

SVEU ILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO-MATEMATI KI FAKULTET  
BIOLOŠKI ODSJEK

Uloga mikrofaune u procjeni kvalitete aktivnog mulja  
Microfauna role in assessing the quality of activated sludge

Maja Dui Serti

Znanosti o okolišu

Environmental sciences

Mentor: Doc.dr.sc. Maria Špoljar

Zagreb, 2012.

## Sadržaj:

<b>1. Uvod .....</b>	<b>2</b>
Error! Bookmark not defined. - 2	
1.1. Mikroorganizmi aktivnog mulja .....	3 - 4
<b>2. Stupnjevi pro iša vanja otpadnih voda .....</b>	<b>5 – 10</b>
2.1. Pro iša i otpadnih voda u Hrvatskoj .....	8 – 9
2.1.1. Centralni ure aj za pro iša vanje otpadnih voda grada Zagreba–CUPOVZ .....	10
<b>3. Mikrofauna aktivnog mulja .....</b>	<b>11 – 16</b>
3.1. Protozoa .....	11 – 14
3.2. Metazoa .....	15 – 16
<b>4. Procjena kvalitete aktivnog mulja temeljem analize biotičke komponente i mikrofaune .....</b>	<b>17 – 19</b>
<b>5. Literatura .....</b>	<b>20 – 21</b>
<b>6. Sažetak .....</b>	<b>22</b>
<b>7. Summary .....</b>	<b>23</b>

## 1. Uvod

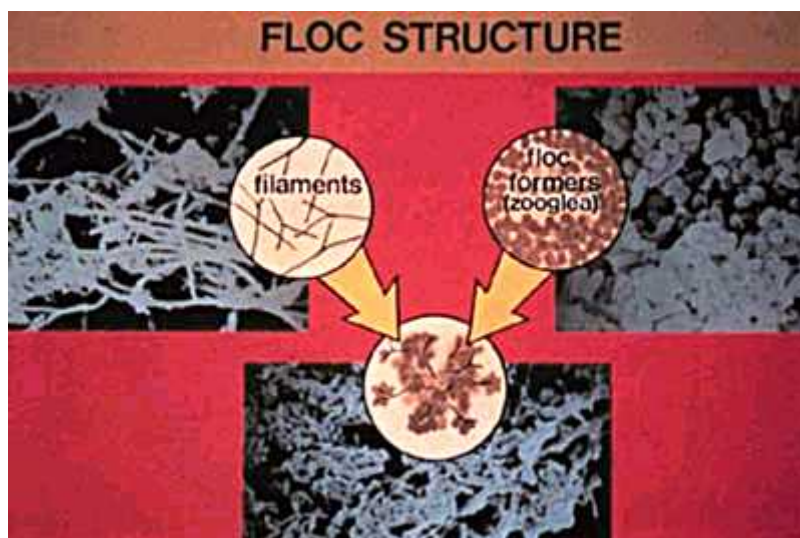
Sustav javne odvodnje, osim otpadnih komunalnih voda, najčešće prikuplja i oborinske vode koje ispiru i unose onečišćenja s prometnica i okolnoga poljoprivrednoga i drugoga zemljišta, kao i dio pročišćenih ili nepročišćenih industrijskih otpadnih voda te ih odvodi do uređaja za pročišćavanje ili ih ispušta direktno u vodotok ili more bez pročišćavanja. U posljednje se vrijeme postavljaju sve veći zahtjevi zaštite okoliša, posebno za pročišćavanje otpadnih voda, jer su nepročišćene otpadne vode značajan zagađivač vodotokova i podzemnih voda. Pročišćavanjem otpadnih voda smanjuje se opasnost od onečišćenja okoliša kao i zdravlja ljudi. Biološki pročišćivači (BP) pripadaju skupini modernih sustava za pročišćavanje otpadnih voda. Biološki postupci na uređajima za biološko pročišćavanje otpadnih voda slični su procesima samoočišćenja (autopurifikacije) u prirodnim vodama, razlika je u tome što se biološki postupci zasnivaju na većoj ili manjoj kontroli rasta i razvoja mikroflore te se intenzivan postupak odvija u ograničenim prostorima, u kraćem vremenu i uz kontrolu imbenika koji utječu na odvijanje postupka (Tedeschi, 1997).

Pročišćavanje otpadne vode kod klasičnih oblika bioloških pročišćivača bazira se na prirodnim postupcima uz osiguranje dovoljnih količina kisika za održanje aerobnih uvjeta. Uz oksidaciju organske tvari i dušičnih i fosfornih spojeva, biološki pročišćivači su uspješni i u uklanjanju suspendirane tvari i patogenih mikroorganizama (<http://www.webgradnja.hr>).

Povijesno gledano, prvi biološki pročišćivači otpadnih voda na principu aktivnog mulja, primjenjuju se od 1914. godine, pod pretpostavkom da mikroorganizmi prilagođeni životu u aeracijskom spremniku povećavaju uinkovitost pročišćavanja. U posljednjih nekoliko desetljeća su se razvili moderniji oblici bioloških pročišćivača znatno veće uinkovitosti. Aktivni mulj je naziv za biološki aktivnu biomasu aerobne mikroflore, suspendirane u otpadnoj vodi u obliku flokula, pri čemu se u flokulama osim živih i aktivnih mikroorganizama nalaze i mrtve stanice, kao i organske (biorazgrađiva i bionerazgrađiva) i anorganske tvari iz otpadnih voda koje se pročišćavaju (<http://www.scribd.com>).

Aktivni mulj formira se međusobnim povezivanjem bakterija, kvasaca, algi, protozoa i metazoa sa suspendiranim česticama u većim ili manje nakupine nazvane flokule ili pahuljice. Unutar flokula nije ujednačen raspored mikroorganizama. U površinskom sloju zastupljeni su mikroorganizmi koji koriste više kisika za razgradnju tvari u otpadnoj vodi, dok se u unutrašnjosti flokula nalaze mikroorganizmi koji razgrađuju produkte razgradnje mikroorganizama iz površinskog sloja i koriste manje kisika (<http://www.engitech.com>).

Struktura flokule aktivnog mulja, prikazana na slici 1., temelji se na kombinaciji bakterija štapi astog oblika vrste *Zooglea ramigera*, nitastih bakterija, drugih oblika bakterija i mikrozoo-komponente. Nitaste bakterije s vrstom *Z. ramigera* ine srž flokule i pripijaju se vrsto uz esticu organske tvari. Organska tvar kao i bakterije drugih oblika zaustavljaju se izme u filamenata nitastih bakterija i sudjeluju u gradnji flokule. Ravnoteža izme u oba oblika bakterija daje najbolji (kuglasti ili sferi ni) oblik flokule, koja brzo sedimentira (Tedeschi, 1997).



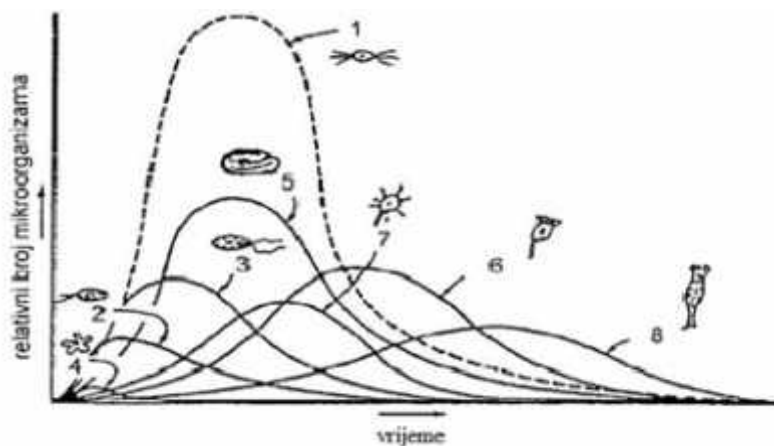
**Slika 1.** Prikaz strukture flokule aktivnog mulja

(<http://web.deu.edu.tr>)

Glavno na elo aktivnog mulja je mikrobiološki rast flokularnih struktura, stoga u inkovitost sustava ovisi o fizi kim i biološkim obilježjima flokula (Ghanizadeh i Sarrafpour, 2001). Biota prisutna u aktivnom mulju, iz ure aja za pro iš avanje otpadnih voda, uglavnom se sastoji od bakterija, protozoa i metazoa. Protozoa i metazoa važni su organizmi mikroskopske veli ine (mikroorganizmi) koji sudjeluju u ravnoteži ekosustava prilikom pro iš avanje otpadnih voda. Zbog svoje osjetljivosti na fizi ke i kemijske promjene koriste se kao indikatori promjena u sustavu (Amaral i sur., 2004) i ) i bit e posebno obra ivani u poglavlju 1.1. Mikroorganizmi aktivnog mulja.

## 1.1. Mikroorganizmi aktivnog mulja

Najvažniji i najzastupljeniji mikroorganizmi aktivnog mulja su bakterije, ali važnu ulogu u pročišćavanju aktivnim muljem imaju i druge skupine mikroskopski sitnih organizama poput kvasaca, algi, protozoa i metazoa. Relativan broj mikroorganizama te njihova uloga u razgradnji organskog materijala u pročišćavanju otpadnih voda prikazana je na slici 2.



**Slika 2.** Najvažniji organizmi u razgradnji organske tvari su: bakterije (1), Phytoflagelata (2), Zooflagelata (3), amebe (Sarcodina) (4), slobodno plivaju i trepetljikaši (Ciliata) (5), vezani trepetljikaši (Ciliata) (6), sisarci (Suctoria) (7), metazoa – najviše kolnjaci (Rotifera) (8)

Djelovanje pojedina tih mikroorganizama uvijek se udružuje, kako u prirodi tako i u uređajima za biološko pročišćavanje otpadnih voda. Veliki broj stanica istih ili različitih vrsta djeluju u istom smislu, tj. svi zajedno sudjeluju u razgradnji organskog materijala u otpadnim vodama. Biološka aktivnost mikroorganizama ovisi o više parametara kao što su temperatura, pH-vrijednost, količina toksičnih tvari, koncentracija otopljenog kisika u vodi i sl.

Ovisno o potrebi za kisikom ili ugljik (IV) oksidom dijelimo ih na :  
aerobne mikroorganizme – iz otpadne vode upotrebljavaju otopljene sastojke kao izvore energije i ugljika prevode i ih uz otopljeni atmosferski kisik u mikrobnu biomasu i jednostavne produkte kao što su ugljik (IV) oksid, voda i amonijak (neophodan je unos kisika prozraivanjem). Anaerobne mikroorganizme – imaju potrebu za ugljik (IV) oksidom. Sastojke iz otpadne vode provode u plinovite produkte, kao što su metan, sumporovodik, ugljik (IV) oksid i vodik uz nastajanje neznate količine mikrobne biomase (smatra se da kisik djeluje toksično na njihov rast; metanogene kulture).

Najveću biokemijsku aktivnost imaju bakterije, zbog brzog rasta i raznolikog enzimskog potencijala. Bakterije koje su prisutne u aktivnom mulju ovise o vrsti otpadnih voda koje se pročišćavaju, te o nizu ekoloških čimbenika kao što su pH, temperatura, količina otopljenih hranjivih tvari i kisika i sl. Većina izoliranih bakterija iz aktivnog mulja su Gram-negativne vrste, ali ima i nitrifikacijskih i filamentoznih vrsta (*Pseudomonas*, *Zooglea*, *Flavobacterium*, *Nocardia*, *Nitrobacter*, *Sphaerotilus*, *Micrococcus*).

Kvasci i gljive razvijaju se u aktivnom mulju kada je pH <5. Prisustvo kvasaca u aktivnom mulju govori o smanjenom efektu pročišćavanja, te izazivaju bubrenje aktivnog mulja. Rodovi koji se najčešće nalaze u aktivnom mulju su *Trichosporon* i *Saccharomyces*.

Prisutnost i brojnost određenih protozoa i metazoa u aktivnom mulju govori nam o sastavu, uvjetima i promjenama u aktivnom mulju te o kvaliteti aktivnog mulja.

## 2. Stupnjevi pro iřavanja otpadnih voda

Otpadne vode prije ispuřtanja u prijemnike, naj eř e rijeke, uvijek je neophodno pro istiti, kako bi se iz njih uklonile plivaju e, lebde e i otopljene tvari te koloidi, do onih koli ina ili koncentracija u kojima pro iřene otpadne vode ispuřtene u prijemnike nisu opasne za život i ljudsko zdravlje i ne uzrokuju neželjene promjene u okoliřu. Otpadne vode predstavljaju mješavinu vodom nošenih one iřenja, svojstva ovih voda bitno ovise o njihovom porijeklu (ku anske, industrijske, oborinske vode). Pro iřavanje voda obavlja se primjenom fizikalnih radnji (operacija), kemijskim i biolořkim postupcima (procesima). Da bi se iz vode uklonile otpadne tvari, primjenjuju se razli iti postupci i radnje na ure ajima za pro iřavanje. Naj eř e primjenjivani postupci i radnje za uklanjanje otpadnih tvari iz vode navedeni su u tablici 1.

**Tablica 1.** Radnje i postupci za uklanjanje nekih one iřiva a  
(Tedeschi, 1997).

Otpadne tvari	Radnje i postupci
Rasprřene tvari	taloženje, reřetanje i usitnjavanje, cijedenje, isplivavanje, zgruřavanje, alternativni postupci
Biorazgradive organske tvari	aktivni mulj, prokapsnici, okretni biolořki nosači, lagune, fizikalno-kemijski postupci (zgruřavanje - pahuljičenje), alternativni postupci
Patogeni mikroorganizmi	kloriranje, ozonizacija, zračenje UV, alternativni postupci
Duřik	nitrifikacija - denitrifikacija, odvajanja amonijaka, ionska izmjena, kloriranje do "kritične točke", alternativni postupci
Fosfor	kemijsko obaranje, zgruřavanje vapnom, biolořki postupci, alternativni postupci
Postojane organske tvari	adsorpcija aktivnim ugljenom, ozonizacija, alternativni postupci
Teške kovine	kemijsko obaranje, ionska izmjena, alternativni postupci
Otopljene anorganske tvari	ionska izmjena, reverzna osmoza, elektrodijalizu

Do kraja 80-tih godina prošlog stolje a, za pro iřavanje otpadnih voda koriřtena su tehnolořka rješenja primjenom aktivnog mulja – klasi ni biolořki postupci. U novije vrijeme koriste se uz konvencionalno mehani ko – biolořke postupke sa aktivnim muljem i sekventni bazenski reaktor (SBR). Temelji se na sekvencama – punjenje, reakcija, taloženje i dekantiranje, te biomembranski postupci obrade komunalnih otpadnih voda. SBR je varijanta konvencionalnog postupka pro iřavanja aktivnim muljem. Za razliku od proto nog postupka, ovdje se biolořko pro iřavanje i sedimentacija, odvija u jednom te istom prostoru, odnosno reaktoru te se prostorno razdvajanje biolořkih postupaka pro iřavanja i sedimentacije zamjenjuje vremenskim razdvajanjem (Biondi i Ivaniř, 2009).

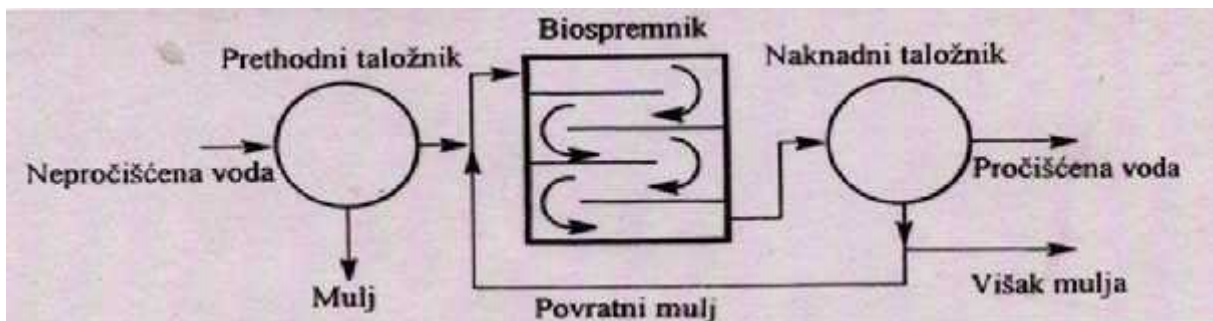
Pri pročišćavanju otpadnih voda radnje i postupci koji se primjenjuju na uređaju za biološko pročišćavanje najčešće se razvrstavaju kao: prethodno pročišćenje (preliminarno), prvi (primarni), drugi (sekundarni) i treći stupanj pročišćenja (tercijarni). Prethodnim stupnjem pročišćenja iz otpadnih voda uklanjaju se krupne plutajuće otpadne tvari, pijesak i šljunak. Nakon uklanjanja suspendiranih čestica i koloidno disperznih čestica koje se mogu taložiti, preostale netaložive koloidne čestice i razgrađene organske tvari uklanjaju se iz vode tzv. sekundarnim pročišćavanjem, a to se najčešće izvodi biološkim postupcima pročišćavanja. Prikazan je protok onečišćene vode kroz biološki pročišćivač otpadnih voda (slika 3.). Biološki postupci pročišćenja otpadnih voda upotrebljavaju se za pretvorbu raspršene i otopljene organske tvari u stanično tkivo (biomasu), plinove i nerazgradivi ostatak. Mikroorganizmi koriste organsku tvar kao hranu za izgradnju svojih stanica, a stanična se masa taloženjem odvaja od vode. Ostatak mrtvih i živih stanica, kao i nerazgrađene tvari kod bioloških postupaka pročišćenja otpadnih voda naziva se "biološki mulj". U uređajima za biološko pročišćenje voda mikroorganizmi mogu biti raspršeni u vodi (aktivni mulj) ili pričvršćeni na kruta tijela, a njihova uloga u biološkim postupcima pročišćavanja otpadnih voda prikazana je u tablici 2. (Tedeschi, 1997).

**Tablica 2.** Pregled glavnih bioloških postupaka u pročišćavanju otpadnih voda (Tedeschi, 1997).

Način održavanja mikroorganizama	Aerobni postupci	Anaerobni postupci	Bakteriološka oksidacija i redukcija
Raspršeni u vodi	Aktivni mulj Prozračena laguna Aerobne stabilizacijske bare Aerobno vrenje (digestija)	Anaerobni kontaktni postupak Anaerobne stabilizacijske bare Anaerobno vrenje (digestija)	Nitrifikacija Denitrifikacija
Pričvršćeni na podlozi	Prokapnici Okretni biološki nosači Biološke cjeđiljke	Anaerobne cjeđiljke	Nitrifikacija Denitrifikacija



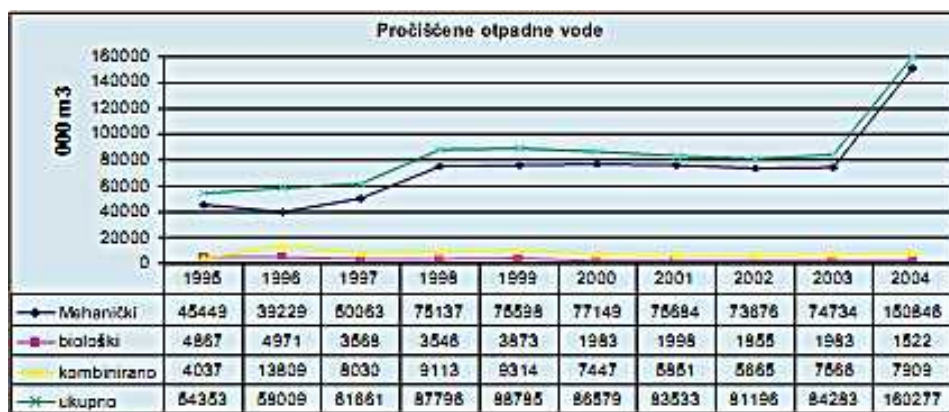
Biološki postupci pročišćavanja otpadnih voda mogu se odvijati u aerobnim uvjetima (aktivni mulj, prozračena laguna, prokapsnici, biološke cjeđiljke, okretni biološki nosači) ili u anaerobnim uvjetima (npr. anaerobne stabilizacijske bare, anaerobne cjeđiljke). Anaerobna obrada otpadnih voda razlikuje se od konvencionalnog aerobnog tretmana. Odsutnost kisika dovodi do kontrolirane pretvorbe kompleksnih organskih tvari u ugljikov dioksid i metan. Anaerobni tretman ima prednosti kao što su uklanjanje visokog organskog opterećenja, niska proizvodnja mulja, uklanjanje velikog broja patogena, proizvodnja plina – bioplina i niska potrošnja energije (Eikelboom, Buijsen, 1987).



**Slika 3.** Shematski prikaz biološkog pročišćavanja otpadnih voda

## 2.1. Pročišćavanje i otpadnih voda u Hrvatskoj

Iako izgradnja kanalizacijske mreže pokazuje trend rasta, stupanj pročišćavanja otpadnih voda prikupljenih sustavom javne odvodnje nije zadovoljavajući. Provođenjem prvog, najnižeg stupnja pročišćavanja – mehaničkog pročišćavanja kojim se otklanja najmanji postotak onečišćivača (uklanjanje pijeska i šljunka, krupnih, raspršenih i plutajućih otpadnih tvari). Slika 4. na kojoj se vidi porast broja mehaničkih pročišćivača otpadnih voda, dok je broj bioloških i kombiniranih pročišćivača otpadnih voda vrlo mali.



**Slika 4.** Prikaz pročišćavanja otpadnih voda iz sustava javne odvodnje (izvor: Državni zavod za statistiku – DZS; Okoliš na dlanu, 2006).

Prvi klasificirani mehaničko-biološki uređaj za pročišćavanje otpadnih voda u Republici Hrvatskoj izgrađen je u Velikoj Gorici 1975. godine i rekonstruiran je 1986. godine, kapaciteta je 35.000 ekvivalent stanovnika (ES). Tablica 3. i slika 5. prikazuju uređaje za pročišćavanje otpadnih voda s obzirom na stupnjeve pročišćavanja i kapacitet ekvivalenta stanovnika u Republici Hrvatskoj.

**Tablica 3.** Prikaz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda s obzirom na stupnjeve pročišćavanja i kapacitet ekvivalent stanovnika u RH (<http://www.voda.hr>).

UREĐAJI ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA U RH					
KAPACITET ES	0 – 2.000	2.000 – 10.000	10.000 – 15.000	15.000 – 150.000	> 150.000
PRETHODNI STUPANJ	2	9	5	10	2
I STUPANJ	1	9		9	
II STUPANJ	28	16	2	6	3
III STUPANJ				1	
UKUPNO	31	34	7	26	5
	<b>31</b>		<b>72</b>		



**Slika 5.** Prikaz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda u Republici Hrvatskoj podjeljenih prema stupnjevima pročišćavanja otpadnih voda (<http://www.voda.hr>).

### 2.1.1. Centralni uređaj za pročišćavanje otpadnih voda grada Zagreba – CUPOVZ

U skladu sa zakonskom obvezom o zaštiti voda te meunarodnoj Konvenciji o suradnji na zaštiti i održivoj uporabi rijeke Dunav, kao i činjenicom da Grad Zagreb nije mogao provesti potrebnu zaštitu voda i vodocrpilišta zbog blizine kanalizacijskog sustava, bila je nužna izgradnja infrastrukturnih objekata s Centralnim uređajem za pročišćavanje otpadnih voda grada Zagreba (<http://www.zagreb.hr>, slika 6).

Uređaj za mehaničko pročišćavanje otpadnih voda počeo je s radom u travnju 2004., a radovi na izgradnji objekata za biološko pročišćavanje otpadnih voda, odnosno centralnog uređaja za pročišćavanje otpadnih voda grada Zagreba započeli su 1. prosinca 2004., završeni su u rujnu 2007. Kapacitet izgrađenog uređaja iznosi 1,2 milijuna ES, a može se prema potrebi proširiti na 1,5 milijuna ES. Sastoji se od postrojenja za mehaničko i biološko pročišćavanje otpadnih voda i mulja. U biološkom pročišćavanju otpadnih voda primjenjuje se i postupak anaerobnog truljenja (digestije) mulja, pri tome nastaje bioplina koji se u parnoj termoelektrani koristi za proizvodnju toplote i električne energije koja se ponovo koristi u postupku pročišćavanja ([www.zov-zagreb.hr](http://www.zov-zagreb.hr)).



**Slik**

**a 6.** Prikaz centralnog uređaja za pročišćavanje otpadnih voda grada Zagreba

### 3. Mikrofauna aktivnog mulja

#### 3.1 Protozoa

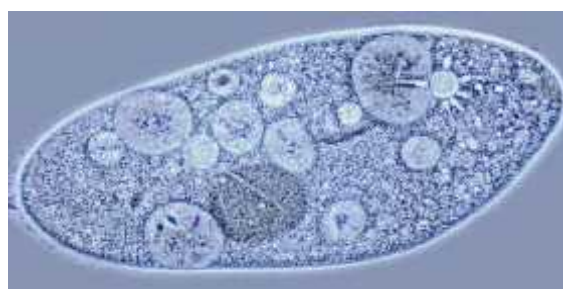
Protozoa (praživotinje) su raznolika skupina jednostanih eukariotskih organizama veličine od 2 $\mu$ m do više od 4500 $\mu$ m, od kojih su mnogi pokretni dok su neki sesilni. Iako ne postoji točna definicija pojma protozoa, često se odnosi na jednostanične heterotrofne protiste, npr. amebe i trepetljikaše. U aktivnom mulju protozoa se hrane organskim tvarima iz vodenog medija ili drugim živim organizmima. Hrane i se bakterijama iz mulja doprinose boljem taloženju mulja i većoj prozirnosti vode iznad mulja. Protozoima pripadaju bifidari (Mastigophora ili Flagellata), sluzavci (Sarcodina), trepetljikaši (Ciliophora), truskovci (Sporozoa ili Apicomplexa) i Cnidospora, s time da su posljednje dvije skupine isključivo endozoi i paraziti (Habdija i sur., 2004). Protozoa mogu biti pokretni, npr. slobodno plivaju i ili sesilni, tj. vezani za podlogu te čine 5% biomase aktivnog mulja od čega su najzastupljeniji trepetljikaši i bifidari. Dobri su indikatori opskrbljenosti kisikom u aktivnom mulju i osjetljivi su na toksične tvari. U ovom poglavlju navest ćemo najčešće svoje i vrste protozoa koje nalazimo u aktivnom mulju i njihova indikatorska obilježja.

Od Sarcodina, *Amoeba pamphagus* dolazi u većim količinama u mulju koji dobro radi. Njegovo prisutstvo u mulju ukazuje na gubitak nitrifikacijske sposobnosti. Krupne amebe, *Amoeba proteus* i *Arcella vulgaris*, razvijaju se u znatnim količinama u mulju kojeg karakteriziraju guste kompaktne flokule i prozirna voda nad aktivnim muljem (Eikelboom, Buijsen, 1987).



**Slika 7.** Slika diferencijalno interferencijskog mikroskopa *Amoeba proteus* (a), povećanje 75x, *Arcella vulgaris* (b), povećanje 75x (<http://www.arcella.nl/Arcella>)

Trepeljikaši (Ciliata) su idealni indikatori za rano ukazivanje promjena u vodenom ekosustavu (Nicolau i sur., 2001). Od trepeljikaša papuice, *Paramecium* sp. (slika 8.) u aktivnom mulju nestaju pri nagloj promjeni sastava otpadne vode, npr. količina toksičnih tvari, koncentracija otopljenog kisika, nedostatak hranjivih tvari. Vrsta *Paramecium caudatum* otporna je na nedostatak kisika, a hrani se i fekalnim koliformima, pa tako utječe na njihovo smanjenje u otpadnim vodama, npr. vrste *Escherichia coli* (Eikelboom i Buijsen, 1987).



**Slika 8.** Papuica (*Paramecium* sp.), fazno kontrastni mikroskop, povećanje 400x (<http://www.sciencephoto.com>)



Pri vršeni trepetljikaši, npr. *Vorticella convallaria* i *Carchesium* sp., razvijaju se u znatnim količinama u nitrificirajućem mulju. Pri regeneraciji mulja njihova pojava ukazuje na uspostavljanje prvobitnih svojstava, odnosno stabilne uvjete s dosta kisika u aktivnom mulju. Pri nedostatku kisika *Vorticella* se otkida od drška i prelazi u slobodno plivajući oblik "telotrex" s posteriornim vijencem trepetljika. Pojava vrste *Vorticella microstoma* ukazuje na preopterećeni mulj s nedostatkom kisika. Vrste *Opercularia coarctata* i *O. glomerata* prisutne su u aktivnom mulju u različitim koncentracijama. Pri povećanom opterećenju toksičnim tvarima jedinke se skupljaju i prelaze u ciste. Kod narušavanja režimskih promjena pH, temperature ili sastava otpadne vode, jedinke bubre i ugibaju (Eikelboom i Buijsen, 1987).



**Slika 9.** *Vorticella microstoma*  
(<http://www.maristasgranada.net>)



**Slika 10.** *Opercularia coarctata*  
(<http://starcentral.mbl.edu>)

Slobodno plivaju i trepetljikaši, primjerice vrste rodova *Oxytricha* (slika 11.) , i *Colpidium*. Nedostatak kisika na njih ne utječe, pa njihova prisutnost ukazuje na preopterećenost mulja i preveliku prisutnost organskih čestica (Eikelboom, Buijsen, 1987).



**Slika 11.** Mikroskopska slika *Oxytricha* sp.

(<http://www.friendsofwarnhamlnr.org.uk>)

Vrste roda *Aspidisca* (slika 12.), prisutne su gotovo uvijek u aktivnom mulju. U zimskim uvjetima postižu veliku brojnost u odsutnosti sitnih ameba što ukazuje na dobru kvalitetu mulja. Za vrijeme ljeta njen razvoj govori o dubokoj nitrifikaciji i slaboj kvaliteti mulja.



**Slika 12.** *Aspidisca* sp.

(<http://starcentral.mbl.edu>)

Prvi znak povećanja toksičnosti u aktivnom mulju je smanjeno kretanje trepetljikaša. Zatim slijedi naglo povećanje brojnosti bičica i slobodno plivajućih trepetljikaša što uzrokuje raspadanje flokula aktivnog mulja i ukazuje na preopterećenost sustava (Eikelboom i Buijsen, 1987).



### 3.2. Metazoa

Pod pojmom metazoa podrazumijevamo višestani ne eukariotske organizme. U aktivnom mulju, od metazoa prisutni su u najvećoj mjeri kolnjaci (Rotifera / Rotatoria), obli (Nematoda) i malo etinaši (Oligochaeta).

Obli (Nematoda) svojim načinom kretanja (savijanje tijela) i rovanjem u potrazi za hranom omogućuju ili pospješuju difuziju kisika u strukturi flokula potiču i mikrobiološku aktivnost. Izvršni su indikatori i najmanjih promjena u aktivnom mulju, kao npr. promjena u koncentraciji otopljenog kisika u otpadnoj vodi. Veliki broj obli ukazuje na postojanje stagnacijskih zona u uređaju za pročišćavanje koje su uzrokovane nedovoljnom aeracijom (Eikelboom i Buijsen, 1987).

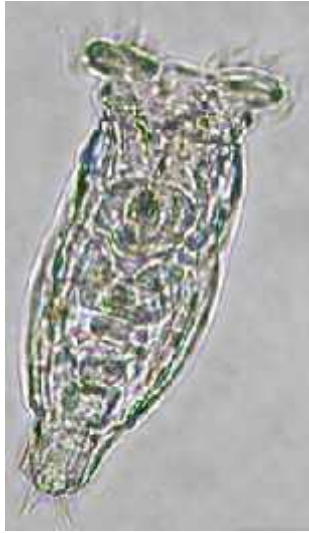


**Slika 13.** Obli – Nematoda

(<http://water.me.vccs.edu>)

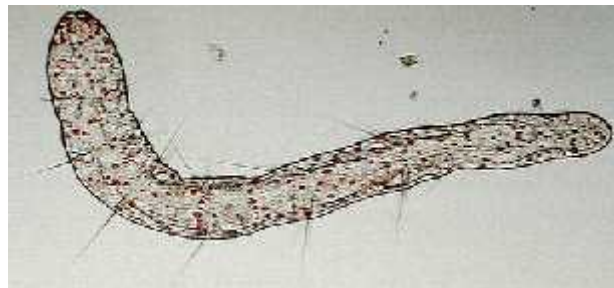
Kolnjaci (Rotifera) su vezani za bentonsku zajednicu kao polusesilni i sesilni oblici vezani za bentonske zajednice, a drugi su se prilagodili životu u planktonskoj zajednici. Kolnjaci, kao npr. vrste rodova *Phylodina* i *Notommata*, prisutni su često u aktivnom mulju i njihova uloga je stabiliziranje količine organskih čestica. Hrane i se organskim česticama doprinose stabilizaciji flokula, stimulaciji bakterijske aktivnosti, recikliranju mineralnih tvari te povećanju koncentracije kisika ([water.me.vccs.edu/courses/](http://water.me.vccs.edu/courses/)).

Preopterećenje mulja i nedostatak kisika na njih ne utječe. Nalazimo ih u starijem mulju jer im je potrebno više vremena za rast, razvoj i povećanje biomase. Veliki broj kolnjaka i pri vršenih trepetljikaša ukazuje na stabilne uvjete s dosta kisika u aktivnom mulju. Iznenadno isušavanje kolnjaka, pojava mrtvih i nabubrenih jedinki ukazuje na naglu promjenu uvjeta (pH otpadne vode, povišenom sadržaju SO<sub>2</sub>) u uređaju za pročišćavanje otpadnih voda.



**Slika 15.** *Phylodina* sp.  
(<http://www.savalli.us>)

Malo etinaši (Oligocheta), poput *Aeolosoma* i *Nais* dobro se razvijaju u starijem nitrificiranom mulju.



**Slika 14.** *Aeolosoma* sp.  
(<http://wormworld11.wikispaces.com>)

#### **4. Procjena kvalitete aktivnog mulja temeljem analize bioti ke komponente i mikrofaune**

Cilj klasifikacije i procjene kvalitete aktivnog mulja je razumijevanje biologije mikroorganizama koji sa injavaju aktivni mulj za uspješno provo enje tehnološkog pro iš avanja vode. Postoje razli ite metode istraživanja kvalitete aktivog mulja. Naj eš e se koristi mikroskopska metoda, odnosno utvr ivanje sadržaja aktivnog mulja putem mikroskopske analize uzoraka. Osim mikroskopske analize kvaliteta aktivnog mulja procjenjuje se putem fizikalno – kemijskih analiza, analiza toksi nosti kultura i istraživanja in vitro (Mahassen i sur.,2010).

Mikroskopski pregled mulja uklju uje više razli itih postupaka, kao npr. procjenu flokula (broj i vizualne karakteristike flokula; oblik, struktura, veli ina, vrstina, postojanost), procjenu filamentoznog rasta (abudanciju) prema prijedlogu za subjektivnu procjenu brojnosti filamenata, identifikaciju filamenata po Eikelbloom-u i kvalitativan i kvantitativan sastav prisutnih Protozoa i Metazoa (Eikelbloom, 2000; Jenkins, Richards et Diagger, 2004).

S obzirom na odre enu vrstu flokula, izgled vode iznad aktivnog mulja i sastav mikroorganizama koji se nalaze u aktivnom mulju, aktivni mulj se kvalitativno klasificira (Reh i Buger, 2007).

Kad biospremnik dobro radi voda iznad aktivnog mulja je prozirna, a mulj ine kompaktne i guste flokule koje se talože u obliku krupnih flokula,što uzrokuje brzu sedimentaciju. Takav mulj naziva se dobar mulj i u njemu nalazimo ve e koli ine razli itih jednostavnih protozoa podjednako zastupljenih u brojnosti. Uvijek su prisutne svojte: *Aspidisca* sp., *Aracella pamphagus*, dok rijetko pronalazimo bi aše i sitne amebe, *Lionotus* sp., *Podophrya* sp. i *Vorticella microstoma*.

Mulj iz regeneratora kod zadovoljavaju e aeracije sadrži krupne flokule koje se brzo talože, a voda iznad aktivnog mulja je prozirna. U takvom aktivnom mulju koli inski prevladavaju trepetljikaši iz skupine Peritricha (*Carchesium*, *Vorticella convallaria*, *Opercularia*) nad plivaju im trepetljikašima. Brojnost Peritricha i vrsta roda *Zooglea* ve a je nego u mulju biospremnika (Eikelboom i Buijsen, 1987).

Mulj kod nedovoljne regeneracije karakteriziraju flokule mulja koje se raspadaju na manje dijelove, a voda iznad aktivnog mulja je mutna jer sadrži neistaloženi mulj. U aktivnom mulju prevladavaju krupni i slobodno plivaju i trepetljikaši, npr. vrste rodova *Vorticella* i *Opercularia*. Do optimalnog u inka aktivnog mulja dolazi kada je uspostavljena ravnoteža između slobodno plivajućih i pri vršenih trepetljikaša te kolnjaka. Prekomjeren broj bića, ameba ili slobodno plivajućih trepetljikaša pokazatelj visoke koncentracije organske tvari, dok prekomjeren broj pri vršenih trepetljikaša, kolnjaka i drugih viših oblika života ukazuje na malu koncentraciju organske tvari u aktivnom mulju (Mahassen i sur.,2010).

U dezintegriranom mulju flokule su rahle, a voda iznad aktivnog mulja sadrži neistaloženi mulj. U dezintegriranom aktivnom mulju protozoa postupno nestaju, postaju providni i nestaju im probavni mjehuri. Trepetljikaši i kolnjaci postepeno prelaze u ciste.

Nitrificirani mulj karakteriziraju rahle flokule koje se nakon taloženja raspadaju, a voda iznad aktivnog mulja je neprozirna. U ovom mulju prisutne su znatne količine kolnjaka *Callidina*, *Rotatoria* i dr. Broj vrsta prevladavaju Peritricha (*Vorticella convallaria*, *Carchesium*, *Aracella*) i krupne amebe. Veoma je razvijena *Zooglea ramigera*, dok su maloćetinaši prisutni u malom broju, a potpuno su odsutne sitne amebe i bezbojni bića.

Preoptereni mulj ima tamne i guste flokule, a voda iznad aktivnog mulja opalescira. Preoptereni mulj obilježava velika brojnost bezbojnih bića, sitnih ameba i trepetljikaša, a mali broj raznih vrsta mikroorganizama (prevladavaju 2–3 vrste). Negdje su u znatnoj brojnosti prisutni *Podophria*, *Chilodon*, *Nematodes*, *Vorticella miorostoma*, *Opercularia* te nitaste bakterije *Cladotrix* i *Beggiota*.

Mulj pri nedostatku kisika obilježavaju male flokule koje se raspadaju na još manje dijelove, a voda iznad aktivnog mulja je neprozirna. U aktivnom mulju nalazimo velik broj različitih vrsta bića. Od trepetljikaša prevladava *P. caudatum*, koja pokazuje veliku izdržljivost u nedostatku kisika i sposobnost kretanja u trulom mulju. Nepokretni kolnjaci prelaze u latentno stanje, nitaste operkularije su nepokretne s uvučanim trepetljikama na disku, mulj gubi funkciju pročišćavanja. Osobito se vrste roda *Vorticella* razdvajaju na segmente koje se nakon izvjesnog vremena rasprsnu i ispuštavaju (Eikelboom i Buijsen, 1987).

Kvaliteta aktivnog mulja koja je određena mikroorganizmima i mikrofaunom procjenjuje se utvrđivanjem volumnog indeksa mulja SVI, (engl. *sludge volume index*) SVI izražava se kao omjer volumena istaloženog mulja nakon 30 minuta (ml) i umnoška početnog volumena ispitivanog mulja (l) i koncentracije suhe tvari biomase prije početka ispitivanja. Niska vrijednost ovog indeksa ukazuje na mulj dobre kvalitete dok visoka vrijednost ukazuje na mulj loše kvalitete. Slika 16. prikazuje dobru kvalitetu aktivnog mulja jer je volumni indeks mulja nizak. Volumni indeks mulja ovisi o sastavu otpadne vode i karakteristikama aeracijskog bazena. Visok udio biorazgradivih tvari koje su sadržane u nekim kućanskim i industrijskim vodama mogu dati veće SVI vrijednosti. Dobar mulj pokazuje SVI vrijednosti manje od 100 ml/g. Kod vrijednosti 80-140 ml/g taloživost mulja je dobra, a kod vrijednosti 150 -200ml/g slaba (<http://www.scribd.com>).



**Slika 16.** Prikaz mulja dobre kvalitete

(<http://web.deu.edu.tr>)

Dobro razvijena i zdrava mikrofauna aktivnog mulja osnovni je preduvjet za uspješno izvođenje procesa degradacije, hidrolize, oksidacije i redukcije na koji su temelj uklanjanja organskih čestica iz otpadnih voda.

## 4. Literatura

- Amaral A.L., M da Motta, Pons M.N., Vivier H., Roche N., Mota M. And Ferreira E.C., 2004. Survey of Protozoa and Metazoa populations in wastewater treatment plants by image analysis and discriminant analysis. *Environmetrics*,15, 381-390.
- Biondi D. i Ivaniš Z., 2009. Pregled stanja i smjernice razvoja odvodnje i pro iš avanja komunalnih otpadnih voda u Republici Hrvatskoj, Hrvatske vode ([http://www.wfdcroatia.eu/userfiles/file/UWWTD\\_WFD/presentations/02-Current%20status\\_Biondic.pdf](http://www.wfdcroatia.eu/userfiles/file/UWWTD_WFD/presentations/02-Current%20status_Biondic.pdf))
- Dunpath K., Presence of protozoa and metazoa in activated sludge during favourable and unfavourable conditions (<http://www.ewisa.co.za/literature/files/457%20Dunpath.pdf>)
- Eikelboom E., Buijsen H. J. J., 1987. Handbuch für die mikroskopische Schlammuntersuchung, Hirthammer, München, pp. 91
- Ghanizadeh G, Sarrafpour R, 2001. The Effects of Temperature and Ph on Settability of Activated Sludge Floccs. *Iranian J. Publ. Health*, 30, 139-142.
- Habdija I., Primc Habdija B., Radanovi I., Vidakovi J., Ku ini M., Špoljar M., Matoni kin R. i Miliša M., 2004. Protista – Protozoa i Matazoa – Invertebrata funkcionalna gra a i praktikum, Samobor: Meridijani, 61 – 96.
- Mahassen M. El-Deeb G., Thabet F. Ahmed Sakran, Eman E.I. Ibraheem El-Tahaway, 2010. Efficiency Evaluation of a wastewater Treatment Plant by Activated Sludge, INSI Publication
- Nicolau A., Dias N., Mota M., Lima N., 2001. Trends in the use of protozoa in the assessment of wastewater treatment, *Res.Microbiol.*152, 621-630.
- Reh Ž., Buger B., 2007. Ekonomski zna aj bioloških analiza aktivnog mulja u vo enju tehnološkog procesa pro iš avanja otpadnih voda, Zbornik radova Ekoist 07
- Tedeschi S., 1997. Zaštita voda, Hrvatsko društvo gra evinskih inženjera, Sveu ilišna tiskara, Zagreb, pp. 113 – 234.
- <http://www.webgradnja.hr/clanci/bioloski-prociscivaci-otpadnih-voda-klasicni-oblici>
- Okoliš na dlanu (2006)
- Zagreba ke otpadne vode ( [www.zov-zagreb.hr](http://www.zov-zagreb.hr) )
- Ekologija biološki procesi
- [http://www.abcwua.org/education/SWRP6\\_MicroActivity.html](http://www.abcwua.org/education/SWRP6_MicroActivity.html) - tablica/slike

- <http://www.scribd.com/doc/48409603/109/Ecology>
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Protozoa>
- <http://www.engitech.com>
- (<http://www.zagreb.hr>)
- <http://www.scribd.com/doc/79438183/Atv-Standard>

## 6. Sažetak

Razvojem tehnologije i društva povećava se i potreba za pročišćavanjem otpadnih voda. Iako je pročišćavanje, zbog oduzimanja vodenih resursa, neophodno, radi se o vrlo skupom postupku, pa je samim time njegova primjena vrlo mala. Aktivni mulj je flokularna tvorevina koja se sastoji od bakterija, protozoa, metazoa i suspendiranih čestica organske tvari. U biološkom pročišćavanju voda najviše u ulogu imaju bakterije zatim protozoa i metazoa. Uloga tih organizama ogleda se u postupku pročišćavanja vode, u kojem u svoju biomasu ugrađuju organske tvari iz otpadne vode i stvaraju kao produkt plinove i nerazgradivi ostatak. Utvrđeno je da amebe prevladavaju prilikom pokretanja sustava, dok je prisutnost bioturbatora uz amebe znak toksičnog preopterećenja sustava. Prisutnost slobodno plivajućih trepetljikaša je indikator dobrog operativnog sustava. Pri vršenju trepetljikaši su dobri bioindikator toksičnosti jer prelaze u slobodno plivajuće oblike kada su izloženi nepovoljnim uvjetima. Kolonijaci su znak stabilnog aktivnog mulja i nalazimo ih tijekom povoljnih uvjeta. Svaka od ovih vrsta govori o različitoj vrsti opterećenja sustava za pročišćavanje otpadnih voda. S obzirom da biološka aktivnost mikroorganizama ovisi o nizu parametara (temperatura, pH, koncentracija otopljenog kisika, vrste i koncentraciji otopljenih tvari) izvrsni su indikatori kvalitete aktivnog mulja, jer njihova brojnost i raznolikost govori i o sposobnosti pročišćavanja otpadnih voda aktivnim muljem.

Aktivni mulj, protozoa, metazoa, biološki pročišćivači, otpadne vode



## 7. Summary

Development of technology and society is increasing the need for wastewater treatment. Although the treatment plant it is necessary in order to preserve water resources, but it is a very expensive procedure, and therefore its use is very small. The activated sludge is follicular construction consisting of bacteria, protozoa, metazoa, and suspended particles of organic matter. The biological treatment of water have the greatest role of bacteria and protozoa then metazoa. The role of these organisms is reflected in the water purification process, which in its biomass incorporated organic matter from wastewater and produce a product gas and not degradable rest. It was found that the amoebae predominate at system startup, while the presence of flagellates to amoebae is a sign of toxic overload the system. The presence of free-floating ciliates is a good indicator of the operating system. Attached ciliates are good bio-indicators of toxicity in crossing the free-swimming forms when exposed to such conditions. Brachionus are a sign of a stable activated sludge and found them during favorable conditions. Each of these types of talks on different kind of loading system for wastewater treatment. Given that the biological activity of microorganisms depends on a number of parameters (temperature, pH, concentration of dissolved oxygen, the type and concentration of dissolved substances in the water) are excellent indicators of the quality of sludge, because of their abundance and diversity of talking about the quality and capacity of activated sludge wastewater treatment.

Activated sludge, protozoa, metazoa, biological purifiers, waste water