Uloga mikrofaune u procjeni kvalitete aktivnog mulja

Duić Sertić, Maja

Undergraduate thesis / Završni rad

2012

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:860144

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
BIOLOŠKI ODSJEK

Uloga mikrofaune u procjeni kvalitete aktivnog mulja

Microfauna role in assessing the quality of activated sludge

Maja Duić Sertić

Znanosti o okolišu

Environmental sciences

Mentor: Doc.dr.sc. Maria Špoljar

Zagreb, 2012.

Sadržaj:

1. Uvod .....
Error! Bookmark not defined. **- 2**

1.1. Mikroorganizmi aktivnog mulja ..... 3 - 4

2. Stupnjevi pročišćavanja otpadnih voda ..... 5 – 10

2.1. Pročiščivaći otpadnih voda u Hrvatskoj .....8 – 9
2.1.1. Centralni uređaj za pročišćavanje otpadnih voda grada Zagreba–CUPOVZ 10

3. Mikrofauna aktivnog mulja ..... 11 – 16

3.1. Protozoa ..... 11 – 14

3.2. Metazoa ..... 15 – 16

4. Procjena kvalitete aktivnog mulja temeljem analize biotičke komponente i mikrofaune ..... 17 – 19

5. Literatura ..... 20 – 21

6. Sažetak 22

7. Summary 23

1. Uvod

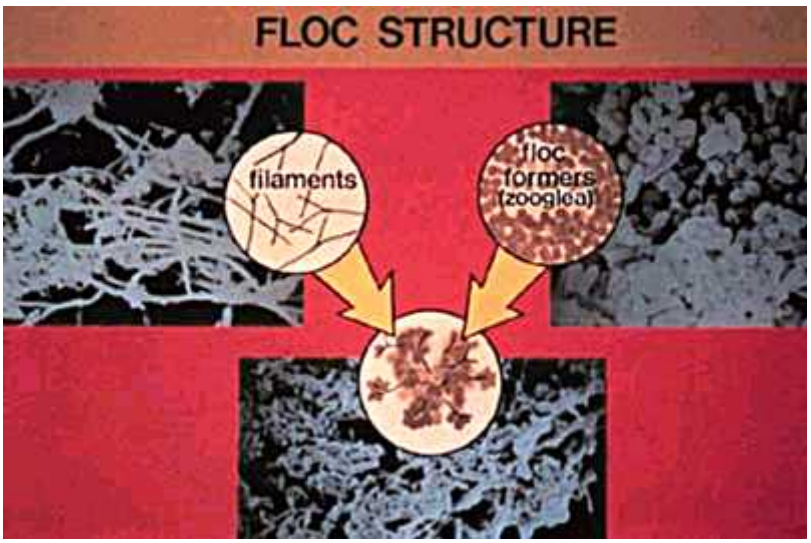
Sustav javne odvodnje, osim otpadnih komunalnih voda, najčešće prikuplja i oborinske vode koje ispiru i unose onečišćenja s prometnica i okolnoga poljoprivrednoga i drugoga zemljišta, kao i dio pročišćenih ili nepročišćenih industrijskih otpadnih voda te ih odvodi do uređaja za pročišćavanje ili ih ispušta 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 čitav postupak odvija u ograničenim prostorima, u kraćem vremenu i uz kontrolu čimbenika 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 učinkovitost pročišćavanja. U posljednjih nekoliko desetljeća su se razvili moderniji oblici bioloških pročišćivača znatno veće učinkovitosti. 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 (biorazgradiva i bionerazgradiva) 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 veće 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 štapićastog oblika vrste *Zooglea ramigera*, nitastih bakterija, drugih oblika bakterija i mikrozoo-komponente. Nitaste bakterije s vrstom *Z. ramigera* čine srž flokule i pripijaju se čvrsto uz česticu organske tvari. Organska tvar kao i bakterije drugih oblika zaustavljaju se između filamenata nitastih bakterija i sudjeluju u gradnji flokule. Ravnoteža između oba oblika bakterija daje najbolji (kuglasti ili sferični) oblik flokule, koja brzo sedimentira (Tedeschi, 1997).

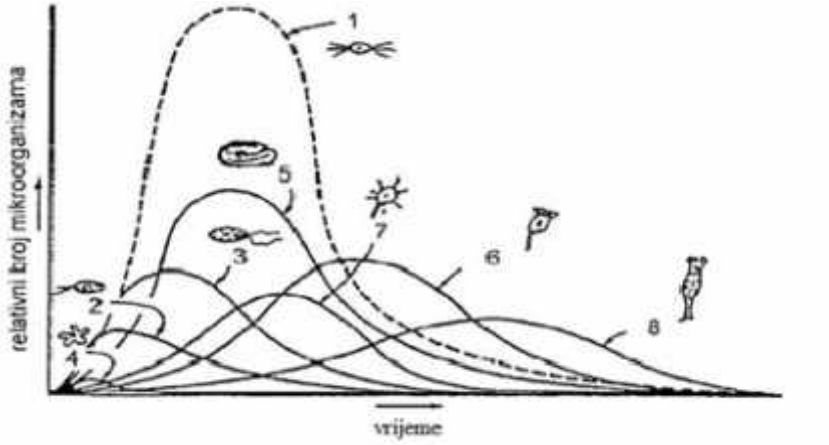


Slika 1. Prikaz strukture flokule aktivnog mulja (http://web.deu.edu.tr)

Glavno načelo aktivnog mulja je mikrobiološki rast flokularnih struktura, stoga učinkovitost sustava ovisi o fizičkim i biološkim obilježjima flokula (Ghanizadeh i Sarrafpour, 2001). Biota prisutna u aktivnom mulju, iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, uglavnom se sastoji od bakterija, protozoa i metazoa. Protozoa i metazoa važni su organizmi mikroskopske veličine (mikroorganizmi) koji sudjeluju u ravnoteži ekosustava prilikom pročišćavanje otpadnih voda. Zbog svoje osjetljivosti na fizičke i kemijske promjene koriste se kao indikatori promjena u sustavu (Amaral i sur., 2004) i) i bit će posebno obrađivani 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 plivajući trepetljikaši (Ciliata) (5), vezani trepetljikaši (Ciliata) (6), sisarci (Suctoria) (7), metazoa – najviše kolnjaci (Rotifera) (8)

Djelovanje pojedinačnih 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 prevodeći ih uz otopljeni atmosferski kisik u mikrobnu biomasu i jednostavne produkte kao što su ugljik (IV) oksid, voda i amonijak (neophodan je unos kisika prozračivanjem). 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 čine Gram-negativne vrste, ali ima i nitrifikacijskih i filamentoznih vrsta (*Pseudomonas, Zooglea, Flavobacterium, Nocardia, Nitrobacte ,Sphaerottius, Micrococcus*).

Kvasci i gljive razvijaju se u aktivnoim 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 pročišćavanja otpadnih voda

Otpadne vode prije ispuštanja u prijemnike, najčešće rijeke, uvijek je neophodno pročistiti, kako bi se iz njih uklonile plivajuće, lebdeće i otopljene tvari te koloidi, do onih količina ili koncentracija u kojima pročišćene otpadne vode ispuštene u prijemnike nisu opasne za život i ljudsko zdravlje i ne uzrokuju neželjene promjene u okolišu. Otpadne vode predstavljaju mješavinu vodom nošenih onečišćenja, svojstva ovih voda bitno ovise o njihovom porijeklu (kućanske, industrijske,oborinske vode). Pročišćavanje voda obavlja se primjenom fizikalnih radnji (operacija), kemijskim i biološkim postupcima (procesima). Da bi se iz vode uklonile otpadne tvari, primjenjuju se različiti postupci i radnje na uređajima za pročišćavanje. Najčešće primjenjivani postupci i radnje za uklanjanje otpadnih tvari iz vode navedeni su u tablici 1.

Tablica 1. Radnje i postupci za uklanjanje nekih onečišćivača (Tedeschi,1997).

Onečišćivač	Radnje i postupci
Raspršene tvari	taloženje, rešetanje i usitnjavanje, cijeđenje, isplivavanje, zgrušavanje, alternativni postupci
Biorazgradive organske tvari	aktivni mulj, prokapnici, okretni biološki nosači, lagune, fizikalno-kemijski postupci (zgrušnjavanje - pahuljičenje), alternativni postupci
Patogeni mikroorganizmi	kloriranje, ozonizacija, zračenje UV, alternativni postupci
Dušik	nitrifikacija - denitrifikacija, odvajanja amonijaka, ionska izmjena, kloriranje do "kritične točke", alternativni postupci
Fosfor	kemijsko obaranje, zgrušavanje vapnom, biološki 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

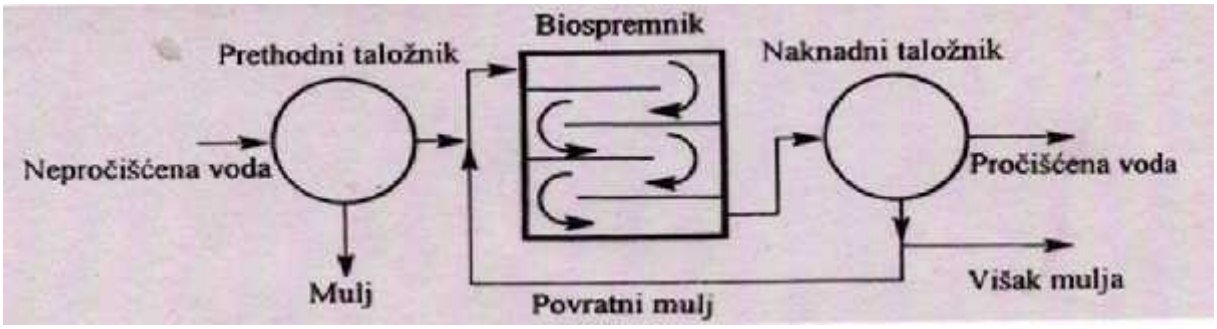
Do kraja 80-tih godina prošlog stoljeća, za pročišćavanje otpadnih voda korištena su tehnološka rješenja primjenom aktivnog mulja – klasični biološki postupci. U novije vrijeme koriste se uz konvencionalno mehaničko – biološke postupke sa aktivnim muljem i sekventni bazenski reaktor (SBR). Temelji se na sekvencama – punjenje, reakcija, taloženje i dekantiranje, te biomembranski postupci obrade komunalnih otpadnih voda. SBR je varijanta konvencionalnog postupka pročišćavanja aktivnim muljem. Za razliku od protočnog postupka, ovdje se biološko pročišćavanje i sedimentacija, odvija u jednom te istom prostoru, odnosno reaktoru te se prostorno razdvajanje bioloških postupaka pročišćavanja i sedimentacije zamjenjuje vremenskim razdvajanjem (Biondić i Ivaniš, 2009).

Pri pročišćavanju otpadnih voda radnje i postupci koji se primjenjuju na uređaju za biološko pročišćavanje najčešće se razvrstavaju kao: prethodno čišćenje (preliminarno), prvi (primarni), drugi (sekundarni) i treći stupanj čišćenja (tercijarni). Prethodnim stupnjem čišćenja 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 čišćenja 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 čišćenja otpadnih voda naziva se "biološki mulj". U uređajima za biološko čišćenje 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	Bakterioloska oksidacija i redukcija
Raspršeni u vodi	Aktivni mulj Prozračena laguna Aerobne stabilizacijske bare Acrobno vrenje (digestija)	Anaerobni kontaktni postupak Anaerobne stabilizacijske bare Anaerobno vrenje (digestija)	Nitrifikacija Denitrifikacija
Pričvršćeni na podlozi	Prokapnici Okretni biološki nosači Biološke cjediljke	Anaerobne cjediljke	Nitrifikacija Denitrifikacija

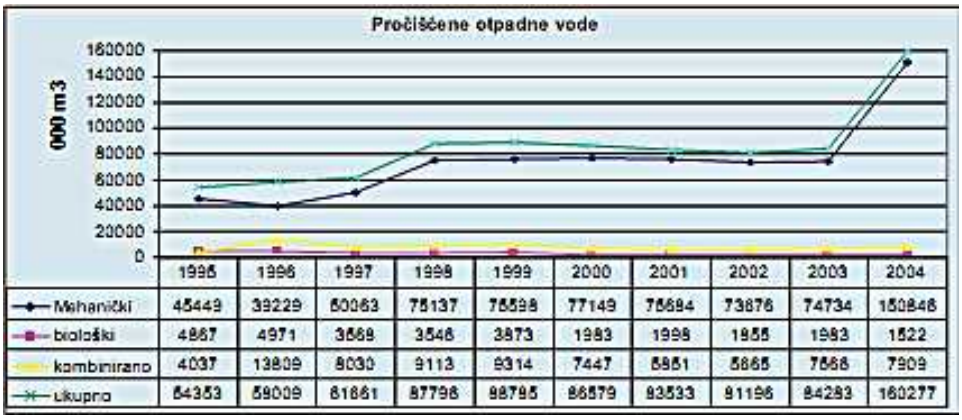
Biološki postupci pročišćavanja otpadnih voda mogu se odvijati u aerobnim uvjetima (aktivni mulj, prozračena laguna, prokapnici, biološke cjediljke, okretni biološki nosači) ili u anaerobnim uvjetima (npr. anaerobne stabilizacijske bare, anaerobne cjediljke). Anaerobna obrada otpadnih voda razlikuje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



Slika 3. Shematski prikaz biološkog pročišćivača otpadnih voda

2.1. Pročišćivači otpadnih voda u Hrvatskoj

Iako izgradnja kanalizacijske mreže pokazuje trend rasta, stupanj pročišćavanja otpadnih voda prikupljenih sustavom javne odvodnje nije zadovoljavajući. Provodi se većinom prvi, najniži stupanj pročišćavanja – mehaničko pročišćavanje 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.



	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Mehanički	45449	39229	50063	75137	75598	77149	75694	73876	74734	150846
biološki	4867	4971	3569	3548	3873	1983	1998	1955	1993	1522
kombinirano	4037	13809	8030	9113	9314	7447	5951	5865	7566	7909
ukupno	54353	58009	61661	87796	88785	86579	83533	81196	84293	160277

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

Prvi klasični 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	
	31	34	7	26	5
UKUPNO	**31**	**72**			



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 međunarodnoj 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 bioplin koji se u parnoj termoelektrani koristi za proizvodnju termičke i električne energije koja se ponovo koristi u postupku pročišćavanja (www.zov-zagreb.hr).



Slika 6. Prikaz centralnog uređaja za pročišćavanje otpadnih voda grada Zagreba

3. Mikrofauna aktivnog mulja

3.1 Protozoa

Protozoa (praživotinje) su raznolika skupina jednostaničnih eukariotskih organizama veličine od 2µm do više od 4500µm, 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. Hraneći se bakterijama iz mulja doprinose boljem taloženju mulja i većoj prozirnosti vode iznad mulja. Protozoima pripadaju bičaši (Mastigophora ili Flagellata), sluzavci (Sarcodina), trepetljikaši (Ciliophora), truskovci (Sporozoa ili Apicomplexa) i Cnidospora, s time da su posljednje dvije skupine isključivo endozoički paraziti (Habdija i sur., 2004). Protozoa mogu biti pokretni, npr. slobodno plivajući ili sesilni, tj. vezani za podlogu te čine 5% biomase aktivnog mulja od čega su najzastupljeniji trepetljikaši i bičaši. Dobri su indikatori opskrbljenosti kisikom u aktivnom mulju i osjetljivi su na toksične tvari. U ovom poglavlju navest ću najčešće svojte i vrste protozoa koje nalazimo u aktivnom mulju i njihova indikatorska obilježja.

Od Sarcodina, *Aracella 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)

Trepetljikaši (Ciliata) su idealni indikatori za rano ukazivanje promjena u vodenom ekosustavu (Nicolau i sur., 2001). Od trepetljikaša papučice, *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 *Pramecium caudatum* otporna je na nedostatak kisika, a hrani se i fekalnim kolifirmima, pa tako utječe na njihovo smanjenje u otpadnim vodama, npr. vrste *Escherichia coli* (Eikelboom i Buijsen, 1987).

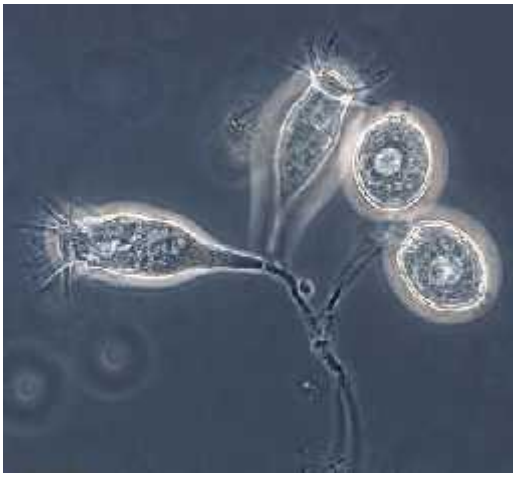


Slika 8. Papučica (*Paramecium* sp.), fazno kontrastni mikrokop, povećanje 400x (http://www.sciencephoto.com)

Pričvršćeni trepetljikaši, npr. *Vorticella convallaria* i *Carchesium* sp., razvijaju se u znatnim količinama u nitrificirajućem mulju. Pri regenereaciji mulja njihova pojava ukazuje na uspostavljanje prvobitnih svojstava, odnosno stabilne uvjete s dosta kisika u aktivnom mulju. Pri nedostaku 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 nedostatakom 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 režima čišćenja, promjene pH, temperature ili sastava otpadne vode, jedinke bubre i ugibaju (Eikelboom i Buijsen, 1987).

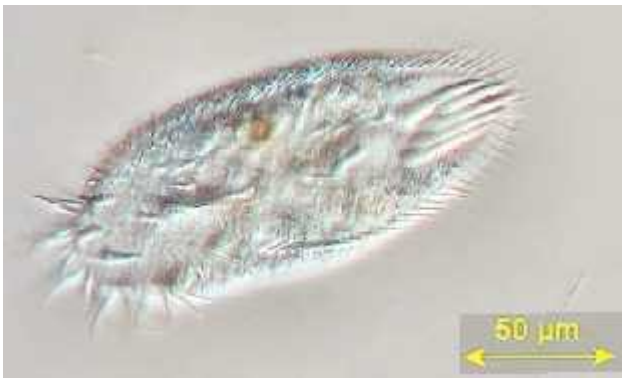


Slika 9. *Vorticella microstoma* (http://www.maristasgranada.net)



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

Slobodno plivajući 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 bičaša 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 višestanične eukariotske organizme. U aktivnom mulju, od metazoa prisutni su u najvećoj mjeri kolnjaci (Rotifera / Rotatoria), oblići (Nematoda) i maločetinaši (Oligochaeta).

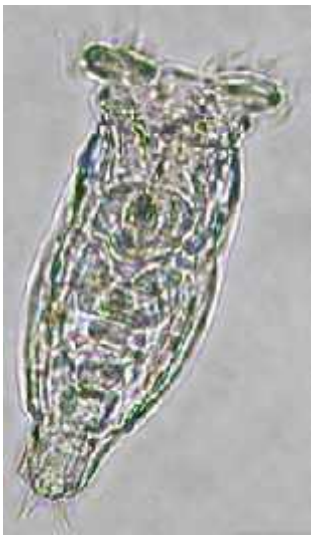
Oblići (Nematoda) svojim načinom kretanja (savijanje tijela) i rovanjem u potrazi za hranom omogućuju ili pospješuju difuziju kisika u strukturi flokula potičući mikrobiološku aktivnost. Izvrsni su indikatori i najmanjih promjena u aktivnom mulju, kao npr. promjena u koncentraciji otopljenog kisika u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



Slika 13. Oblić – Nematoda
(http://water.me.vccs.edu)

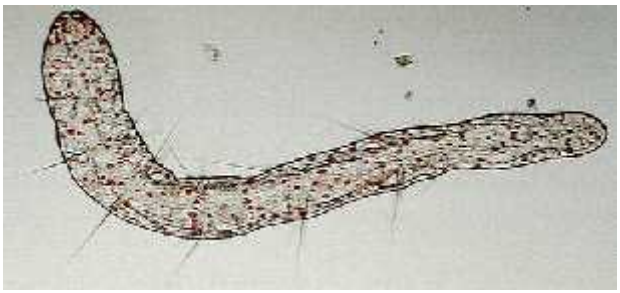
Kolnjaci (Rotifera) su vezani za bentonsku zajednicu kao polusesilni i sesilni oblici vezani za bentonske zajednice, a drugi su se prilagodili životu u planktonskoj zajednici. Kolnjaci, kao npr. vrste rodova *Phylodina* i *Notommata*, prisutni su često u aktivnom mulju i njihova uloga je stabiliziranje količine organskih čestica. Hraneći se organskim česticama doprinose stabilizaciji flokula, stimulaciji bakterijske aktivnosti, recikliranju mineralnih tvari te povećanju koncentracije kisika (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 pričvršćenih trepetljikaša ukazuje na stabilne uvjete s dosta kisika u aktivnom mulju. Iznenadno isčezavanje kolnjaka, pojava mrtvih i nabubrenih jedinki ukazuje na naglu promjenu uvjeta (pH otpadne vode, povišenom sadržaju SO2) u uređaju za pročišćavanje otpadnih voda.



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

Maločetinaši (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 biotičke komponente i mikrofaune

Cilj klasifikacije i procjene kvalitete aktivnog mulja je razumijevanje biologije mikroorganizama koji sačinjavaju aktivni mulj za uspješno provođenje tehnološkog pročišćavanja vode. Postoje različite metode istraživanja kvalitete aktivog mulja. Najćešće se koristi mikroskopska metoda, odnosno utvrđivanje sadržaja aktivnog mulja putem mikroskopske analize uzoraka. Osim mikroskopske analize kvaliteta aktivnog mulja procjenjuje se putem fizikalno – kemijskih analiza, analiza toksičnosti kultura i istraživanja in vitro (Mahassen i sur.,2010).

Mikroskopski pregled mulja uključuje više različitih postupaka, kao npr. procjenu flokula (broj i vizualne karakteristike flokula; oblik, struktura, veličina, čvrstina, 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 određenu 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 čine 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 veće količine različitih jednostavnih protozoa podjednako zastupljenih u brojnosti. Uvijek su prisutne svojte: *Aspidisca* sp., *Aracella pamphagus,* dok rijetko pronalazimo bičaše i sitne amebe, *Lionotus* sp., *Podophrya* sp. i *Vorticella microstoma.*

Mulj iz regeneratora kod zadovoljavajuće aeracije sadrži krupne flokule koje se brzo talože, a voda iznad aktivnog mulja je prozirna. U takvom aktivnom mulju količinski prevladavaju trepetljikaši iz skupine Peritricha (*Carchesium, Vorticella convallaria*, *Opercularia*) nad plivajućim trepetljikašima. Brojnost Peritricha i vrsta roda *Zooglea* veća 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 slobodnoplivajući trepetljikaši, npr. vrste rodova *Vorticella* i *Opercularia*. Do optimalnog učinka aktivnog mulja dolazi kada je uspostavljena ravnoteža između slobodno plivajućih i pričvršćenih trepetljikaša te kolnjaka. Prekomjeran broj bičaša, ameba ili slobodno plivajućih trepetljikaša pokazatelj visoke koncentracije organske tvari, dok prekomjeran broj pričvršćenih 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 mjehurići. 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 znante količine kolnjaka *Callidina, Rotatoria* i dr. Brojčano prevladavaju Peritricha (*Vorticella convallaria, Carchesium, Aracella*) i krupne amebe. Veoma je razvijena *Zooglea ramigera*, dok su maločetinaši prisutni u malom broju, a potpuno su odsutne sitne amebe i bezbojni bičaši.

Preopterećeni mulj ima tamne i guste flokule, a voda iznad aktivnog mulja opalescira. Preopterećeni mulj obilježava velika brojnost bezbojnih bičaša, 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 bičaša. 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 uvučenim trepetljikama na disku, mulj gubi funkciju pročišćavanja. Osobito se vrste roda *Vorticella* razdvajaju na segmente koje se nakon izvjesnog vremena rasprsnu i isčezavaju (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 izračuna 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 mulje 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.
- Biondić D. i Ivaniš Z., 2009. Pregled stanja i smjernice razvoja odvodnje i pročišćavanja komunalnih otpadnih voda u Republici Hrvatskoj, Hrvatske vode (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 Settlability of Activated Sludge Flocs. Iranian J. Publ. Health, 30, 139-142.
- Habdija I., Primc Habdija B., Radanović I., Vidaković J., Kučinić M., Špoljar M., Matoničkin R. i Miliša M., 2004. Protista – Protozoa i Matazoa – Invertebrata funkcionalna građa 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 značaj bioloških analiza aktivnog mulja u vođenju tehnološkog procesa prečišćavanja otpadnih voda, Zbornik radova Ekoist 07
- Tedeschi S., 1997. Zaštita voda, Hrvatsko društvo građevinskih inženjera, Sveučilišna tiskara, Zagreb, pp. 113 – 234.
- http://www.webgradnja.hr/clanci/bioloski-prociscivaci-otpadnih-voda-klasicni-oblici
- Okoliš na dlanu (2006)
- Zagrebačke otpadne vode (www.zov-zagreb.hr)
- Ekologija biološki procesi
- 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 očuvanja 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 pročiščavanju voda najveću ulogu imaju bakterije zatim protozoa i metazoa. Uloga tih organizama očituje 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 bičaša uz amebe znak toksičnog preopterećenja sustava. Prisutnost slobodno plivajućih trepetljikaša je indikator dobrog operativnog sustava. Pričvršćeni trepetljikaši su dobri bio-indikatori toksičnosti jer prelaze u slobodno plivajuće oblike kada su izloženi nepovoljnim uvjetima. Kolnjaci 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 kiska, vrsti 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