

VODNA

ČASOPIS AGENCIJE ZA VODNO PODRUČJE RIJEKE SAVE SARAJEVO

2010
Godina XIV
71



UVODNIK

D. Hrkaš
UVODNIK

AKTUELNOSTI

D. Hrkaš
ZA ČISTU VODU I ZDRAV ŽIVOT

ZAŠTITA VODA

S. Trožić-Borovac, D. Hafner, M. Antunović
KVALITATIVNO-KVANTITATIVNI SASTAV BENTOSA
SLIVA RIJEKE NERETVE I CETINE U FEDERACIJI BiH

M. Popović
PREČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA
GRANULARNIM MULJEM

I. Zarić, P. Mitrović
MIKROBIOLOŠKI I BIOLOŠKI ASPEKT
KVALITETA VODE AKUMULACIJE BILEČKO JEZERO

S. Jusić
NOVIJE KONCEPCIJE FILTRIRANJA VODE

ZAŠTITA OD VODA

V. Rajčić
ODREĐIVANJE POLOŽAJA POPREČNIH PROFILA U LINIJSKIM MATEMATIČKIM MODELIMA OTVORENIH VODOTOKA



Autor kolor fotografija u ovom broju je dipl. oec. Sead Kumašin iz Sarajeva.

Fotografije su napravljene na rijeci Uni.

"VODA I MI"

Časopis Agencije za vodno područje rijeke Save Sarajevo

<http://www.voda.ba>

Izdavač:

Agencija za vodno područje rijeke Save
Sarajevo, ul. Grbavička 4/III
Telefon: ++387 33 56 54 00
Fax: ++387 33 56 54 23
E-mail: dilista@voda.ba

Glavna urednica:

Dilista Hrkaš, dipl. žurn.

Savjet časopisa: Predsjednik: Sejad Delić, direktor AVP Sava; Zamjenik predsjednika: Ivo Vincetić, predsjednik Upravnog odbora AVP Sava; Članovi: Haša Bajraktarević-Dobran, Građevinski fakultet Sarajevo; Enes Sarač, direktor Meteorološkog zavoda; Božo Knežević; Faruk Šabeta.

Redakcioni odbor časopisa: Dilista Hrkaš, Mirsad Lončarević, Aida Bezdob, Elmedin Hadrović, Mirsad Nazifović, Salih Krnjić.

Idejno rješenje korica: DTP STUDIO Studentska štamparija Sarajevo

Priprema za štampu i filmovanje: KKDD d.o.o. Sarajevo

Štampa: PETRY d.o.o. Sarajevo

Časopis "Voda i mi" registrovan je kod Ministarstva obrazovanja, nauke i informisanja Kantona Sarajevo pod rednim brojem: 11-06-40-41/01 od 12. 03. 2001. godine.

POŠTOVANI ČITAOCI,

Proljeće je krenulo punim zamahom, sjajem i toplinom, a onda kako to obično i biva u martu i aprilu, varljivim sunčano-kišnim danima i prilično hladnim jutrima, pa evo stigismo i na kraj maja, a pošteno se ne ugrijasmo. Ništa neobično, rekli bi meteorolozi, sve je u granicama prosječnih padavina i temperatura, ali nama je to slaba utjeha poslije duge i hladne zime, jer jednostavno trebamo više sunca i topline. No, nisu vremenske (ne)prilike razlogom kašnjenja ovog broja časopisa, bilo je nekih drugih teškoća u njegovoj pripremi, ali u svakom slučaju hvala svima onima koji su zvali ili na drugi pismeni i usmeni način (zabrinuto!) pitali za ovaj broj. Vaše interesovanje za "Voda i mi" je još jedna potvrda da ovo što radimo ima itekako svrhu i smisao i vjerujemo da će tako ostati i u narednim godinama.

Ono na što bih ovoga puta skrenula vašu pažnju je obilježavanje **1. juna – Dana rijeke Save i 5. juna – Svjetskog dana okoliša.**

Dan rijeke Save se obilježava u četiri zemlje potpisnice Okvirnog sporazuma o slivu rijeke Save (Slovenija, Hrvatska, Bosna i Hercegovina i Srbija) i ove godine moto obilježavanja je: **PRIJATELJI RIJEKE SAVE – SARADNJA ZA ZAJEDNIČKI SLIV.** Kratko ćemo vas podsjetiti da je ovaj Sporazum potpisan u decembru 2002. godine i da je dvije godine kasnije stupio na snagu. Na osnovu ovog dokumenta, formirana je i Međunarodna komisija za sliv rijeke Save (skraćeno: Savska komisija) čiji je zadatak da, u okviru provođenja odredaba Sporazuma, realizira zajednički dogovorene ciljeve kao što su:

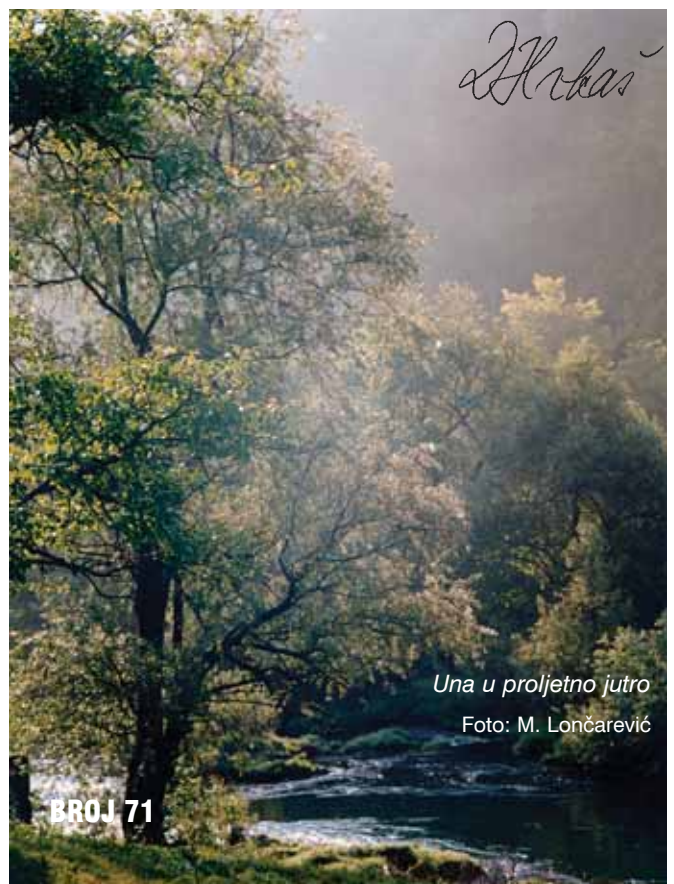
- uspostavljanje međunarodnog režima plovidbe rijekom Savom i njenim plovnim pritocima;
- uspostavljanje održivog upravljanja vodama;
- preduzimanje mjera za sprječavanje ili ograničavanje opasnosti, kao i uklanjanje štetnih posljedica

Autori su u cjelosti odgovorni za sadržaj i kvalitet članaka.

ca nastalih usljed poplava, leda, suša i nezgoda koje uključuju tvari opasne za vode.

Sporazumom su definisana i opća načela postupanja potpisnica koje će saradivati na osnovu suverene jednakosti, teritorijalnog integriteta, zajedničke dobrobiti i dobre volje poštujući uzajamno nacionalne zakone, institucije i organizacije, te djelujući u skladu sa Evropskom direktivom o vodama.

Svjetski dan okoliša – 5. juni ove godine se obilježava pod motom: **MNOGO VRSTA – JEDNA PLANETA – ZAJEDNIČKA BUDUĆNOST.** Iz ove rečenice sasvim je jasna poruka koju nam šalje UNEP (United Nations Environment Programme) i na svakom od nas je da učimo i podučavamo druge o važnosti biodiverziteta na Planeti, o našoj neumitnoj povezanosti u prirodi i sa svim živim bićima. U suprotnom, ako izgubimo prirodu, izgubićemo sebe a time i našu zajedničku budućnost.



Una u proljetno jutro

Foto: M. Lončarević

ZA ČISTU VODU I ZDRAV ŽIVOT

KVALITET VODA JE BILA OVOGODIŠNJA
CENTRALNA TEMA OBILJEŽAVANJA
22. MARTA – SVJETSKOG DANA VODA

Možda nije naodmet ponoviti da je voda temelj života na Zemlji i da kvalitet života direktno ovisi o kvalitetu vode. Naime, dobar kvalitet vode omogućuje i zdrave ekosisteme, čime se poboljšava zdravlje ljudi, dok loš kvalitet vode uništava okoliš a time i zdravlje ljudi. Tome u prilog možda najbolje govori podatak da u svijetu svake godine umre više od 1,5 miliona djece zbog bolesti koje se prenose vodom.

Dakle, razloga da se ovogodišnji 22. mart- Svjetski dan voda obilježava pod motom: ČISTA VODA ZA ZDRAVI SVIJET i u okvirima osnove teme: KVALITET VODA – IZAZOVI I MOGUĆNOSTI, ima, nažalost, napretek, jer su ljudske aktivnosti u posljednjih pedesetak godina uzrokom ogromnog zagađenja vodnih resursa. U Ujedinjenim nacijama procjenjuju da više od 2,5 milijardi ljudi širom svijeta nema odgovarajuću odvodnju otpadnih voda, a u svjetske vode se svakog dana ispušta oko 2 miliona tona otpadnih voda i drugih efluenata. Taj je problem još istaknutiji u zemljama u razvoju, gdje se u površinske vode ispušta više od 90% neprečišćenih otpadnih voda i 70% neobrađenog industrijskog otpada.

Osim stalnog povećanja izvora zagađivanja voda, i klimatske promjene poput učestalih ili dugotrajnih razdoblja poplava i suša, predstavljaju dodatni

problem i izazov za kvalitet voda. Tu je i problem stalnog povećavanja broja stanovnika na Zemlji, kao i imperativni ekonomski obrasci proizvodnje i potrošnje, te sve skupa otvara nove i snažnije industrijske procese (poljoprivreda, urbanizacija, rudarstvo i dr.), što onda za posljedicu ima odlaganje teških metala, radioaktivnih elemenata, organskih toksina, odbačenih lijekova u okoliš (u vodu najviše!), odnosno prostor u kome živimo i čije resurse koristimo.

Sa povećanjem broja stanovnika, ubrzava se i migracija u gradove. Procjenjuje se da će do 2050. godine u gradovima živjeti oko 6,5 milijardi ljudi, u odnosu na sadašnjih 3,4 milijarde. Ako se ovako brz rast odgovarajuće ne riješi kroz aktivno planiranje i finansiranje, naročito u sektoru voda, to bi mogao biti dodatan izazov za kvalitet vode.

Kod nas već danas imamo neodgovarajuću vodoprivrednu infrastruktura i njeno prilično loše održavanje, tako da će ti problemi postajati sve složeniji u narednim decenijama.

U Bosni i Hercegovini je danas vodosnabdijevanjem obuhvaćeno oko 60% stanovništva a odvođenjem otpadnih voda oko 33%. Naša je sretna okolnost što još uvijek pripadamo redu zemalja za koje se kaže da im je voda prirodno bogatstvo. Stručnjaci procjenjuju da oko 4 miliona stanovnika imaju pro-

sječno raspoloživih devet hiljada kubnih metara površinskih i 120 kubnih metara podzemnih voda po stanovniku.

Zagađenost rijeka u Bosni i Hercegovini je različita, pa su i dalje vodotoci Bosne, Vrbasa i Spreče najzagađeniji, dok je rijeka Una najmanje zagađena.

Najveći izvori zagađenja kod nas su komunalne otpadne vode velikih urbanih sredina, otpadne vode i drugi efluenti industrije (naročito u Tuzlanskom kantonu) i procjedne vode sa deponija otpada.

Tretman komunalnih otpadnih voda u Bosni i Hercegovini vrši se u samo 10 gradova i to. Gradačac, Žepče, Srebrenik, Ljubuški, Čitluk, Grude, Čelinac, Trebinje, Neum i Trnovo, što znači da je oko samo 3% stanovnika obuhvaćeno ovim procesom.

Kvalitet naših podzemnih voda je još uvijek dobar tako da za veći dio ovih voda koje se koriste za vodosnabdijevanje nije potreban dodatni tretman.

Svjetski dan voda u Bosni i Hercegovini

Već petnaesti put zaredom u našoj zemlji se obilježava 22. mart- Svjetski dan voda nakon što ga je ustanovila Generalna skupština Ujedinjenih naroda 1993. godine.

Unazad nekoliko godina ovaj datum se obilježava zajedničkom manifestacijom svih djelatnika iz vo-



*Učesnike je prvi pozdravio
podpredsjednik FBiH Mirsad Kebo*

Snimila: Maja Vlaho

dnog sektora (nekada smo to zvali vodoprivredom), počev od državnog, preko entitetskih do kantonalnih i lokalnih nivoa, zaduženih i odgovornih za ovu oblast u Bosni i Hercegovini.



Uvodno obraćanje direktora AVP Sava Sejada Delića

Snimila: Maja Vlaho



*Pozdravnu riječ skupu dao je i predsjednik
Vlade FBiH Mustafa Mujezinović*

Snimila: Maja Vlaho

Ovogodišnji domaćin te manifestacije je bila Agencija za vodno područje rijeke Save Sarajevo i održana je u Hotelu "Terme" na Ilidži kod Sarajeva.

Skupu se odazvalo oko 170 učesnika koji su predstavljali ne samo strukture vlasti, nego i naučne i obrazovne institucije, nevladine organizacije, među-

narodne organizacije i naravno, predstavnici sve četiri agencije za vode iz BiH.

Skupu su prisustvovali i pozdravili ga podpredsjednik Federacije BiH Mirsad Kebo, predsjednik Vlade FBiH Mustafa Mujezinović, resorni ministar u Vladi FBiH Damir Ljubić, predstavnik Federalnog ministarstva okoliša i turizma Mladen Rudež, te mnogi drugi gosti i učesnici skupa.

Skup je otvorio direktor Agencije iz Sarajeva Sejad Delić prigodnim obraćanjem naglasivši da su u Bosni i Hercegovini najznačajniji uzročnici zagađenja voda komunalne i industrijske otpadne vode, kao i procjedne vode sa deponija otpada. Također je naveo podatak da su u našoj zemlji učinjeni značajni koraci u oblasti praćenja kvaliteta voda. To najbolje potvrđuje činjenica da institucije u sektoru voda raspolazu kvalitetnim stručnim kadrom, opremom i softverima i da monitoring voda i informacioni sistem voda postaju značajna karika u praćenju stanja voda, a samim tim i kvalitetna osnova za očuvanje njenog kvaliteta. Spomenuo je i aktivnosti na okončanju izrade dokumenta "Strategija upravljanja vodama na području FBiH" i pri tome istakavši da se očekuje usaglašavanje sa sličnim dokumentom iz Republike Srpske, što bi trebalo rezultirati zajedničkim djelovanjem i provođenjem mjera na nivou države, jer, kao što znamo, voda ne poznaje administrativne ni političke granice i njome se može dobro upravljati samo u okviru sliva, kako uostalom i nalaže Okvirna direktiva o vodama EU.



Pogled na prepunu salu Hotela "Terme" gdje se održavao skup

Snimila: Maja Vlaho

Skupom su predsjedavali direktori četiri agencije za vodna područja u slivu rijeke Save i u slivu Jadranskog mora iz oba entiteta i u radnom dijelu skupa prezentirana su referatska izlaganja desetak autora sa različitim temama iz oblasti upravljanja vodama:

- ❑ Prof.dr Sulejman Redžić: “ **Klimatske promjene i kvalitet voda**”
- ❑ mr Goran Mirković: “**Stanje kvaliteta voda u vodotocima sliva rijeke Save u FBiH u periodu 2005.- 2009.**”
- ❑ mr Branislav Blagojević; Jelena Vićanović, dipl.inž.: “**Praćenje kvaliteta voda vodotoka u slivu rijeke Save za 2009. godinu na teritoriji Republike Srpske**”
- ❑ Marinko Antunović, dipl.inž.: “**Monitoring program i kvaliteta površinskih voda u 2009. godini u FBiH u nadležnosti AVP Jadranskog mora**”
- ❑ mr Anisa Čičić Močić; Nezafeta Sejdić, dipl.biolog; Alma Hadžiahmetović, dipl.biolog: “**Ispitivanje referentnih uslova na vodnom području rijeke Save u 2009. godini**”

- ❑ prof. dr Hamid Čustović; mr Admir Čerić: “**Dobre poljoprivredne prakse u cilju zaštite voda**”
- ❑ prof.dr Fatima Jusupović: “**Zdravstvena ispravnost vode u vodoopskrbnim sistemima**”
- ❑ mr Amra Serdarević: “**Procjedne vode sanitarnih deponija – Prečišćavanje procjednih voda na sanitarnoj deponiji Kantona Sarajevo**”
- ❑ Alenka Savić, dipl.inž.građ.: “**Učešće javnosti u postizanju kvaliteta voda – mogućnosti i izazovi**”
- ❑ Dalibor Vrhovac, dupl.ekonomist: “**Integracija ekonomskih vrijednosti u oblasti zaštite voda u skladu sa implementacijom Okvirne direktive o vodama**”
- ❑ Đorđe Stefanović, dipl.pravnik: “**Pravni aspekti zaštite voda**”

Nakon završetka radnog dijela skupa, učesnici su nastavili druženje uz razmjenu iskustava i saznanja iz oblasti voda i sa željom da se i dogodine sretnu na svečanosti u povodu Svjetskog dana voda.



mr Amra Serdarević izlaže svoj referat

Snimio: Almir Prljača



Prezentacija jedne od referatskih tema

Snimio: Almir Prljača

KVALITATIVNO-KVANTITATIVNI SASTAV BENTOSA SLIVA RIJEKE NERETVE I CETINE U FEDERACIJI BiH

Ukupna dužina rijeke Neretve je oko 240 km, na prostor R Hrvatske otpada 22 km, a sliv Cetine je dug 105 km, a dvije trećine sliva zahvata prostor Bosne i Hercegovine. Prostor sliva Neretve u Bosni i Hercegovini zahvata 90% ukupnog slivnog područja ove rijeke (ukupna površina sliva 10.100 km²), slivno područje rijeke Cetine iznosi 3.600 km² (Marić, Šarac, 2003). Dosadašnja istraživanja ova dva sliva na području BiH vršena su u sklopu faunističkih istraživanja (Kačanski, 1978, Marinković-Gospodnetić, 1978), a u sklopu Republičkog Hidrometerološkog zavoda SRBiH u prijeratnom periodu vršena su redovna istraživanja u sklopu biomonitoringa. Nakon tog perioda ovaj prostor nije istraživan sa aspekta sastava organizama fito i zoobentosa u cilju evaluacije stanja vodotoka (izuzev lokaliteta na rijeci Neretvi Višići i Žitomislčići). Prema dosadašnjim istraživanjima u sastavu faune trichoptera na prostoru sliva Neretve konstatovano je 108 vrsta (Marinković-Gospodnetić, 1978). U više navrata istraživan je sastav ihtio populacija u slivu rijeke Neretve (Sofradžija i sur., 2001, 2002), a istraživanja sastava ostalih akvatičnih biocenoza obuhvatila su

vještačke akumulacije koje se prostiru u srednjem toku sliva rijeke Neretve.

Rad predstavlja rezultat istraživanja sastava bentosa (fitobentosa i makroinvertebrata) na lokalitetima sliva rijeke Neretve i Cetine u cilju utvrđivanja kvalitativno-kvantitativnog sastava i aplikacije na kvalitet vode u vodotocima. U ranijim istraživanjima nisu obuhvaćeni svi istraživani lokaliteti sa aspekta biomonitoringa.

2. MATERIJAL I METODE

Za utvrđivanje sastava bentosa na lokalitetima sliva rijeke Neretve i Cetine u FBiH izvršena su i mjerenja osnovnih hemijskih parametara vode (pH, kiseonički režim, ukupni P i ukupni N). Pri kategorizaciji i analizi ovih parametara korišteni su zakoni važeći na području BiH i to: Uredba o klasifikaciji voda i voda obalnog mora Jugoslavije u granicama SRBiH, Službeni list, 19/80, te Uredba o klasifikaciji voda i kategorizaciji vodotoka, Službeni glasnik RS, 42/01. Istraživanje je izvršeno na 10 lokaliteta sliva rijeke Neretve i dva lokaliteta sliva Cetine, u periodu od 2. do 27.10. 2009. godine (tab.1)

Tabela 1. Pregled lokaliteta na kojima su vršena istraživanja sa datumom uzorkovanja za utvrđivanje kvalitativno-kvantitativnog sastava fitobentosa i makroinvertebrata, 2009. god.

Sliv	Oznaka profila	Lokalitet	Datum uzorkovanja
NERETVA	1	Lištica – Izvor/Borak	2.10.2009.
	2	Drežanjka - Drežnica	27.10.2009.
	3	Studenčica - Studenci	2.10.2009.
	4	Krupa - Dračevo	2.10.2009.
	5	Vrioštica - Vitina	2.10.2009.
	6	Baščica - Idbar	27.10.2009.
	7	Doljanka – Jablanica/Sovići	27.10.2009.
	8	Trebižat - Humac	2.10.2009.
	9	Lištica - Uzarići	2.10.2009.
	10	Trebišnjica - Ravno	2.10.2009.
CETINA	11	Šujica - uzvodno	26.10.2009.
	12	Sturba – Vrelo Sturbe	26.10.2009.

Uzorkovanje fitobentosa izvršeno je standardnom metodologijom, a u laboratoriju makroskopski oblici nekih odjela algi determinirani su uz pomoć binokularne lupe i odstranjeni, a preostali materijal je pregledan pod velikim uvećanjem svjetlosnog mikroskopa.

Dijatomeje su determinirane sa trajnih preparata napravljenih nakon hemijske obrade materijala metodom Hustedt (1930) i uklapanja u kanada-balzam. Taksonomska pripadnost mikroflora utvrđena je uz pomoć ključeva i priručnika za određivanje: Hustedt (1930), Zabelina et al. (1950), Lazar (1960) i Hindak et al. (1978).

Metodologija terenskih istraživanja iz oblasti algologije bazirala se na sakupljanju uzoraka algalnih zajednica po ustaljenoj metodologiji. Uzorci fitobentosa su prikupljeni standardnim metodom struganja sa prirodnih podloga: kamena, šljunka, makrovegetacije i slično. Odmah po uzorkovanju, materijal je konzerviran 4%-tnim formaldehidom, uredno označen i pohranjen do laboratorijske analize.

Determinacija je vršena mikroskopiranjem na svjetlosnom mikroskopu marke *Olympus CX21FS1*, pod imerzionim objektivom (uvećanje 100*10). Utvrđeno je kvantitativno prisustvo svih determiniranih oblika. Taksonomska pripadnost mikroflora utvrđena je uz pomoć ključeva i priručnika za određivanje: Hustedt (1930), Zabelina et al. (1950), Lazar (1960) i Hindak et al. (1978).

e) obrada podataka;

- ❑ Za određivanje relativne abundancije korišten je Knöpp (1954), po kojemu skala relativne učestalosti ima vrijednosti 1 (pojedinačno), 3 (srednje) i 5 (masovno);
- ❑ Saprobna vrijednosti utvrđenih vrsta definirane su prema Weglu (1983);
- ❑ Upotrebom slijedećeg modela, na osnovu saprobnosti i relativne učestalosti indikatorskih vrsta, došlo se do indeksa saprobnosti po Pantle-Bucku (1955), na pojedinim istraživanim lokalitetima:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n (s_i \cdot a_i)}{\sum_{i=1}^n (a_i)}$$

gdje je:

- S – indeks saprobnosti
- s_j – saprobna vrijednost vrste
- a_j – relativna abundanca

Na osnovu indeksa saprobnosti po Pantle-Bucku (1955) izvršena je kategorizacija prema Libmannu, 1962 (tab.1). Pri izračunavanju SI za fitobentos uzimane su u obzir samo vrste koje imaju saprobnost.

Tabela 1. Vrijednosti saprobnog indeksa i odgovarajuće kategorije kvaliteta vode (Liebmann, 1962)

Stepen saprobnosti	Saprobni indeks (SI)	Klasa boniteta	Stepen organskog zagađenja vodotoka
Oligosaprobnost	1,00 - 1,50	I	Nezagađena do veoma malo opterećena voda
Oligo do β - mezosaprobnost	1,51 - 1,80	I-II	Malo opterećena
β - mezosaprobnost	1,81 - 2,30	II	Umjereno
β do α - mezosaprobnost	2,31 - 2,70	II-III	Srednje
α - mezosaprobnost	2,71 - 3,20	III	Srednje do moćno
α do polisaprobnost	3,21 - 3,50	III-IV	Opterećena
Polisaprobnost	3,51 - 4,00	IV	Jako opterećena /zagađena

Za uzorkovanje makroinvertebrata primjenjena je „kick sampling“ metoda uzorkovanje (prema odredbi Službenog glasnika Evropske zajednice “ L 327 od 22.12.2000. god.), a na svakom lokalitetu prikupljen je zbirni uzorak sa po 12 poduzoraka. Na lokalitetima gdje se ova metoda nije mogla aplicirati uzorkovanje je izvršeno prema standardu ISO 7828–1985 (E) (International Standard 7828: *Water quality – Methods of biological sampling – Guidance on handnet sampling of aquatic benthic macro-invertebrates*) i ISO 8265–1988 (E) (International Standard: *Water quality – Design and use of quantitative samplers for benthic macro-invertebrates on stony substrata in shallow freshwaters*). Uzorci su na terenu fiksirani 4% formaldehidom, a u laboratoriju je izvršeno ispiranje i separacija organizama u 70% etilalkoholu. Pri determinaciji korišteni su ključevi: Aubert, 1959, Bole, 1969; Consiglio, 1980, Eliot at all., 1988, Studemann, 1992, Waringer i Graf, 1997.

Pri ocjeni kvaliteta vode primijenjen je saprobni indeks (SI) Pantle-Buck, 1955:

$$S = \frac{\sum (hs)}{\sum h}$$

gdje je:

- S – saprobni indeks,
- s – saprobna vrijednost taksona (Wegl, 1983),
- h – relativna abundanca (Russev, 1993. *Fundamental of Saprobiology. Univ. Pull. „Kliment Ochridski“ Sofia, 1-161*).

Tabela 2. Relativna abundanca prema Russevu (1993):

Broj jedinki	Relativna abundanca
1 – 3	1
4 – 10	2
11 – 50	3
>50 – 150	5
>150 – 500	7
više od 500	9

Za saprobnost kategorizaciju istraživanih tekućica korištene su vrijednosti za relativnu abundancu prema Russevu (tab. 2)

Kategorija kvaliteta vode na osnovu saprobnog indeksa data je prema kategorizaciji po Liebmannu, 1962, koja uvažava sedam kategorija.

Pri izračunavanju SI za makroinvertebrate uzimane su u obzir samo vrste koje imaju saprobnost vrijednost.

Extended Biotic Index (EBI) (Ghetti, 1986) se zasniva na činjenici da organsko onečišćenje u vodotoku uzrokuje iščezavanje makroinvertebrata ovim redom: Plecoptera, Ephemeroptera, Trichoptera, *Gammarus*, *Asellus*, Chironomidae / Oligochaeta. Vrijednosti ovog indeksa se kreću u intervalu od > 10 do < 4. Najveća vrijednost ukazuje da je voda čista; II kategorija voda odgovara vrijednosti od 8 do 9 (vode sa malom količinom organske materije); vrijednosti ovog indeksa 6-7 ukazuju na III kategoriju voda (vode sa srednjom količinom organske materije); vrijednosti ovog indeksa 4-5 ukazuju na IV kategoriju voda; vrijednosti < 4 indiciraju zagađene vode.

Indeks diverziteta ili Shannonov indeks (H) (Shannon-Weaver, 1949) računa se prema formuli:

$$H = - \sum N_i/N \log_2 N_i/N$$

- gdje je Ni – broj jedinki i taksona,
- N – ukupan broj jedinki u uzorku.

Wilhem i Dorris (1966) primijenili su ovaj indeks u ocjeni kvaliteta vode po sljedećoj skali:

- H > 3 čista voda
- H = 2-3 malo zagađena
- H = 1-2 srednje zagađena
- H < 1 jako zagađena voda

Pri izračunavanju indeksa diverziteta uzimane su u obzir sve evidentirane vrste.

Rezultati analize sastava makroinvertebrata prikazani su tabelarno, a u tabelama je unesen broj je-

dinki, relativna abundanca i saprobna vrijednost taksona (s). Za svaki lokalitet istraživanja, na kraju tabele su naznačene vrijednosti primijenjenih indeksa u ocjeni kvaliteta vode.

Grafički je prikazan odnos vrijednosti saprobnog indeksa za uzorke fitobentosa i uzorke makroinvertebrata na istraživanim lokalitetima. Pored toga napravljena je komparativna analiza vrijednosti saprobnog indeksa za makroinvertebrate i Extended Biotic Index-a, da bih se sagledala aplikacija ova dva indeksa u ocjeni kvaliteta vode.

Svi analizirani parametri su poslužili „uslovno“ za pokušaj kategorizacije (ekološkog statusa) istraživanih vodnih tijela po odredbama EU Okvirne Directive o vodama (2000/60/ EC).

U prvom dijelu rezultata naveden je opis lokaliteta sa GPS koordinatama i navedene vrste makrofita konstatovane u vodi istraživanih akvatičnih ekosistema.

3. REZULTATI

3.1 Opis lokaliteta istraživanja

Rijeka Lištica (izvorBorak) – L1

Lokalitet istraživanja rijeke Lištice (izvor Borak) - $43^{\circ} 23' 44''$ N i $17^{\circ} 35' 46''$ E.

Karakteristično kontrolisano korito, širine 30-40 m, a dubina na mjestu uzorkovanja se kretala od 10 do 70 cm (sl.1). Sediment je mulj i megalital obrastao sa biljkama: *Potamogeton crispus* L., *Chara* sp. i *Ranunculus fluitans* Lam. U vodi rijeke Trebišnjice na lokalitetu Ravno razvijena je zelena alga *Pleurococcus* sp. Voda je bila zelenkasto obojena. Na obalama je razvijena vegetacija grmova i zeljastih biljaka karakterističnih za mediteransko područje.



Sl. 1. Lokalitet istraživanja rijeke Lištice (izvor)

Rijeka Drežanjka (Drežnica) – L2

Lokalitet Drežnica: N: $43^{\circ} 32' 02''$, E: $17^{\circ} 39' 08''$ Obale korita rijeke Drežanjke na istraživanom lo-

kalitetu su obrasle grmovima graba i bijele vrbe *Salix alba*. Sediment čini 50% megalital, 40% makrolital, 10% psamal, a voda je plavozelene boje, bez mirisa. Širina korita 10 m, sa brzacima koji zauzimaju 60%. Dubina na mjestu istraživanja kretala se od 10 do 40 cm, uzorkovanje izvršeno sa lijeve, desne i sa sredine korita. U koritu se različitom gustoćom javljaju makrofite: *Mentha aquatica* L., *Veronica anagallis-aquatica* L., *Juncus subnodulosus* Schrk. i *Glyceria maxima* (Hartman) Holmb.



Sl. 2. Lokalitet rijeke Drežanjke

Rijeka Studenčica (Studenci) – L3

Lokalitet istraživanja smješten je na N: $43^{\circ} 09' 28''$ i E: $17^{\circ} 38' 26''$. Visina obala na istraživanom lokalitetu je 100 cm do 150 cm, obrasle sa stablima joha, vrbe i jasena. Sediment je sedra (megalital), koja je obrasla djelomično zelenom algom *Scenedesmus ecornis*. Dubina na mjestu uzorkovanja od 20 do 30 cm. Vrste makrofita koje se javljaju u vodotoku su karakteristične za tekućice na području BiH: *Veronica beccabunga* L., *Glyceria maxima* (Hartman) Holmb., *Sparganium erectum* L., *Berula erecta* Huds. i *Helodea canadensis* Rich.



Sl. 3. Lokalitet istraživanja na rijeci Studenčici

Rijeka Krupa (Drečevo) – L4

Lokalitet istraživanja nalazi se na N: **43° 03' 20"** i E: **17° 42' 28"**.

Istraživani lokalitet karakteriše velika dubina vodotoka tako da je uzorkovanje

izvršeno samo priobalno gdje je zastupljen psamal kao sediment. Voda je tamnozeleno boje, širina korita do 25 m, obale su obrasle gusto stablima joha, jasena i vrbe. Voda je bez mirisa. Od makrofita ovdje su registrovane vrste karakteristične za beta-mezosaprobne vode: *Hippuris vulgaris* L., *Butomus umbellatus* L., *Ranunculus circinatus* Koch., *Veronica beccabunga* L. i *Nuphar luteum* (L.) Sm.



Sl. 4. Lokalitet istraživanja na rijeci Krupi

Rijeka Vrioštica (Vitina) – L5

Istraživani lokalitet karakteriše širina vodotoka od sedam do deset m, voda je bistra bez mirisa, dubine 10 do 20 cm. Sediment je dominantno fital, obale su vještačke i kontrolisane. Smješten je na N: **43° 14' 14"** dužine i E: **17° 29' 10"** istočne geografske širine. Javlja se cijanobakterije *Phormidium autumnale* i *Phormidium uncinatum*. Gusto je razvijena zajednica makrofita sa vrstama: *Berula erecta* Huds.,



Sl. 5. Lokalitet istraživanja rijeke Vrioštrice

Helodea canadensis Rich., *Mentha aquatica* L., *Nasturtium officinale* R. Br., *Ranunculus trichophyllus* Chaix., *Sparganium erectum* L. i *Veronica anagallis-aquatica* L.

Rijeka Baščica (Idbar) – L6

Istraživani lokalitet smješten je na N: **43° 39' 56"** sjeverne geografske dužine i E: **17° 52' 50"**. Korito rijeke je širine šest metara, obale ravne sa koritom obrasle šumama bijele vrbe, dubina vode od 10 do 60 cm prema sredini korita. Čitavom širinom korita zastupljeni brzaci, sediment preko 60% megalital, 30 % makrolital i 10 % psamal. Boja vode zelenkasta i bez mirisa.



Sl. 6. Lokalitet istraživanja na rijeci Idbar

Rijeka Doljanka (Jablanica/Sovići) – L7

Širina korita na lokalitetu istraživanja oko 4,5 m, dubina od 10 do 25 cm. Sediment čini makrolital oko 60% i psamal 40%. Obale su visoke i obrasle vegetacijom vrbe i graba. Voda je bistra, bez mirisa. Lokalitet je smješten na N: **43° 11' 06"** i E: **17° 35' 43"** istočne geografske širine.



Sl. 7. Lokalitet istraživanja na rijeci Doljanki

Rijeka Trebižat (Humac) – L8

Lokalitet je smješten na N: **43° 42' 48"** i E: **17° 31' 22"**. Širina korita na mjestu uzorkovanja kretale se od 15 do 20 m, dubina vode od 0,5 do 1 m. Sediment fital do 60% i psamal oko 40%. Voda je bez mirisa. Obale su obrasle grmovima vrbe koje su gusto razvijeni, a sa lijeve obale je i kontrolisano. U sastavu zelenih algi javlja se velika raznovrsnost: *Cladophora glomerata*, *Scenedesmus sp.*, *Scenedesmus acuminatus*, *Pediastrum boryanum*, *Pediastrum boryanum*. Makrofite koje čine najbogatiji dio flore predstavljene su sa: *Ranunculus fluitans* Lam. *Berula erecta* Huds. *Mentha aquatica* L., *Nuphar luteum* (L.) Sm., *Potamogeton pectinatus* L., *Potamogeton perfoliatus* L., *Sparganium erectum* L., *Veronica beccabunga* L.



Sl. 8. Lokalitet istraživanja na rijeci Trebižat

Rijeka Lištica (Uzarići) – L9

Lokalitet je smješten na N: **43° 21' 34"** i E: **17° 37' 45"**.



Sl. 9. Lokalitet istraživanja na rijeci Lištici

Korito je širine oko 20 m, a u vrijeme uzorkovanja bilo je razučeno i sa smanjenom količinom vode. Sediment je makrolital, voda je dubine od 10 do 20 cm. Obale su djelomično obrasle drvenom vegetacijom i korito nije zasjenjeno. U sedimentu se javljaju cijanobakterije *Chamaesiphon sp.*, *Nostoc sp.*, *Phormidium* i zelena alga *Cladophora glomerata*.

Rijeka Trebišnjica (Ravno) – L10

Lokalitet istraživanja je sa kontrolisanim koritom sa obe obale širine od 35-40 m smješten je na N: **42° 53' 03"** i E: **17° 58' 58"**.

Dubina vode na mjestu uzorkovanja kretala se od 10 do 70 cm. Sediment je mulj i makrolital. Voda je zelene boje od zelene alge *Chara fragilis*.

Na obalama rijeka razvijena je mediterenska vegetacija grmova i zeljastih biljaka.



Sl. 10. Lokalitet istraživanja na rijeci Trebišnjici

SLIV CETINE

Rijeka Šujica (uzvodno) – L11

Širina korita na mjestu uzorkovanja kretala se od pet do šest m, a dubina vode od 15 do 30 cm, a lokalitet je smješten na N: **43° 51' 53"** i E: **17° 10' 59"**.

Obale su sa obe strane korita obrasle stablima bijele vrbe. Sediment je makrolital sa psamal u manjem procentu, a obrastao sa cijanobakterijama (gusto) *Phormidium autumnale* i *Phormidium incrustans*. U sastavu makrofita u vodi istraživanog lokaliteta konstatovane su vrste: *Ranunculus circinatus* Sibth., *Veronica beccabunga* L., *Berula erecta* Huds., *Nasturtium officinale* R. Br., *Juncus subnodulosus* Schrk.



Sl. 11. Šujica uzvodno

Rijeka Sturba (vrelo) – L12

Lokalitet istraživanja smješten je na N: $43^{\circ} 46' 27''$ i E: $17^{\circ} 1' 22'$. Prosječna širina korita do šest metara, sediment dominantno fital sastavljen od ze-



Sl. 12. Lokalitet istraživanja na rijeci Sturbi

lenih algi i cijanobakterija. Dubina na mjestu uzorkovanja se kretala od 15 do 30 cm. Voda je bez mirisa. U sastavu makrofita dominiraju *Nasturtium officinale* R. Br. i *Berula erecta* Huds.. Nešto manjom gustinom prisutne su i *Ranunculus aquatilis* L., *Veronica anagallis-aquatica* L. i *Mentha aquatica* L.

3.2 Fizičko/hemijski parametri vode na lokalitetima sliva rijeke Neretve i Cetine u FBiH

Odabrani fizičko/hemijski parametri izmjereni u vodi istraživanih lokaliteta pokazuju izvjesna variranja, uvjetovana općim ekološkim stanjem u vodotoku (tab.3). Ova mjerenja izvršena su od strane *Zavoda za javno zdravstvo Mostar*. Ukupna količina rastvorenog kiseonika na svim istraživanim lokalitetima je u granicama za vode prvog stupnja kvaliteta. Najveća vrijednost BPK5 izmjerena je u vodi rijeke Trebišnjice na lokalitetu Ravno (4,71), blago povećanje registrovano je i u vodi rijeke Sturbe na izvoru (2,43) i Šujice uzvodno (2,27). Prema vrijednosti BPK5 u drugoj kategoriji se nalaze i vode rijeke Doljanke, Vriošćice i Baščice, a ostali lokaliteti su prema mjerenom parametru u I kategoriji.

3.3 Kvalitativno-kvantitativni sastav fitobentosa i makroinvertebrata u uzorcima bentosa na lokalitetima sliva rijeke Neretve i Cetine u FBiH, 2009. godina

U sastavu fitobentosa na lokalitetima sliva rijeke Neretve i Cetine u FBiH konstatovano je 160 taksona sa dominacijom Bacillariophyceae na svim vodotocima (tab.4). Najveća raznovrsnost registrovana je na lokalitetu Trebižat Humac (50 taksona), a naj-

Tabela 3. Vrijednosti fizičko/hemijskih parametara vode na istraživanim lokalitetima sliva rijeke Neretve i Cetine

parametar lokalitet	pH	HPK-Cr mg O ₂ /l	Rastvorljivost O ₂ mg O ₂ /l	BPK ₅ mg O ₂ /l	Ukupno N mg N /l	Ukupno P mg P /l
L1	7,9	1,85	13,12	0,78	0,30	0,013
L2	7,7	5,23	13,48	1,30	0,29	0,031
L3	7,7	2,77	13,04	0,80	0,75	0,029
L4	7,6	5,55	10,34	0,78	0,51	0,076
L5	7,7	2,77	13,04	2,17	0,78	0,000
L6	8,1	2,61	14,07	1,97	0,29	0,016
L7	7,6	6,97	12,68	2,01	0,15	0,023
L8	7,8	12,04	13,75	1,37	0,74	0,006
L9	8,0	11,11	13,96	1,81	0,37	0,017
L10	7,9	6,48	12,24	4,71	0,20	0,000
L11	7,9	4,35	13,34	2,27	0,37	0,000
L12	7,9	2,61	12,48	2,43	0,49	0,000

manja na lokalitetu Studenci rijeke Studenčice (12 taksona). Veću zastupljenost (realtivnu abundancu) pokazuju vrste *Fragilaria construens* (EHR.) CRUN. u sastavu fitobentosa rijeke Trebižat na lokalitu Humac (RA=5), *Meridion cirkulare* AC. u sastavu fitobentosa vrela Sturbe (RA=5), *Fragilaria ulna* Brun. u sastavu fitobentosa Vrioštica na lokalitetu Vitina i rijeke Stu-

denčice na lokalitetu Studenci, *Diatoma vulgare* BORY. U sastavu fitobentosa rijeke Lištice na lokalitetu Uzorići. Prema vrijednostima saprobnog indeksa izračunatog na osnovu sastava fitobentosa vodena staništa na lokalitetima sliva rijeke Neretve i Cetine su u kategoriji od oligo do oligo/betamezosaprobnog stupnja (I/II kategorija).

4. Kvalitativno-kvantitativni sastav fitobentosa u uzorcima voda sliva Neretve i Cetine u FBiH, 2009.

TAKSON	RELATIVNA ABUNDANCA												s
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11	L12	
Cyanobacteria		1											
<i>Phormidium</i> sp.						1							2.2
<i>Homoeothrix juliana</i>											1		
<i>Chamaesiphon</i> sp.							3	1	1	1			1.2
<i>Chamaesiphon incrustans</i>												1	
<i>Merismopedia tenuissima</i>										1			2.5
<i>Merismopedia glauca</i>								1					1.8
<i>Nostoc</i> sp.								1	1		1		1.6
<i>Lyngbya martensiana</i>	1												1.5
<i>Phormidium autumnale</i>	1				1			1			5		2.2
<i>Phormidium</i> sp.									1				
<i>Phormidium incrustatum</i>	1										5	3	1.1
<i>Phormidium subfuscum</i>	1												2
<i>Phormidium uncinatum</i>	1				1								2.4
<i>Plectonema tomasinianum</i>			3										1
<i>Plectonema</i> sp.								1					1.4
<i>Pleurocapsa</i> sp.											1		1.4
Xanthophyceae													
<i>Vaucheria</i> sp.			3		5		1					5	1.8
Rhodophyceae													
<i>Batrachospermum</i> sp.					1								1.2
<i>Chantransia</i> sp.	1											1	1.9
<i>Chantransia chalybea</i>							1						2.5
Bacillariophyceae		1											
<i>Achnanthes hauckiana</i>		1											
<i>Achnanthes perpusilla</i>							1						
<i>Achnanthes inflata</i>					1								
<i>Achnanthes lanceolata</i>					1	1							2
<i>Acanthes linearis</i>	3												1.5
<i>Achnanthes</i> sp.		1					1		1		1	1	2
<i>Amphora ovalis</i>		3	1	1			1	1	1			1	1.7
<i>Amphora pediculus</i>		1		1			1	1		1	1		1.5
<i>Caloneis silicula</i> var. <i>truncatula</i>		3			1		1	1					
<i>Caloneis alpestris</i>								1					1
<i>Caloneis schummannianum</i> var. <i>biconstri</i>								1					
<i>Cocconeis pediculus</i>	3	1	3	1	1	5	1	3	1	3	1	1	1.7
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>euglypta</i>		3											
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>lineata</i>	3					1					1	1	1.4
<i>Cocconeis placentula</i>	5	1	1	1	1	3		3	1		1	1	1.6
<i>Cyclotella glomerata</i> (C. <i>meneghiniana</i>)		1		1				3			1		1
<i>Cyclotella bodanica</i>								3		1			1.2
<i>Cyclotella</i> sp.												1	1.5
<i>Cymatopleura solea</i>	1	1				1			1				2.2
<i>Cymatopleura eliptica</i>				1				1	1				1.8
<i>Cymbella affinis</i>								3					1.3
<i>Cymbella</i> sp.				1			1						1.7
<i>Cymbella tumida</i>				1									2.2

<i>Cymbella cymbiformis</i>						1	1	1					
<i>Cymbella lanceolata</i>	1	3		1		1		3				1	1.6
<i>Cymbella parva</i>		3									1		
<i>Cymbella helvetica</i>	1												1.2
<i>Cymbella leptoceros</i>					1	1	1			1	1		
<i>Cymbella subcuspidata</i>						1							
<i>Cymbella sinuata</i>											1		1.5
<i>Diatoma vulgare</i>	1	3	1	1			1	3	5	3	1	1	2.2
<i>Denticulus tenuis</i>								3					1.2
<i>Diatoma vulgare var. capitatum</i>		1				1		1			1	1	
<i>Diatoma mesodon</i>	3				5	1					3	3	1.2
<i>Diatoma hiemale</i>						1					1		1.2
<i>Diploneis oblongeala</i>				1	1			1					1.3
<i>Diploneis ovalis</i>					1	1	1						1.4
<i>Denticula crassula</i>							1						
<i>Ellerbeckia arenaria</i>			1			1					1	3	1.3
<i>Encyonema prostratum</i>		3		1							1	1	1.8
<i>Encyonema ventricosum</i>	1	1		1	1	1		3	1			1	2
<i>Epithemia mullerii</i>		1											
<i>Epithemia zebra</i>													
<i>Epithemia sp.</i>	1			1		3		1					1.8
<i>Epithemia turgida var. granulata</i>						1							
<i>Eunotia arcus</i>		3		5			1				3		1.1
<i>Eunotia lunaris</i>		3		3									1.2
<i>Eunotia paludosa</i>											1		
<i>Eunotia sp.</i>						1						1	1.2
<i>Eucocconeis minuta var. alpestris</i>					1								
<i>Fragilaria construens f. caussi</i> (<i>F. parasitica</i>)		1											
<i>Fragilaria sp.</i>	1	1				1							1.4
<i>Fragilaria ulna</i>	1	1	1		5	1	1	3			3	5	2
<i>Fragilaria biceps</i>						1							1.9
<i>Frustulia vulgare</i>					1								1.8
<i>Fragilaria construens</i>								5					1.6
<i>Fragilaria leptostauron</i>												1	
<i>Gomphonema ventricosum</i>	1			1									1
<i>Gomphonema acuminatum</i>						1							1.7
<i>Gomphonema acuminatum var. brebissoni</i>												1	
<i>Gomphonema augur var. gautieri</i>		1											1.9
<i>Gomphonema constrictum</i>		1		1		1	1	1					1.9
<i>Gomphonema constrictum var. capitata</i>							1						
<i>Gomphonema augur</i>				1									1.7
<i>Gomphonema augur var. gautier</i>				1									1.9
<i>Gomphonema coronata</i>		1		3									1.7
<i>Gomphonema olivaceum</i>		1				1							2
<i>Gomphonema olivaceum var. minutissima</i>							1						
<i>Gomphonema intricatum</i>				5									1.2
<i>Gomphonema lanceolatum</i>											1		1.3
<i>Gomphonema sp.</i>				1				1			1		2.2
<i>Gomphonema vibrio</i>										1			
<i>Gyrosigma scalproides</i>	1			1				1			1		2.2
<i>Gyrosigma attenuatum</i>											1		2
<i>Gyrosigma acuminatum</i>	1	1	1				1						2.2
<i>Gyrosigma sp.</i>						1							2.1
<i>Hantzschia amphioxys</i>						1							2.7
<i>Melosira varians</i>		3	3			1		1			1	3	2
<i>Meridion circulare</i>	1	3			1	1					3	5	1.1
<i>Navicula cryptocephala</i>		1									1		2.5
<i>Navicula cuspidata var. ambigua</i>		1									1		2.4
<i>Navicula gracilis</i>	1	3	1			3	1	1	1		1	1	1.7
<i>Navicula reinhardtii</i>									1		1		1
<i>Navicula cuspidata</i>											1		
<i>Navicula radiosa</i>		1				1	1	1			1	1	2
<i>Navicula sigmidea</i>	1	1						1					2.5

<i>Nitzschia linearis</i>	3				1	1			1		1		1.5
<i>Nitzschia angustatum</i>		1											2.9
<i>Nitzschia vermicularis</i>	1		1				1				1		2
<i>Nitzschia gracilis</i>		1											1.6
<i>Nitzschia hantzschiana</i>		1									1		1.2
<i>Nitzschia linearis</i>	3	1				1							1.5
<i>Nitzschia sigmoidea</i>						1		1					2.5
<i>Nitzschia stagnorum</i>										1			2.6
<i>Pinularia sp.</i>						1							1.2
<i>Pinularia pulchra</i>												1	
<i>Rhoicosphaenia abbreviatum</i>	1	1				1					1	1	2
<i>Pinnularia viridis</i>								1					1.7
<i>Surirella angustata</i>	1	1										1	1.7
<i>Surirella robusta var. splendida</i>				1				1					1.7
<i>Surirella linearis</i>		1				1	1	1				1	1.5
<i>Surirella ovata</i>		1											2
<i>Synedra biceps</i>				1						1			1.9
<i>Synedra capitata</i>				1				1		1			1.5
<i>Tabellaria flocculosa</i>										1			1
<i>Surirella sp.</i>	1							1					1.8
<i>Surirella linearis</i>											1		
Chlorophyceae											1		1.4
<i>Oedogonium sp.</i>										1		1	1.4
<i>Bulbochaete sp.</i>													
<i>Chara sp.</i>													1.4
<i>Pleurococcus sp.</i>	1												1.6
<i>Cladophora glomerata</i>						1	1	1	1			1	2.2
<i>Scenedesmus ecomis</i>			1					1		1			1.7
<i>Scenedesmus sp.</i>								1		1			2.2
<i>Scenedesmus acutus</i>										1			2
<i>Scenedesmus quadricauda</i>										1			2.1
<i>Scenedesmus acuminatus</i>								1					2.2
<i>Pediastrum boryanum</i>						1		1		1			1.9
<i>Pediastrum mutica</i>										1			
<i>Rhizoclonium hieroglyphicum</i>												1	1.4
<i>Pediastrum tetras</i>										1			1.8
<i>Ulothrix variabilis</i>										1			
<i>Microspora sp.</i>												1	1.4
Charophyceae													
<i>Chara fragilis</i>										1			1.3
Zygnematophyceae													
<i>Spirogyra sp.</i>					1			1		1		1	2.2
<i>Mougeotia sp.</i>						1		1				1	1.4
<i>Cosmarium sp.</i>								1					1.8
<i>Cosmarium botrytis</i>										1			2.3
<i>Cosmarium humile</i>										1			
<i>Cosmarium meneghinii</i>										1			
<i>Cosmarium reniforme</i>										1			1
<i>Closterium sp.</i>							1	1				1	2.2
<i>Closterium ehrenbergii</i>												1	2
<i>Closterium dianae</i>								1		1			1
<i>Closterium lunula</i>	1												1.3
<i>Closterium ehrenbergii</i>								1					2
<i>Staurastrum orbiculare</i>										1			1.6
<i>Staurastrum polymorphum</i>										1			
<i>Zygnema sp.</i>										1			1.4
SAPROBNI INDEKS - SI	1,70	1,74	1,74	1,53	1,72	1,75	1,76	1,74	1,86	1,79	1,63	1,63	

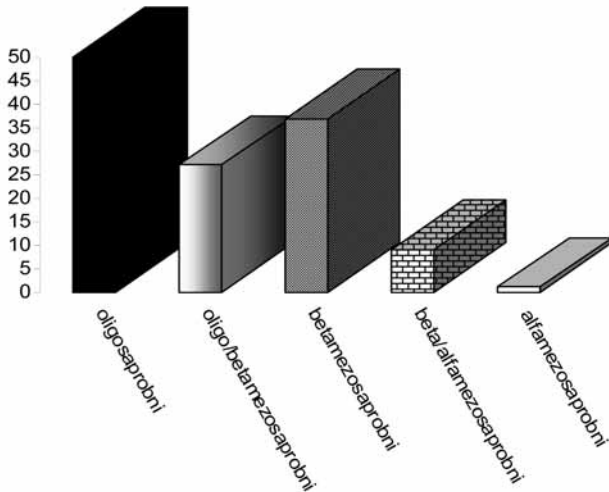
Legenda:

L1 – Lištica – izvor/Borak
L2 – Drežanjka – Drežnica
L3 – Studenčica – Studenci
L4 – Krupa – Drečevo

L5 – Vrioštica – Vitina
L6 – Idbar – Baščica
L7 – Doljanka – Jablanica/Sovići
L8 – Trebižat – Humac

L9 – Lištica – Uzarići
L10- Trebišnjica – Ravno
L11 – Šujica – uzvodno
L12 – Sturba – vrelo Sturbe

U sastavu fitobentosa istraživanih lokaliteta konstatovani taksoni prema saprobnosti vrijednosti indici-
 raju dominantno oligosaprobnu vodu (50 taksona),
 oligo/betamezosaprobnu (27 taksona), betamezosap-
 probnu 37 taksona , a beta/alfamezosaprobnu devet
 taksona I jedan alfamezosaprobni indikator (graf.1)



Graf. 1 Učešće indikatora u sastavu fitobentosa sliva rijeke Neretve i Cetine, 2009. godine

U uzorcima bentosa sliva rijeke Neretve i Cetine konstatovano je 49 taksona makroinvertebrata (tab. 5), a najveći broj jedinki registrovan je u uzorcima ri-
 jeke Šujice uzvodno, dok je najmanji broj jedinki konstatovan u uzorcima rijeke Studenčice na lokalitetu Studenci (16 jedinki).

Najveća raznovrsnost vezana je za uzorke rijeke Baščice na lokalitetu Idbar (13 taksona), a najmanja za uzorke rijeke Studenčice na lokalitetu Studenci (jedan takson). Najveću zastupljenost u uzorcima na istraživanim lokalitetima pokazuju preimaginalni I imaginalni stadiji vodenih insekata reda Plecoptera, Ephemeroptera, Trichoptera, Diptera I Coleoptera (32 taksona). Prema izračunatom indeksu diverziteta (Shanon-Weaver), osim za uzorke Studečice I Trebižata na lokalitetu Ravno, registrovane su relativno visoke vrijednosti (tab. 4).

Značajnost sastava makroinvertebrata istraživanih lokaliteta je u utvrđivanju riječne kozice *Atyaephyra desmaresti* (Millet 1833) u rijeci Krupa na loakalitetu Drečevo. Ova vrsta je konstatovana prvi put na području BiH u rijeci Trebižat (neobjavljeni podaci), a sama vrsta je konstatovana i u delti rijeke Neretve.

Tabela 6. Kvalitativno-kvantitativni sastav makroinvertebrata u uzorcima bentosa na lokalitetima sliva rijeke Neretve i Cetine u FBiH, 2009. godine

takson	L1		L2		L3		L4		L5		L6		L7		L8		L9		L10		L11		L12		s	
	b.j.	r.a.	b.j.	r.a.	b.j.	r.a.	b.j.	r.a.	b.j.	r.a.	b.j.	r.a.	b.j.	r.a.	b.j.	r.a.	b.j.	r.a.	b.j.	r.a.	b.j.	r.a.	b.j.	r.a.		
TURBELLARIA																										
<i>Planaria sp.</i>																								2	1	1.8
<i>Dugessia sp.</i>																	3	1								2.1
<i>Dugessia gonocephala</i>															6	2										1.2
GASTROPODA																										
<i>Ancylus fluviatilis</i>	5	2								8	2											16	3			1.7
<i>Lymnea palustris</i>																	5	2								1.9
<i>Pyrgula sp.</i>	2	1																								
<i>Planorbis planorbis</i>	2	1																								1.9
<i>Planorbis carinatus</i>							3	1																		1.5
<i>Bithynia leachi</i>	4	2							4	2					8	2										1.8
<i>Sadleriana fluminensis</i>	20	3							12	3													3	1		
<i>Viviparus sp.</i>							6	2																		1.9
<i>Theodoxus fluviatilis</i>															3	1										1.7
HIRUDINEA																										
<i>Erpobdella sp.</i>																						2	1	2	1	2.5
CRUSTACEA																										
Amphipoda																										
Isopoda																										
<i>Asellus aquaticus</i>																								18	3	2.8
<i>Gammarus pulex</i>	20	3							5	2																1.8
<i>G. fossarum</i>					16	3			12	3			14	3	4	2						25	3			1.8
Decapoda																										
<i>Atyaephyra desmaresti</i>							5	2																		1.9
INSECTA																										
Ephemeroptera																										
<i>Ecdyonurus sp.</i>	14	3	6	2																						1.6
<i>Baetis sp.</i>			4	2			3	1			10	2			10	2								17	3	1.7
<i>B. alpinus</i>											10	2	6	2												1.4
<i>Epeorus sp.</i>											12	3	16	3												1.1
<i>Heptagenia sp.</i>													12	3								8	2			1.8
<i>Paraleptophlebia submarginata</i>											14	3					12	3								1.6
<i>Rhythrogena sp.</i>			12	3							2	1	10	2												1.2
Plecoptera																										

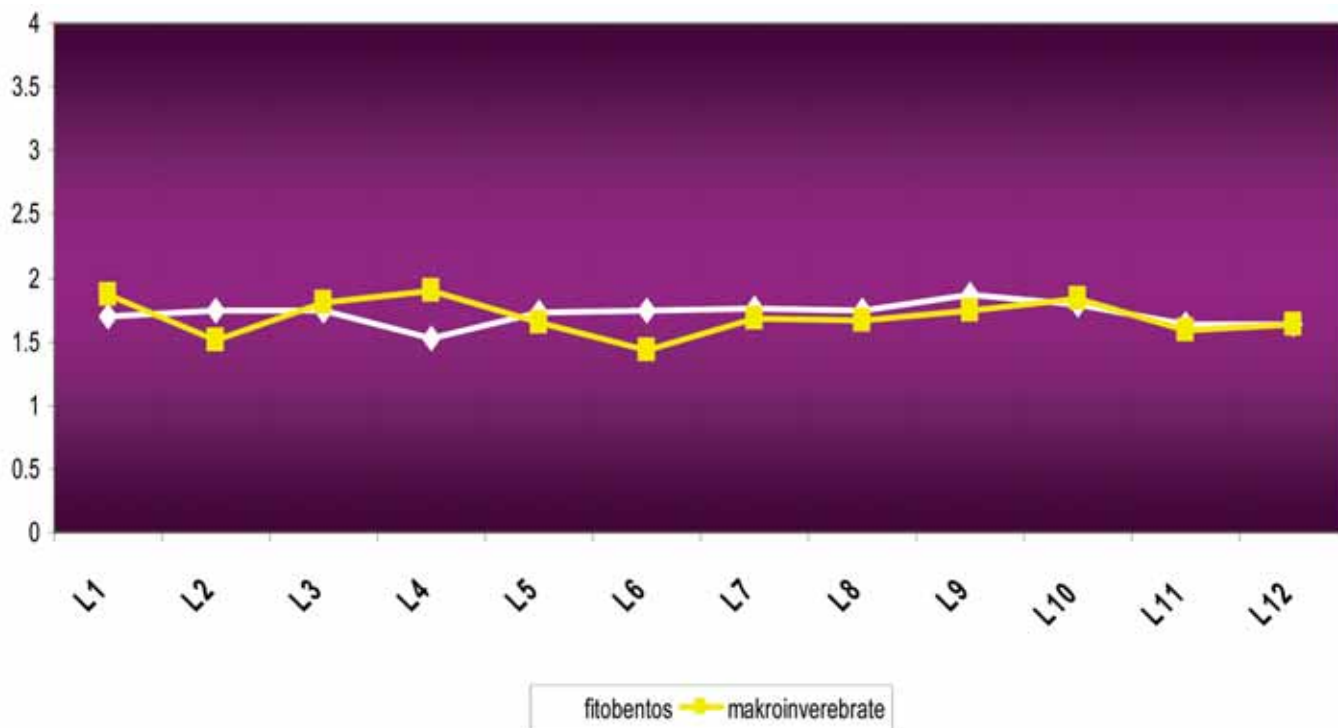
Tabela 6. Zbirni prijedlog kategorije kvaliteta vode prema vrijednosti saprobnog indeksa, Extended Biotic indeksa, Shannon –Weaver indeksa i fizičko/hemijskih parametara za vodu na lokalitetima tekućica sliva rijeke Cetine i Neretve i određivanje ekološkog statusa, 2009. godini

Lokalitet	BIOLOŠKI PARAMETRI					FIZIČKO/HEMIJSKI PARAMETRI						Status po EU Okvirnoj direktivi o vodama (2000/60/ EC)
	SI-F	SI-M	zajedno	EBI	H	pH	O ₂ mg/l	BPK ₅	Provod.	Ukupni P	Ukupni N	
Lištica /Borak	I/II	II	I/II	II	II	I	I	I	I	I	I	dobar
Drežanjka-Drežnica	I/II	I/II	I/II	I	I	I	I	I	I	I	I	visok
Studencića - Studenci	I/II	I/II	I/II	-	-	I	I	I	I	I	I	visok
Krupa - Drečevo	I/II	II	I/II	-	II	I	I	I	I	I	I	dobar
Vrioštica - Vitina	I/II	I/II	I/II	II	II	I	II	II	I	I	I	dobar
Idbar - Baščica	I/II	I	I/II	I	I	I	I	I	I	I	I	visok
Doljanka - Jablanica	I/II	I/II	I/II	I	II	I	I	IV	II	I	I	dobar
Trebižat - Humac	I/II	I/II	I/II	II	I	I	I	I	I	I	I	dobar
Lištica-Uzarići	II	I/II	I/II	II	II	I	I	I	I	I	I	dobar
Trebišnjica - Ravno	I/II	II	II	V	III	I	III	I	I	I	I	umjeren
Šujica - uzvodno	I/II	I/II	I/II	I	II	I	II	I	I	I	I	dobar
Sturba - vrelo - Sturbe	I/II	I/II	I/II	II	II	I	II	I	I	I	I	dobar

Šujica-uzvodno I Sturba – vrelo. U umjeren status, a prema vrijednostima fizičko/hemijskih parametara i

indeksima saprobnosti lokalitet rijeke Trebišnjice koji je izmjenjen, u rang umjerenih vodnih tijela.

Komparacijom vrijednosti saprobnog indeksa na temelju sastava fitobentosa i makroinvertebrata vodljivo je da se dobiveni rezultati u većini lokaliteta u potpunosti podudaraju (graf. 3).



Legenda:

L1 – Lištica – izvor/Borak
 L2 – Drežanjka – Drežnica
 L3 – Studenčica – Studenci
 L4 – Krupa – Drečevo

L5 – Vrioštica – Vitina
 L6 – Idbar – Baščica
 L7 – Doljanka – Jablanica/Sovići
 L8 – Trebižat – Humac

L9 – Lištica – Uzarići
 L10- Trebišnjica – Ravno
 L11 – Šujica – uzvodno
 L12 – Sturba – vrelo Sturbe

Graf. 3. Vrijednosti saprobnog indeksa prema sastavu fitobentosa i uzoraka makroinvertebrata, na lokalitetima tekućica sliva Neretve i Cetine u 2009. godini

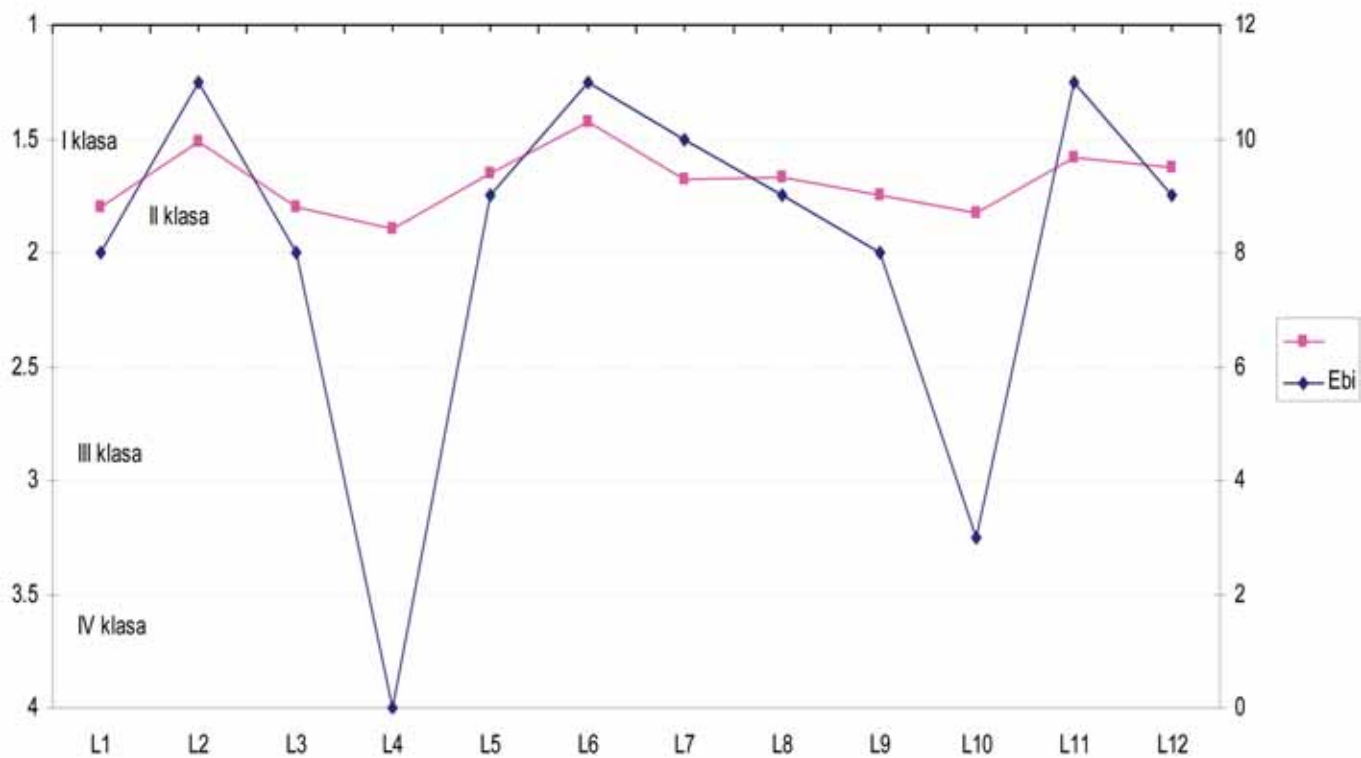
Na osnovu sastava makroinvertebrata izračunate su vrijednosti Extended Biotic indexa i Shannon – Weaver indeksa diverziteta. Dobivene vrijednosti za EBI su u kategoriji od 11 do 3 u Trebišnjici Ravno, a indeks diverziteta ima najveće vrijednosti na temelju sastava makroinvertebrata bentosa rijeke Baščice na lokalitetu Idbar (3,46) do 1,46 u uzorcima makroinvertebrata rijeke Trebišnjice na lokalitetu Ravno. Komparacijom vrijednosti saprobnog indeksa za makroinvertebrate i Extended Biotic Indexa (graf. 4) vidljivo je da se u mnogome rezultati aplicirani na kategorije kvaliteta podudaraju.

Izvjesta odstupanja vezana su za lokalitet Trebišnjice – Ravno gdje je vrijednost EBI 3 ukazuje na prisutnu izmjenu od prirodnih uvijeta što je i evidentirano na terenu, a vrijednost saprobnog indeksa to ne pokazuje. Za uzorke makroinvertebrata rijeke Krupa na lokalitetu Drečevo (L4), uslijed dubine vode uzorkovanje je izvršeno samo priobalno što je rezultiralo mali broj jedinki te nije bila moguća primjena EBI indeksa.



Ribogojilište na Neretvi

Snimio: M. Lončarević



Graf. 4. Usporedba vrijednosti saprobnog indeksa i Extended Biotic Indexa za sastav makroinvertebrata u uzorcima bentosa sliva rijeke Neretve i Cetine u FBiH, 2009. godine



Neretva u Mostaru

Snimio: M. Lončarević

Zaključci:

Na osnovu rezultata analize kvalitativno-kvantitativnog sastava fitobentosa i makroinvertebrata uzoraka bentosa iz tekućica u slivu rijeke Neretve i Cetine, mogu se izvesti slijedeći zaključci:

- ❑ Na osnovu analize sastava fitobentosa na 12 istraživanih lokaliteta sliva rijeke Neretve i Cetine registrovano je 160 taksona;
- ❑ Najveća raznovrsnost algi u sastavu fitobentosa registrvana je u vodi rijeke Trebižat na lokalitetu Humac (50 vrsta), a najmanja u vodi rijeke Lištice na lokalitetu Uzarići (15) i rijeci Studenčici na lokalitetu Studenci (15)
- ❑ U sastavu uzoraka bentosa na istraživanim lokalitetima konstatovano je 49 taksona makroinvertebrata;
- ❑ Najveća raznovrsnost makroinvertebrata konstatovana je u uzorcima rijeke Baščica na lokalitetu Idbar (13 taksona) i u uzorcima rijeke Drežanjke na lokalitetu Drežnica (12 taksona), a najmanja raznovrsnost u uzorcima rijeke Studenčice (jedan takson) i rijeci Trebišnjici na lokalitetu Ravno (tri taksona)



Vrelo Bune

Snimio: M. Lončarević

- ❑ U sastavu makroinvertebrata se posebno sa faunističkog gledišta izdvaja utvrđivanje staništa riječne kozice *Atyaephyra desmaresti* u sastavu makroinvertebrata uzoraka bentosa rijeke Krupe na lokalitetu Drečevo koja je zbog ugroženosti u IUCN listi i zaštićena je
- ❑ Prema saprobnosti vrijednosti dva analizirana biološka parametra tekućice sliva Neretve i Cetine se svrstavaju u oligo/betamezosaprobne svi lokaliteti osim Trebišnjice na lokalitetu Ravno koja je betamezosaprobna;
- ❑ Prema vrijednostima Extended Biotic Indexa kvalitete vode varira od čistih I (Drežanjka, Idbar, Šujica uzvodno, Vrioštica – Vitina) do umjereno zagađenih (Trebišnjica – Ravno)
- ❑ Prema vrijednosti indeksa diverziteta vode sa velikim diverzitetom I čiste (Drežanjka, Vrioštica, Doljanka, Trebižat), do voda sa manjim diverzitetom I umjerenim zagađenjem (Trebišnjica na lokalitetu Ravno),
- ❑ U poredbom vrijednosti saprobnog indeksa za makroinvertebrate i Extended Biotic Indexa, donekle su se podudarile vrijednosti kategorizacije vodotoka (kvalitet vode) sa odstupanjima na lokalitetima gdje je evidentirana izmjena od prirodnih uvijeta,
- ❑ Prema fizičko/hemijskim parametrima voda lokaliteta je u kategorijama I do II
- ❑ Uslijed jednokratnih uzorkovanja, za svako preciznije formulisanje i zaključivanje neophodna su duža istraživanja, ali rezultati kvalitativno-kvantitativnog sastava fitobentosa i makroinvertebrata ukazuju na velik diverzitet koji inicira povoljnost ali i ugroženost istraživanih vodnih ekosistema

5. LITERATURA

- Aubert, J. (1959): *Insecta Helvetica. Plecoptera*. Imprimerie la concorde, 1: 1-140, Lausannae.
- Bole, J. (1969): Ključići za dolečovanje živali: Mehkužci (Mollusca). Inštitut za biologijo Univerze v Ljubljani. Društvo biologov Slovenija, Ljubljana.
- Coste, M., in CEMAGREF (1982) Étude des méthodes biologiques d'appréciation quantitative de la qualité des eaux. Rapport Q. E. Lyon A. F. Bassin Rhône-Méditerranée-Corse. s. 1-218.
- Consiglio, C. (1980): *Guide per il riconoscimento delle specie animali delle acque interne Italiane: Pleotteri (Plecoptera)*. Consiglio Nazionale delle Ricerche, s.l.
- Eliot, J. M. Mann, K. H. (1979): A key to the British Association, Ambleside, Scientific Publication.
- Hindak, F., Cyrus, Z., Marvan, P., Javornicky, P., Komarek, J., Ettl. H, Rosa, K., Sladečkova, A., Po-

- povski, J., Punocharova, J., Lhotsky, O. (1978): Slatkovodne riasy. Slovenske pedagogičke nakladateljstvo, Bratislava.
- Hustedt, F. (1930): Bacilariophyta // A. Pascher: Die Susswasserflora Mitteleuropas, 10. Jena.
- Knöpp, H. (1954): Ein neuer Weg zur Darstellung Biologische vorfluteruntersuchungen. Dt. Wass. Wirtschaft., 45: 1–15.
- Kačanski, D. (1978): Plecoptere sliva Neretve. Godišnjak BIUS, 31: 57-69
- Lazar, J. (1960): Alge Slovenije: Seznam slatkovodnih vrst in ključ za dolčanje. SAZU, Ljubljana.
- Marinković-Gospodnetić, M. (1978): The Caddis-Flies (Trichoptera, Insecta) of Herzegovina. Godišnjak BIUS, 31: 115-133, Sarajevo
- Marić, S., Šarac, M. (2003): Ispitivanje kakvoće vode na slivovima rijeka Neretve i cetine na području BiH. Zbornik radova: Voda u kršu slivova Cetine, Neretve i Trebišnjice, 51-64, Neum
- Pantle, R., Buck, H., (1955): Die Biologische Überwachung der Gewässer und die darstellung der Ergebnisse Gas und Wasserfach 96: 604.
- Round, F.E., Crawford, R.M., Mann, D.G. (2000): The diatoms, Biology & morphology of the genera. Cambridge University Press, Cambridge.
- Sladaček, V. (1979): System of water quality from the biological point of view. Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol., 7 (I – II): 1–218.
- Sofradžija, A., Hadžiselimović, R., Škrijelj, R., Guzina, N., Trožić-Borovac, S., Korjenić, E., Hamzić, A. (2002): Ribarstveno-gospodarska osnova rijeke Neretve (općina Konjic, Jablanica i Mostar) .Centar za ihtiologiju i ribarstvo Prirodno-matematičkog fakulteta Sarajevo
- Studeman, D., Landolt, P., Sartori, M., Hefti, D., Tomka, I. (1992): *Ephemeroptera, I, nsecta Helvetica*, Fauna (9). Societè entomologique suisse.
- Zelinka, M., Marvan, P. (1961) Zur Prazisierung der biologischen Klassifikation des Reinheit fließender Gewässer. Arch. Hydrobiol. 57: 389–407.
- Zabelina, M.M., Kieselev, I.A., Proškina-Lavrenko, A.I., Šušekova, V.I. (1951): Opređeljitelj presnovodnih vodoroslej SSSR. Diatomovie Vodorosli. Gosudarstvenoe izdateljstvo Sovjetskaja nauka, Moskva.
- Waringer, J., Graf, W. (1997): Atlas der Österreichshhen köcerfliegenlarven: unter Einschlu? der angrenzenden Geibiete. Facultas Universitätsverlag, Wien
- Wegl, R. (1983): Index für die Limnosaprobität. Wasser und Abwasser, 26: 1–175

Napomena: fotografije lokaliteta istraživanja dostavili autori.



Još jedan pogled na vrelo Bune

Snimio: M. Lončarević

PREČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA GRANULARNIM MULJEM

U SPOMEN NA Dr IVANKU BRKOVIĆ-POPOVIĆ

Drugi dio

SAŽETAK: Osnovni cilj ovog rada je sumiranje znanja poznatih svjetskih autora o procesu prečišćavanja otpadnih voda koje sadrže biorazgradljive materije pomoću granularnog mulja, postupku koji je relativno nov i kod nas vrlo malo poznat, a u odnosu na druge procese znatno jeftiniji. Pored Uvoda, rad obuhvata sledeća poglavlja: 1. Osnovne karakteristike procesa, 2. Faktori koji utiču na anerobnu granulaciju i tehnologiju uklanjanja organskih materija, 3. Primjena procesa sa granularnim muljem za prečišćavanje gradskih otpadnih voda, 4. Primjena procesa sa granularnim muljem za prečišćavanje industrijskih otpadnih voda, 5. Produkcija metana, 6. Aerobna granulacija, 7. Literatura.

3. PRIPREMA PROCESA SA GRANULARNIM MULJEM ZA PREČIŠĆAVANJE GRADSKIH OTPADNIH VODA

Prema Lettinga (1977), pri tretmanu delimično rastvorenih efluenata, sličnih sirovim domaćim otpadnim vodama, osnovni faktor procesa je brzina hidrolize. Generalno gledano, ovaj parametar je limitirajući faktor anaerobne digestije, naročito pri temperaturama ispod 20°C. Zato, polazeći od uklanjanja rastvorenog COD biorazgrad važan kriterijum za primenu ovog procesa je stepen do kog se čvrste materije iz otpadnih voda mogu ukloniti i stabilizovati. Tri faktora upravljaju količinom stvorenog mulja, ali takođe i karakteristika ma viška mulja, a to su metanogena aktivnost, stabilnost i oslobađanje vode, kao i karakteristike taloženja.

Rezultati dobijeni sa malim, srednjim i velikim UASB postrojenjima pokazala su pogodnost anaero-



Tabela 1. Neki projektni kriterijumi UASB reaktora za tretman domaćih otpadnih voda

Srednje hidrauličko vreme zadržavanja	4 h
Visina reaktora	4 m
Uvodni otvor za influent	1 po 4 m ² kad je reaktor pun mulja 1 po 1 m ² kad ima malo mulja
Distribucija hrane	Po celoj osnovi
Uzlazna brzina u reaktori	Srednjednena 4 m h ⁻¹ , za vreme 2-4 h 8 m h ⁻¹

bnog tretmana domaćih i gradskih otpadnih voda u zemljama u razvoju u tropskim regionima. Efekti uklanjanja HPK i BPK su 65-90%, odnosno 75-95% pri hidrauličkom vremenu zadržavanja od 2 do 4 h za sirove domaće otpadne vode u jednostepenom sistemu. Efikasnost se poboljšava upotrebom dvo- ili tro- stepenim reaktorima. Posttretman može biti laguna ili neki drugi aerobni proces, što u izvesnoj meri zavisi da li se zahteva uklanjanje azotnih i fosfornih jedinjenja.

UASB reaktor postiže visoke efekte smanjenja HPK pri hidrauličkom vremenu zadržavanja od 7 h bez velikog smanjenja efekta za vreme niskih temperatura. Kao posttretman može da služi laguna, klasični biofilter, kao i biofilter sa obešenim komadima spužvi kao ispunom, čime se postiže uklanjanje preostalih organskih materija i amonijačnog azota (Agrawal et al. 1997).

Austermann-Haun, et al. (1998) su primenili postupak sa granularnim muljem (UASB-reaktor) i dva biofiltra za prečišćavanje gradskih otpadnih voda. Prema podacima srednjih vrednosti, finalni efluent je imao sledeće vrednosti parametara kvaliteta (u mg L⁻¹): HPK = 34; BPK₅ = 6,3; NH₄-N = 2,1; N_{ukupni} = 14; P_{ukupni} = 0,6; suspendovane materije = 14.

Concalves et al. (1998) navode da je pri prečišćavanju gradskih otpadnih voda u laboratorijskim modelima UASB reaktora i biološkog filtra pri opterećenju od 0,6 kg HPK m⁻³ d⁻¹ postignut visok stepen uklanjanja suspendovanih materija, HPK i BPK – 95%, 95% i 88%, sa vrednostima koncentracija u efluentu postrojenja: SM = 10 mg L⁻¹, BPK = 10 mg L⁻¹, i HPK = 50 mg L⁻¹. Hidrauličko vreme zadržavanja u UASB reaktoru iznosilo je od 16 do 4 h i u bifiltru od 0,46 do 0,11 h. Ravnotežno stanje postiže se posle 130 dana pogona pri opterećenju od 8 m³ otpadne vode po m⁻³ reaktora na dan. Vreme zadržavanja u rektoru iznosilo je 8 h. Koncentracija parametara kvaliteta u efluentu reaktora sa granularnim muljem su bile sledeće (mg L⁻¹): suspendovane materije 37, BPK 30. Produkcija mulja kretala se u dijapazonu 0,14 – 0,16 g ukupnih čvrstih materija po kg uklonjenog HPK.

Vrlo slične rezultte su dobili Chernicharo and Machado (1998).

Machdar, et al. (1997) su predložili novi sistem tretmana koji se sastoji od UASB anaerobnog pred-

tretmana i DHS (downflow handing sponge-cubes) posttretmana, biofilter sa obešenim spužvama (ispuna), proces koji je jeftin i lako se održava a pogodan je za zemlje u razvoju. Posle 6 meseci eksperimentisanja ovaj sistem je postigao sledeće efekte uklanjanja: 94% ukupni HPK, 81% rastvoreni HPK, skoro potpuno uklanjanje suspendovanih materija pri hidrauličkom vremenu zadržavanja od 8,3 h (7 h u UASB reaktoru i 1,3 h u DHS jedinici). Ovaj sistem može da postigne 73-78% nitrifikacije. Sistem ne zahteva veštačku aeraciju nema viška mulja. Pogodnost predloženog sistema je procenjena u šestomesečnom eksperimentu upotrebom domaće otpadne vode kao supstratom. Autori na kraju svoga rada navode sledeće zaključke:

1. Naš predloženi sistem ima odlične efekte: 94% uklanjanje ukupnog HPK, 81% uklanjanje rastvorenog HPK i skoro potpuno uklanjanje suspendovanih materija i BPK pri ukupnom vremenu zadržavanja od 8,3 h (7 h u UASB i 1,3 h u DHS jedinici).
2. DHS posttretman funkcioniše zadovoljavajuće ne samo za uklanjanje rezidualnih formi organskih materija UASB predtretmana, nego takođe i za uklanjanje azota. U DHS sistem obavlja se 73-78% nitrifikacije i takođe u izvesnoj meri i denitrifikacije. Posebna prednost ovog postrojenja je da nema potrebe za aeracijom niti se produkuje višak mulja.

Prema Lettinga et al. (1993), u tretmanu delimično rastvorenih materija u efluentima, sličnih sirovim domaćim otpadnim vodama, osnovni faktor koji utiče na efekte prečišćavanje je brzina hidrolize i zato je generalno njena brzina limitirajući faktor anaerobne razgradnje, naročito pri temperaturama ispod 20°C. Rezultati dobijeni sa malim srednjim i velikim UASB postrojenjima pokazali su pogodnost anaerobnog tretmana domaćih i gradskih otpadnih voda u zemljama sa toplom klimom. Efekti uklanjanja HPK i BPK su 65-90%, odnosno 75-95% za hidrauličko vreme zadržavanja od 2 do 4 h za sirove domaće otpadne vode u jednostepenom sistemu. Efikasnost se poboljšava upotrebom dvo- ili tro- stepenim UASB reaktorima. Post-tretman može biti i aerobna laguna.

Zeeman i Lettinga (1999) navode da izbor jednoli ili dvofaznog sistema, uglavnom, zavisi od temperature otpadne vode i njene fluktuacije, kao i koncen-

tracije zagađenja u otpadnoj vodi. Za tretman domaćih otpadnih voda pri niskoj temperaturi dvofazni sistem je bolji u odnosu na jednostepeni. Naprotiv, pri višoj temperaturi jednostepeni sistem je efikasniji. Kad temperatura varira od 15 do 25°C dvostepeni UASB sistem je povoljniji, naročito ako su koncentracije HPK visoke. Laboratorijska i pilot ispitivanja daju odgovor na ovo pitanje. Kad se tretiraju koncentrovane otpadne vode, dvofazni sistem može, takođe, pod uslovima visoke temperature, biti povoljno rešenje. Anaerobni efluent sadrži najveći deo nutrijenata prisutnih u influentu, pa se posle uklanjanja patogena mogu upotrebljavati za navodnjavanje u poljoprivredi.

Sva razmatranja alternativa za tretman domaćih otpadnih voda u Brazilu svode se na činjenicu da je anaerobni tretman, posebno pomoću UASB reaktora, jedna od glavnih opcija (Chernicharo i Machado, 1998). Rezultati pokazuju pogodnost sistema UASB – aerobni biofilter za tretman domaćih otpadnih voda u zemljama u razvoju pošto sistem radi sa kratkim vremenom zadržavanja od 6 h za UASB i 3-4 h za biofilter. Rezultati potvrđuju da se postiže odličan kvalitet efluenta u kombinaciji UASB i biološkog filtra. Dobija se kompaktan i efikasan sistem koji troši malo energije i to je poželjno rešenje za tretman otpadnih voda u Brazilu.

Prema podacima Schlinkhout (1993), efekat prečišćavanja domaćih otpadnih voda pomoću granularnog mulja u Egiptu kretao se između 70 i 80% sa vrednostima za influent: HPK 380 i BPK 160 mg/L. Produkcija biogasa iznosila je 50 L po m³ tretirane otpadne vode. U tabeli 2 navode se efekti uklanjanja suspendovanih materija, HPK i BPK posle UASB reaktora i biološke filtracije. Produkcija biogasa iznosila je 50 litara po m³ tretirane otpadne vode.

Mnoge otpadne vode (komunalne, klanice, mlekare) sadrže znatne količine suspendovanih materija koje mogu stvarati poteškoće pri primeni visokog opterećenja u UASB postrojenju usled akumulacije suspendovanih materija zbog njihove spore hidrolize. Za te svrhe primenjuje se UASR (upflow anaerobic solids removal) reaktor koji je snabdevan sistemom za sporo mešanje sadržaja. Primena ovog reaktora za predtretman sirovih gradskih otpadnih voda (17°C, HRT 3 h) i aktivnog mulja (20°C, HRT 3 h) re-

zultuje u visokoj efikasnosti uklanjanja HPK i suspendovanih materija od 65%, odnosno 98% (Zeeman et al., 1997).

U odnosu na konvencionalne tretmane gradskih i industrijskih otpadnih voda koje sadrže organske materije, proces sa granularnim muljem vrlo je pogodan način prečišćavanja u subtropskim regionima (Yu et al., 1997).

Efikasnost anaerobnog procesa jako zavisi od temperature u reaktoru. Ispod 12°C acidogena fermentacija je znatno aktivnija od metanogeneze, pa se uklanjanje zagađenja uglavnom obavlja taloženjem. Iznad 12°C metanogena aktivnost raste i pri 15°C postiže se potpuna konverzija volatilnih masnih kiselina u metan.

Oko 95% otpadnih voda koje se produkuju u Holandiji tretira se na gradskim postrojenjima, a preostalih 5% produkuje se sa oko 300.000 izvora (udaljene kuće, farme, rekreacioni objekti i drugi za koje je skupo pripajanje na gradsku kanalizaciju). Za ovu vrstu otpadnih voda proces sa granularnim muljem može biti realno rešenje (Bogte et al., 1993).

Prema Polito-Braga et al. (2002), kombinovani sistem tretmana UASB – aktivni mulj je pogodan za prečišćavanje gradskih otpadnih voda u zemljama sa toplom klimom. U anaerobnom procesu u UASB reaktoru uklanja se najveći deo organskih materija, a aktivni mulj služi za uklanjanje preostalog organskog zagađenja i prevođenje nižih valentnih formi azota do nitrata. Ovakva konfiguracija procesa zahteva mnogo manje energije i produkuje manje mulja od standardnih postrojenja sa aktivnim muljem i anaerobnom digestijom mulja.

Foresti (2002), takođe, smatra da performanse UASB reaktora omogućuju uspešnu primenu za tretman gradskih otpadnih voda u tropskim regionima gde su prosečne ambijentalne temperature veće od 20°C.

Uemura et al. (2002) smatraju da je prečišćavanje gradskih otpadnih voda pomoću granularnog mulja vrlo povoljno rešenje. Osnovni nedostatak ovog procesa jeste što efluent ne zadovoljava uslove za direktno ispuštanje u prijemni vodotok. Autori su za dočišćavanje efluenta anaerobnog reaktora predvideli biološku filtraciju sa ispunom od obešenih malih komada spužvi (DHS biofilter sa obešenim komadima

Tabela 2. Performanse "Rio Frio" postrojenja u Bucarmanga, period avgust-septembar, 1993.

	Dimenzije	UASB	Ukupno finalni efluent
BPK _{ef}	g/m ³	40	18
HPK _{ef}	g/m	150	100
Ukupne suspen. materije	g/m ³	70	25
Uklanjanje BPK	%	73	89
Uklanjanje HPK	%	60	75

spužvi). Na poluindustrijskom postrojenju sa ovom konfiguracijom su postigli sledeće efekte prečišćavanja:

- UASB jedinica je sa hidrauličkim vremenom zadržavanja od 6 h postizala efekat ulanjanja HPK od 57% i BPK₅ od 66%,
- BPK efluenta biofiltra sa ispunom od obešenih spužvi iznosio je 8 mg L⁻¹,
- Ukupni efekti uklanjanja HPK iznosili su 84% a BPK₅ 95%,
- U biofiltru se uklanja 70% ukupnog azota.

Tawfik et al. (2006) su ispitujući uklanjanje fekalnih koliformnih bakterija u DHS-u zaključili:

- najvažniji mehanizam uklanjanja fekalnih koliforma jeste adsorpcija a zatim predacija,
- povećanjem vremena zadržavanja otpadne vode od 1 do 6 časova povećava se efekat prečišćavanja,
- povećanja zapremine spužvi sa 12,9 na 51,6 litara, kao i smanjenje pora u spužvama sa 1,92 na 0,56 mm znatno povećavaju efekte prečišćavanja,
- na adsorpciju fekalnih koliforma na spužve ne utiče pH u dijapazonu vrednosti od 6,6 do 9,0.

Chuang et al. (2007) su ispitali stepen nitrifikacije u DHS procesu sa sintetičkom otpadnom vodom koja je sadržavala i HN4Cl pri temperaturi od 30°C i pri hidrauličkom vremenu zadržavanja od 1,5 h. Koncentracija rastvorenog kiseonika u reaktoru održavana je na 1,2 mg L⁻¹. U petomesečnom kontinualnom eksperimentu koncentracije rastvorenog kiseonika u reaktoru održavana je ispod 3% (1,2 mg L⁻¹). Eksperiment je trajao pet meseci i pokazao je da postoji zavisnost između koncentracije kiseonika i produkcije nitrita, pri čemu koncentracija nitrita raste s opadanjem koncentracije kiseonika. Delimična nitrifikacija se postiže pri koncentraciji kiseonika od 0,5% u gasnoj fazi (0,2 mg rastvorenog kiseonika na litar u tečnoj fazi). Pri tome je uklanjanje amonijaka iznosilo 0,5% u gasnoj fazi (0,2 mg L⁻¹ rastvorenog kiseonika u otpadnoj vodi). Maksimalna brzina uklanjanja amonijaka iznosila je 1,46 kg NH₄-N m⁻³ d⁻¹.

Prema Sperling i Andrada (2006), UASB reaktori uz dočišćavanje u veštačkim jezerima (lagune) je jednostavan i ekonomičan način prečišćavanja gradskih otpadnih voda. Na kraju, efluent se ispušta preko filtera sa krupnom ispunom od kamenja.

Tandukar et al. (2006) prikazuju poboljšanje primene DHS procesa za dočišćavanje otpadnih voda posle tretmana u poluindustrijskom UASB reaktoru. Zapremina UASB iznosila je 1,15 m³ a DHS 0,38 m³ zapremina spužvi. Eksperiment je trajao 2 godine a organsko opterećenje je iznosilo 2,38 kg HPK m⁻³ d⁻¹ sa vremenom zadržavanja od 2 h. Uklanjanje organskih materija za ceo sistem iznosilo je 96% prema HPK za filtrirani i 91% za nefiltrirani uzorak.

Chuang et al. (2007) su ispitali stepen nitrifikacije u DHS procesu sa sintetičkom otpadnom vodom koja se sastojala od HN4Cl (temperatura 30°C) i pri hidrauličkom vremenu zadržavanja od 1,5 h. U petomesečnom kontinualnom eksperimentu koncentracija kiseonika u reaktoru održavana je ispod 3% (1,2 mg L⁻¹). Eksperiment je trajao pet meseci i pokazao je da postoji zavisnost između koncentracije kiseonika i produkcije nitrita, pri čemu koncentracija nitrita raste s opadanjem koncentracije kiseonika. Delimična nitrifikacija se postiže pri koncentraciji kiseonika od 0,5% u gasnoj fazi (0,2 mg rastvorenog kiseonika na litar u tečnoj fazi). Pri tome je uklanjanje amonijaka iznosilo 0,5% u gasnoj fazi (0,2 mg L⁻¹ rastvorenog kiseonika). Maksimalna brzina uklanjanja amonijaka iznosila je 1,46 kg NH₄-N m⁻³ d⁻¹.

Tawfik et al. (2006) su, ispitujući mehanizam uklanjanja fekalnih koliforma u DHS procesu, zaključili da su fizički faktori (vreme zadržavanja otpadne vode u sistemu, veličina pora i zapremina spužvi) najvažniji faktori koji utiču na efekat smanjenja posmatranog parametra.

Souza et al. (2006) su ispitujući penu iz UASB reaktora utvrdili da se ona sastoji od heterogenih organskih materija i da ima veliku vrednost HPK i BPK. Mikroskopska slika pokazuje prisustvo različitih mikroorganizama.

Ispitivanja koja su sprovedeli Leitao et al. (2006) odnosi se na utvrđivanje robustnosti i stabilnosti UASB reaktora pri prečišćavanju gradskih otpadnih voda na osnovu četiri pokazatelja: (1) efekat uklanjanja HPK, (2) varijabilnost kvaliteta efluenta, (3) stabilnost pH i (4) potrebno vreme za oporavak posle nepovoljnog uticaja na proces prečišćavanja. Posle uspostavljanja stabilnog rada UASB organsko i hidrauličko opterećenje menjano je 6 puta u toku 6 časova ispitivanja. Konstatovano je da UASB reaktor može da podnese fluktuacije HPK vrednosti u influentu bez značajnijeg povećanja HPK u efluentu.

4. PRIMENA PROCESA SA GRANULARNIM MULJEM ZA PREČIŠĆAVANJE INDUSTRIJSKIH OTPADNIH VODA

Industrija pekarskog kvasca u Rusiji je znatan izvor zagađenja vodotoka zbog velike količine otpadnih voda (56 Mm³ na godinu) i kontaminacionog potencijala (Kalyuzhnyi et al., 2005). Efluent iz tipičnih ruskih fabrika kvasca obično ima HPK od 7 do 12 g L⁻¹, 0,5 – 11 g L⁻¹ ukupnog N, veliku količinu slabo razgradljivih materija, jako obojenje (melanoidne i fenolne supstancije). Zato ove fabrike u Rusiji imaju velikih problema sa tretmanom otpadnih voda. Insistira se na predtretmanu pre ispuštanja u kanalizaciju. Cilj ovog rada je razvoj tehnologije koja će omogućiti ispuštanje ovih efluenata u gradsku kana-

lizaciju i tretman sa gradskim otpadnim vodama. Propisane su sledeće dozvoljene vrednosti za efluente ovih industrija: HPK-800, SO_4 -500; ukupni N – 100 mg L⁻¹. Kao prvi stepen prečišćavanja predviđen je UASB reaktor na 35°C sa uklanjanjem HPK od 52 do 74% sa prosečnim organskim opterećenjem od 8,1 do 18 g HPK L⁻¹ na dan. U sledećem stepenu je biofiltrar u aerobno-anoksičnom režimu pri 19 – 23°C za uklanjanje preostalog HPK i azota. Na kraju, testirana je koagulacija sa Fe, Al i Ca da se ostvare granične vrednosti za HPK, ukupni N, fosfor i boju.

Najveći deo boja (60-70%) koje se primenjuju u tekstilnim industrijama su azo-boje, to jest molekule sa jednom ili nekoliko veza (N-N) sa substituentima aromatske strukture. Azo boje su generalno otporne u aerobnim uslovima. Naprotiv, u anaerobnoj sredini one podležu redukcionoj razgradnji dajući bezbojne aromatske amine, jedinjenja koja zahtevaju aerobne uslove da bi se mogle biološki razgraditi (Van der Zee et al., 2003).

Prema Mendez-Paz et al. (2005), u 1987. godini je procenjeno da se oko 2% od 450.000 tona proizvedenih boja ispušta s industrijskim efluentima, a oko 9% se odnosi na tekstilne industrije. Sastav otpadnih voda koje potiču iz tekstilnih industrija zavisi od mnogih faktora. Generalno, boje treba da su otporne na hemijska jedinjenja (deterdženti i sapuni), svetlost i sve agense koji mogu biti u kontaktu sa obojenim proizvodom. Međutim, najrezistentnije boje su agensi koji se teško uklanjaju iz otpadnih voda. Među različitim grupama najzastupljenije su azo-boje koje su, uglavnom, sintetička jedinjenja koja čine oko 60-70% ukupnih boja koje se primenjuju u ovoj vrsti industrije.

Fizičko-hemijske tehnologije kao što su adsorpcija, koagulacija, flokulacija i unapređena oksidacija mogu biti vrlo efikasne za uklanjanje boja iz otpadnih voda. Oksidaciona degradacija hlorom i ozonom su najčešći hemijski procesi za uklanjanje boja, ali se pri hlorinaciji kao nus-produkti stvaraju organohlorna toksična jedinjenja.

Druge fizičko-hemijske tehnologije kao što su membranska filtracija ili adsorpcija na aktivnom uglju su skupi procesi. Jeftini adsorbensi mogu biti upotrebljeni ali površinsko opterećenje adsorbensa i pH imaju bitnu ulogu u efikasnosti uklanjanja boja. Mora se uzeti u obzir da ovi procesi, uglavnom, prevode polutante iz jednog u drugi oblik ne razgrađuju ih.

S druge strane biološki procesi nude relativno jeftin i efikasan način za istovremeno uklanjanje, odnosno razgradnju i boje i organskih materija. Međutim, potpuna degradacija bolje u biološkim postrojenjima koja se obavlja u aerobnim procesima teško se postiže, pošto je glavni mehanizam uklanjanja boje adsorpcija na mulju, a ne njena razgradnja. Anaerobni tretman može biti pogodna alternativa za tretman tekstilnih otpadnih voda, naročito kada su u pitanju azo-boje. U većini slučajeva one se lako redukuju u anaerobnim uslovima (Van der Zee et al., 2003). Glavna mana redukcije azo boja pod anaerobnim uslovima je stvaranje aromatskih amina koji su u većini slučajeva nerazgradljivi pod anaerobnim uslovima. Različiti sekvencijalni i simultani anaerobno – aerobni sistemi su upotrebljavani za potpunu degradaciju azo-boja.

Anaerobnu redukciju azo boja kao prvi stepen u kompletnoj anaerobno-aerobnoj razgradnji azo boja intenzivno su istraživali mnogi autori koji se slažu da je to nespecifičan i prevashodno celularni proces. U visokopterećenim bioreaktorima biološka redukcija azo-boja je mnogo značajnija od hemijske redukcije (Van der Zee et al. 2003).

Napred pomenuti autori smatraju da dosadašnji rezultai dovode do zaključka da je UASB tehnologija pogodna alternativa za uklanjanje boja iz otpadnih voda sa visokim koncentracijama organskog zagađenja i da prisustvo kosupstrata može ubrzati proces. Osim toga, postiže se značajna detoksifikacija influenta od 65%.

Haridas et al., 2005. smatraju da se ovi visokopterećeni anaerobni reaktor, nazvan "Buoyant Filter Bioractor" BFBR (tabela 1) može koristiti za tretman

Tabela 1. Karakteristike BFBR upoređene s drugim visokopterećenim reaktorima

Parametar	UASB	Fiksirani film	Fluidizovani sloj	BFBR
Zadržavanje biomase	Zavisan od taloživosti	Zadržava se samo biofilm koji formiraju	Zadržava se samo biofilm koji formiraju mikroorganizmi	Zadržavanje mulja ne zavisi od taloživosti
Zadržavanje čvrstih materija	Ograničen kapacitet zadržavanja, ispire se mulj	Čvrste materije mogu biti zadržane, ali to dovodi do preoptereć.	Nema kapaciteta za zadržavanje čvrstih materija	Visok kapacitet zadržavanja čvrstih materija
Mešanje čvrstih materija i biomase, prinos gasa	Ograničen uzlaznom brzinom i produkcijom gasa	Slabo mešanje i vrlo ograničen prinos gasa	Dobro mešanje ali zavisi od brzine dovoda influenta	Način mešanja nezavisan od uzlazne brzine

otpadnih voda koje sadrže lipide u većim koncentracijama. Usvojeno je da ograničavajući stepen anaerobne mineralizacije za proste rastvorljive supstrate predstavlja proces konverzije masnih kiselina do metana. Ograničavajući stepen za složene supstrate je najčešće hidroliza i rastvorljivost. Zato slabo rastvorljivi supstrati treba da se zadržavaju u reaktoru duže radi rastvaranja i hidrolize, tj. treba da vreme zadržavanja supstrata ne zavisi od hidrauličkog vremena zadržavanja, što je postignuto pomoću kontra ispiranja bogasom koji usmerava granule prema dole. BFBR može biti upotrebljen za tretman otpadnih voda mlekarica bez uklanjanja masnoća u predtretmanu. Efekat veći od 90% postiže se pri zapreminskom opterećenju od 9,85 g HPK po m³ na dan. HPK efluenta je 120 mg L⁻¹ a prinos metana iznosi 0,37 L g⁻¹ uklonjenog HPK. Ako je reaktor podopterećen u periodu od 1 do 2 nedelje opada aktivnost granularnog mulja i javlja se pena.

Rezultati Naidas-a et al. (2005) pokazuju da rad sa prekidima poboljšava efekat biološke konverzije u UASB reaktorima koji primaju otpadne vode sa većim sadržajem masnih materija. Porast efikasnosti je dobijen smanjenjem akumulacije organskih materija u mulju i mnogo bolja metanizacija supstrata sa realizuje u periodu bez dovoda otpadne vode. Prema tome, mnogo veće opterećenje može se postići u reaktoru s diskontinualnim dovodom influenta (22 g HPK, L⁻¹d⁻¹) u odnosu na kontinualni sistem (3-6 g HPK, L⁻¹d⁻¹). Postojanje perioda bez dovoda hrane poboljšava produkciju metana za sve testirane cikluse, a naročito u ciklusu sa dužinom od 96 h u kome konverzija uklonjenog HPK u metan raste od 59 na 85% zbog produkcije metana u periodima bez hrane. Optimalni ciklus je 48 h dovod hrane i 48 h bez hrane – stabilizacija. Verovatno je da efekat perioda bez hrane predstavlja eliminaciju različitih štetnih komponenti supstrata.

Fang i Zhou (1997) su ispitivali efekat 9 aromatičnih jedinjenja (benzoat, ftalat, fenol, katehol, rezorcionol, hidrohinon, orto-krezol, meta-krezol i para-krezol) na granularni mulj. Dobijeni rezultati pokazuju da je moguća razgradnja ovih jedinjenja u ovom procesu.

Yoda i Nishimura (1997) su ispitivali razlog iznošenja granula iz UASB reaktora usled flotacije, što predstavlja znatan problem u radu. To se naročito odnosi na velike granule pri malom organskom opterećenju. Flotaciju prouzrokuje zadržavanje biogasa u ulegnućima jezgra granula. Ova ulegnuća su stvorena ugibanjem bakterija smeštenih u jezgru usled iscrpljivanja supstrata. Ako je šupljina u unutrašnjosti granula flotira, naročito ako je prečnik veliki. Rešenje ovog problema je mrvljenje granula.

Austermann-Haun et al. (1997) prikazuju rezultate eksperimenata sa industrijskim UASB reaktorom u fabrici za proizvodnju sokova. Konstatuje se da je

UASB reaktor pogodan za kampanjsku industriju koja radi samo 2 meseca godišnje sa vrlo koncentrovanim otpadnim vodama, kao i van kampanje kad su koncentracije niske (prosečni COD 1000 mg/L). Brojni radni rezultati i preporuke su date koji su posledica iskustva sa ispitivanja u složenim situacijama. Primeri preporuka su: diskontinualni rad 8 sati na dan van kampanje, uklanjanje paleta mulja na kraju kampanje. Efekat rada UASB reaktora bio je konstantno iznad 80% u toku cele godine. Autori smatraju da je ovaj proces ekonomski vrlo povoljan. Zapreminsko opterećenje UASB reaktora je 10-17 kg HPK m⁻³d⁻¹. Izgradnja postrojenja koštala je 4,5 miliona DM 1989. godine. Reaktor je inokulisan sa 130 m³ paleta granula UASB reaktora za industrije za proizvodnju papira. Jedan metar reaktorske visine ekvivalentan je sa 21 kg čvrste mase u m⁻³ računato na celu zapreminu. Za vreme prve 3 nedelje rada najmanje 3200 kg čvrste mase (1/4 ukupne mase) se izgubila u adaptacionom procesu, ali je zapaženo povećanje mase novih granula. Tretman otpadnih voda koje sadrže velike količine suspendovanih materija efikasniji je u dvostepenom sistemu sa visokim opterećenjem u prvom stepenu pri čemu se ne stvara metan ali se postiže visoko uklanjanje suspendovanih materija. Otpadna voda prolazi kroz sloj mulja i organske materije se adsorbuju i razgrađuju a u slučaju pogodne temperature i vremena zadržavanja suspendovane materije se hidrolizuju i acidifikuju.

Specifikacija radnih troškova data je u radu po pojedinim stavkama. Ukupni troškovi po godinama su 1991 – 2,52; 1992 – 2,16; 1993 – 0,99; 1994 – 1,11; 1995 – 1,75 u DM po kubnom metru prečišćene otpadne vode.

Prema Razo-Flores et al. (1997), biološki tretman otpadnih voda koje ispuštaju tekstilne industrije mogu biti vrlo štetne zbog visoke toksičnosti i nerazgradljivosti azo-boja. U ovom radu spitivane su dve azo-boje pod metanogenim uslovima: Mordant Orange 1 (MO1) i azodisalicilat (ADS) koje se potpuno redukuju i obazbojavaju u kontinualnom UASB reaktoru u prisustvu kosupstrata. U MO1 reaktoru 5-aminosalicilna kiselina i 1,4 – fenilendiamin su identifikovani kao produkti razgradnje boje. Posle dugog adaptacionog perioda, 1,4 – fenilendiamin je detekovan u tragovima ukazujući na njegovu mineralizaciju. ADS, farmaceutska azo-boja, potpuno se mineralizuje čak i u odsustvu kosupstrata. Ovi rezultati su pokazali da neke azo-boje mogu služiti kao izvor energije, ugljenika i azota za anaerobne bakterije.

Austermann-Haun, et al. (1998) navode podatke o izgradnji postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda u jednoj od velikih pivara u Nemačkoj. Pre izgradnje postrojenja obavljena je provera tehnologije planiranog postrojenja na poluindustrijskom modelu. Postrojenje se sastojalo od egalizacionog bazena, taložnika, UASB reaktora i aerobnog procesa sa aktiv-

nim muljem. Parametri kvaliteta efluenta postrojenja su bili sledeći: HPK = 34h_{om}; BPK = 6,3; NH₄-N = 2,1; N_{min} = 0,1; P_{uk} = 0,6; suspendovane materije = 14 mgL⁻¹. Ukupni efekt postrojenja iz nosio je 99,9% uklanjanja organskih materija merenih preko BPK₅ i 99,2 preko HPK.

Farmaceutske vode su problematične za tretman pošto sadrže inhibitorne i toksične materije i karakter im je varijabilan. Zato se stripovanje pre biološkog tretmana mora primeniti. U slučaju zajedničkog anaerobnog tretmana u odnosu 1:100 efekat uklanjanja HPK niži je za 5%. U zaključku se navodi da se posle ekstrakcije u predaeracionim procesom, anaerobni tretman može primeniti za zajedničko prečišćavanje navedenih otpadnih voda (industrija za proizvodnju kvasca i farmaceutska industrija) u UASB reaktoru (Gulmez et al. 1998).

Fang, i Zhou (1997) prikazuje rezultate kontinualnog eksperimenta sa UASB reaktorom pri 37°C u kome su pokazali da m- i o-krezol (225 mgL⁻¹) mogu biti delimično razgrađeni i njihovo prisustvo nema negativan efekat na metanogenezu benzoata (1000 mg/L) i sulfidogenezu sulfata (1800-5600 mg/L). Sa hidrauličkim vremenom zadržavanja od 12 h u reaktoru se ukloni više od 99,5% benzoata, 11,0% m-krezola, 8,3% o-krezola i redukuje 48% sulfata.

Generalno, visoko opterećeni anaerobni reaktori primenjuju se u temperaturnom rangu od 25 do 40°C. Uspešna primena na nižoj temperaturi, tj. od 5-20°C zahtjeva adaptaciju konvencionalnog visoko opterećenog reaktora. Najvažniji stepen je mešanje između metanogene biomase i otpadne vode. Pošto je specifična produkcija gasa relativno mala pod psihofilnim uslovima, efikasno mešanje može se postići povećanjem uzlazne brzine otpadne vode u reaktoru (Rebac et al. 1995, 1997). Poslednji koncept je ispitivan upotrebom reaktora sa ekspanzivnim granularnim slojem mulja (EGSB) koji radi sa uzlaznom brzinom od 10 m na čas. Rezultati su pokazali visok kapacitet tretmana uprkos niskoj primenjenoj temperaturi, tj. <15°C (Rebac et al. 1996).

Fang i Zhou (1997) su ispitivali bioaktivnost anaerobnih granula devet aromatskih jedinjenja. Granule sa kojim su obavljena ova ispitivanja razvijane su u UASB reaktoru sa koloidnim skrobom. Rezultati pokazuju da su granule imale srednju otpornost na toksičnost aromatičnih polutanata, naročito zbog slojevite mikrostrukture. Toksičnost, zavisno od prirode hemijskih funkcionalnih grupa aromatskih polutanata, opada u sledećem nizu: krezol>fenol>hidroksifenol>ftalat>benzoat. Otpornost granula na toksičnost sugeriše mogućnost tretmana otpadnih voda hemijske industrije.

Kato et al. (1997) su pokazali da je anaerobni proces sa granularnim muljem pogodan i za tretman razblaženih otpadnih voda u UASB i EGSB reaktori. Eksperimenti vođeni u UASB reaktoru su poka-

zali da se m- i o- krezol (225 mg L⁻¹) mogu delimično razgradjivati. U reaktoru se uklanja više od 99,5% benzoata, 11,0% m-krezola i 8,3% o-krezola i redukuje se 48% sulfata.

Zoutberg, i de Been (1997) smatraju da uzlazna brzina u reaktorima sa granularnim muljem može biti veća od 10 mL⁻¹, što je povoljno za tretman otpadnih voda sa velikom količinom suspendovanih materija.

Pošto je prehrambena industrija u Egiptu najvažniji privredni sektor (25% industrijske proizvodnje), ona je veliki potrošač vode i glavni izvor zagađenja površinskih voda (El-Gohary i Nasr, 1999). Otpadne vode od proizvodnje čipsa varijabilne su po kvalitativnim i kvantitativnim karakteristikama i sadrže visoke koncentracije biorazgradljivih materija. HPK se kreće od 5210 do 13860, a BPK od 2040-6000 g u m³. Laboratorijska ispitivanja procesa prečišćavanja otpadnih voda ove industrije granularnim muljem u jednostepenom sistemu pri hidrauličkom vremenu zadržavanja od 18 h i prostornom organskom opterećenju od 2 kg BPK m³ pokazala su da se HPK uklanja sa 86%, BPK sa 82% i suspendovane materije sa 91%. Produkcija biogasa bila je 0,37 m³ kg⁻¹ uklonjenog HPK. Dvostepeni sistem ispitivan je pri hidrauličkom vremenu zadržavanja od 12 i 18 h. Ako se uzmu u obzir svi podaci, bolji rezultati dobijeni su sa dvostepenim nego sa jednostepenim uređajem. Pri hidrauličkom vremenu zadržavanja od 18 h uklanja se 94% HPK i 95% BPK. Q_{o.v.} = 115 m³d⁻¹, zapremina anaerobnog reaktora je 245 m³, zapreminsko opterećenje iznosilo je 3,41 kg HPK po m³ na dan, a vreme zadržavanja otpadne vode u reaktoru je bilo 2,13 dana.

Hadjivssillis, et al. (1997) prikazuje kvantitativne i kvalitativne karakteristike, kao i projektno rešenje otpadnih voda industrije za proizvodnju čipsa. Količina i kvalitet ulazne otpadne vode nije konstantan i varirao je kako sledi:

HPK 4000 – 7000; BPK₅ 2000 – 3000
USM 100 – 3000, svi rezultati su u g m⁻³

Karakteristike otpadnih voda i projektni parametri postrojenja za prečišćavanje prikazani su u tabeli 2.

Posle 60 dana rada kvalitet anaerobnog efluenta bio je bolji nego što je projektom bilo predviđeno (sve u g m⁻³): HPK = 220 – 300, BPK = 150 – 200 i suspendovane materije = 100 – 150. U to vreme je protok otpadne vode iznosio 75% projektnog kapaciteta.

U tabelama koje slede navode se prosečne vrednosti osnovnih parametara kvalitativnih karakteristika sirovih otpadnih voda, kvalitet posle anaerobnog reaktora i finalnog tretmana, kao i efekti procesa prečišćavanja posle anaerobnog i aerobnog tretmana. Finalni efekti uklanjanja suspendovanih materija, HPK i BPK veći su od 99% za sve navedene parametre.

Tabela 2. Karakteristike otpadnih voda i projektni parametri postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda od proizvodnje čipsa

Karakteristike otpadne vode	
Ukupni dnevni protok	115 m ³ dan ⁻¹
Satni maksimalni protok	15 m ³ dan ⁻¹
HPK	638,7 kg d ⁻¹ , 7293 g m ⁻³
BPK ₅	626,75 kg d ⁻¹ , 5450 g m ⁻³
USM	149,5 kg d ⁻¹ , 1300 g m ⁻³
pH	4 – 10

projektni parametri postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda	
egalizacioni bazen	
Zapremina	113,68 m ³
Vreme zadržavanja otpadne vode	23,72 h
Protok	6 m ³ h ⁻¹

anaerobni reaktor	
Zapremina	245 m ³
Zapreminsko opterećenje	3,41 kg HPK m ³ dan
Vreme zadržavanja otpadne vode	2,13 dana
Opterećenje internog taločnika	0,375 m ³ m ⁻¹ h

Aerobni tretman	
Zapremina selektora	12,4 m ³
Zapremina aeracionog bazena	170 m ³
Zapreminsko opterećenje selektora	20,3 kg HPK m ⁻³ dan ⁻¹
Prostorno opterećenje	1,48 kg HPK m ⁻³ dan
Vreme aeracije	35,5 h
Opterećenje taložnika	0,375 m ³ m ⁻¹ h

Tabela 3. Srednje koncentracije HPK, BPK5 i ukupnih suspendovanih materija posle 5 meseci rada

Parametri	Influent egaliz.bazena	Posle anaerobnog reaktora	Posle aerobnog tretmana
HPK	5300	540	45
BPK	2625	266	25
USM	1565	131	16

Tabela 4. Efekat uklanjanja HPK, BPK5 i USM

Parametri	Anaerobni reaktor	Aerobni proces	Ukupni efekat
HPK	88,3	86,5	99,9
BPK	89,5	94,9	99,3
USM	75,2	90,2	99,0

Austerman-Haun i Rosenwinkel (1997) navode primere primene UASB – reaktora u industriji za proizvodnju sokova i u pivari. U oba slučaja obavljena su ispitivanja procesa prečišćavanja sa granularnim muljem na poluindustrijskim postrojenjima. Efekti prečišćavanja bili su veći od 80% u obe industrije.

Mendez-Paz et al. (2005) su ispitivali razgradnju Acid orange (boja AO7) pod diskontinualnim i kontinualnim anaerobnim uslovima dovodenjem influenta. Diskontinualni eksperiment izvođen sa i bez kosupstrata pokazuje da je brzina uklanjanja ove boje favorizovana kad se doda glukoza kao kosupstrat. Neki intermedijeri dobijeni posle redukcione razgradnje AO7, takvi kao 1-amino- 2-naftol izgleda imaju znatnu ulogu kao redoks medijatori i povećavaju brzinu razgradnje boje. Ovaj efekat proizlazi iz činjenice da se za vreme prvog dodavanja maksimum uklanjanja AO7 postiže posle lag-faze a pri kasnijim dodavanjima AO7 ova faza nije konstatovana. Ovo može biti objašnjeno prisustvom 1-amino- 2-naftola u medijumu. Za vreme kontinualnog tretmana sa UASB reaktorima opterećenje od 590 mg na L i dan je postignuto sa efektom uklanjanja AO7 od 92% kada se radi sa influentom koji se sastoji od AO7 (0,58 mM) i glukoze (2 gL⁻¹). Kad je supstrat limitiran (AO7 0,3 mM i glukoza 0,25 gL⁻¹) uklanjanje AO7 je znatno manje – 78%.

Naidas et al. (2005) razmatraju uticaj ciklusa trajanja prekida rada mezofilnog UASB reaktora inokulisanog flokulentnim muljem i upotrebljivim za tretman otpadnih voda mlekara. Pet ciklusa dužine trajanja od 24 do 144 h su upoređeni sa opterećenjima između 2,5 i 29,0 gCOD L⁻¹ dan⁻¹. Velika konverzija uklonjenog HPK u metan je dobijena za ciklus 96 h (48 h hranjenje + 48 h bez hrane) pri stabilnom radu. Ciklus 48 dovod hrane + 48 h bez hrane je optimum za tretman otpadnih voda iz mlekara u UASB reaktoru s diskontinualnim radom. Prema literaturnim podacima, maksimalno opterećenje za kontinualni sistem (3-6 g HPK L⁻¹ dan⁻¹) tretmana otpadnih voda iz mlekara sa stabilnim radom je znatno manje nego što je postignuto u ovom radu: 22 gHPK L⁻¹d⁻¹.

Prema Haridas et al. (2005), novi visokopterećeni anaerobni reaktor nazvan “buoyant filter bioreactor” (BFBR) je razvijen za tretman otpadnih voda bogatih lipidima. Ovaj reaktor je sposoban da zadrži vreme zadržavanja influenta od biomase i zadržavanja nerastvorenog HPK od HRT pomoću granularnog filtra od plivajućih polustirenskih kuglica. Zapušavanje filtra je sprečeno automatskim ispiranjem od oslobođenog biogasa koji fluidizuje u granularnom filtru u silaznom pravcu. Za vreme povratnog pranja čvrste materije se hvataju u filtru i ponovo uvode u reakcionu zonu reaktora. Reakciona zona ima sistem za mešanje koji je nezavisan od hidrauličkog vremena zadržavanja.

Performanse laboratorijskog BFBR su ispitivane pri tretmanu otpadnih voda mlekara koje su izabrane kao model kompleksnog influenta. Influent otpadnih voda nije predtretiran za uklanjanja masnoća. BFBR je bio u pogonu 400 dana i efekat uklanjanja HPK od 85% je postignut pri opterećenju od 10 kg HPK m⁻³ na dan. Konverzija HPK u metan u ovom sistemu je kompletna. Performanse BFBR rastu s vremenom. Sa influentom od 3200 mg HPK l⁻¹ efluent ima vrednost od 120 mg L⁻¹ i neme mutnoće.

Na osnovu obavljenih istraživanja autori zaključuju:

1. BFBR može biti upotrebljen za tretman otpadnih voda mlekara bez uklanjanja masnoća u predtretmanu. Efekta uklanjanja HPK je veći od 90% pri zapreminskom opterećenju od 9,85 g HPK m⁻³ na dan. Preostali HPK je mali (120 mg L), a prinos metana je 0,37 L CH₄ po gramu uklonjenog HPK.
2. U reaktoru se akumulira i postepeno razgrađuje pena pre nego što se postigne stabilna metanizacija. Priroda pene menja se od hidrofobne (masti) do hidrofilnih masnih kiselina dugih lanaca u fazi razgradnje.
3. Kad je reaktor podopterećen pena se razgrađuje. Količina pene se procenjuje od produkcije kad je reaktor podopterećen – test gladovanja.
4. Ako je reaktor podopterećen za period od 1 do 2 nedelje, aktivnost rastvaranja čvrstih materija se gubi i BFBR podleže akumulaciji i degradaciji pene pre postizanja pune aktivnosti. Ovo ukazuje na gubitak slobodnih enzimskih aktivnosti za vreme pada opterećenja.
5. Biomasa mulja je u formi nepravilnih granula.

Qin et al. (2004) su uspešno gajili granule u alternativnom aerobno-anaerobnom sekvencijalnom diskontinualnom reaktoru radi uklanjanja organskog ugljenika i azota. Utvrđeno je da se gotovo sav amonijak prevede u nitrite i nitrate u aerobnoj fazi, a efekat denitrifikacije je jako povezan s raspoloživošću eksternog ugljenika u anaerobnoj fazi. Potpuna denitrifikacija se postiže uz dovoljno snabdevanje eksternim ugljenikom, dok samo delimična denitrifikacija je dobijena bez dodavanja eksternog ugljenika. Rezultati pokazuju da u odsustvu eksternog izvora ugljenika preakumulirana poli-b-hidroksibuterna kiselina (PHB) u mikrobiološkim granulama može biti korišćena za održavanje ćelija i denitrifikaciju. Uz dodavanje eksternog ugljenika ali bez dodavanja nitrata, PHB akumulacija razlog je za osnovni mehanizam uklanjanja organskih materija. Pod balansiranim uslovima rasta (sa dodavanjem organskog C i N) eksterni organski ugljenik se troši istovremeno za denitrifikaciju, PHB stokiranje, kao i za funkcije ćelije. Ova studija pokazuje ograničenje kapaciteta PHB kao reduktansa za denitrifikaciju mikrobiološkim granulama.

Prema Mendez-Paz et al. (2005), boja Acid orange brže se uklanja kad se doda glukoza kao kosupstrat.

Toksični i slabo razgradljivi hlorovani fenoli u aerobnim uslovima mogu biti uklonjeni u procesu prečišćavanja sa granularnim muljem (Droste et al, 1998).

Kalyuzhnyl et al. (2002) navode da se u Rusiji proizvede 30 miliona tona otpada svinjskog đubriva koje sadrži 2-4% ukupnih čvrstih materija u velikim i srednjim farmama u kojima se gaje svinje. Moguće rešenje za tretman razblaženog stajnjaka je preliminarna mehanička separacija čvrste i tečne frakcije, a zatim sledi biološki i fizičko-hemijski tretman. Ovaj problem razmatran je za vreme izvođenja Rusko-Nemačkog programa "Development of integrated anaerobic-aerobic treatment manure stream with maximization of production of valuable by product (fertilizers, biogas) and re-utilization (1999-2001). Ovo je poslužilo kao osnov za projektovanje pilot-instalacije za tretman filterovanih otpadnih voda sa svinjogojstvene farme. U radu se razmatra eliminacija HPK iz filterovanih otpadnih voda u UASB postrojenju, kao i precipitacija fosfata iz anaerobnog efluenta i rad biofiltra za uklanjanje preostalih organskih materija i nutrijenata.

Batsstone et al. 2002. su ispitujući uticaj kalcijuma na granularni mulj zaključili da precipitacija kalcijuma može imati brojne efekte na performanse visokopterećenih anaerobnih reaktora uključujući sedimentaciju mulja, ograničenje difuzije i razblaženje aktivne biomase. Jačina ovih granula je vrlo visoka i može imati brojne efekte na visokopterećene anaerobne performanse uključujući sedimentaciju mulja, ograničenje difuzije i razblaženje aktivne biomase. Granule su ispitivane iz anaerobnog reaktora sa uzlaznim tokom (zapremina 1805 m³) industrije za recirkulaciju papira sa opterećenjem od 5,7 – 6,6 kg COD m⁻³d⁻¹ i koncentracijom Ca u influentu od 400 do 700 g m⁻³. Granule su relativno male (1 mm) sa jezgrom od 200 – 400 mm. Utvrđena je linearna korelacija između jačine granula i koncentracije kalcijuma. Upoređene su drugim granulama, Methanomicrobiales i Methanobacteriales su dominantne vidovnik- ili formiat- korisnici. Jačina ovih granula je vrlo visoka kad se uporede sa granulama iz drugih industrijskih reaktora. Identifikovana je linearna korelacija između jačine granula i koncentracije kalcijuma.

Granule su imale srednju veličinu od 0,98 mm a 95% granula ima veličinu koja se kreće između 0,5 i 1,5 mm i slične su disku. Struktura posmatrana mikroskopom pokazuje unutrašnji sloj od 10-30 mm koji se sastoji od filamentoznih organizama i precipitata. U mnogim slučajevima postoje nemikrobiološki centri prečnika 200-400 mm identifikovani kao Ca precipitati.

Podaci iz ove studije ukazuju na korelaciju između koncentracije Ca i jačine na smicanje. Granule

UASB reaktora koji obrađuje otpadne vode od recikling-papira imaju malu veličinu (1,0 mm) sa uskom veličinom distribucije. Jezgro granula ima prečnik 200 – 400 mm i sastoji se uglavnom od Ca precipitata. Ostali deo granula je biološki aktivan i sadrži vrlo malo kalcijumovog precipitata.

Pošto jezgro varira više u konzistenciji nego u veličini, ono se može formirati u tečnosti kao amorfni kalcijum karbonat i zato delovati kao nukleus za formiranje granula. Kako granule povećavaju veličinu, kalcijum verovatno nastavlja da precipitira u jezgru do saturacije posle čega se može očekivati deaktivacija granula. Delimična korelacija je nađena između sadržaja kalcijuma u granulama i karakteristika jačine smicanja. Granule sa 6 industrijskih reaktora sa različitim radnim uslovima i projektnim kriterijumima imaju linearnu zavisnost između kalcijuma i jačine na smicanje a druge dve ne. Lokacija Ca precipitata i mikrobiološka ekologija nemaju dopunski efekat na jačinu smicanja.

Ispitivanja prečišćavanja otpadnih voda iz pivare pomoću granularnog mulja pod psihrofilnim uslovima (15°C) pokazala su dobre efekte uklanjanja HPK i produkcije biogasa koji se značajno ne razlikuju od vrednosti koje se dobijaju pri mezofilnim uslovima (Connaughton et al., 2006).

U radu Arbeli et al. (2006) razmatra se efikasnost i ograničenje pri prečišćavanju otpadnih voda mlekaru u anaerobnim stabilizacionim lagunama u Izraelu. Uklanjanje organskih materija iznosilo je 75% i efekti su u velikoj meri zavisili od spoljne temperature i organskog opterećenja.

Scully et al. (2006) saopštavaju da anaerobni biološki tretman sa granularnim muljem omogućuje efikasno uklanjanje fenola u EGSB reaktoru na 15°C pri opterećenju od 2 kg m⁻³ d⁻¹.

Naidas et al. (2006) su, ispitujući prečišćavanje otpadnih voda iz mlekaru, zaključili da rad sa prekidima dovoda otpadne vode na postrojenje omogućuje dobar efekat prečišćavanja, naročito ako se to obavlja u vreme stabilizacionog perioda.

Prema najnovijim literaturnim podacima (Habets i Driessen, 2007), do pre 25 godina za tretman otpadnih voda od proizvodnje celuloze i papira koristio se aerobni način prečišćavanja sa aktivnim muljem. Od 1980. godine anaerobni način prečišćavanja otpada ovih industrija smatra se kao najpovoljnije rešenje. Tako su do sada registrovana 203 anaerobna postrojenja sa granularnim muljem za tretman otpadnih voda ovih industrija od čega su 45% UASB, 33% IC (dvostepeni UASB) i 7% EGSB). Geografski raspored je sledeći: 75% ovih postrojenja nalazi u Evropi, 13% u Aziji, 9% u Severnoj Americi, 2% u Južnoj Americi, 1% u Australiji i 0% u Africi.

(Nastavak u sledećem broju)

MIKROBIOLOŠKI I BIOLOŠKI ASPEKT KVALITETA VODE AKUMULACIJE BILEĆKO JEZERO

REZIME

U okviru kompleksnih ispitivanja kvaliteta vode akumulacije Bilećko jezero u periodu od juna do septembar 2009.god. od mikrobioloških parametara analizirani su: ukupan broj aerobnih heterotrofa (22°C i 36°C), cfu/ml, ukupan broj koliformnih bakterija i koliforma fekalnog porijekla (MPN/100ml) i prisustvo i brojnost fekalnih streptokoka, MF, cfu/100ml.

Biološki parametri kvaliteta uključili su: određivanje koncentracije hlorofila-a, određivanje sastava i brojnosti (relativna i apsolutna) zajednica fito- i zooplanktona i njihovu vertikalnu distribuciju na ispitivnom profilu. Određivanje indeksa saprobnosti S (Puntle-Buck, 1955). Kvalitet vode akumulacije kad je sanitarno-mikrobiološki status u pitanju, definisan je granicama I, II, ali i III kategorije. U kvalitativnom sastavu fitoplanktona akumulacije registrovano je 5 razdjela sa ukupno konstatovanih 41 taksona iz 30 rodova. U sastavu zooplanktona (*Rotatoria*, *Cladocera* i *Copepoda*) na akumulaciji ukupno je konstatovano 18 taksona iz 13 roda, sa izrazitom dominacijom grupe *Rotatoria*.

KLJUČNE RIJEČI: Bilećko jezero, mikrobiologija, hlorofil a, fito- i zooplankton, kvalitet vode.

UVOD

Hidroenergetski potencijal rijeka Republike Srpske, odnosno Bosne i Hercegovine, je jako velik. Ovo je, pored ostalog, uslovljeno planinskim reljefom koje uz obilje voda daje rijekama veliki pad. Za racionalno korišćenje vodnih snaga, kao i za potrebe vodosnabdjevanja, industrije, poljoprivrede i naselja, neke rijeke su pregrađene. Novostvorene vodene površine element su raspoznavanja prostora i višenamjenskog korišćenja.

Očuvanje čistoće vode vještačkih jezera i iznalaženje najboljih načina njihove eksploatacije, posebno razvoja turizma, koji nije trajan potrošač vode, osnova su daljih akcija i mjera zaštite.

MATERIJAL I METODE RADA

Uporedo sa uzorkovanjem za potrebe fizičko-hemijskih analiza vršeno je i uzorkovanje mikrobioloških i bioloških pokazatelja kvaliteta akumulacije. Uzimanje uzoraka izvršeno je prema seriji standarda BAS ISO 5667-2,3 i 4 i BAS ISO 19458. Uzorci su transportovani u portabl frižiderima do laboratorije i do analize čuvani na temperaturi do +4°C, prema zahtjevima standarda i metoda analiza.

Mikrobiološke karakteristike akumulacije analizirane su na osnovu: ukupnog broja aerobnih hete-

rotrofa (22°C i 36°C), cfu/ml, ukupnog broja koliformnih bakterija i koliforma fekalnog porijekla (MPN/100ml) i određivanjem prisustva i brojnosti fekalnih streptokoka, MF, cfu/100ml.

Biološki parametri kvaliteta uključuju određivanje koncentracije hlorofila-a, određivanje sastava i brojnosti (relativna i apsolutna) zajednica fito- i zooplanktona i njihovu vertikalnu distribuciju na ispitivnom profilu, kao i određivanje indeksa saprobnosti S (Puntle-Buck, 1955). Determinacija taksona urađena prema dostupnim ključevima. Procjena kvaliteta voda na osnovu mikrobioloških i bioloških parametara izvršena prema Uredbi o klasifikaciji voda i kategorizaciji vodotoka, Službeni glasnik Republike Srpske, br.42/01, str.857.

REZULTATI RADA

OSNOVNE KARAKTERISTIKE RIJEKE TREBIŠNJICE I AKUMULACIJE

Rijeka Trebišnjica - opšti podaci

Jedno od najvećih i u pogledu razvijenosti krških fenomena najznačajnijih, je područje rijeke Trebišnjice.

Fenomeni krša, koji se kako je poznato, zasnivaju na rastvorljivosti krečnjaka, doveli su i na ovom području do podzemnog odvodnjavanja velikog područja, zahvaljujući čestoj raspucalosti i tektonskim poremećajima.

Međutim zahvaljujući pojavi slojeva manje propusnih stijena, kao što su laporci, škriljci i dolomiti, došlo je do hidrološke podvojenosti raznih dijelova područja. Ujedno je došlo do izbijanja velikog broja većih ili manjih stalnih ili povremenih vrela. Ona su uslovljena formiranjem kraćih ili dužih tokova, od kojih je najvažniji Trebišnjica.

Hidrološki odnosi u slivu Trebišnjice

Trebišnjica je najveća rijeka ponornica na teritoriji bivše Jugoslavije, duga 96,5 km izvire na nadmorskoj visini od 398 metara. Površina slivnog područja rijeke Trebišnjice iznosi 1 630 km². Srednji godišnji proticaj na početku zone poniranja kod Trebinja (35 km nizvodno od njenih vrela), iznosi 93,5m³/s. Ljetnji proticaj spadne na 2,5 m³/s, a zimi poraste obično do 400m³/s, a katkad i do 700 m³/s.

Dovodni kanal od PHE Čapljina dugačak je 67,82 km, od čega je na području Republike Srpske 41,72 km, a ostatak u Federaciji BiH. Kanal je betonski i izgrađen je za minimalni nominalni proticaj od 45 m³/s. Kanal je betoniran od samog izlaska iz gradske zone (područje postrojenja za prečišćavanje upotrebljenih voda) pa do gornjeg kompenzacionog bazena Hutovo, izuzev dionice u dužini oko 400 m kod manastira Tvrdoš.

Do izgradnja kanala rijeka Trebišnjica je ponirala, izgradnjom kanala vode sa vlastitog sliva i ispuštane vode sa brane Gorica su disponirale do HE Čapljina.



Slika 1 Rijeka Trebišnjica foto:I. Zarić

Svoje vode Trebišnjica prima uglavnom putem stalnih i povremenih vrela. Najveća su ona kod Bileće, koja daju oko 50 % njenog kapaciteta. Zbog kraškog karaktera sliva sve vode iz dalekog zaleđa čak do Gatačkog i Fatničkog polja, dreniraju se podzemnim kanalima. Nivo ovog područja viši je za 150 do 600 m iznad vrela.

U području akumulacije bilo je utvrđeno 7 manjih ponora čija veza nije bila poznata. Glavni ponori od Trebinja do Popova polja dreniraju se u neka vrela na morskoj obali ili u Neretvu. Cijela dolina Trebišnjice zatvorena je sa svih strana i rijeka nema površinskih veza ni sa morem ni sa Neretvom. Dolina Trebišnjice udaljena je u svom donjem dijelu svega 15 km od mora, a rijeka izvire na 398 m nadmorske visine.

Geološke prilike

Širina zone krša u području rijeke Trebišnjice dostiže oko 60 km. Smatrano je da cijeli tok i slivno područje pripada zoni dubokog krša (holokarst), zbog karakterističnih morfoloških oblika kao što su škrape, vrtače, ponori, pećine, kraške uvale, slijepe doline i kraška polja. Oni su zastupljeni na čitavom prostoru od oko 2 000 km², koje pripada orografskom ili podzemnom vodosabirnom području ove velike kraške rijeke.

Potrebno je naglasiti da ovdje orografske granice slivnog područja gube značaj. Stvarnu funkciju razvođa imaju podzemne vododjelnice, s obzirom da se i glavna cirkulacija voda obavlja ispod površine terena manje ili više razrađenim kanalima.

Fenomeni krša u ovom području mogli su se razviti zbog toga što je čitav prostor izgrađen skoro isključivo od krečnjaka i dolomita mezozojske starosti,

jer na njih otpada oko 95% cjelokupne površine. Ostali dio ovog prostornog područja izgrađuju sedimentne stijene tercijerne starosti i to serija eocenskog fliša (uglavnom sivi lapori i pješčari) koja nije podložna procesima karstifikacije i manjim dijelom eocenski numulitski krečnjaci tzv. promina konglomerati.

Bilečko jezero sa hidroelektranom "Grančarevo" predstavlja prvu, najuzvodniju stepenicu elektroenergetskog iskorišćavanja vode rijeke Trebišnjice. Karakteristični i najvažniji podaci o jezeru, brani i hidroelektrani dati su u tabeli 1.

Izgradnja brane trajala je od 1959. do 1965. godine. Temperatura u zimskim mjesecima je 8-10°C, a u ljetnjim 23-26°C. Turizam na jezeru nije razvijen, jer nema izgrađenih receptivnih objekata.

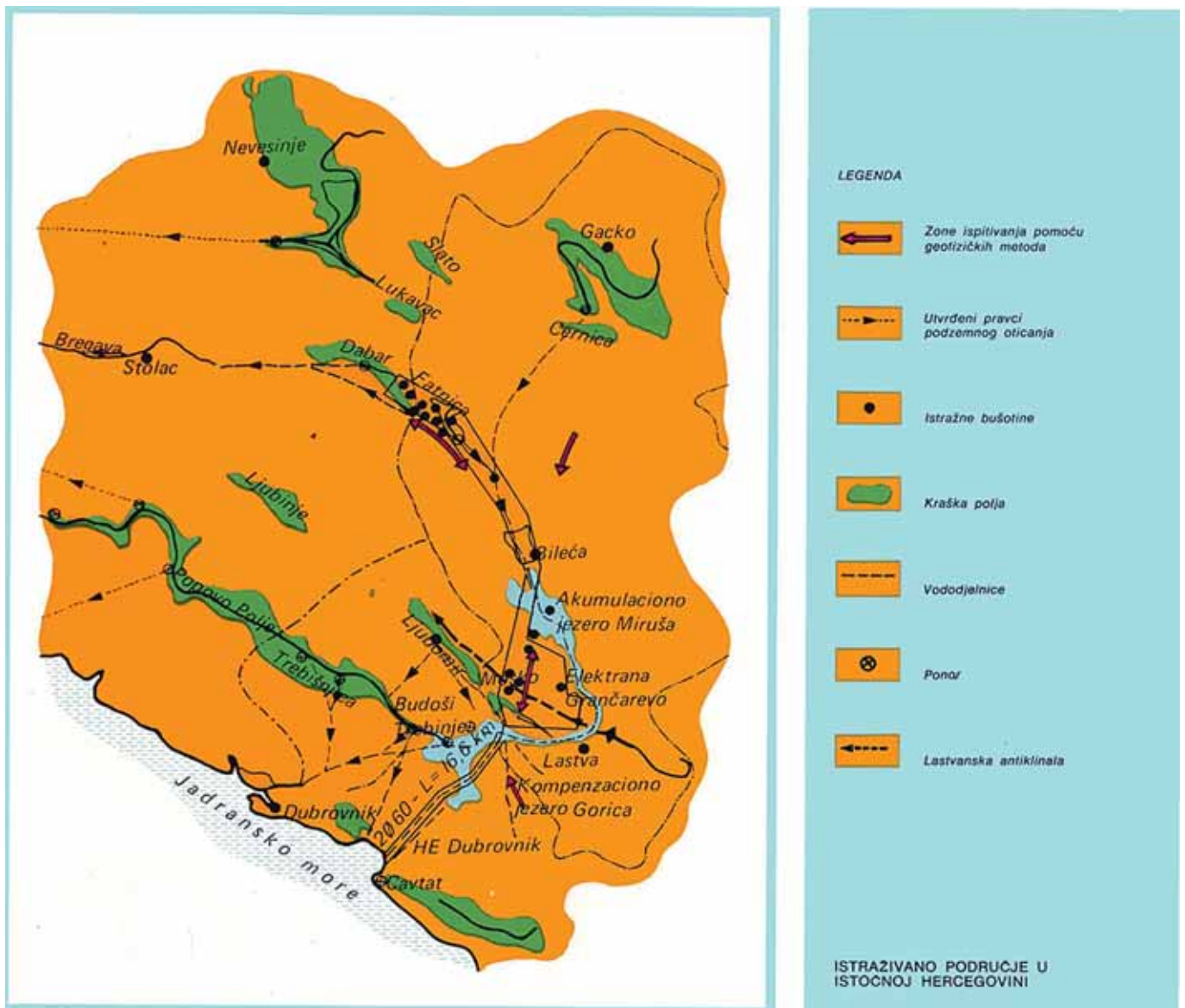
Priobalni pojas je predstavljen hercegovačkim kršom, a obalska linija se mijenja u zavisnosti od ko-



Slika 3 Bilečko jezero.

foto: I. Zarić

lebanja vodostaja, čije amplitude mogu da dostignu i 52 m. Pri niskim nivoima na dnu jezera se zapažaju potopljene obradive površine, putevi, staze i temelji



Slika 2 Područja oko Bilećkog jezera u istočnoj Hercegovini

kuća. Posle prolaska kroz turbine voda prirodnim koritom rijeke Trebišnjice otiče ka jezeru Gorica.

Temperaturna stratifikacija sa 3 sloja javlja se na svim profilima. Najčešća dubina epilimniona je 10 m. To je utvrđeno u 33% slučajeva. Najveća dubina ovog sloja je iznosila 14 m, to je utvrđeno na profilu Pr-3 (brana) pri mjerenju u septembru.

Prosječna vrijednost metalimniona iznosi 8.75 m. Najveća dubina ovog sloja iznosila je 12 m na profilima Pr-1 i Pr-2 (u avgustu) i Pr-3 (u avgustu i septembru).

Karakteristika	Vrijednost
Srednji godišnji proticaj	71.4 (67.5) m ³ /s
Ukupna zapremina akumulacionog bazena	1277.6 miliona m ³
Korisna zapremina akumulacionog bazena	1 113.4 miliona m ³
Građevinska visina brane	123 m
Dužina po kruni brane	439 m
Debljina po kruni brane	4.60 m
Debljina u dnu brane	27 m
Iskop u temeljima brane	230 000 m ³
Zapremina ugrađenog betona	376 000 m ³
Bruto pad	105 m
Najviši radni nivo akumulacije	400 m n.m.
Najniži radni nivo akumulacije	348 m n.m.
Dužina akumulacionog bazena	18 km
Površina akumulacionog bazena	2760 ha
Instalisani proticaj	3x60 m ³ /s
Instalisana snaga elektrane	180MW
Srednja godišnja proizvodnja energije	571GWh

Tabela 1 Karakteristike jezera i brane

Kad je kiseonični režim u pitanju, može se zaključiti da pri dnu na svim profilima ima dovoljno kiseonika i da ne vladaju anaerobni uslovi.

U epilimnionu na svim profilima utvrđene su visoke koncentracije rastvorenog kiseonika sa maksimalnom koncentracijom od 14.02 mgO₂/L. Prosječna koncentracija rastvorenog kiseonika u hipolimnionu iznosila je 10.90 mgO₂/L.



Slika 4 Bilećko jezero

(Google Earth)

Prema srednjoj vrijednosti seki diska koja iznosi 3.70 m stepen trofije u akumulaciji prema Članu 16 navedene Uredbe zadovoljava uslove teče klase, što odgovara umjereno eutrofnom statusu.

Prosječne vrijednosti ukupnog fosfora za čitav period ispitivanja je u oblasti mezotrofne kategorije. Prosječne i maksimalne vrijednosti hlorofila-a pripadaju oligotrofnoj kategoriji. Na osnovu prosječnih vrijednosti providnosti, kao i prema minimalnoj zabilježenoj vrijednosti akumulacija Bilećko jezero ima ta-kođe mezotrofan status. [17]

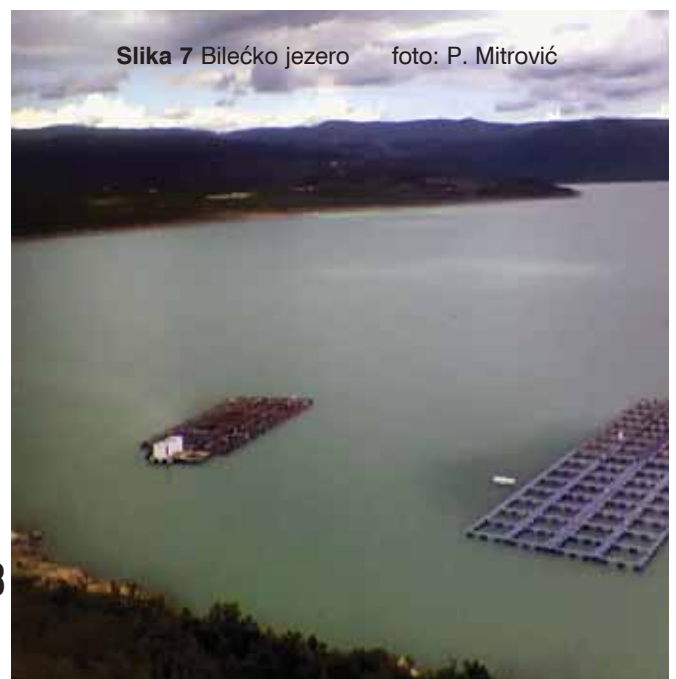


Slika 5 Brana "Grančarevo" – istraživanja na Bilećkom jezeru foto: I. Zarić



Slika 6 Izgled Bilećkog jezera pri niskim vodostajima

foto: I. Zarić



Slika 7 Bilećko jezero foto: P. Mitrović

REZULTATI MIKROBIOLOŠKIH ISPITIVANJA

Opšti podaci

Mikroorganizmi su široko rasprostranjeni u akvatičnim ekosistemima u kojima su prisutni na svim trofičkim nivoima i aktivno uključeni u proces transformacije materije i energije. Interakcija između mikroorganizama i organske materije predstavlja osnovu za funkcionisanje ekosistema u cjelini.

Količinu i stanje organske materije u jezerima definiše fotosintetička produkcija s jedne strane i metabolička transformacija i dekompozicija s druge strane. Produkcija i dekompozicija se obavlja simultano uz ključno učešće mikroorganizama.

Zajednicu mikroorganizama u jezerima određuje niz različitih uslova i to: morfometrijska svojstva jezera, klimatski faktori, priroda okolnog zemljišta, količina i priroda nutrijenata, intezitet eutrofikacije (antropogenog i drugog porijekla).

Definisana je i prostornom i vremenskom dinamikom i sukcesijom populacija. Prostorna dinamika uključuje vertikalnu i horizontalnu distribuciju. Vremenska dinamika podrazumjeva smjenu, tj. promjenu sastava zajednice koja je uslovljena promjenom klimatskih faktora, odnosno smjenom godišnjih doba.

Ukupan broj aerobnih heterotrofa (H), saprofita - predstavlja mikrobiološki (bakteriološki) indikator stanja i kvaliteta voda koji se primjenjuje sa šireg ekološkog aspekta, a na osnovu kojeg se vrši klasifikacija voda. Predstavljaju najrašireniju grupu bakterija prema tipu metabolizma u prirodi, tzv. hemoorganotrofa (ili samo organotrofi).

Za ove bakterije organska materija je izvor ugljenika, izvor E (energije) i donor elektrona. Heterotrofi metaboliziraju organsku materiju u aerobnim i u anaerobnim uslovima. Koriste živu (paraziti) ili neživu (saprofiti) organsku materiju.

Visoka brojnost aerobnih heterotrofa ukazuje na vodu bogatu organskim materijama koje su podložne bakterijskoj razgradnji.

Što se tiče parametara koji ukazuju na kvalitet vode sa sanitarnog aspekta, vrlo je korisno raspolagati ovim podacima jer nam oni ukazuju da li je ispitivni akvatični ekosistem u kontaktu sa fekalnim materijama i u kojoj mjeri, kao i da li se radi o prolaznom ili permanentnom izvoru zagađenja.

Uzorkovanje, obrada uzorka, tumačenje rezultata ispitivanja

Uzorkovanje za potrebe mikrobiološke analize kvaliteta vode urađeno prema zahtjevima BAS ISO 19 458:2006.

Uzorkovanje za potrebe mikrobiološke (bakteriološke) analize vode akumulacije izvršeno u periodu

od juna do septembar 2009 godine. Prema programu istraživanja jezera u Republici Srpskoj za 2009.god. uzorkovanje na Bilećkom jezeru je obuhvatilo sva tri profila od površine ka dnu u skladu sa temperaturim raslojavanjem vodene mase akumulacije određene *in situ* mjerenjima dubinskim WTW sondama. Od mikrobioloških (bakterioloških) parametara određivani su:

- ukupan broj aerobnih organotrofa cfu/ml, inkubacija na temperaturi od $(22 \pm 2)^\circ\text{C}$ u toku $(68 \pm 4)\text{h}$, SPA, Merck, Biomerieux;
- ukupan broj aerobnih mezofila, inkubacija na temperaturi $(36 \pm 2)^\circ\text{C}$ u toku $(44 \pm 4)\text{h}$, na standardnoj podlozi prema zahtjevima metode, cfu/ml SPA, Merck, Biomerieux;
- ukupan broj koliformnih bakterija određen kao MPN/100 ml na $37^\circ\text{C}/48\text{h}$, Biomerieux;
- ukupan broj termotolerantnih bakterija određen kao MPN/100ml, $44^\circ\text{C}/24\text{h}$, Biomerieux; ukupan broj koliformnih bakterija fekalnog porijekla određen kao MPN/100ml, Biomerieux;
- određivanje prisustva i brojnosti fekalnih streptokoka, MF, cfu/100ml, Fluka, Biomerieux

Analitička kontrola kvaliteta rezultata ispitivanja sprovedena kroz sistem interne i eksterne kontrole prema zahtjevima ISO 17 025. Interna kontrola uključuje dnevne, nedeljne i mjesečne provjere kvaliteta podloga, reagenasa, uslova u kojima se obavljaju analize i provjeru rada analitičara (blank, dupli-povnovljeni uzorak i kontaminirani uzorak (upotreba AT-CC sojeva). Eksterna kontrola sprovedena prema PT šemi LGC Aquacheck, QWAS, United Kingdom. [17]

Početak juna – S obzirom na karakterističnu termičku stratifikaciju, dubina epilimniona se kretala od 8 (Pr-1 i Pr-2) do 10 m (Pr-3). Analizom ukupnog broja aerobnih heterotrofa utvrđena je relativno slična raspodjela mikroorganizama na sva tri profila.

Brojnost izražena kao cfu/ml (colony forming unit) raste od površine ka dubljim slojevima vode (hipolimnionu), osim na profilu Pr-3.

Minimalna vrijednost iznosila je $2.7 \cdot 10^3$ cfu/ml (Pr-1, 0-8m), maksimalna $1.5 \cdot 10^4$ cfu/ml (Pr-3, 0-10m).

U horizontalnom pravcu od vrela Trebišnjice ka profilu na brani brojnost aerobnih heterotrofa raste. Kvalitet vode akumulacije na osnovu pokazatelja organskog opterećenja se kretao u najvećem broju mjerenja (6) u granicama koje su propisane za II kategoriju vodotoka, III klasa boniteta utvrđena je mjernom profilu Pr-3.

Parametri fekalne kontaminacije u ovom ciklusu ispitivanja karakterišu se relativno niskim vrijednostima, često na samoj granici I i II klase.

Vrijednosti za ukupne koliforme, MPN/100ml su najveće u površinskom sloju vode do 10 m, zatim opadaju, maksimalna vrijednost konstatovana je na profilima Pr-1 i Pr-2 (240/100ml). Kvalitet vode akumulacije prema ovom parametru, definisan granicama I, odnosno II kategorije voda.

Slična je i distribucija za koliformne bakterije fekalnog porijekla. Najveća brojnost određena kao MPN/100ml utvrđena na profilu Pr-2 gde je ispušt otpadnih voda. Dobijene vrijednosti ne prelaze granice II klase vodotoka.

Brojnost i prisustvo fekalnih streptokoka, cfu/100ml određenih membran filter tehnikom, ukazuju da se kvalitet vode akumulacije nalazio u granicama I, odnosno II klase boniteta u najvećem broju mjerenja.

Kraj juna – Analizom rezultata za aerobne heterotrofe, utvrđen je generalni porast brojnosti na svim ispitivanim profilima akumulacije i u horizontalnom i u vertikalnom pravcu. Brojnost ove grupe mikroorganizama je najveća u površinskim slojevima akumulacije do 12 m dubine, i opada ka dnu. Izuzetak je profil Pr-2 gde je distribucija najveća u dubljim slojevima, od 14 m ka dnu.

Opseg konstatovanih vrijednosti za ispitivani parametar iznosile su od $2.5 \cdot 10^3$ cfu/ml (Pr-3, 12-17m) do $9.1 \cdot 10^4$ cfu/ml (Pr-2, 14-dno).

Kvalitet vode akumulacije je u najvećem broju mjerenja u III kategoriji, a kao najopterećeniji izdvajamo profil Pr-2. Parametri fekalnog zagađenja (ukupni koliformi, koliformi fekalnog porijekla i fekalne streptokoke) u ovoj seriji ispitivanja su u najvećem broju mjerenja u najboljoj I, odnosno II klasi boniteta.

Avgust – Stratifikacija akumulacije ista na svim mjernim profilima, dubina epilimniona do 10 m.

Ukupna brojnost aerobnih heterotrofa je još veća u odnosu na istraživanja u junu mjesecu. U vertikalnom pravcu lagano opada od površine ka dnu, ali i pored toga dobijene vrijednosti za brojnost ukazuju na kvalitet vode u granicama III, odnosno IV kategorije. Minimalna brojnost $1.2 \cdot 10^4$ cfu/ml (Pr-3, 10-21m), maksimalna $4.3 \cdot 10^5$ cfu/ml (Pr-3, 0-10m).

U horizontalnom pravcu, od profila Pr-1, ka Pr-3, distribucija brojnosti relativno ujednačena, kao najopterećeniji izdvaja se profil Pr-1.

Na osnovu analize rezultata za ukupan broj koliformnih bakterija i fekalnih koliforma, kvalitet vode akumulacije se u najvećem broju mjerenja nalazio u II kategoriji.

Kontaminacija fekalnim streptokokama je dosta niska, na nekim mjernim tačkama organizam nije detektovan u fitriranoj količini uzorka, tako da je kvalitet vode definisan granicama I kategorije u najvećem broju mjerenja.

Septembar – U skladu sa promjenama uslova sredine, dolazi do promjena i u akumulaciji, tako da ispitivanje prisustva i distribucije aerobnih organotrofa u ovom mjesecu pokazuju pad u ukupnoj brojnosti određene kao cfu/ml.

Distribucija i u vertikalnom pravcu, pa tako i horizontalnom ka brani je slična kao i u prethodnom mjesecu. Kvalitet vode definisan je granicama II, odnosno III kategorije vodotoka u najvećem broju mjerenja (5). Kao najopterećeniji profil izdvaja se Pr-1.

Vrijednosti za sva tri parametra fekalne kontaminacije su jako niske, u granicama I klase vodotoka, osim na profilu Pr-2, gde je kvalitet vode u II, odnosno III kategoriji, što predstavlja uticaj otpadnih voda koje se ulivaju u akumulaciju.

Na osnovu rezultata za ukupan broj aerobnih heterotrofa cfu/ml, možemo zaključiti sledeće: 14 mjerenja (38.9%) II kategorija, 17 mjerenja (47.2%) u III klasi i 5 mjerenja (13.8%) u IV kategoriji vodotoka. Analizom rezultat za dati parametar možemo zaključiti da se voda akumulacije karakteriše II, odnosno III klasom kvaliteta.

Ukupan broj koliformnih bakterija MPN/100ml - od ukupno 36 mjerenja, 21 (58.3%) u I klasi kvaliteta i 15 (41.6%) II kategoriji vodotoka.

Ukupan broj koliformnih bakterija fekalnog porijekla MPN/100ml – ukupno 36 mjerenja, 19 (52.7%) I klasa kvaliteta, 16 (44.4%) mjerenja u II kategoriji vodotoka i 1 mjerenje (2.7%) u III klasi kvaliteta.

Fekalne streptokoke MF, cfu/100ml – 36 mjerenja, 29 (80.5%) u I klasi boniteta i 7 mjerenja (19.4%) u II kategoriji voda.

Parametri fekalnog opterećenja ukazuju na I klasu kvaliteta voda u najvećem broju mjerenja, najveće opterećenje fekalnim zagađenjem na profilu Pr-2.

Na akumulaciji ukupno obavljeno 4 serije i 144 mjerenja za potrebe mikrobioloških (bakterioloških) analiza od toga: 69 (47.9%) mjerenja u granicama I kategorije, 52 (36.1%) u II, 18 mjerenja (12.5%) u III klasi i 5 mjerenja (3.47%) u IV klasi kvaliteta voda.

REZULTATI BIOLOŠKIH ISPITIVANJA HLOROFIL a

Uzorkovanje, transport i rukovanje uzorcima za određivanje koncentracije hlorofila obavljeno u skladu sa zahtjevima serije standarda BAS ISO 5667-2,3,4.

Prema ISO 10 260:1992, varijanta B, sakupljanje algi i drugih suspendovanih materija iz vode vrši se filtracijom. Ekstrakcija pigmenta iz suspendovanog materijala zadržanog na filtru vrši se vrelinom etanolom.

Spektrofotometrijsko određivanje koncentracije hlorofila-a obavlja se u ekstraktu. Ocjena koncentracije *hlorofila-a* i koncentracije feopigmenta vrši se na osnovu razlike u apsorpciji pri 665 nm pre i posle acidifikacije ekstrakta. Prisustvo hlorofila je u direk-

tnoj vezi sa brojem, odnosno masom algalnih ćelija, obzirom da on čini 1-2% suve mase planktonskih algi. Iz tog razloga je koncentracija hlorofila prihvaćena kao indirektni pokazatelj količine algalne biomase i inteziteta primarne produkcije.

Rezultati ispitivanja koncentracije hlorofila-a na akumulaciji Bilećko jezero pokazuju da je najveća koncentracija ovog fotosintetičkog pigmenta u površinskim, fotičnim slojevima akumulacija (epilimnion i metalimnion).

Konstatovane vrijednosti u svim serijama ispitivanja su vrlo niske i ne prelaze granice definisane za vodu II kategorije kvaliteta. Količina hlorofila je povezana sa distribucijom fitoplanktona, čija je distribucija i dinamika pod uticajem faktora sredine (temperatura, svetlost, nutrijenti, kiseonični režim). Ocjena trofičnog statusa prema TSI indeksu Carlson-a za hlorofil definiše akumulaciju kao oligotrofnu.

Analitička kontrola kvaliteta rezultata ispitivanja za chlorophyll-a sprovedena kroz program **Qualco Duna, Vituki, Budimpešta, Mađarska**.

PLANKTON

Opšti podaci

Termin „plankton“ se odnosi na one mikroskopske akvatične oblike koje pokazuju mali ili nikakav otpor ka strujanju vode, odnosno na one koji slobodno plivaju i lebde u prirodnim vodama.

Fitoplankton (mikroalge) se javljaju kao jednoćelijske, kolonijalne ili končaste forme. Mnoge su fotosintetičke i služe kao hrana zooplanktonu i ostalim vodenim organizmima. Alge su široko rasprostranjeni organizmi, kako u vodi tako i van nje, značajni činioci osnovnih bioloških procesa kao što su kruženje materije i proticanje energije.

Osnovni su producenti organske materije u vodenim ekosistemima, što predstavlja primarnu produkciju koja je materijalna i energetska osnova svih produkcionih odnosa. Kao organizmi koji vrše fotosintezu neiscrpn su izvor kiseonika kojim se obogaćuje atmosfera.

Značajno mjesto u grupi azotofiksatora zauzima ju modrozeleno alge. Pored toga aktivno učestvuju u procesima samoprečišćavanja voda zahvaljujući osobini da se mogu i heterotrofno hraniti.

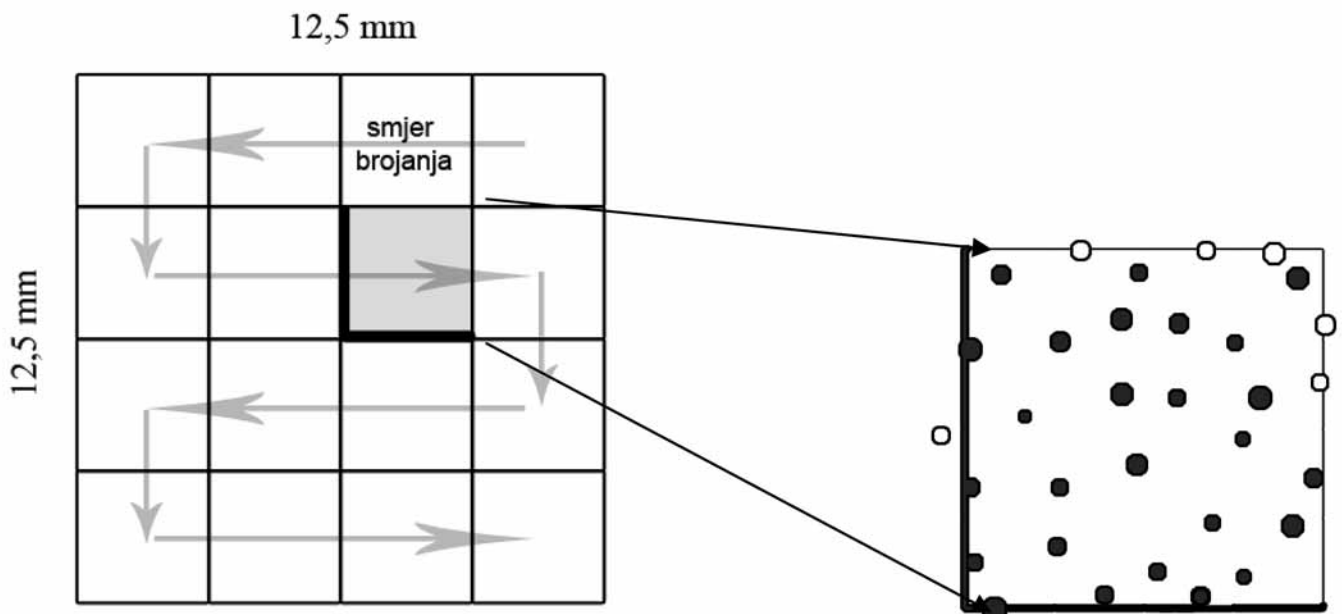
Zajednicu zooplanktonskih organizama čine razni račići, kopepode i rotatorije. Imaju sposobnost aktivnog kretanja u vodi i hrane se između ostalog i fitoplanktonom. Predstavljaju grupu potrošača, što planktonsku zajednicu čini potpunom, samostalnom i nezavisnom od drugih zajednica.

Zahvaljujući tome što posjeduju kratke životne cikluse vrste koje sačinjavaju plankton mogu brzo da reaguju na promene okruženja. Zajednica planktonskih orgnaizama ima vrlo jak uticaj na određene abiotičke parametre kvaliteta vode (npr. pH, boja, ukus, miris), tako da praktično predstavljaju dio kvaliteta vode.

Mjesto uzorkovanja treba da sadrži sve reprezentativne karakteristike i da uključi sve vertikalne, horizontalne i vremenske varijacije. Treba biti precizno definisano u skladu sa opštim preporukama datim u BAS ISO 5667-1 i BAS ISO 5667-2, uzimajući u obzir dodatne aspekte specifične za plankton.

Uzorkovanje, obrada uzorka, tumačenje rezultata ispitivanja

Mjesto uzorkovanja treba da sadrži sve reprezentativne karakteristike i da uključi sve vertikalne, horizontalne i vremenske varijacije. Treba biti precizno definisano u skladu sa opštim preporukama datim u BAS ISO 5667-1 i BAS ISO 5667-2, uzimajući u obzir dodatne aspekte specifične za plankton.



Slika 8 Ilustracija okularne mrežice pomoću koje se vrši prebrojavanje jedinki planktona. Smjer brojanja i pravilo brojanja. Tamnim krugovima su označene individue koje se broje, svijetlim one koje se ne broje.

I. Zarić

Uzorci iz površinskog sloja akumulacije za kvalitativnu i kvantitativnu analizu fito- i zooplanktona na ispitivanom profilu uzeti su planktonskom mrežicom, KC-Denmark, M.23.000, izrađena od Monodur Nylal (Nylon), promera pora od 10 i 25 μ .

Za uzorke sa većih dubina, duž vertikala, upotrijebljena je peristaltička pumpa. Uzorci su uzimani uporedo sa uzorcima za fizičko-hemijsku i mikrobiološku analizu. Uzorkovanje, transport, sigurno rukovanje i konzervacija uzoraka urađena prema zahtjevima serije ISO 5667-2,3,4.

Koncentrisanje uzorka (površina, do 1m dubine) za određivanje sastava i relativne brojnosti planktona urađeno centrifugiranjem 10 minuta na 1500 obrtaja, prema preporukama MSZ 12756:1998.

Određivanje apsolutne brojnosti fitoplanktona urađeno upotrebom komorice za taloženje (sedimentaciju) $h = 22\text{mm}$, $V = 10\text{ml}$, prema principu da je 1h potreban za taloženje 1mm vodenog stuba.

Zatim je dalje brojanje izvršeno na *Sedgwick-Rafter* komorici, zapremine 1ml. Brojanje jedinki fitoplanktona izvršeno prema proceduri za brojanje u poljima (slika 8), zooplanktona brojanjem cijele komorice.

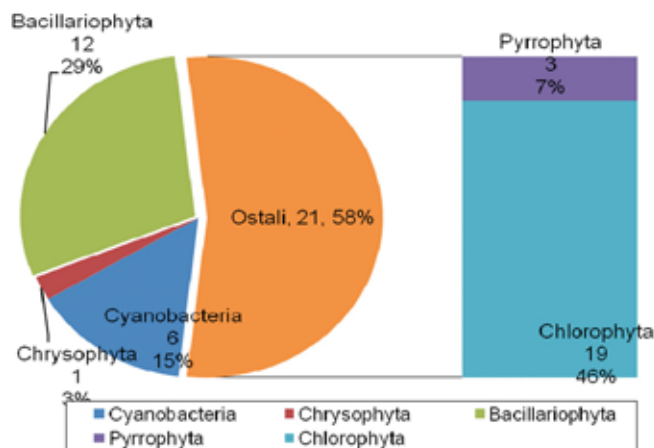
Identifikacija i tumačenje rezultata analize urađeni prema zahtjevima metode (tabela 3) i dostupnim ključevima za determinaciju datim u spisku literature.

Indeks saprobnosti određen prema *Pantle-Bucku*, 1955 i preporukama MSZ 12756, određivanjem relativne brojnosti (šestostepena skala, 1,2,3,5,7,9) i korišćenjem liste indikatorskih taksona SEV.

Analitička kontrola kvaliteta rezultata ispitivanja za fitoplankton (sastav zajednice, indeks saprobnosti S, apsolutna brojnost izražena kao ind/l) sprovedena kroz program **Qualco Duna, Vituki, Budimpešta, Mađarska**.

Fitoplankton

U ispitivanom periodu u oktobru 2009.god., što se tiče fitoplanktona konstatovano je prisustvo 41 takson iz 30 rodova i 5 razdjela algi: modrozeleno alge (*Cyanobacteria*), 6 taksona, 4 roda (15%), zlatne alge (*Chrysophyta*), 1 takson (3%), silikatne alge (*Bacillariophyta*), 12 taksona iz 9 roda (29%), vatrene alge (*Pyrrophyta*), 3 taksona iz 2 roda (7%), zelene alge (*Chlorophyta*), 19 taksona iz 14 roda (46%).



Dijagram 1 Procentualno učešće konstatovanih razdjela algi u ispitivanjima na akumulaciji Bilećko jezero, jun-septembar 2009. god.

Početak juna – uporedo sa uzorkovanjem za potrebe fizičko-hemijskih i mikrobioloških istraživanja uzimani su i uzorci za kvalitativnu i kvantitativnu analizu fitoplanktona.

Početak juna karakteriše vrlo mali broj taksona. U kvalitativnom sastavu u uzorcima s površine jezera, konstatujemo prisustvo tri razdjela algi (modrozeleno, vatrene i zelene alge). U površinskim slojevima dominira vatrene alge *Ceratium hirundinella* koja daje karakterističnu obojenost vodi akumulaciji.

Prilagođen je životu u toplijim vodama. Od poligonalnih pločica koje grade njegov pancir polazi više rogolikih izraštaja, jedan duži, a ostali kraći, njima se uvećava trenje o vodu, što olakšava lebdenje. Dužina izraštaja se mijenja u toku godine i zavisi od temperature vode. Ova alga je jedan od značajnih primarnih producenata organske mase, često se razvija u masi, tj. "cvijetu".

U pogledu distribucije apsolutne brojnosti, duž vodenog stuba i u horizontalnom pravcu, takođe dominiraju predstavnici vatrene alge *Pyrrophyta*, brojnost određena kao ind/l se kretala od 1 360 (Pr-1, 14m-dno) do maksimalnih 33 677 ind/l na profilu Pr-3, 10-19m dubine. Vatrene alge čine osnovu fitoplanktona u ovoj seriji ispitivanja, dok su modrozeleno, silikatne i zelene alge vrlo male brojnosti. Indeks saprobnosti S 1.50-1.55, I, II kategorija kvaliteta..



Slika 9 Karakteristični predstavnici vatrene alge *Pyrrophyta*

foto: I. Zarić

Kraj juna – Kvalitativni i kvantitativni sastav fitoplanktona skoro identičan prethodnoj seriji ispitivanja. U uzorcima s površine akumulacije na svim profilima dominiraju vatrene alge sa karakterističnim predstavnicima. Distribucija u vertikalnom i horizontalnom pravcu takođe vrlo slična prethodnom ciklusu, indeks saprobnosti S 1.50-1.172, II klasa kvaliteta.

Avugust – Istraživanja karakteristika fitoplanktona u avgustu mjesecu pokazuju da je u akumulaciji došlo do promjena u sastavu i zastupljenosti ove zajednice akvatičnih organizama. Ove promjene su uzrokovane promjenama opštih uslova sredine (temperatura, svjetlost, nutrijenti, kiseonični režim).

Prije svega konstatovano je prisustvo svih 5 razdjela algi, uočava se raznovrsnost i kvalitativnom i u kvantitativnoj raspodjeli. U površinskim uzorcima koji su uzimani direktno planktonskom mrežicom, pored dominantnog prisustva vatrenih algi (*Ceratium*, *Peridinium*), uočava se i dosta velika zastupljenost zlatne alge *Dinobryon divergens*.

Ova alga gradi razgranate drvolike kolonije, a svaka ćelija ima po dva biča nejednake dužine i nalazi se u peharastoj kućici. Kućica je celulozne prirode i ima determinacioni karakter. Predstavnici zlatnih algi imaju široko geografsko rasprostranjenje, ali su najčešće u čistim vodama, umjereno-kontinentalnog područja. Značajni su primarni producenti organske materije, vrlo važna karika u akvatičnim ekosistemima, jer obogaćuju vodu kiseonikom. Mogu se razvijati i u masi, gradeći "cvijet"

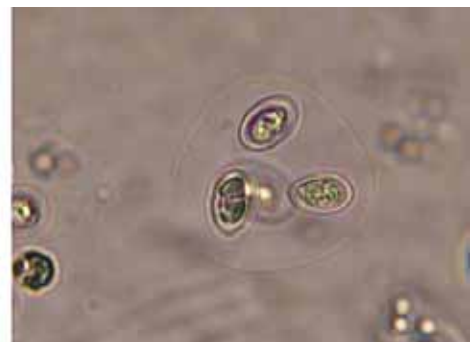
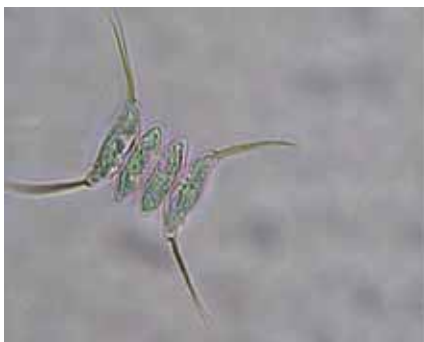
Kao subdominanti u zajednici označeni su predstavnici modrozeleni (*Oscillatoria* sp.), silikatnih (rod *Cyclotella*, *Fragillaria*, *Naviculla*, *Cymbella*) zelenih algi, čije je prisustvo i brojnost mnogo veća u odnosu na istraživanja u junu mjesecu.

Analizom apsolutne brojnosti, ind/l, zaključujemo da se najveći dio fitoplanktona nalazi u sloju vode označenom kao epilimnion i metalimnion. Najveću brojnost imaju vatrene alge, ali i modrozeleni alge, *Oscillatoria* sp. i *Anabaena* sp. (80 000 ind/l, Pr-3, 21m-dno).

Izračunate vrijednosti za indeks saprobnosti kretnale su se između 1.63-1.71, II klasa vodotoka.

Septembar – uzorke vode akumulacije koji su ispitivani u ovoj seriji istraživanja karakteriše prisustvo svih 5 konstatovanih razdjela algi. U kvalitativnom sastavu dominiraju zlatne (*Dinobryon divergens*), vatrene (*Ceratium*) i zelene alge (*Mougeotia* sp.). Kao sudominante označavamo predstavnike silikatnih (*Asterionella formosa*) i modrozelenih algi (*Anabaena* sp, *Oscillatoria tenuis*, *Oscillatoria rubescens*).

Prema vertikalnoj distribuciji apsolutne brojnosti uočava se da je najveći dio mase fitoplanktona u slojevima vode označenim kao epi- i metalimnion. U horizontalnom pravcu, uočava se ravnomjeran raspored, osim na profilu Pr-2, 0-14m, gdje je zabilježne maksimum brojnosti za *Dinobryon divergens*, 19 316 ind/l. Izračunate vrijednosti za indeks saprobnosti iznosile su od 1.70 do 2.02, II klasa boniteta.



Slika 10 Karakteristični predstavnici zelenih algi, *Chlorophyta*

foto: I. Zarić



Slika 11 *Chlorophyta*, *Chryophyta* (*Dinobryon divergens*)

foto: I. Zarić

Tabela 2 Rezultati saprobiološke analize kvaliteta vode akumulacije Bilečko jezero na osnovu sastava fitoplanktona kao indikatora stepena saprobnosti, metodom Pantle – Buck (1955), maj, oktobar 2009. god.

Redni broj	Vodotok/profil	Ciklus uzorkovanja							
		I (početak juna)		II (kraj juna)		III (avgust)		IV (septembar)	
		S	Kategorija vodotoka	S	Kategorija vodotoka	S	Kategorija vodotoka	S	Kategorija vodotoka
1	Pr-1	1.50	II	1.72	II	1.63	II	1.91	II
2	Pr-2	1.50	II	1.50	II	1.71	II	2.02	II
3	Pr-3	1.55	II	1.50	II	1.71	II	1.70	II

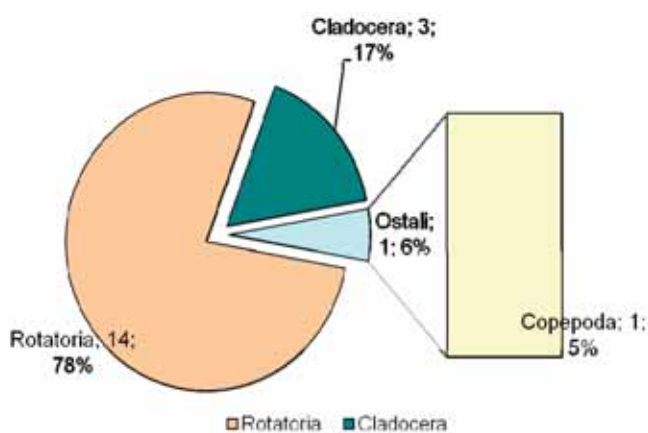
Zooplankton

Analizom sastava zooplanktona utvrđeno je prisustvo predstavnika tri grupe organizama, ukupno 18 taksona iz 13 rodova i to: tip *Rotatoria* 14 taksona iz 10 rodova (78%), potklasa *Copepoda* 1 takson, 1 rod (5%), red *Cladocera* 3 taksona, 2 roda (17%).

Rezultati analize zooplanktona pokazuju da u svim ciklusima uzorkovanja dominira tip *Rotatoria* sa karakterističnim rodovima *Keratella*, *Kellicotia*, *Asplanchna*, *Polyarthra*, *Lecane*, *Gastropus* i *Synchaeta*. Klasa *Copepoda* i red *Cladocera* su male raznovrsnosti i prema broju vrsta i prema distribuciji apsolutne brojnosti.

Zajednica zooplanktonskih organizama, s obzirom da direktno zavisi od primarnih producenata, prati dinamiku fitoplanktonske zajednice, pa je i takav i raspored u toku godine.

Indeks saprobnosti je u granicama II klase vodotoka.

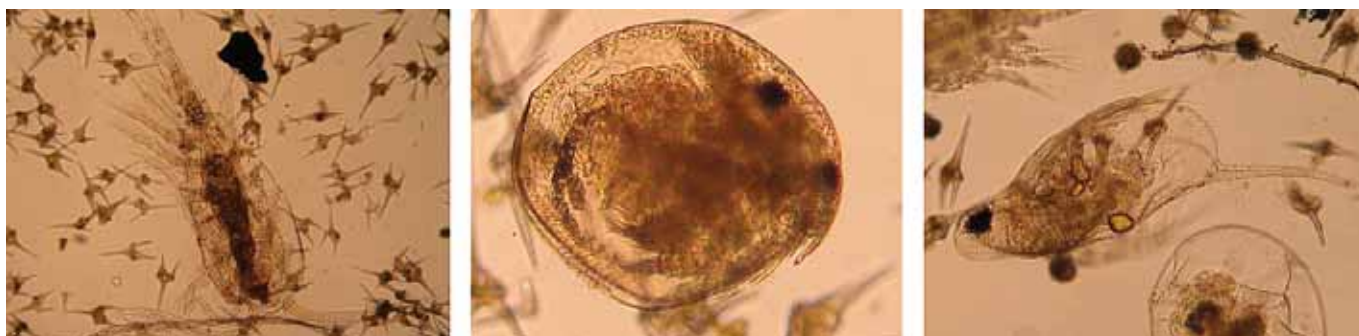


Dijagram 2 Procentualno učešće konstatovanih grupa zooplanktona u akumulaciji Bilečko jezero, jun-septembar 2009. god.



Slika 12 Karakteristični predstavnici tipa Rotatoria

foto: I. Zarić



Slika 13 Klasa Copepoda i red Cladocera

foto: I. Zarić

Tabela 3 Rezultati saprobiološke analize kvaliteta vode akumulacije Bilećko jezero na osnovu sastava zooplanktona kao indikatora stepena saprobnosti, metodom Pantle – Buck (1955), maj, oktobar 2009. god.

Redni broj	Vodotok/profil	Ciklus uzorkovanja							
		I (početak juna)		II (kraj juna)		III (avgust)		IV (septembar)	
		S	Kategorija vodotoka	S	Kategorija vodotoka	S	Kategorija vodotoka	S	Kategorija vodotoka
1	Pr-1	1.93	II	1.58	II	1.70	II	1.58	II
2	Pr-2	1.70	II	1.65	II	1.77	II	1.40	I
3	Pr-3	1.57	II	1.55	II	1.65	II	-	-

ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata mikrobioloških (bakterioloških) ispitivanja kvaliteta Bilećkog jezera možemo zaključiti slijedeće: ukupan broj aerobnih heterotrofa cfu/ml.: 14 mjerenja (38.9%) II kategorija, 17 mjerenja (47.2%) u III klasi i 5 mjerenja (13.8%) u IV kategoriji vodotoka. Analizom rezultata za dati parametar voda akumulacije karakteriše se II, odnosno III klasom kvaliteta.

Ukupan broj koliformnih bakterija MPN/100ml - od ukupno 36 mjerenja, 21 (58.3%) u I klasi kvaliteta i 15 (41.6%) II kategoriji vodotoka. Ukupan broj koliformnih bakterija fekalnog porijekla MPN/100ml – ukupno 36 mjerenja, 19 (52.7%) I klasa kvaliteta, 16 (44.4%) mjerenja u II kategoriji vodotoka i 1 mjerenje (2.7%) u III klasi kvaliteta. Fekalne streptokoke MF, cfu/100ml – 36 mjerenja, 29 (80.5%) u I klasi bonite-ta i 7 mjerenja (19.4%) u II kategoriji voda.

Parametri fekalnog opterećenja ukazuju na I, odnosno II klasu kvaliteta voda u najvećem broju mjerenja, najveće opterećenje fekalnim zagađenjem na profilu Pr-2.

Rezultati ispitivanja koncentracije hlorofila-a na akumulaciji Bilećko jezero pokazuju da je najveća koncentracija ovog fotosintetičkog pigmenta u površinskim, fotičnim slojevima akumulacija (epilimnion i metalimnion). Konstatovane vrijednosti u svim serijama ispitivanja su vrlo niske i ne prelaze granice definisane za vodu II kategorije kvaliteta.

Analizom rezultata istraživanja fitoplanktona na akumulaciji, možemo zaključiti da osnovu zajednice u sva 4 ciklusa ispitivanja čine modrozeleni, silikatni, vatrene, zlatne i zelene alge. U svim ciklusima ispitivanja dominiraju vatrene alge čija brojnost varira i u prostornom i u vremenskom pogledu. Takođe je značajna i zastupljenost predstavnika zlatnih i modrozelenih algi.

Najveći dio zajednice fitoplanktona je u sloju vode označenom kao epi- i metalimnion u toku cijele godine, što je posljedica morfometrije jezera, hemizma jezerske vode kao i karakteristične kombinacije klimatskih faktora vezanih za podneblje Hercegovine

u kome se nalazi Bilećko jezero, s obzirom da postoji i uticaj mora i klime tipične za primorske krajeve.

Značaj silikatnih algi u prirodi se ispoljava, prije svega što se javljaju kao osnovni primarni producenti, često su prva karika u lancu ishrane mnogih vodenih beskičmenjaka i kičmenjaka, izuzetne po svojim hemijskim svojstvima jer sadrže vitamine, bjelančevine i masti. Osjetljive su na promjenu hemizma vodene sredine, pa su značajni biološki indikatori, takođe učestvuju i u procesu prečišćavanja voda.

Predstavnici modrozelenih, zlatnih, vatrenih i zelenih algi karakteriše razvijanje u masi, kada grade vodeni "cvijet", prilikom čega znatno mijenjaju hemizam vode, ugrožavajući ostale članove akvatičnih ekosistema. Modrozeleni alge luče i posebnu grupu toksina – cijanotoksini, koji mogu dovesti do pomora ribe, trovanja stoke.

Izračunate vrijednosti za indeks saprobnosti S definišu vodu akumulacije u granicama II kategorije vodotoka.

Zooplankton se u svim ciklusima uzorkovanja i ispitivanja karakteriše dominacijom tipa *Rotatoria* (*Keratella*, *Kellicotia*, *Asplanchna*, *Polyarthra*, *Lecane*, *Gastropus* i *Synchaeta*). Klasa Copeoda (*Cyclops* sp., nauplius i copepodit stadijumi) i red *Cladocera* (rod *Daphnia*, *Chydorus*) su male raznovrsnosti i brojnosti. U skladu sa prilagođenostima i ekološkim potrebama, predstavnici zooplanktona prate dinamiku i promjene fitoplanktona. Najveći dio zajednice je u gornjim slojevima vode. Indeks saprobnosti S na osnovu zooplanktona granicama II kategorije vodotoka.

LITERATURA

- BAS ISO 5667- 2:1991 Water quality-Sampling-Guidance on sampling techniques,
- BAS ISO 5667-3:2003 Water quality-Sampling-Guidance on the preservation and handling of water samples,
- BAS ISO 5667- 4:1987,Water quality-Sampling- Guidance on sampling from lakes,natural and man-made,

- BAS ISO 19 458:2006, Water quality – Sampling for microbiological analysis
- BAS ISO 6222:1999, Water quality – Enumeration of culturable micro-organisms-Colony count by inoculation in a nutrient agar culture medium
- BAS ISO 9308-2:1999, Water quality – Detection and enumeration of coliform organisms, thermotolerant coliform organisms and presumptive *E. coli*, part 2: MPN
- BAS ISO 9308-2:1999, Water quality – Detection and enumeration of intestinal enterococci, part 2: MF
- Blaženčić, J. (1990): *Sistematika algi*. 1 - 298, Naučna knjiga, Beograd.
- Cvijan, M., Blaženčić, J., Cyanophyta, Naučna knjiga, Beograd, 1996.
- Cvijan, M., Blaženčić, J., Subakov-Simić, G., *Flora algi Srbije 2, Rhodophyta*, NNK Internacional, Beograd, 2003.
- Devai, I (1977): *Everzolabu Rakok (Calanoida et Cyclopoida)*. *Vizugyi Hidrobiologia* 5. *Alrendjeinek kishatarozoja*. Budapest.
- Dussart, B. (1969): *Les copepodes des eaux continentales d'Europe occidentale*. Tome II. *Cyclopoides et biologie*, 292pp., N.Boubbe et Cie. Paris.
- Energoinvest, tehnika, nauka, inženjering, Sarajevo, novembar 1972.godine.
- Hindak, F. i saradnici, *Sladkovodne Riasy*, Hindak, F., *Colour atlas of Cyanophytes*, VEDA, Publishing House of Slovak Academy of Science, Bratislava, 2008.
- Hindak, F., *Zelene kokalne riasy (Chlorococcales, Chlorophyta)*, Botanicky ustav SAV, Bratislava, 2005.
- Istraživanje stanja kvaliteta vode akumulacije Bilećko jezeero, Izveštaj za 2009., Institut za vode D.O.O. Bijeljina, Agencija za vode oblasnog riječnog sliva Save, Bijeljina, Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede RS.
- Jemcev, V., Đukić, D. (2000): *Mikrobiologija*, Vojnoizdavački zavod, Beograd.
- Koste, W. (1978): *Rotatoria die Radertiere mitteleuropas*. I textband -673, und II tafelband 1-234, Gebr. Borntraeger, Berlin-Stuttgart.
- Krammer, K., Lange_Bertalot, H. (1988) *Süßwasserflora von Mitteleuropa set 2/1: Bacillariophyceae: Naviculaceae*.
- Krammer, K., Lange_Bertalot, H. (1988) *Süßwasserflora von Mitteleuropa set 2/4: Bacillarioph: Achnanthesaceae*.
- Krammer, K., Lange_Bertalot, H. (1988) *Süßwasserflora von Mitteleuropa set 2/5: Bacillarioph: English and French translation of the keys*
- Krammer, K., Lange_Bertalot, H. (1988) *Süßwasserflora von Mitteleuropa set 19/1: Cyanoprokaryota I Chroococcales*.
- Krammer, K., Lange_Bertalot, H. (1988) *Süßwasserflora von Mitteleuropa set 19/2: Cyanoprokaryota. Oscillatoriales*.
- Krammer, K., Lange_Bertalot, H. (1988) *Süßwasserflora von Mitteleuropa set 10: Chlorophyta II: Tretrasporales, Chlorococcales, Gloeodendrales*.
- Margaritora, G.F. (1985): *Cladocera*. *Fauna d'Italia*, 1-356, Edizioni-Calderini, Bologna.
- MSZ 12 756:1998, *Određivanje saprobnosti površinskih voda*, Magyar Szabvány
- Petrović, O., Gajin, S., Matavulj, M., Radnović, D., Svirčev, Z. (1998): *Mikrobiološko ispitivanje kvaliteta površinskih voda*, Institut za biologiju, Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad.
- Pujin, V., Grginčević, M., *Hidrobiologija*, Priručnik za studente i posle diplomce, Ekološki pokret grada Novog Sada, 1998.
- Službeni glasnik Republike Srpske, br.42/01, *Uredba o klasifikaciji voda i kategorizaciji vodotoka*
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st Edition, 2005, 10200 A, C, D, E, F, G APHA-AWWA-WEF
- Stanković, S.: *Jezera Jugoslavije*, Stručna knjiga, 1989.god.
- Živković, A., *Fauna jugoslovnksog dela Dunava*.



NOVIJE KONCEPCIJE FILTRIRANJA VODE

UVOD

Filtriranje vode je izdvajanje određenih komponenti iz tečne faze rastvora, bilo prolaskom tečnosti kroz poroznu sredinu ili odgovarajuću površinu. Koja će materija biti propuštena u filtrat, a koja neće, zavisi od fizičko-hemijskih karakteristika te materije, te primjenjene metode filtriranja. Generalno se metode pripreme vode za piće, odnosno metode filtriranja, mogu podijeliti u konvencionalne (brzi pješčani filteri) i savremene metode (membranski postupci filtriranja). Sa ciljem poboljšanja efekata filtriranja, posljednjih godina, odnosno decenija, razvile su se, osim savremenih metoda filtriranja, novije koncepcije konvencionalnog filtriranja. U narednim poglavljima navedene su najprije novije koncepcije konvencionalnog brzog filtriranja, a zatim su ukratko pojašnjene membranske koncepcije filtera.

PREGLED MODIFIKACIJA KONVENCIONALNOG BRZOG FILTRIRANJA

Nove, savremene koncepcije konvencionalnih filtera podrazumijevaju poboljšanja i promjene veza, na primjer, za sastav ispune, konstruktivne osobine, način pranja..., a sve s ciljem povećanja brzina filtriranja; povećanja prijemnog kapaciteta filtera za ne-

čistoće iz vode; produženja dužine rada filtera između dva pranja; eliminiranja taložnika iz procesa prerade vode i slično.

- Kao filterski materijal u konvencionalnim filtrima najčešće se koristi pijesak. Kod povratnog pranja on se separira, tako da najsitnija zrna ostaju na vrhu. Iz analize nedostataka običnih konvencionalnih brzih filtera, vidi se, na primjer, da voda filtrirajući se odozgo nadole odlaže nečistoću uglavnom u gornjem sloju najsitnijeg pijeska. To uzrokuje neiskorištenost kapaciteta preostalog dijela ispune i brzo popunjavanje prljavštinom gornjeg sloja ispune. Dalje, gubici pritiska brzo narastaju, usljed čega period korisnog rada, između ispiranja, postaje veoma kratak. Da bi se izbjeglo brzo površinsko zagušenje i omogućilo dublje učestvovanje ispune u filtriranju, došlo je do primjene više slojeva i različitih materijala kao ispune. U vezi sa prethodnim, modifikacije prema broju slojeva u ispuni su:

- jednoslojni filteri, i
- višeslojni filteri.

Modifikacije prema vrsti filterske ispune uključuju:

- pješčane filtere,
- ugljene filtere,

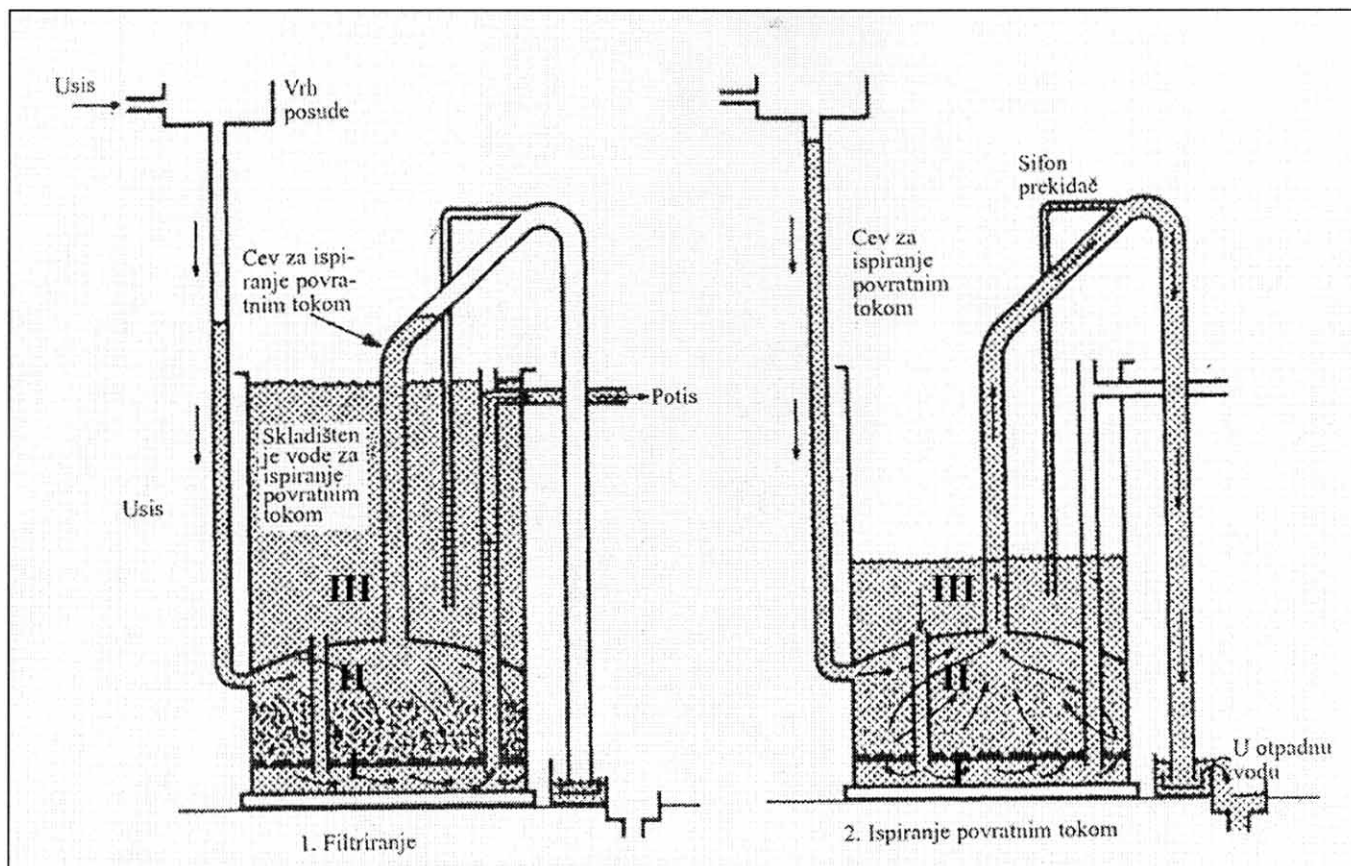
- ugljeno-pješčane filtere,
 - filtere sa ispunom od pijeska, antracita i uglja,
 - filtre od mješane ispune itd.
- Neke novije koncepcije usmjerene su ka eliminiranju taložnika iz procesa prerade vode. Tamo gdje je to moguće, prenosi se funkcija taložnika na odgovarajuće prilagođene brze filtre. Na ove filtere voda se dovodi direktno nakon koagulacije, odnosno flokulacije. U ovom slučaju radi se o tzv. direktnoj filtraciji. Ponekad se koagulant dodaje u vodu neposredno prije samih filtera, tako da se u pješčanoj ispuni praktično odvija proces flokulacije, odnosno bistrenja. Na ovaj način, omogućava se ušteda hemikalija i troškova građenja i pogona. Treba napomenuti da eliminisanje taložnika, odnosno taložnika i flokulatora iz sklopa stanice zahtijeva sirovu vodu boljeg kvaliteta, odnosno niske mutnoće (do 10, eventualno do 30 NTU).
 - S ciljem povećanja efikasnosti pranja filtera nastale su mnoge modifikacije vezane za smjer toka vode kroz filter. Prema smjeru toka vode kroz filter razlikujemo:
 - filtere sa tokom vode odozgo na dole,
 - sa tokom vode odozdo na gore,
 - sa dvosmjernim tokom vode (odozgo na dole i odozdo na gore),

- sa tokom vode od finijeg ka grubljem filterskom materijalu;
 - dvostruke filtere sa inverznim tokovima.
- Novije koncepcije, odnosno specijalni tipovi, brzih pješčanih filtera su i:
 - filteri sa cirkulacijom pijeska;
 - filteri koji se peru pomoću automatskog sifona, samoispirajući filteri itd.

U nastavku ovog poglavlja opisane su neke modifikacije konvencionalnih brzih filtera.

Automatski gravitacioni samoispirajući filteri

Radi se ustvari o modifikaciji načina pranja brzih pješčanih filtera. Postepeno povećanje gubitaka pritiska kroz filtersku ispunu, kao posljedica nagomilavanja čvrstih čestica zagađenja tokom procesa filtriranja, koristi se kao sredstvo za aktiviranje ispiranja filterske ispune povratnim tokom. Upravo to je dovelo do razvoja automatskih gravitacionih samoispirajućih filtera (AGS filteri). Tako ovaj tip filtera omogućava pouzdan rad baterije filtera na udaljenim lokacijama, gdje se može desiti da operater često ne dolazi da nadgleda njen rad [1].



Slika 1: Gravitacioni filter s automatskim ispiranjem povratnim tokom [1]

Naredna slika daje prikaz rada automatskih samoispirajućih filtera. Dovod vode u filtere, tačnije u njihove komore je gravitacijski (usis), pa je na taj način obezbjeđen rad bez ikakve dodatne energije. Voda se dovodi u srednju komoru (II), ispunjenu kvarcnim pijeskom i šljunkom. Iznad filterske ispune je sloj vode, čime je omogućeno ravnomjerno opterećenje ispune. Slobodnim padom voda se spušta ka dnu. Prolazeći kroz filtersku ispunu odvija se filtriranje (Slika 1. - 1. *Filtriranje*). Profiltrirana voda preko mlaznica filterskog dna procjeđuje se u donju komoru (I), koja ustvari predstavlja mali rezervoar filtrata. Iz ove komore preko vertikalne cijevi, filtrat se podiže u gornju komoru (III). Na vrhu filtera, odnosno gornje komore (III) nalazi se cijev odvoda čiste vode (potis). Filteri rade automatski. Nakon određenog vremena, zavisno od mutnoće sirove vode, dolazi do začepljenja ispune, slabi njena propusna moć, a povećavaju se otpori. Nivo vode u gornjoj komori raste, čime raste i nivo u centralnoj cijevi za ispiranje povratnim tokom. Sistemom natege i injektora aktivira se pranje (Slika 1. - 2. *Ispiranje povratnim tokom*).

Pranje filtera traje 7 – 10 minuta, a učestalost je ovisna o kvalitetu ulaznog efluenta. U normalnim okolnostima pranje se vrši 1 – 2 puta dnevno, dok su u slučaju povećanja mutnoće ovi procesi učestaliji i javljaju se 5 - 6 puta dnevno [2]. Ispitivanjem se pokazalo da ovi filteri veoma dobro uklanjaju mutnoću sirove vode do 40 NTU. Kvarovi na ovim filterima svedeni su na minimum, jer nema pokretnih dijelova. Prednost također predstavlja i to što je rad filtera automatizovan, bez zahtjeva za dodatnom energijom [3].

Kontinualni – DynaSand filteri

Dyna Sand – filteri su novija koncepcija filtriranja. Osnovna karakteristika ovih filtera jeste kontinuirani rad uz cirkulaciju pijeska [4]. Naime, zaprljani pijesak iz ovih filtera se kontinuirano uklanja, pere i vraća nazad u sistem, čime se obezbjeđuje kontinuirani sistem rada. Slika 2. prikazuje osnovnu filtersku jedinicu. Radi se o cilindričnom rezervoaru, sa koničnim donjim dijelom. Grade se od čelika. Pri vrhu rezervoara je dovodna cijev sirove vode. Ta cijev vodi sirovu vodu do dovodnog distributera na dnu cilindra. Odatle se voda filtrira stružeći uzlazno kroz sloj pijeska. Filtrirana voda napušta filter preko preljevnog ruba smještenog pri vrhu cilindra. U ulaznoj cijevi je koaksijalno postavljena mamut-pumpa koja otprema zaprljani pijesak od konusa prema gore ka ispiraču pijeska. U ispiraču se pijesak pere pomoću filtrirane vode. Ispirač pijeska je tako konstruisan da ne može doći do mješanja filtrirane vode i vode od pranja. Tako opran pijesak se dalje prenosi na gornji sloj pijeska. Cijeli sloj pijeska se tako konstantno kreće prema dole. Voda iskorištena za pranje pijeska napušta sistem kroz jednu posebnu cijev. Zaprljani pijesak se tako kontinuirano uklanja, pere i vraća nazad u sistem,

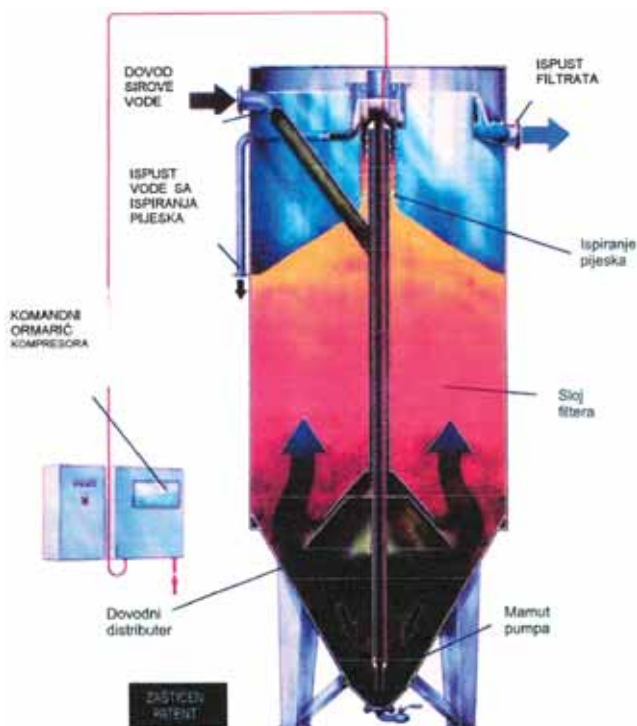
čime se obezbjeđuje kontinuiran rad. Na ovaj način, postignuto je da se kretanje pijeska i pranje filtera obavljaju konstantno. Ovo je jedna od osnovnih razlika, ali i prednosti Dyna Sand filtera u odnosu na druge načine filtriranja vode.

U slučaju prerade površinske vode do kvaliteta vode za piće, neophodna je koagulacija, flokulacija i taloženje. Ove operacije, mogu se obaviti prije filtera na uobičajeni način. Također, ukoliko to kvalitet sirove vode dozvoljava, svojim malim opterećenjem, sredstva za koagulaciju mogu biti dodana i neposredno prije ovog tipa filtera. Tada filterska ispuna, predstavlja i reakcioni prostor, odnosno prostor i za koagulaciju, flokulaciju, odnosno taloženje.

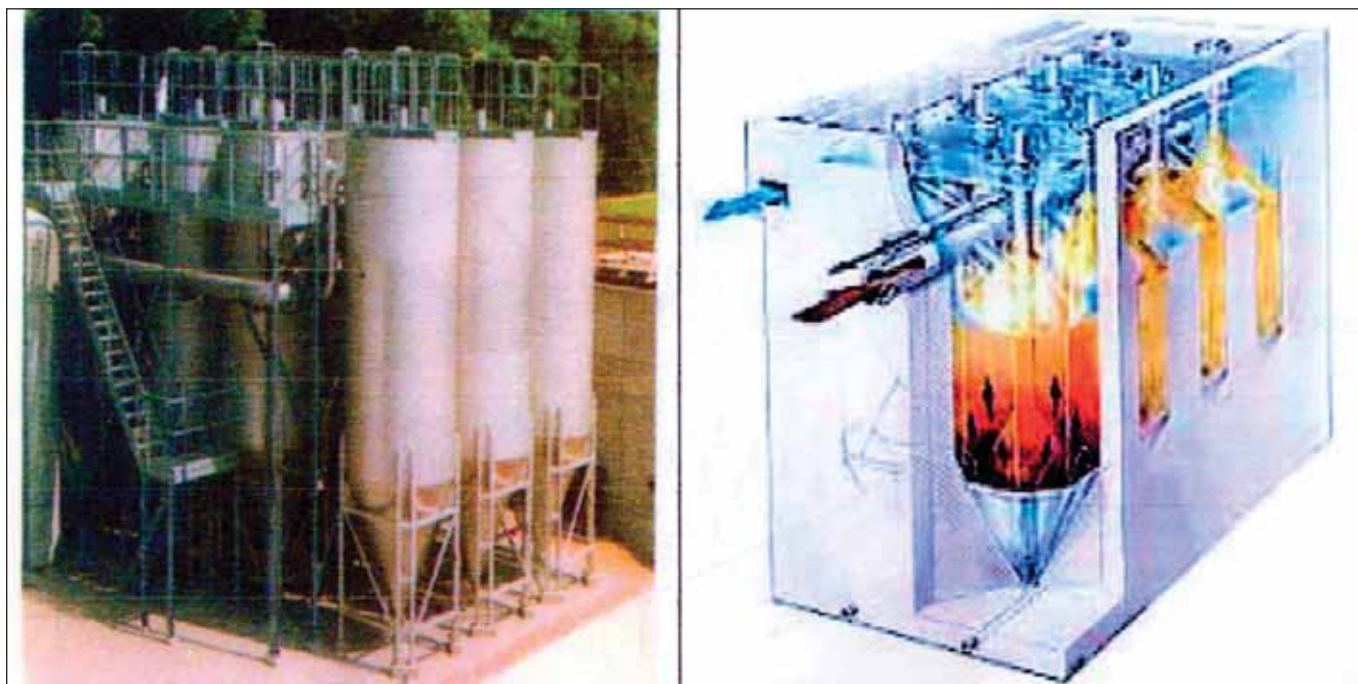
DynaSand filter stanicu čini sklop prethodno razmatranih filterskih jedinica, koje rade paralelno. Filterske jedinice se povezuju sistemom cijevi za distribuciju ulazne vode, za odvođenje filtrata i za vodu utrošenu za izapiranje. Ovaj sklop filterskih jedinica može biti u vanjskoj izvedbi ili ugrađen u betonski blok (Slika 3).

Prednosti ovih filtera su sljedeće [4]:

- jednostavna konstrukcija sistema, lakoća održavanja;
- nepotrebno zaustavljanje sistema radi povratnog izapiranja pijeska;
- ujednačen kvalitet filtrata;
- rjeđa zamjena filterske ispune;
- manji pad pritiska, te stoga ušteda energije;
- mogućnost korištenja ispune kao reakcionog prostora;



Slika 2: Filterska jedinica sa kontinuiranom cirkulacijom pijeska [4]



(jedinice u vanjskoj izvedbi – lijevo i ugrađene u betonski blok- desno)

Slika 3: Konstrukcija DynaSand filter stanice [4]

- mogućnost instalacije filtera na otvorenom i u zatvorenom prostoru;
- nepotreban rezervoar čiste vode za pranje...

Na osnovu iskustava u korištenju ovog tipa filtera u Austriji (stanica Hohenemes [2]), gdje se prerađuje podzemna voda za potrebe naselja, mogu se navesti neka zapažanja:

- ❑ Voda koja se prerađuje treba da je mutnoće manje od 32 NTU. U tom slučaju filtrat ima mutnoću ispod 0,3 NTU.
- ❑ Voda koja se koristi za pranje filtera iznosi minimalno 4% od vode koja se prerađuje. Maksimalno se za pranje koristi 7% vode koja uđe u filter.
- ❑ Filteri mogu raditi sa maksimalnom tvrdoćom vode za pranje od 200-400 mg/l, kao CaCO_3 .
- ❑ Maksimalna vrijednost slijeganja pijeska u filterima iznosi do 10 mm u minuti, a minimalno slijeganje je 4 mm u minuti.

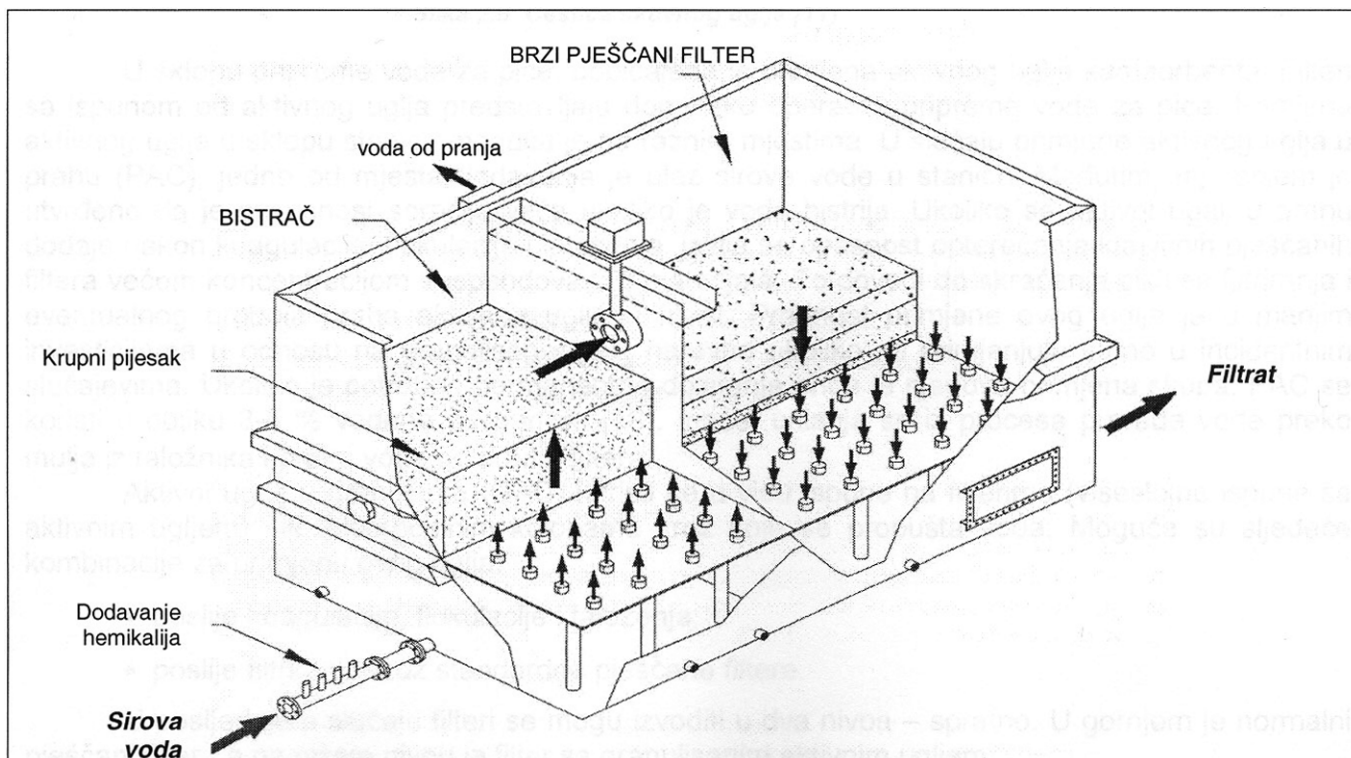
Dvostepena filtracija

Radi se o novijoj koncepciji odvijanja operacija pripreme vode u sklopu stanice. Ovaj način filtriranja efikasniji je za niže mutnoće sirove vode (do 30 NTU) Š5C. Dodavanje hemikalija, odnosno sredstva za koagulaciju, vrši se na ulazu sirove vode u ovaj tip objekta (Slika 4).

Ispuna filtera se koristi kao reakcioni prostor u kome se praktično odvija i koagulacija, flokulacija i taloženje. Praktično se koagulacija vrši u samoj cijevi i dalje nastavlja, uz propratnu flokulaciju, u ispuni prvog dijela objekta. U ovom prvom stepenu filtraci-

je voda struji uzlazno kroz sloj krupnijeg pijeska. U ovom dijelu odvija se ustvari kontaktno bistrenje - koagulacija, flokulacija i taloženje destabilizovanih čestica unutar ispune. Na ovaj način pojednostavljena je šema stanice jer nisu uključene komore za obrazovanje flokula, niti taložnici. Ovako pripremljena voda dalje ide na drugi stepen filtracije, gdje ovaj put voda struji odozgo prema dole. U ovom drugom djelu objekta praktično se odvija brza filtracija kroz pješčanu ispunu. Ispuna u ovom drugom dijelu može biti i dvoslojna, odnosno troslojna ukoliko to sirova voda, odnosno kvalitet filtrata zahtijeva. Adsorbicnim bistrenjem i filtriranjem, akumuliraju se nečistoće u ispuni. Nakon određenog vremena vrši se njihovo uklanjanje automatski kontrolisanim povratnim pranjem vodom i zrakom.





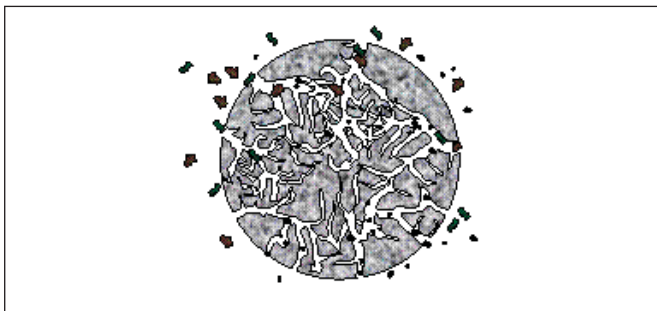
Slika 4: Konstrukcija objekta za dvostepenu filtraciju (kontaktno bistenje i filtracija) [5]

Filteri sa aktivnim ugljem

Aktivni uglj posjeduje veliku specifičnu površinu, koja omogućava uklanjanje iz vode rastvorenih materija, odnosno organskih materija koje vodi daju ukus i miris, kao i fenole, biocide, hlorovane ugljikohidrate i deterdžente. Aktivni uglj koristi se u dva oblika: kao granulirani (GAC) i u prahu (PAC). Aktivni uglj u prahu je granulacije 0,01 – 0,08 mm, sa apsorpcionom površinom po 1 gramu aktivnog uglja od 500 do 1500 m² (Slika 5) [6]. Granularni oblik je sa granulacijama od 0,6 – 1,6 mm i sa apsorpcionom površinom od 1200 do 1400 m²/g.

U sklopu pripreme vode za piće, uobičajena je primjena aktivnog uglja kao sorbenta. Primjena aktivnog uglja u sklopu stanice moguća je na raznim mjestima.

U slučaju primjene aktivnog uglja u prahu (PAC), jedno od mjesta dodavanja je ulaz sirove vode u stanicu. Međutim, mjerenjem je utvrđeno da je efika-



Slika 5: Čestica aktivnog uglja [7]

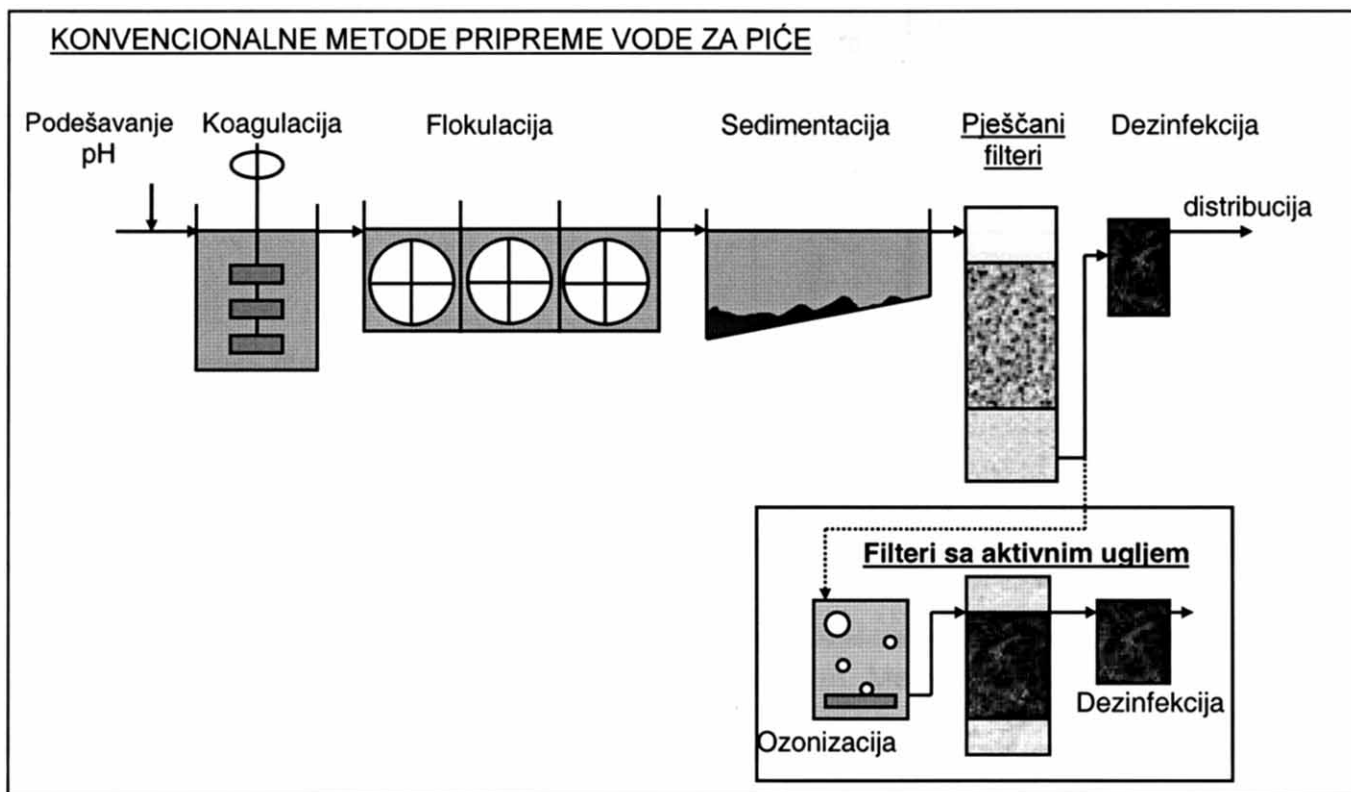
snost sorpcije veća ukoliko je voda bistrija. Ukoliko se aktivni uglj u prahu dodaje nakon koagulacije, flokulacije i taloženja, javlja se opasnost opterećenja klasičnih pješčanih filtera većom koncentracijom suspendovanog materijala. To dovodi do skraćenja ciklusa filtriranja i eventualnog proboja praha aktivnog uglja u filtrat. Prednost primjene ovog uglja je u manjim investicijama u odnosu na granulirani uglj, naravno ukoliko se primjenjuje samo u incidentnim slučajevima. Ukoliko je potrebno permanentno doziranje onda je njegova primjena skupa. PAC se koristi u obliku 3-5 % vodene suspenzije [6]. Inače, uklanja se iz procesa prerade vode preko mulja iz taložnika i preko vode od pranja filtera.

Aktivni uglj u granulama (GAC) koristi se u vidu ispune na filterima (višeslojne ispune sa aktivnim ugljem) ili adsorpcionim kolonama kroz koje se propušta voda. Moguće su sljedeće kombinacije za primjenu ovog uglja:

- poslije koagulacije, flokulacije i taloženja;
- poslije filtriranja kroz standardne pješčane filtere.

U posljednjem slučaju filteri se mogu izvoditi u dva nivoa – spratno. U gornjem je normalni pješčani filter, a na nižem nivou je filter sa granuliranim aktivnim ugljem.

Također, postoji mogućnost naknadnog uključivanja filtera sa aktivnim ugljem u sklop konvencionalnih metoda pripreme vode za piće. Naime, ukoliko se kvalitet sirove vode naknadno pogorša i brzi pješčani filteri ne daju zadovoljavajuće rezultate,



Slika 6: Način uključivanja filtera sa aktivnim ugljem u pripremu vode [7]

uključivanjem ovih filtera efikasnost stanice se povećava uz zadržavanje postojećih objekata konvencionalne prerade (Slika 6).

U pripremi vode za piće sreće se i kombinacija ozonizacija - filtracija na granulisanom aktivnom uglju (Slika 6) [6, 7]. Pozitivni efekti ove kombinacije, odražavaju se na produženju vijeka aktivnosti granulisanog uglja između dvije regeneracije. Naime, utvrđeno je da ako ozonizacija vode prethodi kontaktu sa aktivnim ugljem, period između dvije regeneracije produžava se 2 – 4 puta. Istrošeni GAC se ili regeneriše ili baca.

MEMBRANSKE METODE FILTRIRANJA

Membranski postupci filtriranja primjenjuju se za preradu vode na osnovi izabrane propusnosti membrane. Učinak odvajanja temelji se na razlikama u koncentracijama, pritiscima ili električnoj napetosti. Kod svih membranskih postupaka veoma je važna prethodna obrada sirove vode, odnosno nužno je iz nje ukloniti suspendovane i koloidne tvari, što se uglavnom provodi konvencionalnim postupcima. Membranski procesi filtriranja dijele se, prema veličini pora, odnosno pritiscima, na: reverznu osmozu (RO), nanofiltraciju (NF), ultrafiltraciju (UF) i mikrofiltraciju (MF). Sažeta informacija o ovim membranskim procesima filtracije data je u Tabeli 1.

Filtriranje membranskim tehnologijama odvija se preko membranskih modula. Membranski moduli međusobno se povezuju u baterije, čije su dimenzije

ovisne o kapacitetu modula, odnosno filter stanice (Slika 7). U membranskom modulu, kao osnovnoj membranskoj jedinici, smještena je određena površina membranskog platna. Jedan membranski element (ili modul) sastoji se od membranskog platna (membrane), konstruktivnog elementa koji prima pritiske i obezbjeđuje oslanjanje membranskog platna, spojnice za priključak sirove vode, ispusta za koncentrat i odvoda prečišćene vode [8]. Postoje četiri vrste membranskih elemenata (modula):

- pločasti modul-disk,
- cijevni modul,
- modul sa šupljim vlaknima i
- spiralno namotani modul.

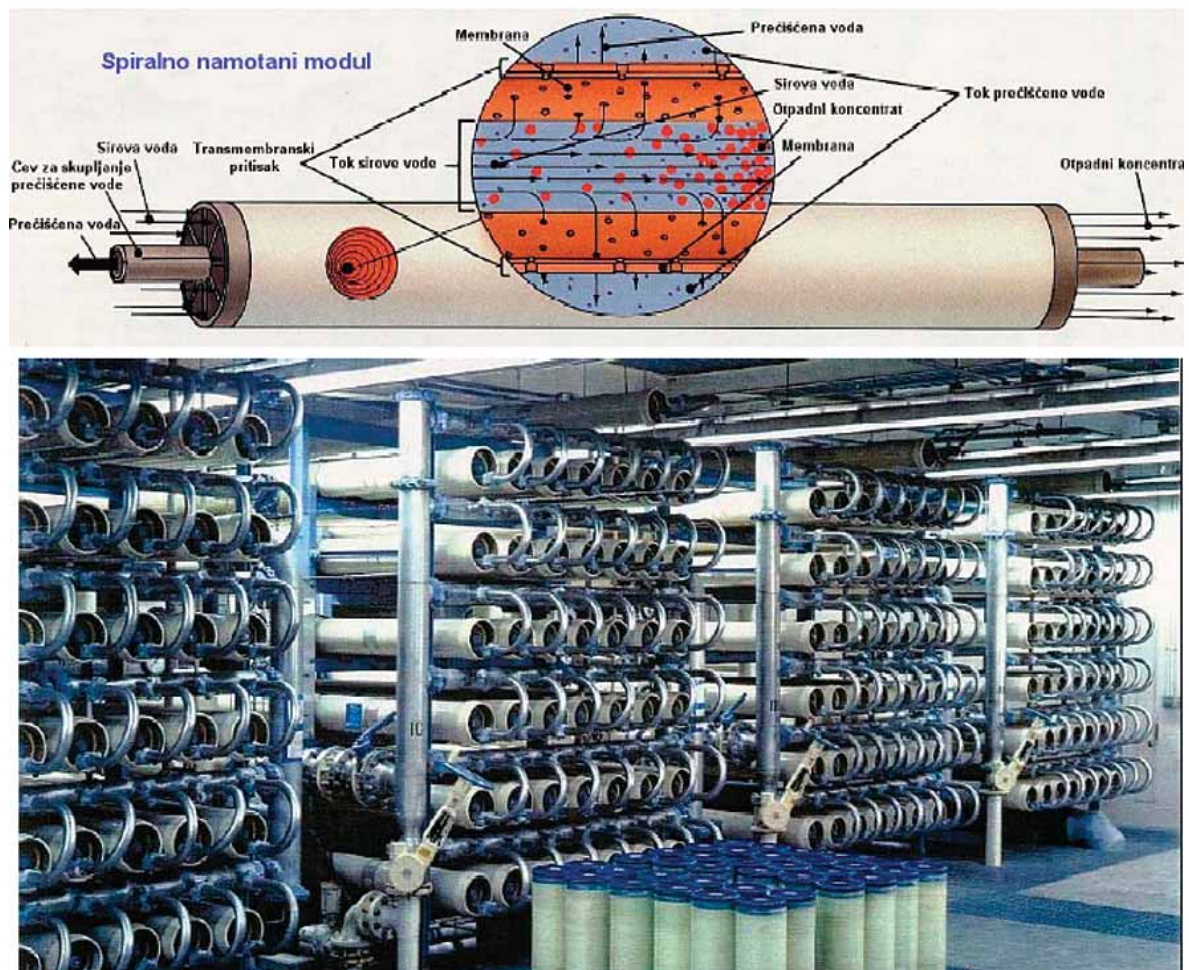
Na Slici 7. dat je detalj spiralno namotanog modula. Membrana je tanak polupropusni film koji omogućava izdvajanje određenih komponenti, iz tečne faze rastvora, jer djeluje kao selektivna barijera za transfer koloidnih i rastvorenih materija. Koja će materija biti propuštena, a koja neće, zavisi od fizičko-hemijskih karakteristika te materije i od dimenzija pora i elektro-hemijskih svojstava membrane.

Važno je uočiti da membrana nije pasivna, već funkcionalna barijera transfera rastvorenih supstanci, čija propusnost zavisi od fizičko-hemijskih interakcija između membrane i rastvorenih materija.

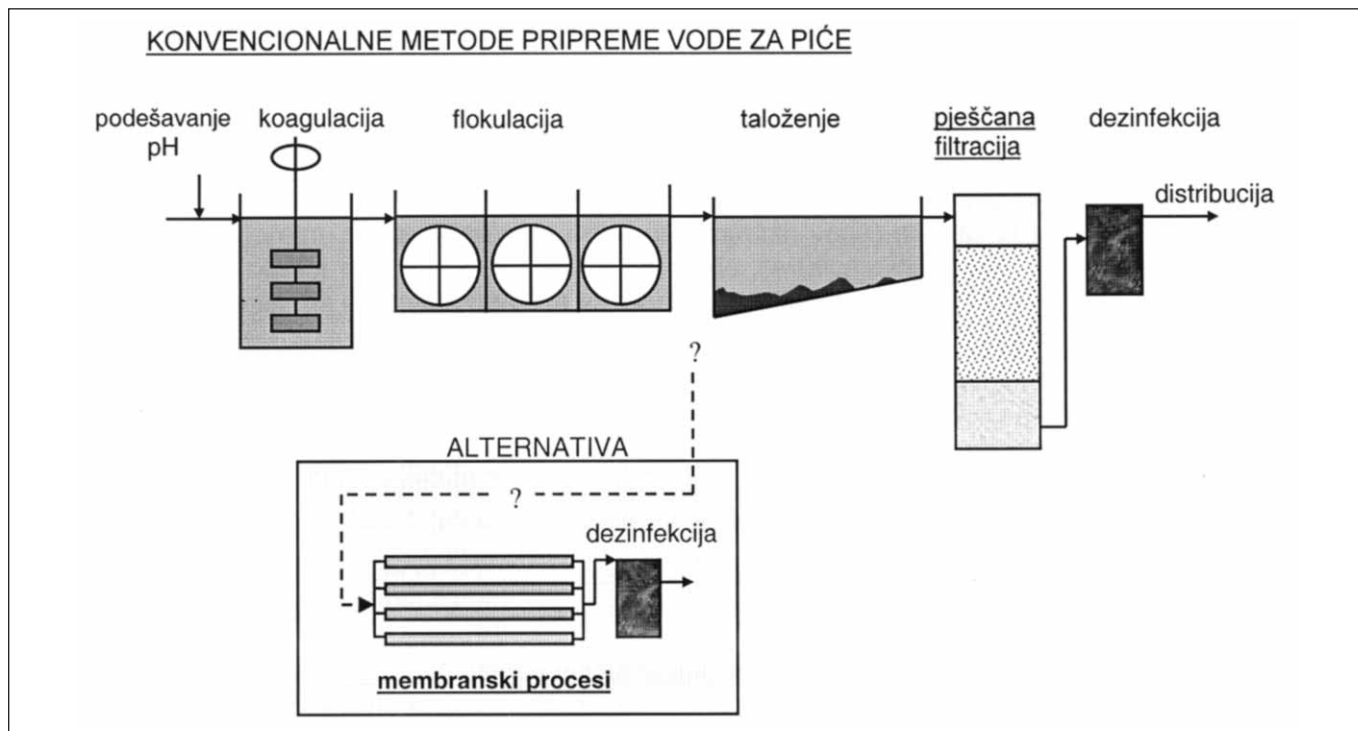
Za uklanjanje rastvorenih materija, u sklopu stanica za pripremu vode za piće, efikasnije, ali i mnogo skuplje su membranske tehnologije filtriranja. U

MEMBRANSKI PROCES	VELIČINA PORA	MOGUĆNOST SEPARACIJE	PRITISAK (bar)	PRIMJENA
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Reverzna osmoza	0.2 nm – 0.8 nm	Rastvorene soli i molekuli supstanci male molekulske težine do 100 Daltona	7 - 70	- desalinizacija morske vode, - prečišćavanje otpadnih voda, - priprema vode za piće, - prehrambena industrija...
Nanofiltracija	0.5 nm – 5 nm	Divalentni joni metala, tri i više valentni joni, molekuli male molekulske težine (200-300 Daltona), virusi	5 – 15	- vodosnabdijevanje, - prečišćavanje otpadnih voda...
Ultrafiltracija	5 nm – 20 nm	Čestice veličine preko 1 µm, neki virusi, bakterije rastvorene materije sa molekulskom težinom 10 000 – 500 000 Daltona	0,5 – 5	- vodosnabdijevanje, - prečišćavanje otpadnih voda, - mlječna industrija, - industrija pića, - farmaceutska industrija, - separacija vode od sirove nafte, - separacija ekstrakte voća i povrća.
Mikrofiltracija	20 nm – 200 nm	Koloidi, protoza (Ciptosporidium, Giardia)	0,5 - 3	- prečišćavanje otpadnih voda, - predtretman u prečišćavanju voda, - prehrambena industrija, - industrija boja.

Tabela 1: Osnovne informacije o membranskim procesima [8, 9]



Slika 7: Membranski moduli (detalj i baterije) [8]



Slika 8: Alternativa konvencionalnom tretmanu – membranski procesi [7]

nekim slučajevima, opravdana alternativa konvencionalnom sistemu filtriranja na brzim pješčanim filterima postaju membranski procesi (Slika 8). Znak upitnik sa Slike 8, znači ustvari dilemu da li uvoditi ili ne membransku tehnologiju. Pri razmatranju uvođenja membranskih metoda filtriranja u sistem pripreme vode za piće, treba imati u vidu najprije kvalitet sirove vode, a zatim i prednosti, ali i mane ove alternative.

Osnovne prednosti membranskih tehnologija su:

- visok kvalitet filtrirane vode;
- ušteda prostora;
- jednostavnost operacija i lako održavanje.

Nedostaci, odnosno osnovne mane, ovog načina filtriranja su:

- velika potrošnja energije;
- vremenska ograničenost korištenja membranskih modula (samo par godina);
- upotreba određenih hemikalija pri pranju;
- neuklanjanje čestica manjih od veličine pora (Tabela 1, kolona (2));
- generalno skupa tehnologija filtriranja.

Današnja naučna istraživanja usmjerena su ka prevazilaženju prethodno pomenutih nedostataka, kako bi ovi procesi bili ekonomičniji, efikasniji i dostupniji u pripremi vode za piće u budućnosti [10].

ZAKLJUČAK

Kao posljedica svih modifikacija, danas pojam filtera za vodu izgleda komplikovano, jer postoji toliko

mного raspoloživih modela, i također postoji mnogo koncepcija samih operacija i kombinacija korištenih operacija, pri pripremi vode za piće. Sa ciljem postizanja sve strožijih zahtjeva kvaliteta, u tehnologiji prerade vode, usavršene su i dalje se usavršavaju nove koncepcije filtriranja u sklopu stanice [5]. Nova koncepcijska rješenja stanice, odnosno samih filtera, usmjerena su ka zadovoljenju sljedećih zahtjeva, a sve sa krajnjim ciljem dobivanja što kvalitetnije vode za piće:

- odličan kvalitet filtrirane vode ($NTU < 0.1$);
- multibarijerna zaštita protiv parazita (*Giardia*, *Cryptosporidium*...);
- kompaktnost objekata;
- obezbjeđenje niskog opterećenja filtera putem bistrača;
- vrlo niska mehanika s ciljem minimiziranja skupog održavanja i opravki;
- mirno, jednostavno i lako rukovanje sa minimalnim intervencijama;
- ušteda građevinskih troškova;
- automatska kontrola i monitoring sistema;
- trenutno miješanje;
- smanjen utrošak hemikalija;
- velika tolerancija promjene uslova kvaliteta sirove vode...

U vezi sa prethodno navedenim, dizajniraju se savremenije filter stanice sa optimalnijim mehaničkim i hemijskim procesima, i vrlo često automatizovanim sistemom kontrole i upravljanja.

LITERATURA

- [1] Kramer (F. N.). - *Nalkov priručnik za vodu* (prevod). Jug. inženj. akademija, Savez inž. i tehn. Srbije i Građevinska knjiga, Beograd, 2005, str. 1057.
- [2] Bosiljić (S.). - *Upoređenje različitih sistema filtriranja pitkih voda*. Diplomski rad (mentor: H. Baj – Dobran), Građevinski fakultet u Sarajevu, Sarajevo, 2004, str. 155.
- [3] Prospekti materijal: *Automatski gravitacioni filteri*. - Radna organizacija za proizvodnju, projektovanje i montažu uređaja za prečišćavanje vode i vazduha, Hidrotehnika - Kladanj, Jugoslavija.
- [4] Prospekti materijal: *Dyna Sand – filter*. Earth Tech Umwelttechnik GmbH, a TYCO International LTD. Company.
- [5] *Water Treatment Plant – Selecting Best Process*. PacificKeystone Technologies Incorporated, The Clearwater Group <http://www.clearwaterworld.com/process.html> (17.11.2005).
- [6] Jahić (B.M.). - *Kondicioniranje voda*. Književna zajednica DRUGARI, Sarajevo, 1990, str. 233.
- [7] Okabe (S.). - “*Water Quality Control Engineering*”. Japan International Cooperation Agency (JICA), (trening kurs: “*Engineering on Water Supply Systems II*”), Japan, 8. maj - 30. juli 2005.
- [8] *Generalni projekat membranskog postrojenja za pripremu vode za piće grada Zrenjanina*. Institut za vodoprivredu “Jaroslav Černi”, 2001. www.jcerni.co.yu/srpski/projekti/Membrana.pdf (07.03.2005).
- [9] *Membrane Technology*. Center for Waste Disposal Technologies and Recycling (ZEK) www.wasser-zek.de/wasserengl/Membrane-Technology.pdf (07.01.2005)
- [10] Watanabe (S.). - predavanja: “*Water Purification Process*”. Hokkaido University, Japan International Cooperation Agency (JICA), (trening kurs: “*Engineering on Water Supply Systems II*”), Japan, 8. maj - 30. juli 2005.

Prerađeno (2.) poglavlje magistarskog rada “Metode brzog filtriranja i njihova primjena”

Magistarski rad je odbranjen na Građevinskom fakultetu Univerziteta u Sarajevu, 26. 01. 2007.

Komisija za izradu i odbranu rada bila je u sastavu:

Prof. dr Haša Bajraktarević-Dobran, dipl. ing. građ. – mentor

Prof. dr. Jure Margeta, dipl. inž. građ,

Prof. dr. Dinko Tuhtar, dipl. inž. hem.



Zgrada vodoprivredne laboratorije AVP Sava u Butilama kod Sarajeva

Snimio: G. Mirković

ODREĐIVANJE POLOŽAJA POPREČNIH PROFILA U LINIJSKIM MATEMATIČKIM MODELIMA OTVORENIH VODOTOKA

Abstrakt

U radu se navode preporuke iz savremene literature o minimalnom i maksimalnom rastojanju poprečnih profila pri formiranju matematičkog modela otvorenih vodotoka sa ciljem određivanja odgovarajućih nivoa karakterističnih voda, uglavnom potrebnih za određivanje propusne moći vodotoka, plavnih površina kao i aktuelnosti gabarita linijskih infrastrukturnih objekata za zaštitu od poplava. Ove preporuke mogu dovesti do ušteda na nepotrebnom snimanju poprečnih profila koje bi modelar greškom mogao postaviti na manjem razmaku u odnosu na preporučljivi minimalni razmak ovih profila. Vrijednosti o maksimalnom prihvatljivom razmaku poprečnih profila u ovakvim modelima mora se uzeti sa rezervom, pri čemu treba voditi računa da mali broj primjenjenih profila vodi do pogrešaka u nivoima što se odražava na potrebnu visinu krune postojećih ili novoprojektovanih nasipa, posebno u dolinskim vodotocima. Takođe, dat je i prikaz studija dva modela vodotoka u Zapadnoj Evropi čiji rezultati upućuju na postojanje tzv. optimalnog broja poprečnih profila u jednom modelu otvorenog vodotoka.

Ključne riječi: *Zaštita od poplava, Matematički modeli otvorenih vodotoka*

1. UVOD

Modeliranje tečenja u otvorenim vodotocima je uobičajen postupak u inženjerskom projektovanju kao i u Agencijama za održavanje pojedinih velikih slivova, kao što je npr. slučaj sa Međuregionalnom Agencijom za upravljanje slivom rijeke Po na sjeveru Italije, sa sjedištem u gradu Parmi. U ovakvim agencijama razrađeni su modeli kojim se na osnovu osmotrenih padavina ili naglog topljenja snijega u uzvodnom dijelu sliva mogu dati prognoze očekivanih poplavnih talasa na odgovarajućim lokalitetima na nizvodnom dijelu sliva i samim tim prognoze očekivanih velikih voda i odgovarajući nivoi kao i njihov opis u odnosu na gabarite i izdržljivost postojećih linijskih objekata zaštite od poplava.

Uobičajeno da se za modeliranje otvorenih vodotoka koriste komercijalni softveri kao što su HEC-RAS (Verzija 4) i MIKE 11 kao linijski (jednodimenzionalni) modeli ili MIKE 21 ili SMS (Verzija 9) kao dvodimenzionalni modeli. Dvodimenzionalni modeli uprkos brojnih prednosti su takođe i dosta zahtjevni u pogledu kvaliteta ulaznih podataka dok jednodimenzionalni modeli uglavnom mogu da ispune sve trenutne projektantske zahtjeve u BiH. Tako npr. model HEC-RAS, koji se može preuzeti besplatno sa interneta, uglavnom odgovara na sve uobičajene po-

trebe, dok je MIKE 11 sofisticiranija verzija jednog ovakvog jednodimenzionalnog modela.

Inače, određivanje geometrijskog fajla jednog modela otvorenih vodotoka je u priličnoj mjeri subjektivno, odnosno dva modelara će različito postaviti mjerodavne poprečne profile izuzev u slučajevima nagle promjene geometrije vodotoka kada će modelari uglavnom približno na istoj lokaciji položiti odgovarajuće poprečne profile. U hidrotehničkoj praksi u BiH je pogrešna praksa da se ovi profili snimaju (postavljaju) u složenim koritima vodotoka u vidu kontinuiranog pravca umjesto da to budu nekontinuirani pravci (segmenti sa različitim nagibom u minor koritu i inundaciji) koji moraju biti uspravni na maticu velike vode u minor koritu (linija talvega) i na maticu vode u inundacijama. To je već odavno poznat princip na Zapadu i u regionu kada je u pitanju modeliranje otvorenih vodotoka.

Za svoje velike slivove rijeka (npr. sliv rijeke Po u Italiji) razvijene države raspolažu digitalnim modelom terena (DTM) dobijenim primjenom LiDAR tehnologije tako da se sa ovog modela mogu odrediti odgovarajući poprečni profili sa maksimalnom apsolutnom greškom u V smislu od 25 cm što je sasvim zadovoljavajuće za preciznost modela otvorenih vodotoka [4].

U literaturi problem definisanja optimalnih topografskih uslova kao što su broj profila, njihovo maksimalno rastojanje, položaj ovih profila je detaljno obrazložio autor Samuels 1990.godine [5] gdje je za **miran tok** u vodotoku uspostavio relaciju između gore navedenih parametara i morfoloških karakteristika vodotoka.

Tako je, kao maksimalni razmak poprečnih profila u modelu, dao sljedeći izraz:

$$\Delta X_{\max} = 0,2 \frac{D}{S_f} (1 - Fr^2) \dots\dots\dots (1)$$

gdje je:

- ΔX_{\max} maksimalni razmak dva poprečna profila u modelu (m)
- D ekvivalentna hidraulička dubina u koritu pri poplavi (m)
- S_f pad vodnog lica (pad dna korita)
- Fr Frudov broj .

Za rijeku Savu (potez Sremska Rača – Brčko) parametri u jednačini (1) imaju sljedeće vrijednosti: $D \cong 13,00$ metara, $S_f = \cong 5 \times 10^{-5}$ i $Fr \cong 0,15$, te je maksimalni razmak poprečnih profila oko 50 km. Ovu vrijednost treba uzeti sa rezervom jer u slučaju iole ozbiljnije namjere za boljom preciznošću modela ova vrijednost mora biti i nekoliko puta manja.

Za donje tokove rijeka Bosne i Vrbasa (potezi od ušća u rijeku Savu do Rudanskog mosta u Doboju, odnosno do mosta u Klačnicama) mogu se uzeti u računanje sljedeće vrijednosti parametara: $D \cong 6$

metara, $S_f = \cong 1\%$ i $Fr \cong 0,45$, te je maksimalni razmak profila u modelu približno 950 metara.

Analogno, autor daje i izraz za određivanje minimalnog razmaka poprečnih profila u modelu u vidu sljedećeg izraza:

$$\Delta X_{\min} = \frac{10^{-q}}{S_f \varepsilon_s} \dots\dots\dots (2)$$

gdje je:

- ΔX_{\min} minimalni razmak dva poprečna profila u modelu (m)
- q preciznost (broj decimala) kada se izrazi daje u metrima
- ε_s relativna greška koja se može tolerisati u padu vodnog lica

U većini slučajeva, može se reći da je sasvim zadovoljavajuća preciznost ako su vrijednosti $q = 4$ i $\varepsilon_s \cong 10^{-3}$, te se za praktične potrebe jednačina (2) može napisati:

$$\Delta X_{\min} = \frac{10^{-1}}{S_f} \dots\dots\dots (3)$$

Tako npr. za potez rijeke Save od Sremske Rače do Brčkog, gdje je je $S_f \cong 5 \times 10^{-5}$ (odnosno 5 cm/km²) minimalni razmak poprečnih profila iznosi približno 2.000 metara, za donje tokove rijeka Bosne (potez od ušća u rijeku Savu do Rudanskog mosta u Doboju) i Vrbasa (potez od ušća u rijeku Savu do mosta u Klačnicama) ova vrijednost iznosi približno 100 metara. Na oba zadnje navedena poteza približan pad dna korita je 1‰.

Interesantno je navesti iskustvo autora u vezi sa minimalnim razmakom poprečnih profila u jednom realnom modelu vodotoka Sava za potrebe izgradnje retenzije za pitku vodu na lokalitetu Plazulje (Brčko Distrikt). Naime, za potrebe gore pomenutog elaborata obrađivač elaborata [6] je uradio model rijeke Save na dužini od približno 250 metara pri čemu je snimio ukupno osam poprečnih profila vodotoka na prosječnom odstojanju od približno 30 metara. Profili su uglavnom snimljeni batometrijski (uz pomoć plovila) dok je priobalni dio profila snimljen uobičajenim terestrijalnim načinom. Iako je snimljeno ukupno 8 poprečnih profila rezultati određivanja nivoa odgovarajućih velikih voda mogli su se dobiti sa istom tačnošću tako da su korišteni samo najnižvodniji i najuzvodniji profili (minimalno 2 profila). Ovo ukazuje na zaključak da ako modelar ide na gušće profile od literaturom propisane minimalne udaljenosti među njima to neće uticati na tačnost rezultata modela, međutim modelar i investitor se nepotrebno opterećuju dodatnim troškovima u vidu snimanja dodatnih poprečnih profila, koji u slučajevima dolinskih vodotoka nisu zanemarljivi.

Potvrdu ovom zaključku možemo naći u pripremi podataka o geometrijskom fajlu modela donjeg toka rijeke Bosne koju je upravo završila španska konsultantska firma EPTISA. Na donjem toku rijeke Bosne (potez od ušća u rijeku Savu do Rudanskog mosta u Doboju) snimljeni su poprečni profili na prosječnom međusobnom razmaku od 250 metara, odnosno 2,5 puta više od minimalnog literaturom preporučenog razmaka poprečnih profila ili oko 4 puta manjim od maksimalnog istom literaturom preporučenog razmaka ovih profila.

2. PRIMJER RIJEKE SEVERN (VELIKA BRITANIJA)

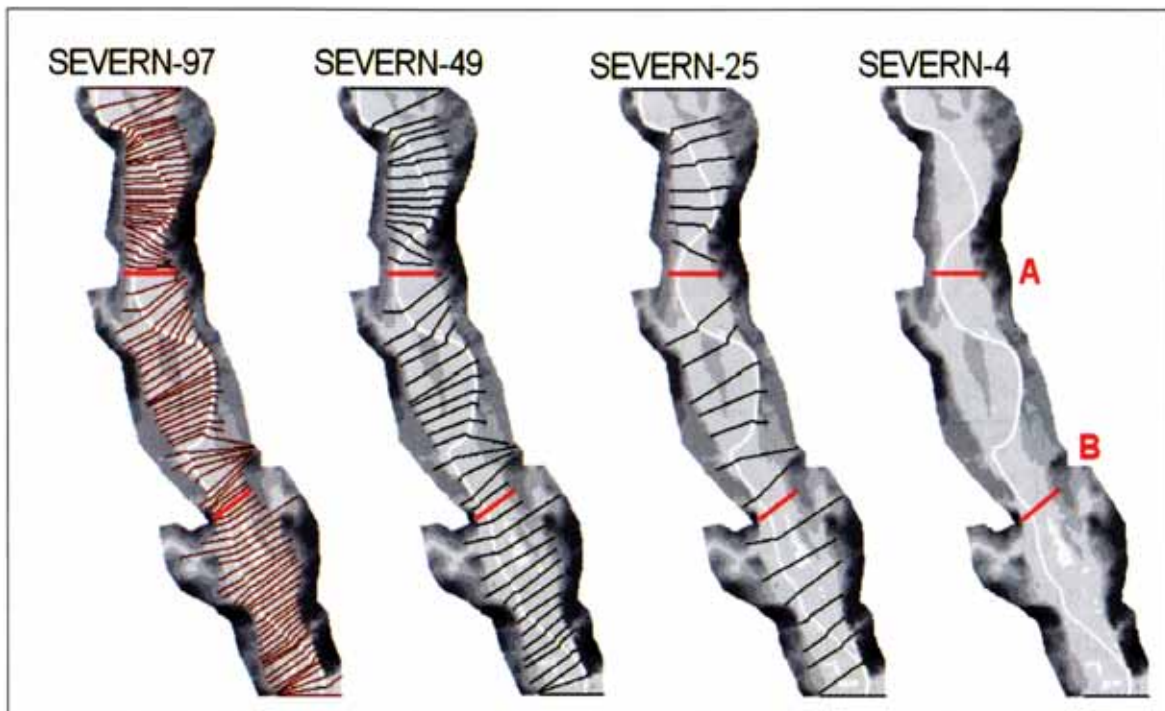
Numerička simulacija je izvedena primjenom 1D modela (MIKE 11) na potezu rijeke u dužini od približno 16 kilometara u zoni istoimenog grada. Geometrijski fajl za ulaz u model vodotoka urađen je pomoću digitalnog modela terena (DTM) sa korakom od 3 metra koji uz pomoć tehnologije LiDAR omogućava apsolutnu grešku u V osi ne veću od 25 cm. Rezultati modeliranja u ovom kao i u narednom primjeru (Rijeka Po) su upoređeni sa rezultatima dobijenim 2D modelom (MIKE 21) kao i sa tragovima velikih voda registrovanih za vrijeme poplavnog talasa.

Kao što je rečeno, topografske podloge neophodne za formiranje tzv. geometrijskog fajla dobijene su primjenom laser skenera visokog kvaliteta u Agenciji za životnu sredinu Engleske i Velsa u martu 2002.godine pri čemu je korišten skener ALTM 2033 sa 33 KHz tipa OptheC (LiDAR) montiran na avion/helikopter koji leti na visini od približno 800 metara pri

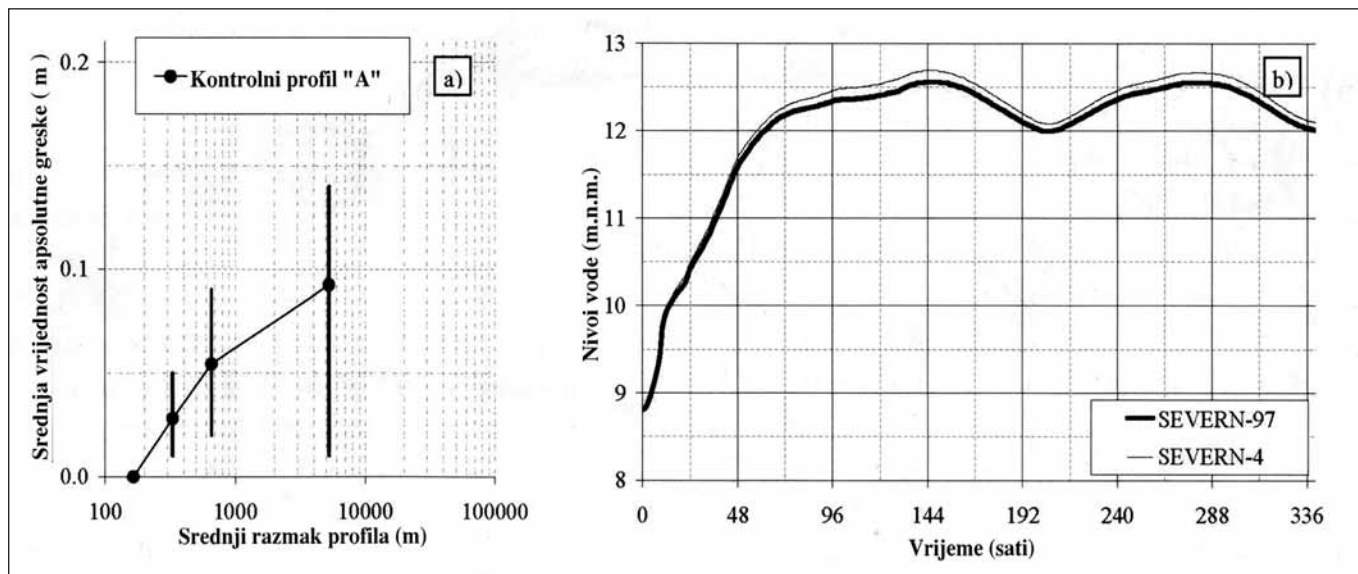
brzini od približno 65 m/s. Na ovaj način instrument snima 1 tačku po svakom m². Ova Agencija je prethodno izvršila upoređenje ovako dobijenih topografskih podloga sa terestijalnim podacima dobijenih diferencijalnim GPS uređajem sa sigurnošću od 0.01 m u horizontalnom i vertikalnom smislu. Apsolutna pogreška u vertikalnom smislu između rezultata po metodi LiDAR i standardnog GPS postupka nije prelazila apsolutnu vrijednost od 25 cm.

Na ovaj način, modeli 1D formirani na osnovu laser skeniranja Digitalnog Modela Terena (DTM) su korišteni za rekonstrukciju istorijskih poplavnih događaja. Dobijeni rezultati su upoređeni sa raspoloživim podacima o događaju, prije svega sa registrovanim tragovima velikih voda (za rijeku Po) odnosno sa kartama ASAR (Airborne Synthetic Aperture Radar) za plavne površine u slučaju primjera iz Velike Britanije. U slučaju rijeke Severn, rezultati 1D modela su upoređivani i sa rezultatima modela 2D.

U oba navedena primjera, vodilo se računa o preporukama o minimalnom i maksimalnom razmaku poprečnih profila o čemu je već bilo riječi uz pasus koji opisuje jednačine (1), (2) i (3). Tako su i urađena po 4 modela za oba vodotoka (U Engleskoj i Italiji) sa znatno različitim brojem poprečnih profila, a cilj je bio da se utvrdi kolika greška se pravi ako se model u svom geometrijskom fajlu značajno pojednostavi u odnosu na uobičajen slučaj kada se broj ovih profila dovoljno progusti. Rezultati upoređenja su dati u vidu funkcija prosječne udaljenosti profila i relativne greške sa prikazom intervala u kojem se kreće greška kao i nivogramima pojednostavljenog i složenog modela za vrijeme trajanja poplave.



Slika 1: Digitalni model kota terena za potez rijeke Severn



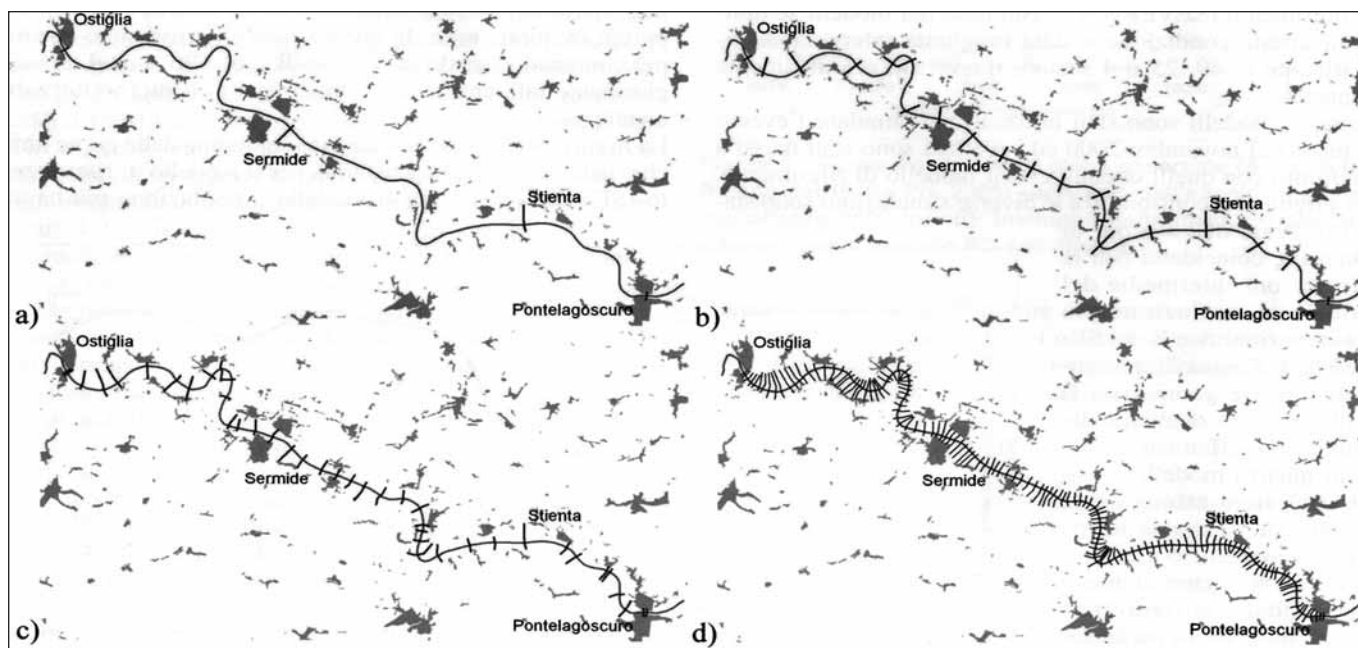
Slika 2: a) Vrijednost srednje greške nivoa velikih voda (pune linije označavaju maksimalni interval u kojem se nalazi pogreška)
b) Nivogram za kontrolni profil „A“

U novembru 2000.godine širi pojas Engleske bio je zahvaćen intenzivnim i dužim poplavama pri čemu je načinjena materijalna šteta od oko 1,5 milijardi eura. U toku događaja, registrovani i analizirani su hidrološki parametri u slivu koji su poslužili kao osnova za potrebne ulazne veličine matematičkog modela vodotoka.

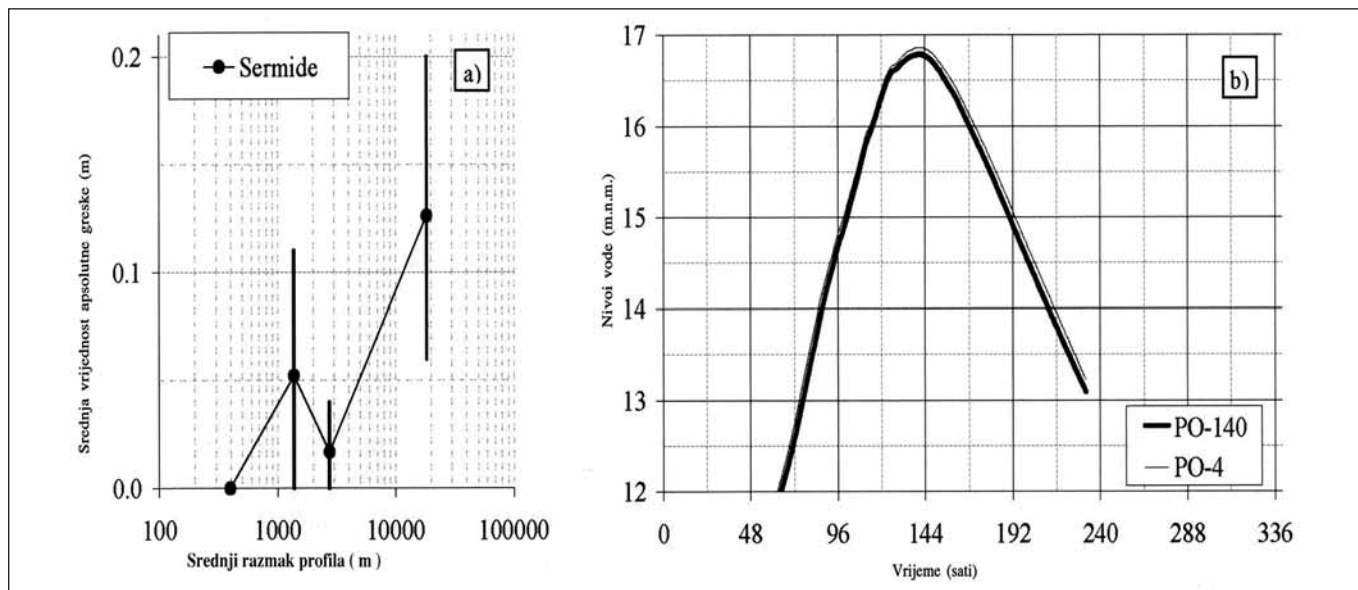
Rekonstrukcijom događaja poplave iz novembra 2000. godine analizirana su 4 slučaja: sa ukupno korištena 4 poprečna profila, sa 25 profila, 49 i 97 profila. U slici 1 dat je digitalni prikaz analizirane dionice sa naznakom da je na kontrolnom profilu „A“ izvrše-

na provjera uticaja 4 različita modela sa znatnom razlikom u broju korištenih poprečnih profila

Interesantno je pogledati rezultate analize koji su prikazani u slici 2, dio (a). Naime, za prosječnu udaljenost profila od približno 300 metara i od oko 5.000 metara maksimalne razlike u preciznosti nivoa na kontrolnom profilu (A) iznose manje od 15 cm. Takođe, analiza nivograma na istom kontrolnom profilu (A) ukazuje na male razlike između nivoa dobijenih modelom sa 4 profila (Severn 4) i onog sa 97 profila (Severn 97).



Slika 3: Shematski prikaz 4 primjenjena modela donjeg toka rijeke Po
a) PO 4, b) PO 21 c) Po 41 i d) Po 140



Slika 4: a) Srednja greška nivoa poplavnih talasa na rijeci Po (lokalitet Sermide)
 b) Odgovarajući nivogrami iz primjenjenih modela za slučaj modela sa 4 profila (Po 4) i modela sa 140 profila (Po 140)

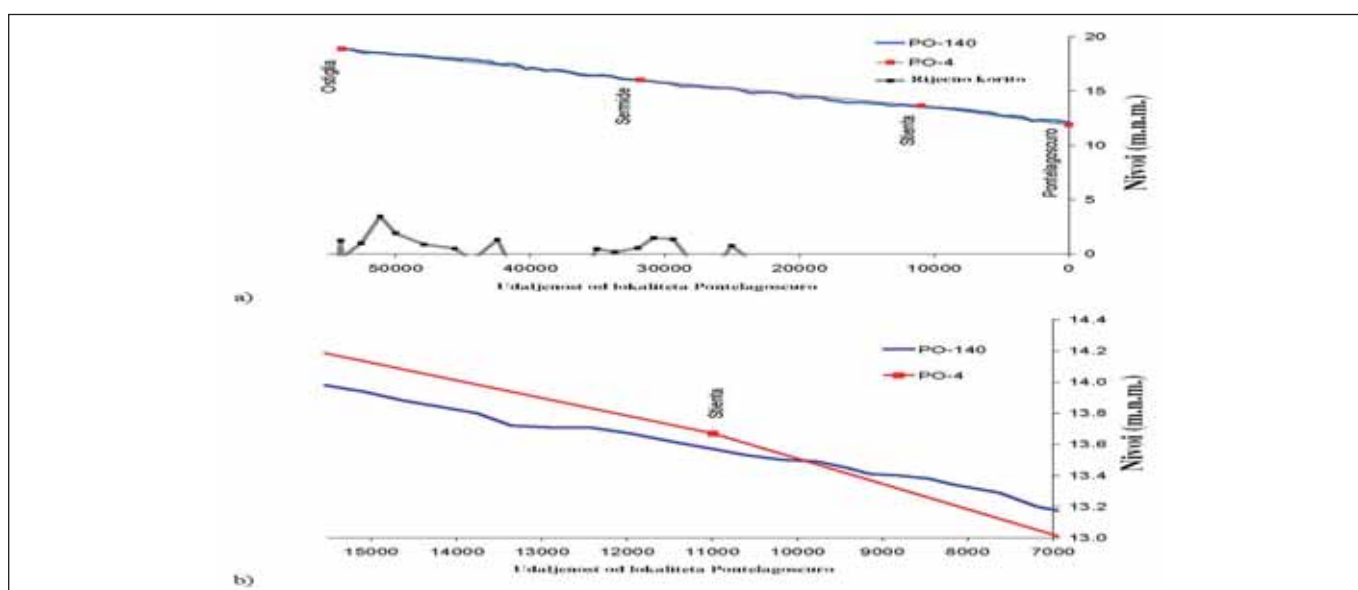
3. PRIMJER RIJEKE PO (ITALIJA)

U oktobru 2000.godine pojavio se veliki poplavni talas u slivu rijeke Po koji je svoj značaj pokazao u donjem toku ovog vodotoka u dužini od približno 55 kilometara, preciznije od mjesta Pontelagoscuro (Pontelagoscuro) nizvodno do mjesta Ostilja (Ostiglia) uzvodno. Rekonstrukcija poplave je takođe izvršena sa 4 modela od kojih su pojedini imali 4, 21, 41 i 140 poprečnih profila (Slika 3).

Kontrolni profil na kojem su upoređeni nivoi je lokalitet Sermide smješten na gornjoj polovini analizirane dionice. U slici 4 dato je upoređenje srednjeg odstupanja nivoa poplavnog talasa u odnosu na prosječnu vrijednost udaljenosti između poprečnih pro-

fila. I u ovom slučaju, kao i u primjeru dolinskog vodotoka u Velikoj Britaniji, srednja i apsolutna odstupanja ne prelaze vrijednost od 15 cm. Takođe, u dijelu (b) ove slike dato je upoređenje nivograma za model sa 4 profila (Po 4) i za model sa 140 profila (Po 140) iz kojeg je vidljivo da pojednostavljenje modela u pogledu primjenjenih poprečnih profila na ovim, **donjim tokovima**, nema značajnog uticaja na precizno određivanje nivoa poplavnih talasa.

U slici 5 dat je detaljan prikaz poplavnih nivoa vode na jednom potezu od približno 8,5 kilometara na kojem su i uočena najveća odstupanja nivoa na osnovu dva primjenjena modela Po 4 i Po 140. Vidljivo je da i pored znatno manjeg broja profila u mode-



Slika 5: a) Linija nivoa rijeke Po na potezu Pontelagoscuro-Ostilja
 b) Nivoi za kontrolni profil Stienta (plava linija model Po 140, crvena linija Po 4)

lu Po 4 u odnosu na model Po 140, apsolutne vrijednosti greške u nivou su manje od 20 cm.

Iako je model sa različitim brojem poprečnih profila na donjem toku rijeke Po veoma interesantan primjer modela otvorenog vodotoka iz kojeg se može zaključiti da razlike u nivoima, koje se postižu značajnim pojednostavljenjem samog geometrijskog fajla u modelu, su hidraulički zanemarljive ipak je mišljenje autora ovog rada da italijanske kolege nisu završile u potpunosti svoj zadatak. Naime, bilo bi veoma interesantno obraditi uticaj ovih razlika nivoa na cijenu nadziđivanja pratećih nasipa koji su uz obale ove rijeke izuzetno široki kao posljedica „korak po korak“ nadziđivanja, a i treba imati na umu da na cijeloj dionici od približno 55 kilometara postoje ovakvi nasipi prilično velikih dimenzija na obje obale. Možda se rezultati ovakvih obrada ne bi mogli direktno uporediti sa sličnim analizama u našim regionu imajući u vidu da je cjelokupan sliv rijeke Po obuhvaćen



Vrelo Bosne

Snimila: Anisa Čičić-Močić

Digitalnim Modelom Terena (DTM) sa kojeg se veoma lako mogu dobiti odgovarajući poprečni presjeci u poređenju sa našim prilikama gdje se ovi profili uglavnom direktno snimaju na terenu, sa izuzetkom u donjim tokovima gdje se prostor inundacije nekada može „skinuti“ sa orto foto snimaka. U našim prilikama, jedna analiza rezultata nivoa i upoređenja ovog uticaja na cijenu nadziđivanja ili izvođenja novih nasipa sa direktnim vezivanjem sa cijenom izrade svih potrebnih poprečnih profila vodila bi u određivanju tzv. ekonomski prihvatljivog ili optimalnog razmaka poprečnih profila u jednom modelu otvorenog vodotoka u njegovom donjem toku. Na teritoriji Bosne i Hercegovine, teško bi se u ovom trenutku mogao naći donji tok vodotoka (izuzev rijeke Bosne) gdje su profili snimljeni u takvom obimu da bi se mogla uraditi jedna ovakva kompleksna i naporna analiza koja bi bila interesantna našem projektantu-modelaru jer bi ukazala na optimalni prosječan razmak poprečnih profila u modelu. S obzirom da i ovi prostori slijede praktična iskustva Zapada i mi možemo u skoroj budućnosti očekivati razvoj i izradu DTM-a u toj mjeri da bi pojednostavio izradu procesa modeliranja vodotoka što bi omogućilo našem projektantu da i on izvrši ovakve analize na donjim tokovima pojedinih naših vodotoka.

ZAKLJUČAK

- ❑ Pri formiranju topografskih ulazanih podataka u 1D modelu otvorenih vodotoka potrebno je odrediti položaj poprečnih profila poštujući preporuke iz savremene literature o minimalnom i maksimalnom njihovom razmaku. Vrijednosti maksimalnih udaljenosti treba uzeti sa rezervom jer u slučaju donjih (dolinskih) tokova treba naći kompromis između broja unesenih profila i potrebne kote krunne pratećih nasipa. Hidrauličko-ekonomski nije opravdano progušćivati profile na međusobnom razmaku manjem od literaturom preporučene minimalne udaljenosti, jer se na ovaj način dobijaju praktično isti rezultati a samo se projektant i investitor izlažu dodatnom trošku izrade većeg broja poprečnih profila.
- ❑ U vodotocima sa složenim koritom, snimljeni poprečni profili moraju biti određeni tako da su vertikalni na maticu velike vode (liniju talvega) u minor koritu kao i na maticu velikih voda u inundacionom pojasu, što samim tim znači da nisu prihvatljivi profili određeni i snimljeni u vidu pravolinijskog pravca sa konstantnim nagibom.
- ❑ U navedenom primjeru donjeg toka rijeke Po očigledno je da se generalno hidrauličko ponašanje može dobiti primjenom samo 4 profila. Međutim, za potrebe projektovanja pri čemu treba voditi računa npr. o provjeri visine pratećih nasipa, ovaj

broj usvojenih profila nije dovoljan i mora biti i nekoliko puta veći.

- ❑ Sprovedene studije u Engleskoj i Italiji pokazuju da se za potrebe modeliranja linijskim modelima mogu, bez značajnog uticaja na tačnost nivoa velike vode, koristiti topografski podaci dobijeni LiDAR tehnologijom. Šta više, efikasnost primjene ovakvih 1D modela je uporediva sa rezultatima 2D modela.
- ❑ Sprovedene studije potvrđuju da su rezultati u saglasnosti sa rezultatima nekoliko prethodnih studija u kojima se dokazuje da u složenim riječnim koritima 1D modeli mogu dati približno iste rezultate o nivoima velikih voda kao i dosta složeniji, zahtjevniji i skuplji 2D modeli.

LITERATURA

[1] Banchini, G., Cavazzini, A. et al: Il nuovo modello del terreno (DTM) dell'Autorita' di bacino del fi-

ume Po (New DTM of River Basin Body of Po watershed), Atti della VIII Conferenza Nazionale Asita, Rim, Italija, 2004.g.

- [2] Di Baldassarre, G., Castellarin, A. i Brath, A.: La descrizione topografica dell'alveo nella modellistica idraulica monodimensionale, (Optimal cross-section spacing in one dimensional hydrodynamic models), Časopis L'Acqua, No. 4, , Rim, Italija, (str. 9-19), 2009.g.
- [3] Chow, V.T.: Open Channel Hydraulics, McGraw-Hill, 1959.g.
- [4] Hydrological Engineering Center, Hydraulic Reference Manual, U.S. Army Corps of Engineers, Davis, California, SAD, 2001.g.
- [5] Samuels, P.G.: Cross section location in one-dimensional models, International Conference on River Flood Hydraulics, John Wiley, Chichester, 1990.g. (str. 339-350)
- [6] Hidrološko-morfološka analiza rijeke Save na lokalitetu Plazulje, Brčko Distrikt, Zavod za vodoprivredu, Bijeljina, 2006.g.



Vrelo Bosne

Snimila: Anisa Čičić-Močić

FEDERALNO MINISTARSTVO POĽJOPRIVREDE, VODOPRIVREDE I ŒUMARSTVA SARAJEVO
ФЕДЕРАЛНО МИНИСТАРСТВО ПОЉОПРИВРЕДЕ, ВОДОПРИВРЕДЕ И ШУМАРСТВА САРАЈЕВО
MINISTARSTVO POĽJOPRIVREDE, ŒUMARSTVA I VODOPRIVREDE REPUBLIKE SRPSKE BANJA LUKA
МИНИСТАРСТВО ПОЉОПРИВРЕДЕ, ШУМАРСТВА И ВОДОПРИВРЕДЕ РЕПУБЛИКЕ СРПСКЕ БАЊА ЛУКА

**KVALITET VODA
IZAZOVI
I MOGUĆNOSTI
ĆISTA VODA ZA ZDRAV SVIJET**

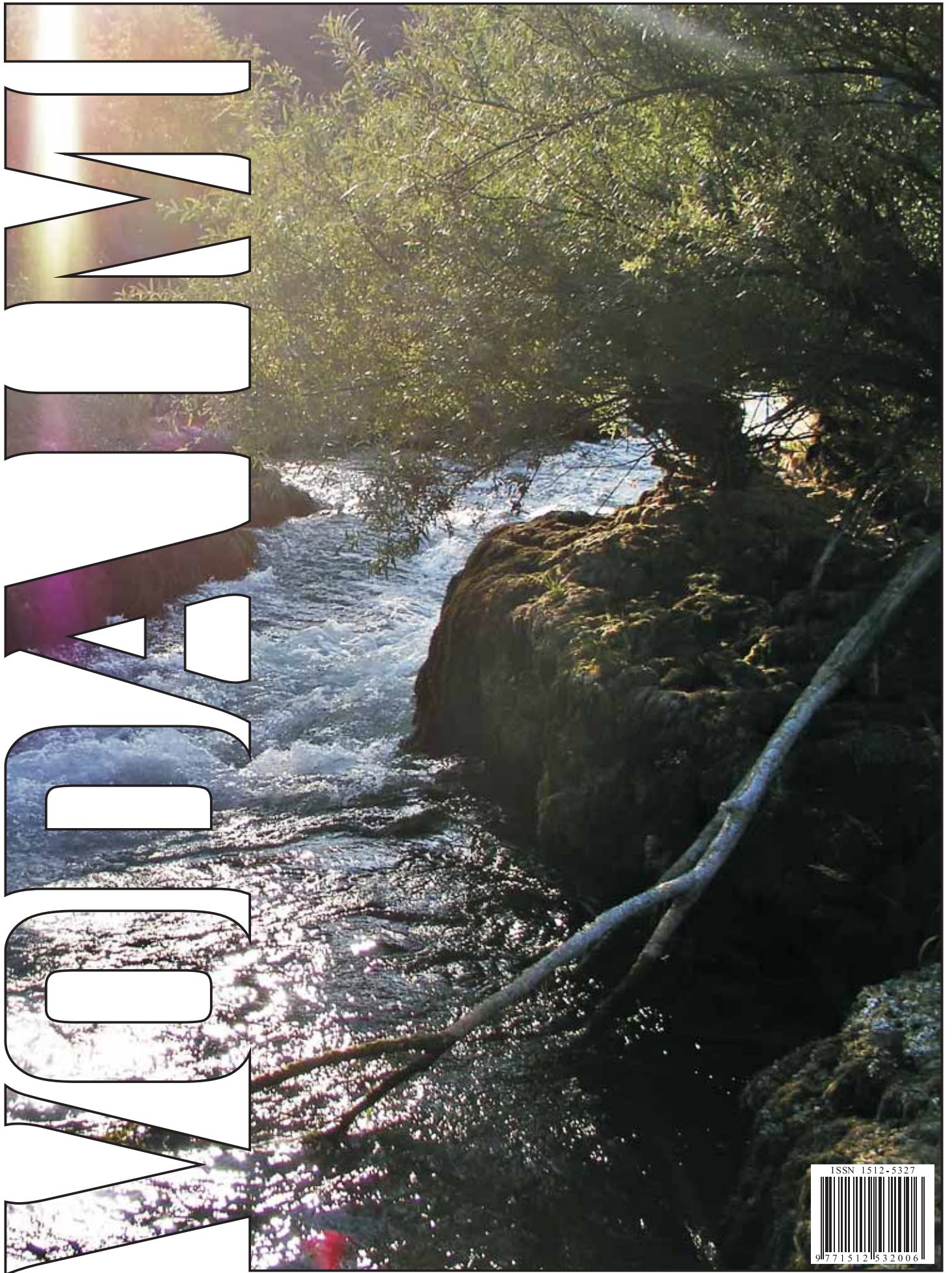
**KVALITET ВОДА
ИЗАЗОВИ
И МОГУЋНОСТИ
ЧИСТА ВОДА ЗА ЗДРАВ СВИЈЕТ**



АГЕНЦИЈА ЗА ВОДНО ПОДРУЧЈЕ РИЈЕКЕ САВЕ САРАЈЕВО
AGENCIJA ZA VODNO PODRUĆJE JADRANSKOG MORA MOSTAR
AGENCIJA ZA VODE OBLASNOG RIJEČNOG SLIVA SAVE BIJEĽINA
AGENCIJA ZA VODE OBLASNOG RIJEČNOG SLIVA TREBIŠNЈICE TREBINJE

АГЕНЦИЈА ЗА ВОДНО ПОДРУЧЈЕ РИЈЕКЕ САВЕ САРАЈЕВО
AGENCIJA ZA VODNO PODRUĆJE JADRANSKOG MORA MOSTAR
AGENCIJA ZA VODE OBLASNOG RIJEČNOG SLIVA SAVE BIJEĽINA
AGENCIJA ZA VODE OBLASNOG RIJEČNOG SLIVA TREBIŠNЈICE TREBINJE

**22. MART/OŒUJAK 2010. – SVJETSKI DAN VODA
22. МАРТ/ОЖУЈАК 2010. – СВЈЕТСКИ ДАН ВОДА**



WORLDWIDE

ISSN 1512-5327



9 771512 532006