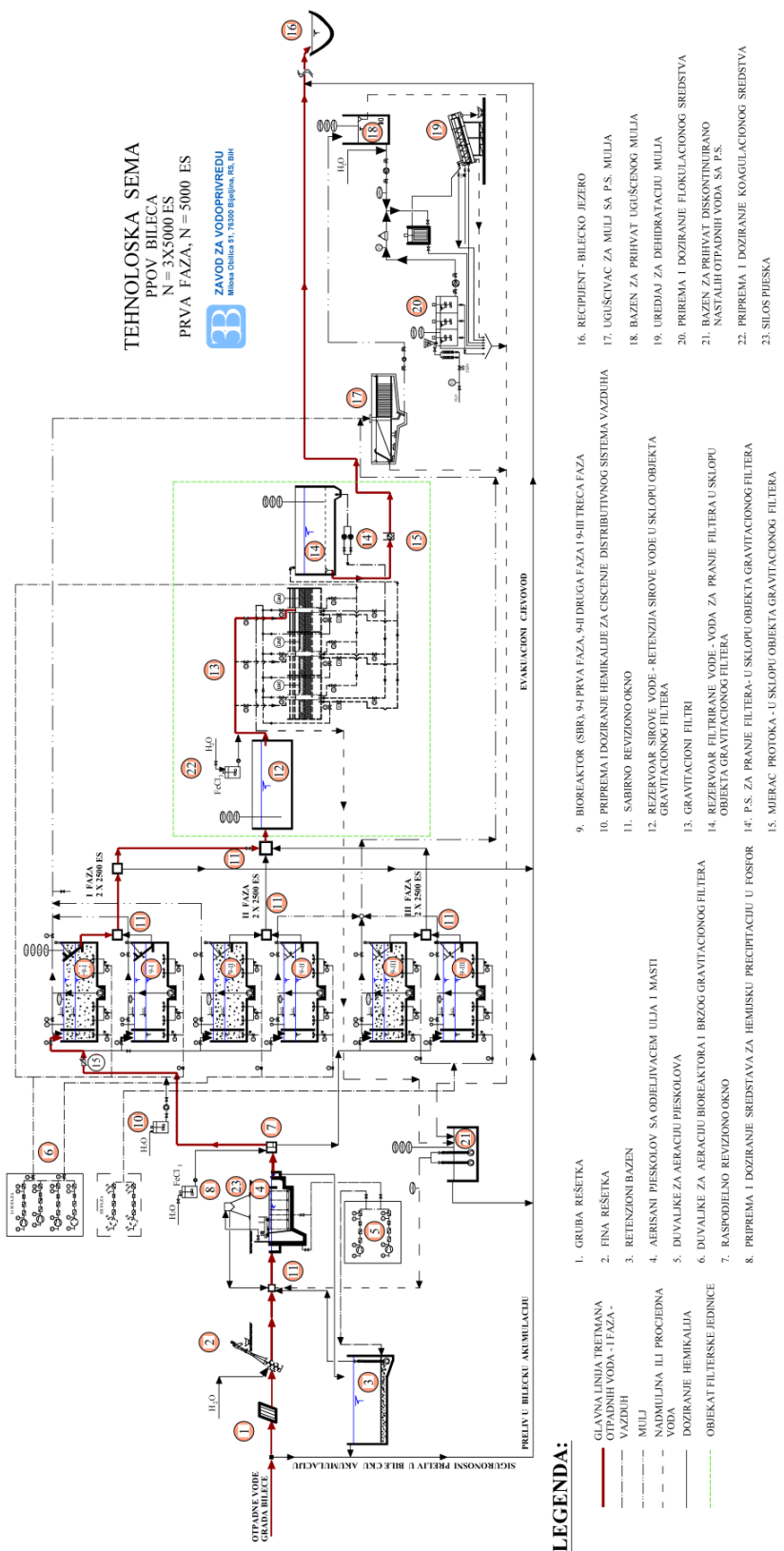
Summary

The obligation to provide wastewater treatment to smaller settlements (EU Water Directive for all settlement areas of more than 2.000 inhabitants) has imposed the need to find more suitable technologies for wastewater treatment plants (WWTP), i.e. smaller dimensions and more efficient structures. Performing all treatment operations in one building produces wastewater treatment plants which are more compact, covering less surface area and operate automatically. A WWTP of this kind has been designed and recently built in Bileca. The construction is incremental and will produce a final capacity of 15.000 PE. The modern 'Sequencing Batch Reactor' (SBR) technology was employed, enabling construction of a high efficiency WWTP, including tertiary treatment, on an area of only 0.86 ha.

The plant was commissioned at the end of 2011. Testing of the treated water showed excellent results. The effects are better than those required by the strictest criteria. The plant must protect quality of the water in Bileca Lake, which is a precious ecosystem that must be preserved in its oligotrophic state. The first stage in the construction of the plant (5.000 PE) produced financial benefits because of the lower operational and manpower costs. Its smaller footprint requirements enabled the use of a smaller space and a better visual fit to the existing natural surroundings of the lake.

Key words: wastewater treatment, 'SBR' technology, tertiary treatment, Bileca Lake

Redigovano 11.07.2012.



Slika 9. Tehnološka šema uređaja za prečišćavanje otpadnih voda od stanovništva i industrije urbanog područja grada Bileće, N=3×5.000 ES