Primjena biofloc tehnologije u akvakulturi

Gulin, Ivan

Master's thesis / Diplomski rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Agriculture / Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:204:311099

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

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



Repository / Repozitorij:

Repository Faculty of Agriculture University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

Primjena *biofloc* tehnologije u akvakulturi

DIPLOMSKI RAD

Ivan Gulin

Zagreb, rujan, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

Diplomski studij:
Ekološka poljoprivreda i agroturizam

Primjena *biofloc* tehnologije u akvakulturi

DIPLOMSKI RAD

Ivan Gulin

Mentor: Doc.dr.sc. Daniel Matulić

Zagreb, rujan, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

IZJAVA STUDENTA

O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, **Ivan Gulin**, JMBAG 01780897646, rođen 26.07.1992. u Šibeniku, izjavljujem da sam samostalno izradio diplomski rad pod naslovom:

Primjena *biofloc* tehnologije u akvakulturi

Svojim potpisom jamčim:

- da sam jedini autor ovoga diplomskog rada;
- da su svi korišteni izvori literature, kako objavljeni tako i neobjavljeni, adekvatno citirani ili parafrazirani, te popisani u literaturi na kraju rada;
- da ovaj diplomski rad ne sadrži dijelove radova predanih na Agronomskom fakultetu ili drugim ustanovama visokog obrazovanja radi završetka sveučilišnog ili stručnog studija;
- da je elektronička verzija ovoga diplomskog rada identična tiskanoj koju je odobrio mentor;
- da sam upoznat s odredbama Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu (Čl. 19).

U Zagrebu, dana _____ _____

Potpis studenta

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
AGRONOMSKI FAKULTET

IZVJEŠĆE

O OCJENI I OBRANI DIPLOMSKOG RADA

Diplomski rad studenta **Ivan Gulin**, JMBAG 01780897646, naslova

Primjena *biofloc* tehnologije u akvakulturi

obranjen je i ocijenjen ocjenom _____ , dana _____ .

Povjerenstvo:			potpisi:
1.	Doc.dr.sc. Daniel Matulić	mentor	_____
2.	Doc.dr.sc. Tea Tomljanović	član	_____
3.	Doc.dr.sc. Aleksandra Perčin	član	_____

Zahvala

Ovim putem zahvaljujem svom mentoru doc.dr.sc. Danielu Matuliću na strpljenju, stručnoj pomoći, korekciji i sugestijama pri izradi ovog diplomskog rada.

Također zahvaljujem svim prijateljima i prijateljicama koji su bili uz mene u svim situacijama i bez kojih cijelo studiranje ne bi bilo toliko ugodno i zabavno.

Posebno zahvaljujem svojoj obitelji na razumijevanju i podršci kako u životu tako i u studiranju.

Sadržaj

1. Uvod ... 1
2. Pregled literature ... 3
2.1. Interakcija okoliša i akvakulture ... 3
2.2. Mikrobni krug ... 5
2.3. Bioflok tehnologija ... 6
2.4. Povijest razvoja bioflok tehnologije ... 7
2.5. Uzgajane vrste u bioflok sustavima ... 8
2.6. Vrste bioflok sustava ... 9
2.7. Funkcioniranje bioflok tehnologije ... 9
2.8. Miješanje i aeracija ... 11
2.9. Temperatura ... 12
2.10. Prihrana i hranjenje ... 13
2.11. Dušikovi produkti ... 14
2.12. Kruta tvar ... 17
2.13. Ekonomska isplativost ... 18
2.14. Prednosti bioflok tehnologije ... 18
2.14.1. Bioflok i kontrola bolesti ... 19
2.14.2. Bioflok i akvaponija ... 21
2.15. Nedostaci bioflok tehnologije ... 21
3. Zaključak ... 23
4. Popis literature ... 24
Životopis ... 30

Sažetak

Diplomskog rada studenta **Ivana Gulina**, naslova

Primjena *biofloc* tehnologije u akvakulturi

Kao odgovor na sve veći prirodni priraštaj čovječanstva i degradaciju okoliša, nužno je da sektori proizvodnje hrane, poput akvakulture, usvajaju ekološki prihvatljivo gospodarenje i uzgoj organizama. *Biofloc* tehnologija se temelji na rastu mikroorganizama u vodenom mediju u svrhu poboljšanja kvalitete vode i obrade otpadnih tvari uz minimalnu izmjenu vode i dodatan besplatan izvor proteina za uzgajane vrste. *Biofloc* sustavi mogu osigurati ekološki sigurnu i financijski održivu proizvodnju u akvakulturi.

U ovom radu će se detaljno opisati *biofloc* tehnologija kao primjer ekološki prihvatljivog gospodarenja u akvakulturi, utjecaj navedene tehnologije na okoliš, njenu ekonomsku isplativost te navesti prednosti i nedostatke obzirom na ostale tehnologije uzgoja u akvakulturi.

Ključne riječi: akvakultura, *biofloc* tehnologija, ekološko gospodarenje

Summary

Of the master's thesis – student **Ivan Gulin,** entitled

Implementation of biofloc technology in aquaculture

In response to a high natural increase of human population and environmental degradation, food production sectors, like aquaculture, should adapt to ecologically acceptable management and breeding (cultivation) of various organisms. Biofloc technology is based on the growth of microorganisms in a liquid medium with a purpose of the improvement of water quality and waste management by minimal water exchange (alteration) and additional costless source of proteins for species breeding. Biofloc systems are able to ensure ecologically safe and financially sustainable production in aquaculture.

The aim of this thesis is description of the biofloc technology as an example of ecologically acceptable management in aquaculture, its environmental impact and economic cost-effectiveness, also advantages and disadvantages in comparison to other technologies of breeding in aquaculture.

Keywords: aquaculture, biofloc technology, ecological management

1. Uvod

Akvakultura je industrija uzgoja morskih i slatkovodnih organizama u više ili manje kontroliranim uvjetima okoliša. Ona predstavlja biomanipulaciju životnog ciklusa uzgajanih organizama i uvjeta okoliša uključujući kontrolu reprodukcije i rasta te eliminaciju uzorka prirodnog mortaliteta (FAO, 1988).

Akvakultura je jedna od najbrže rastućih aktivnosti u proizvodnji hrane u posljednjih nekoliko godina, s prosječnom godišnjom stopom rasta od 6-8% godišnje. Većina ovog rasta temelji se na porastu proizvodnje u Aziji (89% svjetske proizvodnje u akvakulturi u 2010. godini dolazilo je iz Azije). Na globalnoj razini, akvakultura danas čini skoro polovicu svjetske opskrbe vodenim organizmima za ljudsku prehranu, a godišnja proizvodnja doseže 63,6 milijuna tona (FAO, 2012).

Zbog potreba prehrane globalnog stanovništva, sektor akvakulture nužno će rasti u svojoj proizvodnji te će, prema projekcijama, do 2030.g. imati 62% udjela od ukupnog udjela globalne ljudske prehrane morskim proizvodima (FAO, 2016).

Tablica 1: Proizvodnja ribe u svijetu kroz godine i prema kontinentima (mj. jed.: tona, žive mase) (Izvor: FAO, 2013)

		2004	2006	2008	2010	2012	2013
Africa	Inland aquaculture	546 229	739 383	928 296	1 273 583	1 467 979	1 594 069
	Mariculture	12 659	15 096	14 632	12 858	17 408	21 539
	Subtotal	***558 888***	***754 480***	***942 929***	***1 286 441***	***1 485 387***	***1 615 608***
Americas	Inland aquaculture	732 546	752 019	828 429	977 186	959 599	986 017
	Mariculture	1 410 204	1 616 511	1 673 956	1 604 020	2 018 361	2 082 738
	Subtotal	***2 142 750***	***2 368 530***	***2 502 386***	***2 581 206***	***2 977 959***	***3 068 755***
Asia	Inland aquaculture	22 792 152	26 045 457	30 187 149	34 065 292	39 065 422	41 645 016
	Mariculture	14 102 439	15 734 314	16 813 938	18 375 080	19 890 348	20 901 648
	Subtotal	***36 894 591***	***41 779 771***	***47 001 087***	***52 440 372***	***58 955 770***	***62 546 664***
Europe	Inland aquaculture	468 204	442 954	478 623	466 615	461 480	455 722
	Mariculture	1 704 980	1 749 764	1 851 427	2 077 363	2 415 246	2 325 403
	Subtotal	***2 173 184***	***2 192 718***	***2 330 050***	***2 543 978***	***2 876 726***	***2 781 125***
Oceania	Inland aquaculture	1 546	2 392	2 217	3 691	4 231	4 042
	Mariculture	137 899	158 397	172 839	181 957	177 226	173 653
	Subtotal	***139 445***	***160 789***	***175 056***	***185 648***	***181 458***	***177 695***
World	Inland aquaculture	24 540 677	27 982 205	32 424 714	36 786 367	41 958 711	44 684 866
	Mariculture	17 368 181	19 274 082	20 526 792	22 251 278	24 518 589	25 504 981
	TOTAL	**41 908 857**	**47 256 287**	**52 951 509**	**59 037 646**	**66 477 300**	**70 189 848**

Iz tablice 1 vidljivo je povećanje proizvodnje akvakulture u razdoblju od 2004. do 2013. gdje se količina uzgojenih organizama skoro udvostručila. Također je vidljiv dominantan udio azijske regije u akvakulturi.

Posljedično rastu ove proizvodne grane, dolazi do njenog sve većeg utjecaja na okoliš, a samim time i do povećanja zagađenja i degradacije staništa. Sukladno tome razvija se svijest o održivom, ekološki prihvatljivom gospodarenju. Jedan od načina održivog i ekološki prihvatljivog gospodarenja akvakulturom je primjena bioflok (eng. *biofloc*) tehnologije u uzgojnim sustavima, koja se temelji na mikroorganizmima i njihovom djelovanju u vodenom mediju. Tehnologiju dodatno opisuje i doslovni prijevod naziva: eng. ***bio***: ukazujući ili uključivši život ili žive organizme; ***floc*** – rastresito grupirana masa finih čestica.

Bioflok tehnologija predstavlja uporabu mikroorganizama koji se drže zajedno s organskim česticama u svrhu poboljšanja kvalitete vode, obrade otpada i prevencije bolesti u intenzivnim sustavima akvakulture. Potrošnja biofloka također daje nutritivnu vrijednost uzgajanim vrstama (https://definedterm.com).

U ovom radu će se definirati bioflok tehnologija kao primjer ekološki prihvatljivog gospodarenja u akvakulturi, utjecaj navedene tehnologije na okoliš, njenu ekonomsku isplativost te navesti prednosti i nedostatke obzirom na ostale tehnologije uzgoja u akvakulturi.

2. Pregled literature

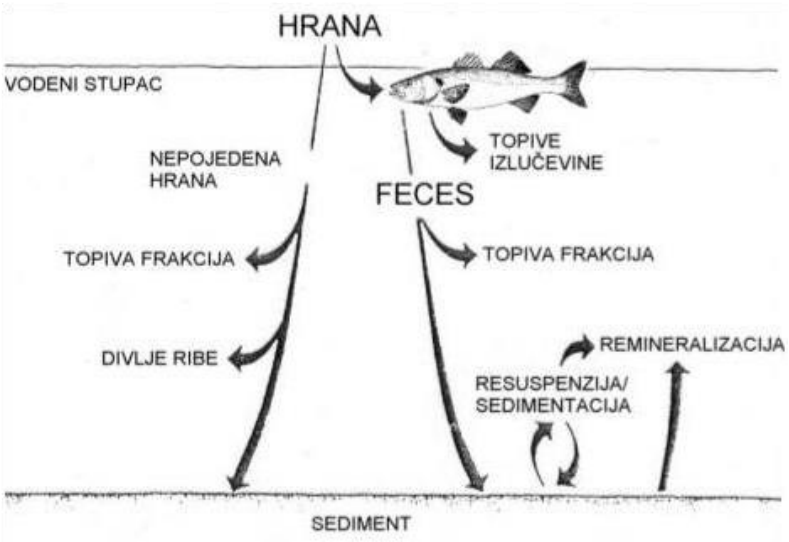
2.1. Interakcija okoliša i akvakulture

Svaka ljudska aktivnost pa samim time i uzgoj vodenih organizama ima utjecaj na okoliš. Glavne promjene uzrokovane akvakulturom odnose se na biološke procese živih organizama i njihova staništa. Povećanjem razvoja akvakulture paralelno raste i negativan utjecaj koji postaje sve veći globalni problem. S obzirom na dostignuti stupanj razvitka akvakulture i buduća usmjerenja, nameće se primarna potreba ispravnog sagledavanja ovoga sektora i njegova istinska valorizacija s obzirom na gospodarsku, društvenu i ekološku funkciju (Dosdat, 2015).

Intenzitet i vrsta utjecaja na okoliš akvakulture ovise o vrsti uzgoja, intenzitetu proizvodnje i o lokaciji uzgoja (National Oceans Office, 2001).

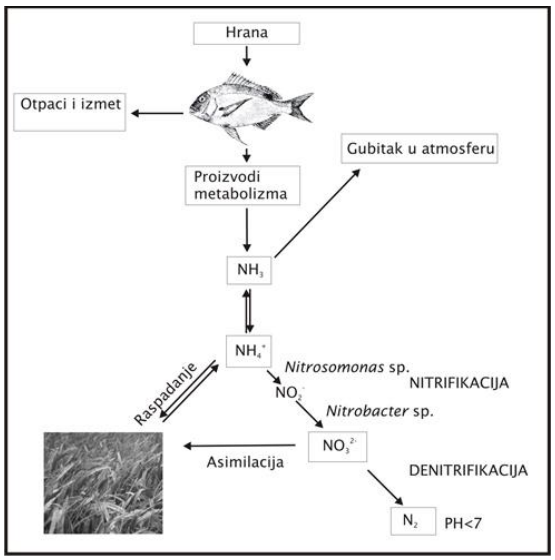
Uzgoj ribljih kultura obično je intenzivan i uključuje dodavanje krute tvari i nutrijenata u vodeni medij što može biti uzrok degradacije okoliša. Nakupine organskog materijala ispod uzgajališta mogu utjecati na floru i faunu područja, u nekim slučajevima uzrokuje velike kemijske promjene u sedimentu i može utjecati na promjene u stupcu vode (http://www.nmfs.noaa.gov).

Nesumnjivo, svako ribogojilište proizvodi otpad koji se sastoji od nepojedenih ostataka hrane te fekalnih i urinarnih produkata metabolizma. Također ribogojilišta proizvode zagađenja u vidu kemikalija, mikroorganizama i parazita. Jedan dio nepojedene hrane se otopi u vodi, drugi pojedu divlje ribe i okolni organizmi (Slika 1). Topivim izlučevinama se u stupcu vode pridodaje i topiva frakcija fecesa, dok se njegov netopivi dio taloži na morskom dnu (Bratoš Cetinić, 2017). To stvara potencijal za eutrofikaciju mora koje utječu na vodu smanjenom koncentracijom kisika te može stvoriti štetne mrtve zone u blizini uzgajališta (Gamble, 2012).



Slika 1: Sudbina nepojedene hrane i metabolita pri kaveznom uzgoju ribe
Izvor: Bartoš Cetinić, 2017.

U uvjetima slabog strujanja vode osjetno se povećava razina dušika i fosfora u vodenom stupcu i sedimentu (Slika 2). Potrošnja kisika je pozitivno korelirana s akumulacijom organske tvari. Daljnjim akumuliranjem organske tvari, osobito u uvjetima slabog lateralnog transporta stvaraju se postupno anaerobni uvjeti u kojima aktivnost sumpornih bakterija može dovesti do otpuštanja krajnje toksičnog sumporovodika (Bratoš Cetinić, 2017).



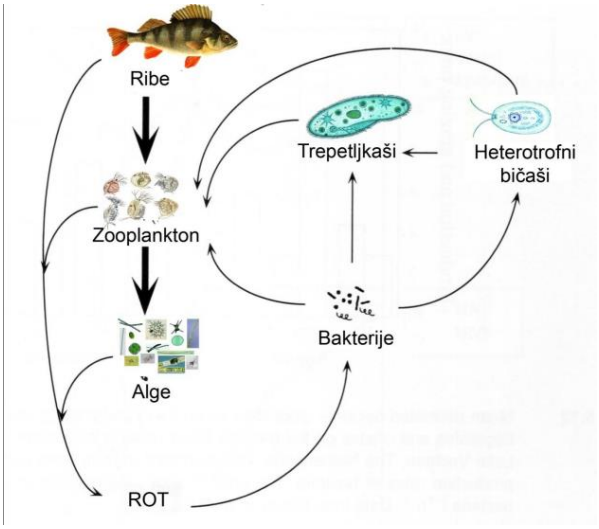
Slika 2: Dušični spojevi kao posljedica unosa organske tvari u procesu intenzivnog uzgoja ribe i procesi kruženja dušika u ekosustavu mora
Izvor: Bartoš Cetinić, 2017.

Akvakultura se temelji na ograničenim resursima, te se još uvijek smatra da je neodrživa. Napuštanje industrije akvakulture nije opcija s obzirom na njenu proizvodnju, izvoz/uvoz hrane te zapošljavanje u proizvodnji, stoga je potreba akvakulturu razvijati prema održivim tehnologijama. Među mnogim predloženim alternativama održive akvakulture mikroorganizmi su istaknuti vrlo visoko; kao izravan izvor hrane za uzgajane ribe i školjkaše te kao strategija koja obećava revolucionirati akvakulturu uz uklanjanje otpada. S obzirom na otpad, kao dio ciklusa, moguće je povećati zalihe mikroorganizama i smanjiti emisije zagađivača, a posljedično tome smanjiti i operativne troškove i negativan utjecaj na okoliš (Martìnez-Còrdova i sur., 2016).

2.2. Mikrobni krug

Kako bi uspjeli razumjeti utjecaj mikroorganizama na ostale organizme i njihovu ulogu u hranidbenoj mreži trebamo objasniti termin mikrobni krug (*"microbial loop"*).

Mikrobni put je trofički put u vodenim ekosistemima gdje je otopljeni organski ugljik ponovno inkorporiran u hranidbenu mrežu preko bakterija (Ternjej, 2017). Mikrobni krug (Slika 3) pokazuje kako mikroorganizmi mogu biti integrirani u klasični hranidbeni lanac (http://jadran.izor.hr). Mikroorganizmi su sposobni stvoriti kontinuirani ciklus proizvodnje i razgradnje organske tvari zahtijevajući samo ulaz sunčeve svjetlosti ili kemikalija oslobođenih iz rijeka ili iz kratera podvodnih vulkana (Lawrence, 2007).



Slika 3: Mikrobni krug → način vraćanja otopljenog ugljika u hranidbenu mrežu
Izvor: Ternjej, 2017.

Otopljeni organski ugljik može dospjeti u vodene ekosustave iz nekoliko izvora: ispuštanjem fiksiranog ugljika iz stanica algi, ekskrecijom i fekalijama vodenih životinja i mikroorganizama te razgradnjom i otapanjem mrtve organske tvari (Ternjej, 2017).

Početkom 1970-ih godina Pomeroy (1974) je utvrdio da u procesima primarne proizvodnje i respiracije u vodenim ekosustavima nisu značajni samo fitoplankton i zooplankton već i manji mikroorganizmi te njihovi predatori. Daljnja istraživanja, temeljena na podacima Pomeroya po kojima značajan dio protoka ugljika u eufotičkoj zoni ide putem: OTOPLJENA ORGANSKA TVAR → BAKTERIJE → PROTOZOA → METAZOA, te korištenje suvremenih mikrobioloških metoda doveli su do utemeljenja koncepcije mikrobnog kruga i mikrobne hranidbene mreže (Azam i sur. 1983).

Hipoteza mikrobnog kruga bazira se na Sheldonovom modelu veličine čestica (Sheldon i sur., 1972). Glavna ideja ovog modela je da organizmi za ishranu rađe konzumiraju čestice koje su za jedan red veličine manje od njih samih. Time se postiže najbolja efikasnost i iskoristivost u ishrani dok su energetski gubitci najmanji (Šantić, 2010).

Bakterije konzumiraju raspršenu organsku tvar izlučenu iz organizama ili onu koja je donesena iz slivnog područja (Ternjej, 2017).

Broj bakterija održava se na relativno konstantnom nivou u prvom redu kao rezultat pasenja (od eng. *graze* – pasti, paša) heterotrofnih nanoflagelata (HNF). HNF također konzumiraju i cijanobakterije te autotrofne eukariote. Heterotrofni nanoflagelati (HNF) i autotrofni nanoflagelati (ANF) hrana su za mikrozooplankton koji je istog reda veličine kao i veći fitoplankton (10-80μm). Dakle, energija oslobođena kao otopljena organska tvar vraća se u glavni lanac ishrane putem mikrobnog kruga (Šantić, 2010).

Dinamika mikrobnog kruga uključuje nekoliko ekoloških odnosa kao što su komenzalizam, kompeticija i predacija. Komenzalizam je izražen kroz bakterijsko korištenje otopljene organske tvari koju izlučuje fitoplankton. Kompeticija za anorganske hranjive soli prisutna je između stanica fitoplanktona i bakterija, dok je predacija u odnosu bakterija i HNF (Šantić, 2010).

Dakle, mikrobna hranidbena mreža je značajna biološka snaga u prostornom i vremenskom oblikovanju raspodjele najvažnijih bioelemenata. Istraživanja su pokazala da kroz mikrobni put prolazi oko 50% primarne proizvodnje koja se iz otopljenog prevodi u neotopljeni oblik putem remineralizacije organske tvari i njenim ugrađivanjem u bakterijsku biomasu, prenoseći ugljik prema višim trofičkim razinama (Šantić, 2010).

2.3. Bioflok tehnologija

Interes za zatvorenim akvakulturnim sustavima je u porastu, uglavnom zbog biološke sigurnosti, zaštite okoliša i marketinške prednosti u odnosu na konvencionalne ekstenzivne i polu-intenzivne sustave uzgoja (Ray, 2012).

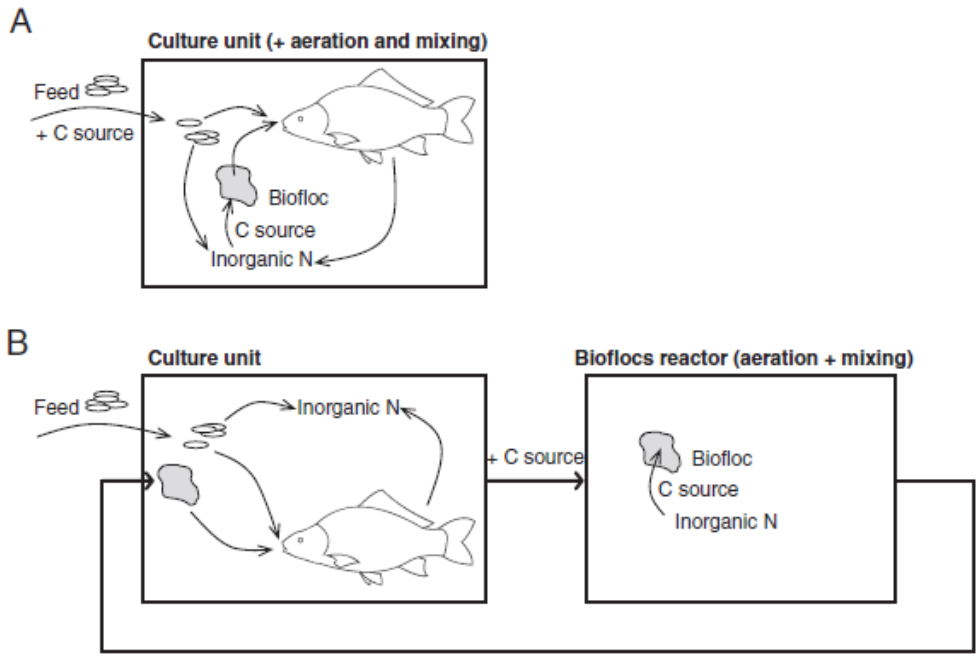
Jedan od glavnih ciljeva industrije akvakulture jest povećanje proizvodnje bez povećanog utjecaja i iskorištavanja prirodnih resursa kao što su voda i zemlja (Avnimelech, 2009). Nadalje, akvakultura mora osigurati i razvijati uzgojni sustav, tj. tehnologiju koja neće utjecati na onečišćenje okoliša (Naylor i sur, 2000). Uz navedene ciljeve tehnologija bi trebala imati dobar odnos uloženog/dobivenog kako bi poduprijela ekonomiju i socijalnu održivost zajednice. Sve prepreke i ciljeve razvoja održive akvakulture mogu se uvidjeti kroz bioflok tehnologiju (Crab i sur, 2012).

Bioflok tehnologija se smatra učinkovitim alternativnim sustavom u akvakulturi jer su hranjive tvari reciklirane i ponovo upotrijebljene. Održivi pristup sustava zasniva se na rastu mikroorganizama u mediju za uzgajanu kulturu, uz minimalnu ili nikakvu (nultu) izmjenu vode. Bioflok mikroorganizmi imaju dvije glavne uloge; (a) održavanje kvalitete vode, kroz uzimanje i pretvorbu dušikovih spojeva "*in situ*" u mikrobni protein i (b) dodatan izvor hrane, povećavajući isplativost uzgajane kulture kroz smanjenje omjera konverzije i troškova hrane (Emerenciano i sur, 2013).

Mikrobiološka kontrola dovodi do učinkovite razgradnje otpadnih materijala, učinkovite nitrifikacije te, kroz manipulaciju omjera C:N, olakšava kontrolu i recikliranje dušika i udvostručuje iskoristivost proteina (Avnimelech, 2009).

Bioflok može biti implementiran u vodenim sustavima:

(A) unutar medija uzgajane kulture pomoću prihrane s relativno niskim sadržajem N i/ili dodatkom izvora ugljika gdje mikroorganizmi konzumiraju anorganski N zajedno sa izvorom ugljika, čime se dobiva mikrobna biomasa koja se može koristiti kao hrana za životinje.
(B) Korištenje zasebnog bioflok reaktora. Otpadne vode iz bazena uzgojne kulture unose se u bioflok reaktor, gdje se dodaje izvor ugljika, stimulirajući rast mikroorganizama. Nakon toga voda bioflok reaktora recirkulira u bazen sa uzgajanom kulturom i/ili se bio flokulent prikupi te koristi kao dodatak hranidbi (Crab i sur, 2012).



Slika 4: Shematski prikaz implementacije bioflok tehnologije u uzgajanim sustavima
Izvor: Crab i sur. 2012.

2.4. Povijest razvoja bioflok tehnologije

Prema Emerenciano-u i suradnicima (2011), bioflok tehnologija (BFT) je prvi put razvijena u ranim 1970-ih, na IFREMER-COP (francuski Institut za eksploataciju mora) s različitim vrstama kozica (*Penaeidea*), uključujući veliku tigrastu kozicu (*Penaeus monodon),* banana škampa *(Fenneropenaeus merguiensis),* Pacifičku bijelu kozicu *(Litopenaeus vannamei) i* plavu kozicu *(L. stylirostris)* (Aquacop, 1975; Sohier, 1986). Takav sustav uzgajanih kultura je uspoređen s "vanjskim buragom", prilagođenim za kozice (Cuzon, 2004). U isto vrijeme, kompanija Ralston Purina razvila je sustav temeljen na nitrificirajućim bakterijama držeći kozice u potpunom mraku. Takav prvi sustav je primijenjen *na L. stylirostris i L. vannamei* oba u Crystal River (SAD) i Tahitiju, razmatrajući prednosti bioflok tehnologije za kulturu škampa (Rosenberry, 2010). Godine 1980., francuski znanstveni program 'Ecotron' je pokrenut kako bi se bolje razumio prvi bioflok sustav. Nekoliko studija su omogućile cjelovit pristup BFT i objasnile međusobne odnose između različitih komponenti kao što su voda i bakterije, kao i prehrambene karakteristike škampa (Emerenciano i sur, 2013).

Krajem 1970-ih i početkom 1980-tih, grupa u Izraelu proučavala je dinamiku sustava ribljih kultura obogaćenih organskom tvari, razvojem koncepta mreže osnovne hrane (Wohlfarth i Schroeder, 1979; Hepher, 1988). Istovremeno, Steven Serfling Dominick Mendola smišlja i razvija posao koji se temelji na industrijskoj proizvodnji tilapija (*Tilapia)* i kozica u sustavima s gustim mikrobnih zajednicama sa smanjenom izmjenom vode. Primjenjuje više holistički pristup, sustav usmjeren na maksimiziranje prednosti prirodne produktivnosti, koja se razvila u sustavima. U ranim istraživanjima i naporima za komercijalizaciju solarnih "vodenih farmi" (*Aquafarms*), došlo se do zaključaka da je bioflok tehnologija već zabilježena i prikazana ali nije postala prihvaćena (Emerenciano i sur., 2013). U ranim 1990-im, dvije neovisne grupe, u Izraelskom tehničkom sveučilištu i u SAD-u u Waddell marikulturnom centru (CGO) se počelo objavljivati niz radova o sustavima baziranima na smanjenoj izmjeni vode te zatim o proizvodnim sustavima bez izmjene vode za kulturu tilapija i kozica (Avnimelech 1993; Hopkins i sur., 1993).

1988. Sopomer farma u Tahitiju (Francuska Polinezija), koristeći 1000 m² velike bazene s ograničenom izmjenom vode postigla je svjetski rekord u proizvodnji BFT; 20-25 tona/ha/god (Garen, 1993). Akvakulturna farma BAL u Belizeu je vjerojatno najpoznatiji slučaj komercijalne primjene BFT u svijetu gdje je jednom proizvedeno 11-26 tona/ha/ciklus kozica korištenjem 1,6 ha linijskih ribnjaka. Velik dio znanja za vođenje komercijalnog uzgoja kozica s korištenjem BFT proizlazi iz BAL iskustva. Iskustvo BFT zatvorenih malih farmi najpoznatije je iz Marvesta farmi (nalazi se u Maryland, SAD) zbog uspješnosti uzgoja kozica u zatvorenom sustavu, može proizvesti oko 45 tona svježih kozica godišnje koristeći ~ 570 m^3 zatvoreni sustav. Danas, BFT uspješno se širi u velikim uzgojima kozica u Aziji, Latinskoj i Centralnoj Americi, kao i u malim plastenicima u SAD-u, Južnoj Koreji, Brazilu, Italiji, Kini i drugima (Emerenciano i sur., 2013).

2.5. Uzgajane vrste u bioflok sustavima

Osnovni princip u kreiranju bioflok tehnologije je odabir vrste za uzgoj koja će imati koristi od biofloka. Bioflok sustavi rade najbolje s vrstama koje su u stanju izvući hranidbenu korist izravnim konzumiranjem flokulirajućih čestica. Sustavi su također pogodni za vrste koje mogu tolerirati visoke koncentracije krutih tvari u vodi te lošiju kvalitetu vode. Neke vrste kozica i tilapija imaju fiziološke prilagodbe koje im omogućuju da konzumiraju bioflokulirajuće čestice te probavljaju mikrobiološki protein. Gotovo svi bioflok sustavi se koriste za uzgoj kozica (*Penaeus monodon, Penaeus sp.*), nilske tilapije (*Nile tilapia*) ili šarana (*Ctenopharyngodon idella* i dr.). kanalni som *Ictalurus punctatus* i hibridni prugasti bas (*Morone chrysops x Morone saxatilis)* su primjeri ribljih vrsta koje se ne koriste u bioflok sustavima jer ne podnose vodeni okoliš s velikom koncentracijom suhe tvari te nemaju fiziološke prilagodbe za filtriranje krutih tvari iz vode (Hargreaves, 2013).

2.6. Vrste bioflok sustava

Nekoliko tipova bioflok sustava su korišteni u komercijalnoj akvakulturi ili vrednovani u znanstvenim istraživanjima. Dva osnovna tipa sustava su: sustavi izloženi prirodnom svjetlu i sustavi bez izlaganja prirodnom svjetlu. Bioflok sustavi izloženi prirodnom svjetlu uključuju otvorene bazene za akvakulturu Kozica ili Tilapije te linije tankova za uzgoj istih kultura u staklenicima. Složeni procesi djelovanja algi i bakterija kontroliraju kvalitetu vode u takvim tzv. "*greenwater*" bioflok sustavima (sustavi sa zelenom vodom). Većina bioflok sustava u komercijalnoj upotrebi su *greenwater*, međutim neki bioflok sustavi su instalirani u zatvorenim objektima bez izlaganja prirodnoj svjetlosti. Ovi sustavi se zovu "*brown-water*", tj. sustavi sa smeđom vodom gdje samo bakterijski procesi kontroliraju kvalitetu vode (Hargreaves, 2013).

Postoji podijela bioflok tehnologije na: *in situ* (na mjestu događaja) i *ex situ* (van mjesta događanja) tehnologiju. S *in-situ* bioflok tehnologijom je lako upravljati u odnosu na potrebno uloženo znanje, rad te ukupni trošak. Njene prednosti uključuju asimilaciju dušika i suplementaciju nutrijenata, ali imaju veliku potrebu za kisikom. Prednosti *ex-situ* bioflok tehnologije uključuju denitrifikaciju, kontrolu bioflok prehrambenih profila i suplementaciju nutrijenata. Nedostaci ex-situ tehnologije leže u njegovoj složenosti i skupljoj provedbi (Kuhn, 2012).

2.7. Funkcioniranje bioflok tehnologije

Bioflok je termin korišten za grupirane mase finih čestica sačinjenih od zajednica algi, bakterija, praživotinja i druge vrsta organske tvari kao što su izmet i ostatci nepojedene hrane (Hargreaves, 2013).

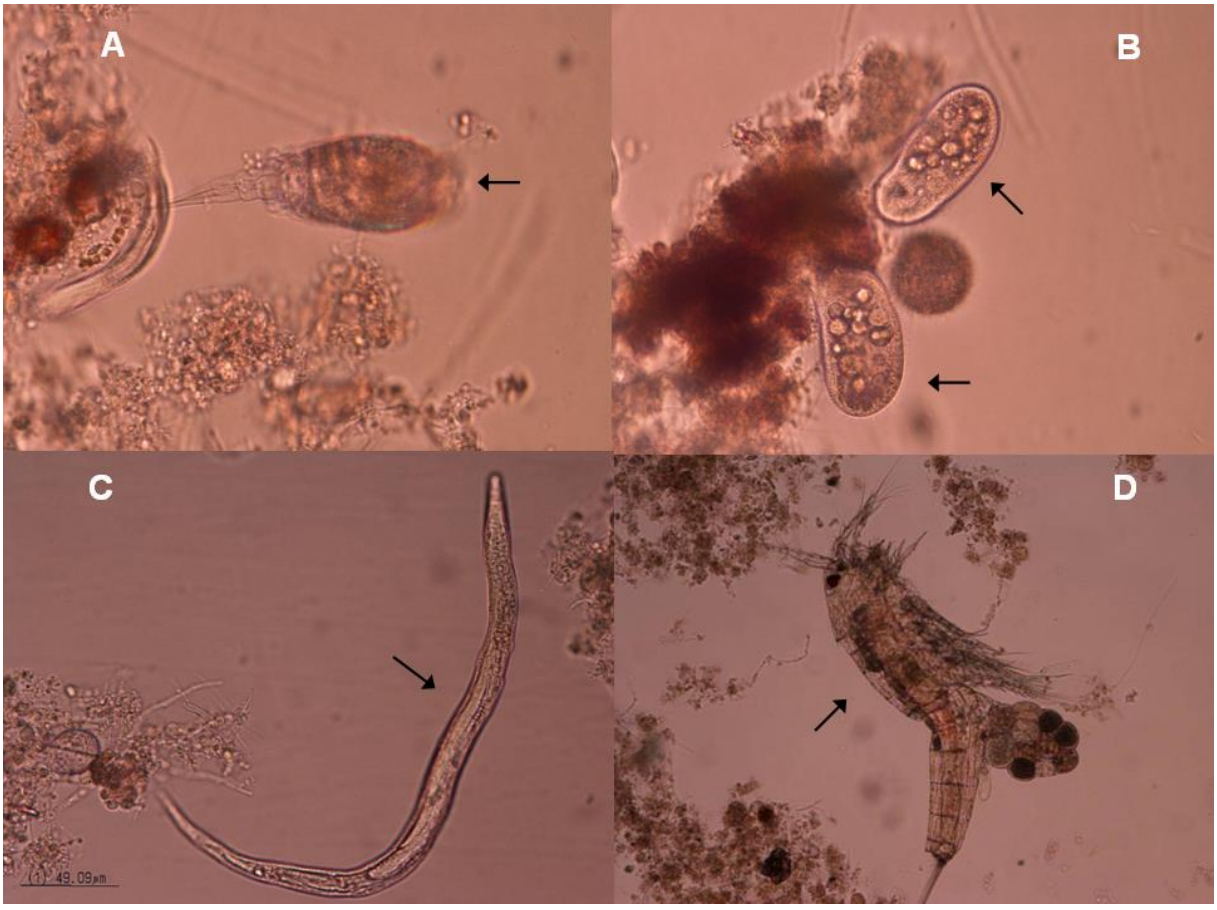
Uz odgovarajuće miješanje i prozračivanje, alge, bakterije, zooplankton, čestice hrane i fekalnih tvari ostaju suspendirani u aerobnom stupcu vode i prirodno zajedno flokuliraju, formirajući nakupine po kojem su biofloksustavi dobili ime (Browdy i sur., 2012).

Ove nakupine se drže zajedno pomoću fizikalno-kemijskih sila privlačenja a njihovi matriksi polimera se sastoje od proteina, polisaharida i humusnih kompleksa (Avnimelech, 2009).

Bioflok zajednica uključuje i mikroorganizme koje po načinu hranjenja spadaju u grazers ("pasače"), kao što su neki zooplanktoni i nematode. Velika nakupina (zajednica) biofloka može se vidjeti golim okom, ali većinom su zajednice mikroskopskih veličina u prirodnom stanju. Nakupine (zajednice) biofloka u uzgajanom sustavu su prilično velike, oko 50 do 200 mikrona, te se lako ustale u mirnoj vodi (Hargreaves, 2013).

Bioflok zajednica je bogata proteinsko-lipidnom komponentom koja je u prirodnom obliku dostupna *"in situ"*, 24 sata na dan (Avnimelech, 2007). U stupcu vode dolazi do složenih interakcija između organske materije, dna ribnjaka širokog raspona mikroorganizama kao što su fitoplankton, slobodne i priljepljene bakterije i grazeri ("pasači") kao što je vidljivo na slici 6 (Ray i sur, 2010).

Navedena prirodna produkcija u vodenoj sredini igra važnu ulogu u recikliranju hranjivih tvari i održavanju kvalitete vode (McIntosh i sur, 2000; Ray i sur., 2010).



Slika 5: Pasači (eng. *grazers*) koji se mogu naći u biofloku: flagelati (A), ciliati (B), nematode (C) i kopepode (D)
Izvor: Emerenciano i sur, 2013.

Prema Avnimelech (2009), princip funkcioniranja bioflok tehnologije se bazira na nekoliko jednostavnih koraka :
- smanjenoj izmjeni vode
- akumulaciji organskih ostataka
- miješanju i prozračivanju vodenog medija
- stvaranju idealnih uvjeta za bakterije
- kontroliranje kvalitete vode pomoću bakterija
- bioflok kao hrana za uzgajanu kulturu
- smanjenje količine prihrane i troškova hranidbe uzgajane kulture

2.8. Miješanje i aeracija

Otopljeni kisik je uvijek jedan od najkritičnijih parametara kvalitete vode koji će se pratiti u uzgoju vodenih organizama. Uzgajanje organizama u bioflok sustavu zahtijeva posebnu pozornost na otopljeni kisik u vodenom mediju. Uz zahtjeve za kisik uzgajanih kultura, bogata mikrobna zajednica također konzumira otopljeni kisik u značajnoj količini (Boyd, 2009).

Intenzivno turbulentno miješanje je nužan uvjet za funkcioniranje bioflok sustava (Slika 7). Krute tvari se moraju suspendirati u stupcu vode u svako doba ili sustav neće dobro funkcionirati. Bez učestalog miješanja, bioflokulent se može ustaliti na dnu suspenzije i tako može formirati goleme nakupine koje brzo troše otopljeni kisik u neposrednoj blizini. Nastankom anaerobnih zona može dovesti do oslobađanja sumporovodika, metana i amonijaka koji su vrlo otrovni za uzgajane kulture. Krute tvari se mogu ukloniti periodičnim ispiranjem ili ispumpavanjem mulja iz ribnjaka. Mulj se može opet nakupiti na mjestima udaljenima od mjesta postavljanja uređaja za njegovo ispumpavanje. Stvaranje turbulentnih uvjeta u relativno malim spremnicima (ribnjacima) je mnogo lakše nego u većim vanjskim ribnjacima (Hargreaves, 2013).



Slika 6: Miješanje i aeracija u uzgajanim bazenima; (A) Belize, (B) Malezija, (C) i (D) Meksiko
Izvor: Emerciano i sur., 2013

Pretjerano miješanje može predstavljati problem za uzgojene životinje zbog nemogućnosti lociranja izvora hrane u takvom okruženju. Voda u bioflok sustavu ima povišen respiracijski postotak uzrokovan koncentracijom suspendiranih tvari u vodi u odnosu na vode u drugim uzgajanim sustavima. Vrlo je važno osigurati dovoljno prozračivanje ili oksigenaciju, tj. održavati koncentraciju kisika na sigurnim razinama (slika 7). Visoke respiracijske stope također pokazuju da je vrijeme odaziva u slučaju kvara sustava vrlo kratko, često manje od jedan sat te su stoga nadzor, alarmi i hitna intervencija potrebni za održavanje bioflok sustava. Postoje različiti načini i uređaji za prozračivanje i miješanje vodenog medija ovisno o načinu i vrsti uzgoja. Bioflok sustavi nisu dobar izbor u područjima gdje je napajanje nepouzdano ili gdje je električna energija skupa (Hargreaves, 2013).

Znanstveni rad proveden na temu istraživanja učinkovitosti recikliranja dušika s obzirom na prozračivanje dao je rezultate da je isprekidano prozračivanje učinkovitije od kontinuiranog prozračivanja. Naime nije uočena značajna razlika u stopi recikliranja dušika, proteina i polisaharida u sadržaju biofloka između kontinuiranog i isprekidanog prozračivanja (0,5 h aeracija – 0,5 h bez aeracije). Energija korištena za isprekidano prozračivanje je skoro polovica energije potrošene za kontinuirano prozračivanje (Liang i sur., 2014).

2.9. Temperatura

Utjecaj temperature na sustavima koji koriste bioflok tehnologiju je sličan kao i u ostalim sustavima uzgoja. Najveći utjecaj temperature je povezan s odnosom brzine rasta uzgajanih kultura i biofloka. Izmjena vode može značajno utjecati na temperaturu. Prema tome, sposobnost kultura da funkcioniraju bez izmjene vode ima prednost što omogućuje stabilnije toplinske uvjete (Browdy i sur., 2012).

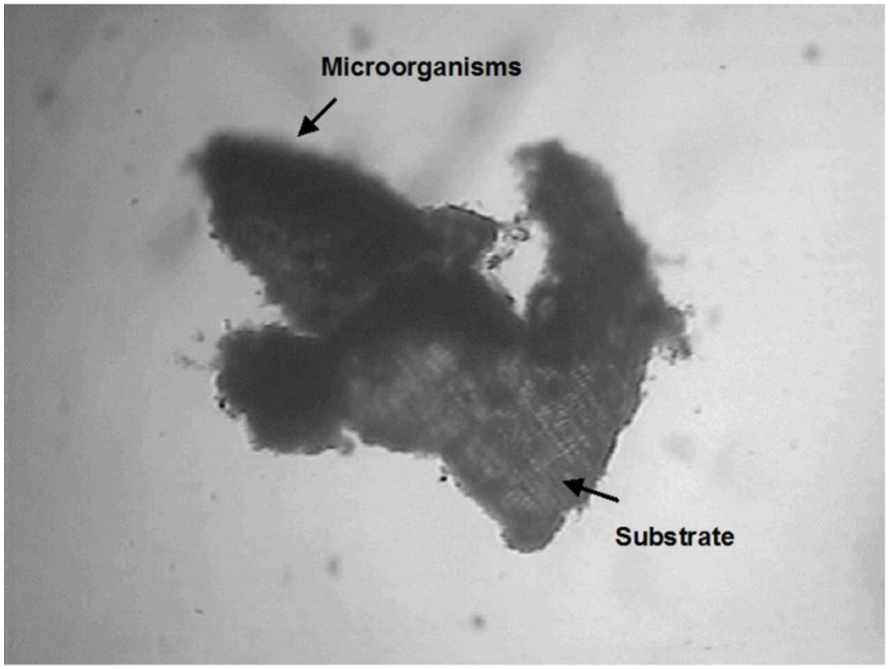
U uzgajanoj kulturi kozica, jedna od najopasnijih virusnih bolesti, virus sindroma bijele točke, pokazao je da je visoko ovisan o temperaturi, tj. povećanjem temperature dolazi do smanjenja smrtnosti uzgajanih kultura zbog infekcije ovim virusom (Vidal i sur., 2001). Nakon ovog otkrića, strategije upravljanja protiv ove bolesti uključuju održavanje temperature ribnjaka na 29º C i više. Ove strategije često zahtijevaju izbjegavanje izmjena vode, pa čak i ograđivanje proizvodnih ribnjaka u staklenicima. Korištenje bioflok tehnologije omogućuje uzgajivačima održavati ribnjak sa stabilnom temperaturom eliminirajući potrebu za izmjenom vode (Browdy i sur., 2012).

Na visokim razinama proizvodnje, eksperimentalni sustavi su zatvoreni u staklenicima, što omogućava bolju kontrolu temperature i poboljšanje biološke sigurnosti (Browdy i sur. 2009).

2.10. Prihrana i hranjenje

Prihrana i hranjenje su ključni za bilo koju operaciju akvakulture. Prihrana je najveći značajni dio varijabilnih troškova operativnog sustava biofloka (Hanson i sur., 2009), a sastav hrane usko je povezan s uspjehom proizvodnje ciljane kulture kao i utjecaja na kakvoću vode (Browdy i sur., 2012).

U posljednjih nekoliko godina, BFT je nastala ne samo kao obećavajuća alternativa uzgajanim sustavima nego kao i metoda za dobivanje proteina za komponente hranidbe. Skupljana u cisternama / tankovima (Emerenciano i sur., 2011) ili proizvedena u bioreaktoru (Kuhn i sur., 2009) bioflok (slika 8) je sirovina za proizvodnju "bioflok obroka" (Emerenciano i sur, 2013).



Slika 7: Čestica biofloka
Izvor: Emerenciano i sur., 2013.

U bioreaktorima, proizvodnja biofloka može očistiti otpadne vode iz objekata akvakulture, pretvaranjem otopljenih hranjivih tvari u pojedine stanice proteina (Kuhn i sur., 2010). Bioreaktori kontroliraju amonijak, nitrite i suspendirane krute tvari s velikom učinkovitošću. Osim toga, višak krute tvari uklonjene iz bazena za uzgoj ili ribnjaka i / ili nakupljene u uređajima može biti isto recikliran kao izvor za proizvodnju bioflok obroka. Ovom održivom pristupu izvora proteina daje se sve više pozornosti u industriji akvakulture. Mikrobiološke čestice mogu dati važne hranjive tvari kao što proteini, lipidi, aminokiseline i masne kiseline (Azim, 2008).

Bioflok obrok (koji se još naziva "jednostanični" protein) trenutno je u fokusu intenzivnog istraživanja u polju hranidbe u akvakulturi (Kuhn i sur., 2009).

2.11. Dušikovi produkti

Jedna od unutrašnjih značajki u intenzivnim akvakulturnim sustavima je nakupljanje anorganskog dušika u vodenom mediju. Hrana za ribu i kozice sadrži veliku količinu proteina (20 - 45%). Oko 70 do 75% proteinskog dušika je otpušteno u vodu iz hrane za uzgajane organizme ili kao ne pojedena hrana koju su razgradili mikrobi ili koji je nastao iz metaboličkih procesa. Taj dušik dislocira u vodi kao ukupni amonijski dušik. Ravnoteža je uspostavljena u vodi između neioniziranog NH_3 i ioniziranu NH_4^+ i ovisi o pH, salinitetu i temperaturi. Amonijak je smrtonosno otrovan za većinu organizama, pa čak i niske koncentracije mogu usporiti rast. Dakle, njegova koncentracija se mora održavati na najnižoj mogućoj koncentraciji (Browdy i sur., 2012).

Bioflok sustavi su pogodni za rad s dušikovim spojevima jer bogatija mikrobna zajednica može izlučiti dušikove spojeve iz vodenog okoliša i tako spriječiti povećanje koncentracije do opasne razine. Tri različite grupe mikroba mogu uklanjati dušikove spojeve različitim postupcima (Browdy i sur., 2012):

(1) asimilacija fotoautotrofa (alge i cijanobakterije),
(2) asimilacija heterotrofnih bakterija,
(3) nitrifikacija kemoautotrofnih bakterija.

Tipično, sva tri su prisutna i aktivna u različitoj mjeri bioflok sustava ovisno o gustoći naseljenosti, fazi uzgoja, konstrukciji sustava i posebno o strategiji upravljanja. Kad dolazi do jačanja proizvodnje kontrola dušikovih produkata postaje sve važnija (Browdy i sur., 2012).

Tablica 2 Uloga algi i bakterija u bioflok sustavima i njihova razlika u kontroli dušikovih produkata (Avnimelech, 2012).

Svojstvo	**Kontrola algama**	**Bakterijska kontrola**
Izvor energije	Solarno zračenje	Prvenstveno organska tvar
Pojavljivanje	Ribnjaci s niskom koncentracijom organske tvari. Povećanje gustoće algi uz dostupnost hranjivih tvari do maksimuma na intezivnim ribnjacima bez ograničenja svijetlosti.	Dominacija u ribnjacima sa visokom ponudom i koncentracijom organske tvari, u pravilu u ograničenim do intezivnim ribnjacima bez ili s malom izmjenom vode.
Osjetljivost na ekološke promjene	Svjetlo je esencijalno (aktivnost se smanjuje za vrijeme oblačnih dana).	Ne treba svjetlo, prilagođava se različitim uvjetima.
Učinak na kisik	Kisik se proizvodi za vrijeme dana a konzumira za vrijeme noći.	Konzumira kisik.
Bitne djelatnosti	Primarna produkcija: proizvodnja organske tvari i kisika. Utrošak amonijaka.	Razgradnja organske tvari; nitrifikacija; proizvodnja mikrobnog proteina
Kontrola anorganskog dušika	Unos potaknut primarnom proizvodnjom. Maksimalni kapacitet 0.7g NH^+/m^2/dan	Utrošak dušika uzrokovan omjerom C:N u organskoj tvari. Praktički neograničen kapacitet
Potencijalni kapacitet	Dnevna primarna produkcija ne prelazi 4 g O/ m^2	Ograničen koncentracijom supstrata i konstantnom brzinom razgradnje

Obično nailazimo na dominaciju algi u novo uspostavljenim sustavima jer je koncentracija supstrata premala da bi bila dominacija bakterija. Fotoautotrofni bioflok sustavi koriste se uspješno za kontrolu dušikovog otpada ali oni zahtijevaju velike prostorne površine i nisku gustoću naseljenosti (Brune i sur., 2003).

Na većim količinama hrane koje prate veću gustoću naseljenosti, heterotrofna asimilacija i kemoautotrofna nitrifikacija su procesi koji su glavni u kontroli dušikovih produkata. Ako se sustav hranio ugljikohidratima, heterotrofne bakterije imaju skoro pa

neograničenu sposobnost asimilirati anorganski dušik kako bi izgradili mikrobne proteine (Browdy i sur., 2012).

Heterotrofne bakterije i drugi mikroorganizmi koriste ugljikohidrate (šećere, škrob i celuloza) kao hranu za proizvodnju energije i rast:

Organski C → CO_2 + energija + C asimiliran u mikrobnim stanicama

Metabolizirani ugljik iz hrane je definiran kao efikasnost mikrobne pretvorbe (E) i nalazi se u rasponu od 40 do 60%. Dušik je potreban kao važan sastavni blok za mikrobnu stanicu. Tako, korištenje mikrobnog organskog ugljika je popraćeno asimilacijom anorganskog dušika. To je osnovni mikrobni proces i praktički sve mikrobne nakupine rade taj proces (Browdy i sur., 2012).

Kontrola amonijaka kroz heterotrofne bakterije često je stabilniji i pouzdaniji put od vezanja algi ili nitrifikacije. Mnogi praktični i prerađeni materijali se koriste kao izvor ugljika u bioflok sustavima, uključujući zrna peleta, melase, sjeckano sijeno itd. Ugljikohidrati moraju biti jeftini i povoljni. Organska tvar koja se razgrađuje lako i brzo je najbolja. Heterotrofne bakterije u bioflok sustavu mogu djelovati na jednostavne organske tvari brzo, u roku od nekoliko minuta do nekoliko sati. Jednostavni ugljikohidrati, kao što su šećer (saharoza ili dekstroza) ili škrob imati najbrži učinak. Najbolji izvor ugljika za dodavanje u sustav pokretanja, kad je većinom potreban brzi odgovor je jednostavni šećer. Promicati isključivu kontrolu koncentracije amonijaka pomoću heterotrofnih bakterija znači održavati dodatke ugljikohidrata u skladu s rastom količine hranjenja (Hargreaves, 2013).

Za razliku od prethodnih pristupa, poticanje nitrifikacije ne zahtijeva dodavanje ugljikohidrata ili razmatranje omjera C:N. Ovaj proces se održava pomoću nitrifikacijskih bakterija koje su vezane na suspendirane tvari za kontrolu amonijaka. Dobro miješani bioflok sustavi bez dodavanja ugljikohidrata imaju tendenciju da razviju prirodni mehanizam za dugotrajnu kontrolu amonijaka. Jedan od glavnih nedostataka ovog pristupa je potrošnja lužina od strane nitrifikacije (Hargreaves, 2013).

2.12.Kruta tvar

U bioflok sustavima otpadne tvari mogu akumulirati i dodatne tvari koje potječu od intenzivne aeracije i dodataka ugljikohidrata. Tijekom vremena i s dovoljno miješanja, krute tvari se mogu akumulirati u neželjeno visoke količine (2000 do 3000 mg / L). Bioflok sustavi tipično rade na suspendiranim tvarima u koncentracijama manjim od 1000 mg / L, a najčešće manjim od 500 mg / L. Uvjetna koncentracija krutih tvari od 200 do 500 mg / L dovoljna je za dobru funkcionalnost sustava te će se kontrolirati amonijak bez pretjerane respiracije vode. Najbolja potrošnja hrane u uzgajanim bioflok sustavima javlja se pri koncentraciji čvrstih tvari od 100 do 300 mg / L. Stožci s vodenim medijem su jednostavan način da se odredi koncentracije suspendiranih tvari (Slika 8). Stošci imaju mjerne jedinice izvana koje se mogu koristiti za mjerenje volumena krutih tvari koje se nalaze u volumenu od 1 litre vodenog medija (Hargreaves, 2013).



Slika 8: Stošci s vodenim medijem
Izvor: Hargreaves , 2013

Interval vremena treba biti standardiziran i prigodan, obično 10 do 20 minuta. Krute tvari također se mogu mjeriti mjeračem zamućenosti. Održavanje koncentracije čvrstih tvari od 25 do 50 mL / L omogućava dobro funkcioniranje bioflok tehnologije u uzgoju tilapije. U poredanim bazenima za uzgoj kozica idealna koncentracija je od 10 do 15 mL / L. Koncentracija krute tvari treba mjeriti kako bi se znala funkcionalnost bioflok sustava kao biofiltera (za kontrolu amonijaka) i za potražnju kisika u vodi, koja se izravno povećava s koncentracijom suhe tvari (Hargreaves, 2013).

Drugim riječima, koncentracija treba biti što je niža moguća kako bi osigurala bioflitraciju i kako ne bi došlo do pretjeranog zahtjeva za aeraciju i miješanje. Operativni bazeni s niskom koncentracijom krutih tvari smanjuju rizik od povećanja potrošnje otopljenog kisika zbog kvara u sustavu povećavajući vrijeme odgovora. Relativno niska suspendirana koncentracija krutih tvari omogućuje fotosintezu algama i opskrbu kisikom (Hargreaves, 2013).

2.13.Ekonomska isplativost

Bioflok sustavi mogu imati značajne prednosti u smislu ekonomske isplativosti u odnosu na konvencionalne sustave, koji se oslanjaju na izmjene vode. U uslovima varijabilnih troškova, već sredinom 1990-ih je predloženo da aeracija uzgajanih bazena može biti isplativija od crpljenja vode za održavanje otopljene razine kisika (Hopkins i sur.,1995). Korištenje prozračivanja također omogućuje povećanu gustoću naseljenosti i intenziviranje proizvodnje. Možda je najvažniji pokazivač profitabilnosti u uzgojnoj kulturi kozica održavanje visoke stope preživljavanja. U analizama osjetljivosti za kulturu kozica u zemljanim ribnjacima u Teksasu, procijenjeno je da se 90,9% od ukupne varijacije može se prilagoditi promjenama u preživljavanju (Moss i Leung, 2006). Stoga i ne čudi da je glavni pokretač prelaska na bioflok tehnologiju kontrola bolesti. U većini uzgajanih kultura kozica, strategija upravljanja ima prioritet smanjenja gubitaka zbog oportunističkih bakterijskih infekcija ili zbog patogena poput virusa. Redukcija vode omogućena bioflok tehnologijom i više različitih mikrobnih zajednica u dobro upravljanom bioflok sustavu, omogućava biosigurnost i smanjuje mogućnosti za dominaciju štetnih mikroba, čime se potiče razvoj stabilnog i održivog sustava (Browdy i sur., 2012).

Stopa rasta i efikasnost konverzije hrane za uzgajane kulture također igraju važnu ulogu u ukupnoj varijaciji troškova (Moss i Leung, 2006). Prilike za bolju kontrolu korištenja hrane i poboljšanje omjera iskoristivosti hrane predstavljaju ključnu komponentu u kontroli varijabilnih troškova (Browdy i sur., 2012).

U analizi ekonomskog modela super-intenzivne bioflok tehnologije na bazi proizvodnje kozica Hanson i sur. (2009) su otkrili da su najveći učinak na učinkovitost i isplativost došao od poboljšanja u preživljavanju (20% poboljšanja poveća internu stopu rentabilnosti za 97%).

Jasno, investicije u infrastrukturu, sjemena i hranu za životinje koja može poboljšati preživljavanje, rast i gustoću naseljenosti može imati jake, pozitivne učinke na gospodarsku isplativost (Browdy i sur., 2012).

2.14. Prednosti bioflok tehnologije

Tražeći odgovor na sve veći prirodni prirast stanovništva, povećanje potrebe za hranom i smanjenje esencijalnih resursa kao što je voda dobila se potrebu za razvojem ekološki prihvatljivog upravljanja akvakulturom iz čega je iznikla ova vrsta održive tehnologije. Kao što se već navelo, glavni razlozi promicanja i uvođenja ove tehnologije su briga o okolišu kroz minimalnu ili nultu izmjenu vode, te smanjenje utroška hrane i samim time veća ekonomska isplativost (Waite i sur., 2014).

Dostupne informacije iz znanstvenih istraživanja, pokusa i recenzija potvrđuju da je korištenje mikroorganizama kao direktan izvor hrane za ribe i rakove jedan od najkraćih, najjeftinijih i najodrživijih načina proizvodnje hrane za ljude (Martínez-Córdova i sur., 2015).

U odnosu na uobičajene tehnologije za pročišćavanje vode koje se koriste u akvakulturi, bioflok tehnologija pruža više ekonomičnu alternativu (smanjenje troškova za

obradu vode od 30%) i potencijalni dobitak na troškove hrane (učinak upotrebe proteina je dvostruko veći u bioflok sustavima u usporedbi s konvencionalnim ribnjacima), što je jeftin i održiv sastav za budući razvoj akvakulture (Avnimelech, 2009). Konvencionalne tehnologije za upravljanje i uklanjanje dušikovih spojeva temelje se ili na zemljanim tretmanima sustava ili kombinaciji uklanjanja krutih i nitrifikacijskih reaktora (Crab i sur., 2007). Ove metode imaju nedostatak, zahtijevaju često održavanje i u većini slučajeva mogu postići samo djelomično pročišćavanje vode. Oni stvaraju sekundarna onečišćenja i često su skupa (Lezama-Cervantes i Paniagua-Michel, 2010). Bioflok tehnologija, s druge strane, je jednostavna i ekonomična tehnika.

Riblje brašno i ribljeg ulje se koriste kao hrana za sustave proizvodnje kao što su peradarstvo, svinjogojstvo i akvakultura. Dio akvakulturne proizvodnje oslanja se na ulov divljih riba i korištenje ribljeg brašna i ulja kao esencijalnih elemenata za prehranu mnogih uzgajanih kultura. Oko 5-6 milijuna tona niske vrijednosti riba koristi se kao izravna hrana u akvakulturi u svijetu bilo pod uvjetom da se ne obrađuje ili da je komponenta farmerske hrane (FAO, 2009). World Ocean Review (2013) dao je procjene da je najmanje četvrtina svjetske populacije riba potrošena ili previše iskorištavana.

Bioflok tehnologija pomoću uzgajanih mikrooorganizama pretvara otpadni dušik u bakterijsku biomasu (koja sadrži protein), *in situ* proizvodnja hrane je simulirana dodatkom vanjskog izvora ugljika te tako smanjuje unos hrane (Schneider i sur., 2005).

Glavna snaga bioflok tehnologije leži u činjenici da otpad u stvari ne postoji (McDonough i Braungart, 2002).

Mogućnost uzgoja u zatvorenim sustavima omogućava translokaciju akvakulturnih kaveza iz prirodnih staništa i sprječavanja degradacije okoliša. Uz glavne ciljeve zbog kojih ova tehnologija spada u održivu imamo još niz popratnih prednosti dobivenih ovim načinom uzgoja (Waite i sur., 2014).

Istraživanje Ekasari i sur. (2015) pokazuje da uzgoj zrelih jedinki primjenjujući bioflok tehnologiju i proizvodnja ličinki može poboljšati kvalitetu mlade ribe nilske tilapije i učinkovitost proizvodnje.

2.14.1. Bioflok i kontrola bolesti

Bioflok može biti nova strategija za kontrolu bolesti, za razliku od konvencionalnih pristupa, kao što su antibiotici, antifungicidi, probiotici i prebiotičke primjene. Učinak „prirodnog probiotika" u bioflok tehnologiji mogao bi djelovati iznutra i / ili izvana protiv *Vibrio spp.* i ektoparazita. Ovaj učinak je moguć zbog velike grupe mikroorganizama, uglavnom bakterija koje se smatraju prvom trofičkom razinom u sustavu (Emerenciano i sur., 2013).

Bakterije i njezini sintetizirani spojevi mogu djelovati na sličan način kao organske kiseline i mogu biti učinkovita sredstva biokontrole, također dajući korisnu mikrobiološku ravnotežu domaćinu u crijevima (Sinha i sur., 2008).

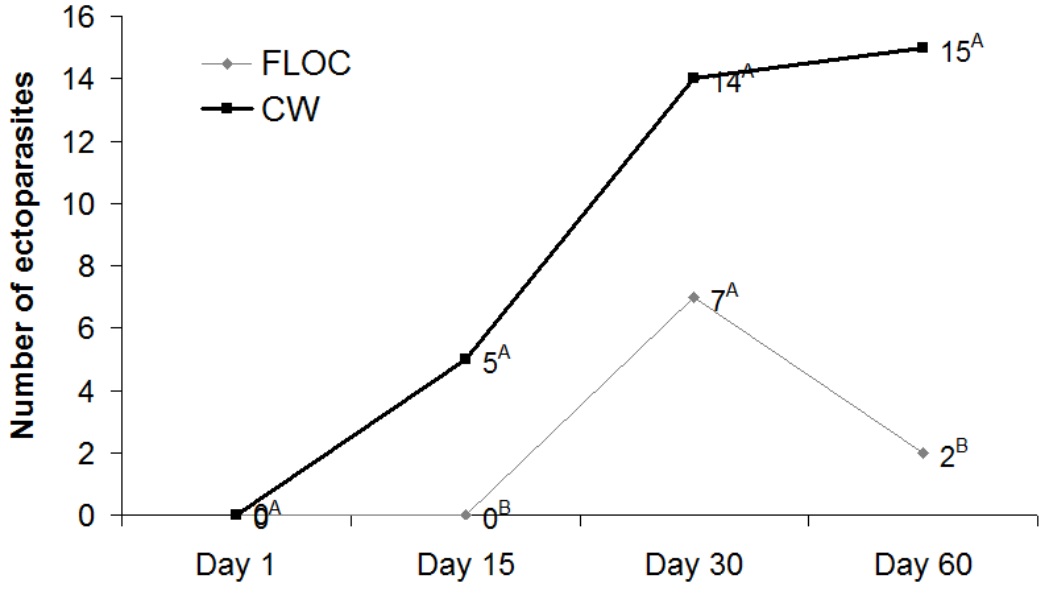
Brojna istraživači su primijetili da su kozice najzdravije i najbolje rastu u akvakulturalnim sustavima koji imaju visoke razine algi, bakterija i drugih prirodnih biota (Kuhn i sur., 2009). Probiotici su održive mikrobne stanice koje imaju blagotvoran učinak na

zdravlje domaćina poboljšavajući njegovu crijevnu ravnotežu kroz poboljšanu vrijednost hrane, enzimski doprinos za probavu, inhibiciju patogenih mikroorganizama, antimutagenost i antikarcinogenost, faktore rasta koji potiču i pojačavaju imunosni odgovor (Verschuere i sur., 2000). Crab (2010) je inokulirao bioflok reaktore sa smjesom bacila u namjeri da dobije probiotički bioflok. Njegovi rezultati pokazuju da je voda imala 5 puta manje opterećenje s *Vibrio spp.* u odnosu na bazene uzgajane s umjetnom hranom. Ovi rezultati pokazuju da inokulacija bioflok reaktora probiotičkim bakterijama može imati biološko djelovanje prema *Vibrio spp.*, ali cijepljenje bioflok sustava sa specifičnim željenim mikroorganizmima treba dodatno ispitati kako bi se potvrdili blagotvorni učinci. Ostala zanimljiva polja istraživanja su moguće imunostimulirajuće značajke biofloka. Poboljšanje urođenog imuniteta uzgajanih organizama može omogućiti široki spektar otpornosti na infekcije (Crab i sur., 2012).

Bioflokulent može sadržavati i imuno-stimulirajuće spojeve dok god bioflok tehnologija sadrži bakterije i bakterijske proizvode (Crab i sur., 2012).

Radni mehanizam bioflok mikroorganizama protiv patogena čini se da je konkurencija u prostoru, podlozi i hranjivim tvarima. Neki esencijalni nutrijenti kao što je dušik su potrebni objema grupama (tj. heterotrofne bakterije vs *Vibrio spp.*) i tako dolazi do ograničavanja njihovog rasta. Inhibirajući spojevi izlučeni pomoću mikroorganizama biofloka, intenziteta svjetla i tipa izvora ugljika, također mogu smanjiti razvoj patogena. Nažalost, ograničene informacije dostupne su na tom području (Emerenciano i sur., 2013).

U studiji sa ribljim mladuncima (Graf 1.) je objavljeno da Tilapija (početna težina 0.98 ± 0,1 g) uzgajana pod bioflok tehnologijom s ograničenom izmjenom vode prikazuje manje ektoparazita u škrgama i sluznici ektoderma u odnosu na konvencionalne sustave izmjene vode, nakon 60 dana (Emerenciano i sur., 2009).



Graf 1: Razlika između količine ektoparazita u bioflok sustavu i konvencionalnom sustavu uzgoja.
Izvor: Emerenciano i sur., 2009.

2.14.2. Bioflok i akvaponija

Akvaponski sustav spada u integrirani multitrofični sustav koji inkorporira reciklirajući akvakulturni sustav i proizvodnju biljaka bez uporabe zemlje. Recirkulacijski sustavi su dizajnirani za uzgoj velikih količina ribe u relativno malom volumenu vode tretirajući je različitim procesima filtracije kako bi se iz vode uklonile otpadne tvari metabolizma ribe (Rakocy, 1999). Nastale otpadne tvari metabolizma riba ne moraju biti izbačene iz sustava ukoliko su usmjerene u sekundarnu uzgojnu kulturu koja ima ekonomsku vrijednost ili određen benefit primarnoj proizvodnji ribe. Sustav u kojem se uzgaja dodatna kultura korištenjem nusproizvoda primarne proizvodnje neke vrste smatra se integriranim sustavom. Ako su sekundarni usjevi akvatični ili ako se kopnene biljke uzgajaju u kombinaciji s ribom, integrirani sustav se naziva akvaponskim sustavom. BFT se uspješno primjenjuje u akvaponiji. Prisutnost velikog broja mikroorganizama biofloka i različitih hranjivih tvari (mikro i makronutrijenti) koje potječu iz nepojedene ili neprobavljene hrane mogu pridonijeti biljnoj prehrani (Emerenciano i sur., 2013).

Primjenom BFT u akvaponiji treba biti oprezan, uglavnom zbog upravljanja krutih tvari u vodi. Visoka koncentracija krutih tvari može uzrokovati pretjerano prianjanje mikroorganizama na biljke korijena, što uzrokuje nedostatnu oksigenaciju slabeći rast biljke. U takvim kombiniranim sustavima, često su potrebni filtrirajući i taložni uređaji (Emerenciano i sur., 2013).

2.15.Nedostaci bioflok tehnologije

Jedna od glavnih prepreka bioflok tehnologije jest osvijestiti poljoprivrednike njenoj implementaciji budući da je pojam bioflok tehnologije protivan uvriježenom mišljenju kako voda u ribnjaku mora biti čista, tj. prozirna (Avnimelech, 2009).

Možda je najvažnija zadaća, potrebna za bolje razumijevanje složenih bioflok mikrobnih zajednica i razvijanje tehnike upravljanja, usmjeriti i optimizirati njihovo osnivanje, stabilnost, kontrolu strukture i aktivnosti. Ovo je usko povezano s pitanjima pogodnostima kruženja vode u sustavu i potencijalu za ponovno korištenje vode unutar i među proizvodnim jedinicama. Potrebna su dodatna istraživanja kako bi se bolje razumjeli čimbenici koji utječu na proizvodnju i upravljanje bentosom u ovim sustavima kako bi se povećala učinkovitost iskoristivosti hrane za uzgajane organizme uz istodobno minimaliziranje proizvodnje otpada. Projektiranje i oblikovanje ribnjaka i sustava su važna područja istraživanja u tom pogledu, a posebno u kontekstu poboljšanje energetske učinkovitosti (Browdy i sur., 2012).

Detaljno znanje o odabiru i plasmanu aeratora još uvijek nedostaje. Buduća istraživanja trebaju se baviti ovim problemom i također istražiti nove koncepte, kao što su integracija od bioflok tehnologije u različite sustave, što može spriječiti povećanje krutih tvari kroz pravilnu konfiguraciju sustava (Avnimelech, 2009).

Građevinski aspekti za izgradnju ribnjaka bioflok tehnologije moraju paziti na osiguravanje aeracije. Dakle, potrebno je poboljšanje i fino podešavanje izvedbe ovih ribnjaka uz uvjete miješanja vode i kontrole bentosa (Avnimelech, 2009).

Izbor adekvatnih mikrobnih vrsta kao izvora direktne hrane za uzgajane organizme ima izniman značaj. Znamo manje od 1% raznolikosti mikroorganizama uspješnih u vodenom ili morskom okolišu. Identifikacija i karakterizacija može otkriti mikrobno udruženje koje je u mogućnosti živjeti u uzgajanim uvjetima (Ninawe i Selvin, 2009). Mikroorganizmi koji mogu kolonizirati *in situ* supstratima unapređuju formiranje bioflokas odgovarajućim biokemijskim komponentama (amino kiseline, masne kiseline i ugljikohidrati). Odabrani mikroorganizmi se mogu koristiti pojedinačno ili zajednički za proizvodnju vitamina, imunostimulatora, egzogenih enzima, kao i drugih spojeva koji poboljšavaju učinkovitost metabolizma uzgajanih organizama (Martínez-Córdova i sur., 2016).

Vrlo važan aspekt u provedbi bioflok tehnologije u akvakulturi jest praćenje ribnjaka. Bioflok tehnologija još nije potpuno predvidljiva i stoga može biti rizično za provedbu na farmi. Mogući alati za monitoring su praćenje koncentracija ukupne suspendirane krute tvari ili bioflokulenta, i taloženja bioflokulenta koje se mogu izmjeriti brzo i jednostavno (De Schryver i sur., 2008).

Čim poljoprivrednici budu uvjereni da provode pravu tehniku, trebati će uvjeriti i potrošače da kupe akvakulturne proizvode podrijetlom iz bioflok ribnjaka. Pojednostavljena ideja recikliranja izlučevina vodenih organizama u hrani može uplašiti potrošače i odvratiti ih od kupnje tih proizvoda. Unatoč toj zapreci, jasno je da rastom ljudske populacije tehnološki napredak u akvakulturi je potreban da zaštiti divlje populacije riba i kontrolira cijenu ribe (Jiang, 2010).

3. Zaključak

Bioflok je održiva tehnologija kojoj je princip rada mala ili nulta izmjena vode uz razgradnju otpadnih tvari nastalih od uzgajanih organizama ili nepojedene hrane. Razvijajući mikroorganizme kao temelj sustava, dobivena je kontrola kvalitete vode i dodatan izvor hrane za uzgajane organizme uz veću ekonomsku isplativost.

Korisne značajke bioflok tehnologije kreću se od kontrole kvalitete vode do *in situ* proizvodnje hran. Bioflok tehnologija nudi akvakulturi održiv instrument istovremeno pazeći na ekološke, socijalne i ekonomske probleme povezane sa rastom ove grane proizvodnje hrane. Istraživači imaju izazov dalje razvijati ovu tehniku, a poljoprivrednici provoditi to u njihovim budućim vodenim sustavima. Osnove tehnologije su postavljene, ali njezin daljnji razvoj, fino podešavanje i uspješna provedba iziskuje daljnje analize te razvoj temeljen na trenutnim i budućim istraživanjima.

4. Popis literature

1. Aquacop (1975) Maturation and spawning in captivity of penaeid shrimp: Penaeus merguiensis de Man, Penaeus japonicus Bate, Penaeus aztecus Ives, Metapenaeus ensis de Haan and Penaeus semisulcatus de Haan. In: Avault W, Miller R, editors. Proceedings of the Sixth Annual Meeting World Mariculture Society, Lousiana State University, Baton Rouge, pp. 123–129.
2. Avnimelech, Y. (1993) Control of microbial activity in aquaculture systems: Active suspension ponds. World Aquaculture 34:19–21
3. Avnimelech Y. (2007) Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bioflocs technology ponds. Aquaculture 264:140–147.
4. Avnimelech, Y., 2009. Biofloc Technology — A Practical Guide Book. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, United States. 182 pp
5. Avnimelech Y. (2012) Biofloc Technology – A Practical Guide Book, World aquaculture society
6. Azam, F., T. Fenchel, K.G. Field, K.S. Gray, L.A. Meyer-Reil and F. Thigstad. (1983). The ecological role of water-column microbes in the sea. Mar. Ecol. Prog. Ser. 10: 257–263
7. Azim ME, Little DC (2008) The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: Water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (Oreochromis niloticus). Aquaculture 283:29–35.
8. Boyd, C.E. (2009) Estimating mechanical aeration requirement in shrimp ponds from
9. the oxygen demand of feed. In The Rising Tide, Proceedings of the Special Session on Sustainable Shrimp Farming (Ed. by C.L. Browdy & D.E. Jory), pp. 230–34. World Aquaculture Society, Baton Rouge
10. Bratoš Cetinić, A. (2017), Utjecaj kaveznog uzgoja na morkis okoliš, Sveučilište u Dubrovniku
11. Browdy, C.L., Venero, J.A., Stokes, A.D. & Leffler, J. (2009) Superintensive biofloc production systems technologies for marine shrimp Litopenaeus vannamei: Technical challenges and opportunities. In New Technologies in Aquaculture (Ed. by G. Burnell & G. Allan), pp. 1010–28. Woodhead Publishing, Cambridge
12. Browdy C.L., Ray A.J., Leffler J.W., Avnimelech Y. (2012) Biofloc-based Aquaculture Systems DOI: 10.1002/9781118250105.ch12
13. Brune, D.E., Schwarz, G., Eversole, A.G., Collier, J.A. & Schwedler, T.E. (2003) Intensification of pond aquaculture and high rate photosynthetic systems. Aquacultural Engineering 28:65–86.
14. Crab, R., Avnimelech, Y., Defoirdt, T., Bossier, P., Verstraete, W., (2007) Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. Aquaculture 270, 1–14
15. Crab, R., (2010) Bioflocs technology: an integrated system for the removal of nutrientsand simultaneous production of feed in aquaculture. PhD thesis, Ghent University.178 pp

16. Crab R., Defoirdt T., Bossier P., Verstraete W., (2012) Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. Aquaculture 356–357 (2012) 351–356
17. Cuzon G, Lawrence A, Gaxiola G, Rosas C, Guillaume J (2004) Nutrition of Litopenaeus vannamei reared in tanks or in ponds. Aquaculture 235:513–551
18. De Schryver, P., Crab, R., Defoirdt, T., Boon, N., Verstraete, W., 2008. The basics of bioflocs technology: the added value for aquaculture. Aquaculture 277, 125–137
19. Dosdat A. (2015) Environmental impact of aquaculture. UNESCO – EOLSSSAMPLE CHAPTERSFISHERIES AND AQUACULTURE – Vol. IV
20. Ekasari J., Rheza Rivandi D., Putri Firdausi A., Surawidjaja E.H., Zairin Jr. M., Bossier P., De Schryver P. (2015) Biofloc technology positively affects Nile tilapia (Oreochromis niloticus) larvae performance. Aquaculture 441 (2015) 72–77
21. Emerenciano M, Avnimelech Y, Gonzalez R, Leon ATD, Cuzon G, Gaxiola G (2009) Effect of bio-floc technology (BFT) in ectoparasite control in Nile tilapia Oreochromis niloticus culture. CD of Abstracts of World Aquaculture Society Meeting 2009, Veracruz, Veracruz, Mexico.
22. Emerenciano M, Cuzon G, Goguenheim J, Gaxiola G, Aquacop (2011) Floc contribution on spawning performance of blue shrimp Litopenaeus stylirostris. Aquac Res (published online first DOI: 10.1111/j.1365-2109.2011.03012.x)
23. Emerenciano M., Gaxiola G., Cuzon G. (2013) Biofloc Technology (BFT): A Review for Aquaculture Application and Animal Food Industry. DOI: 10.5772/53902
24. FAO (1988). Definition of aquaculture, Seventh Session of the IPFC Working Party of Expects on Aquaculture, IPFC/WPA/WPZ, p.1-3, RAPA/FAO, Bangkok
25. FAO (2009) The state of food and agriculture, Livestock in the balance, Rome, ISBN 978-92-5-106215-9
26. FAO (2012) The state of food and agriculture, Rome, ISBN 978-92-5-107225-7
27. FAO (2014) The state of food and agriculture, Opportunities and challenges, Rome, ISBN 978-92-5-108275-1
28. Gamble, M (2012) All About Aquaculture: Environmental Risks and Benefits
29. Garen P, Aquacop (1993) Nuevos resultados en la cría intensiva de camarón Penaeus vannamei y P. stylirostris. In: Calderón JV, Sandoval VC, editors. Memorias del I Congresso Ecuatoriano de Acuicultura, Guayaquil, 18-23 Oc tubre 1992. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, pp. 137–145.
30. Hanson, T.R., Posadas, B., Samocha, T.M., Stokes, A.D., Losordo, T. & Browdy, C.L. (2009) Economic factors critical to the profitability of super-intensive biofloc P1: SBT Color: 1C
31. Hardy RW (2010) Utilization of plant proteins in fish diets effects of global demand and supplies of fishmeal. Aquac Res 41:770-776.
32. Hargreaves, J.A. (2013) Biofloc Production Systems for Aquaculture
33. Hepher, M. (1988) Nutrition of Pond Fish Cambrige Uinveristy Press, Cambrige

34. Hopkins, J.S., Hamilton, R.D. Sandifer, P.A. & Browdy, C.L. (1993) Effect of water exchange rate on production, water quality, effluent characteristics and nitrogen budget of intensive shrimp ponds. Journal of the World Aquaculture Society 24: 304–20.
35. Jiang, S., (2010) Aquaculture, capture fisheries, and wild fish stocks. Resource Energy Economics 32, 65–77.
36. Kuhn DD, Boardman GD, Lawrence AL, Marsh L, Flick GJ (2009) Microbial flocs generated in bioreactors is a superior replacement ingredient for fishmeal or soybean meal in shrimp feed. Aquaculture 296:51–57.
37. Kuhn DD, Lawrence AL, Boardman GD, Patnaik S, Marsh L, Flick GJ (2010) Evaluation of two types of bioflocs derived from biological treatment of fish effluent as feed ingredients for Pacific white shrimp, Litopenaeus vannamei. Aquaculture 303:28–33.
38. Kuhn , D. (2012) Biofloc Technology Options For Aquaculture David Kuhn, Ph.D. Department of Food Science
39. Lawrence R . Pomeroy, Peter J . leB . Williams , Farooq A zam, and John E . H (2007) The Microbial Loop
40. Lezama-Cervantes, C., Paniagua-Michel, J., 2010. Effects of constructed microbial mats on water quality and performance of Litopenaeus vannamei post-larvae. Aquaculture Engineering 42, 75–81.
41. Liang, W., Luo, G., Tan, H., Ma, N., Zhang, N., & Li, L. (2014). Efficiency of biofloc technology in suspended growth reactors treating aquacultural solid under intermittent aeration. Aquacultural Engineering, 59, 41-47.
42. Martìnez-Còrdova L.R., Emerenciano M., Miranda-Baeza A. and Martìnez-Porchas M. (2015) Microbial-based systems for aquaculture of fish and shrimp: an updated review, doi: 10.1111/raq.12058
43. McDonough W, Braungart M. (2002) Cradle to cradle: rethinking the way we make things. New York (NY): North Point
44. McIntosh R.P. 2000. Changing paradigms in shrimp farming: V. establishment of heterotrophic bacterial communities. Global Aquaculture Alliance Advocate 3:52-54
45. Moss, S.M. & Leung, P.S. (2006) Comparative cost of shrimp production: earthen ponds versus recirculating aquaculture systems. In Shrimp Culture: Economics, Marketing and Trade (Ed. by P.S. Leung & C.R. Engle), pp. 291–300. Blackwell Publishing, Ames
46. National Oceans Office (2001) Impact of aquaculture
47. Naylor, R.L., Goldburg, R.J., Primavera, J.H., Kautsky, N., Beveridge, M.C.M., Clay, J., Folke, C., Lubchenco, J., Mooney, H., Troell, M., (2000) Effect of aquaculture on world fish supplies. Nature 405, 1017–1024.
48. Ninawe A, Selvin J. (2009) Probiotics in shrimp aquaculture: avenues and challenges. Crit Rev Microbiol. 2009;35:43–66
49. Pomeroy, L.R. (1974) The ocean's food web: a changing paradigm. BioScience 24: 409504.

50. Rakocy, J.E. (1999) Aquaculture engineering: The status ofaquaponics, Part 1. Aquacult. Mag. 25:83–88.
51. Ray A. J., Lewis, B.L., Browdy C.L., Leffler J.W., (2010) Suspended solids removal to improve shrimp (Litopenaeus vannamei) production and an evaluation of a plant-based feed in minimal-exchange, superintensive culture systems, Volume 299, Issues 1–4, February 2010, Pages 89-98
52. Ray A (2012) Biofloc technology for super-intensive shrimp culture. In: Avnimelech Y, editor. Biofloc Technology - a practical guide book, 2nd ed., The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, USA. pp. 167-188
53. Rosenberry B (2010) Controlling pH in biofloc ponds. The shrimp news international.
54. Schneider, O., Sereti, V., Eding, E.H., Verreth, J.A.J., (2005) Analysis of nutrient flows in integrated intensive aquaculture systems. Aquaculture Engineering 32, 379–401.
55. Sheldon,R.W., A.Prakash and W.H. Sutcliffe (1972) The size distribution of particles in ocean. Limnol. Oceanogr. 17: 327-340.
56. Sinha AK, Baruah K, Bossier P (2008) Horizon Scanning: the potential use of biofloc as an anti-infective strategy in aquaculture – an overview. Aquac Health Int 13:8-10.
57. Sohier L (1986) Microbiologie appliquée à l'aquaculture marine intensive. pp. 119. Thèse Doctorat d'Etat, Université Aix-Marseille II Marseille, France
58. Šantić D. (2010) Raspodjela i aktivnost prokariotskih mikroorganizama u području srednjeg i južnog Jadrana, Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu
59. Ternjej I. (2017), Plankton, Prirodoslovni fakultet Sveučilišta u Zagrebu
60. Verschuere, L., Rombaut, G., Sorgeloos, P., Verstraete, W., (2000) Probiotic bacteria as biocontrol agents in aquaculture. Microbiology and Molecular Biology Reviews 64, 655–671.
61. Vidal, O.M., Granja, C.B., Aranguren, L.F., Brock, J.A.&Salazar, M. (2001) A profound effect of hyperthermia on survival of Litopenaeus vannamei juveniles infected with white spot syndrome virus. Journal of the World Aquaculture Society 32:364–72.
62. Waite R, Beveridge M., Brummett R., Castine S., Chaiyawannakarn N., Kaushik S., Mungkung R., Nawapakilai S., Philips M. (2014) Improving productivity and environmental performance of aquaculture
63. Wohlfarth, G.W. & Schroeder, G.L. (1979) Use of manure in fish farming a review. Agricultural Wastes 1(4):279–99.
64. World Ocean Review W. The future of fish – the fisheries of the future. Hamburg: International Ocean Institute-MARIBUS; 2013.

Izvori s weba:

1. Aquaponics: Akvakultura u sektoru proizvodnje hrane (2012), <http://www.croenergo.eu/aquaponics-akvakultura-u-sektoru-proizvodnje-hrane-5077.aspx> Pristupljeno 20.03.2017.
2. Biofloc tehnology definition, (2015), <https://definedterm.com/a/definition/194728 > Pristupljeno 13.08.2017.
3. Food and Agriculture Organization of the United Nations, <http://www.fao.org/aquaculture/en/> Pristupljeno 25.03.2017.
4. Food and Agriculture Organization (2016): The State of World Fisheries and Aquaculture. Dostupno na: http://www.fao.org/3/a-i5555e.pdf. Pristupljeno 15.03.2017.
5. Aquaculture & the Environment, <http://www.nmfs.noaa.gov/aquaculture/faqs/faq_aq_environment.html#top> Pristupljeno 26.03.2017.
6. Šolić, M., Protok energije i kruženje tvari u moru, Ekologija mora, <http://jadran.izor.hr/hr/nastava/solic/EKOLOGIJA%20MORA/PREDAVANJA/09.%20PROTOK%20ENERGIJE%20I%20KRUZENJE%20TVARI%20U%20MORU.pdf> Pristupljeno 30.03.2017.

Popis tablica:

1. FAO (2013) Global Aquaculture Production statistics database updated to 2013 Summary information Fisheries and Aquaculture Department, <http://www.fao.org/3/a-i4899e.pdf> Pristupljeno 25.03.2017.
2. Avnimelech Y. (2012) Biofloc Technology – A Practical Guide Book, World aquaculture society

Popis grafova:

1. Emerenciano M, Avnimelech Y, Gonzalez R, Leon ATD, Cuzon G, Gaxiola G (2009) Effect of bio-floc technology (BFT) in ectoparasite control in Nile tilapia Oreochromis niloticus culture. CD of Abstracts of World Aquaculture Society Meeting 2009, Veracruz, Veracruz, Mexico.

Popis slika:

1. Bratoš Cetinić, A. (2017), Utjecaj kaveznog uzgoja na morkis okoliš, Sveučilište u Dubrovniku
2. Bratoš Cetinić, A. (2017), Utjecaj kaveznog uzgoja na morkis okoliš, Sveučilište u Dubrovniku
3. Ternjej I. (2017), Plankton, Prirodoslovni fakultet Sveučilišta u Zagrebu
4. Crab R., Defoirdt T., Bossier P., Verstraete W., (2012) Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. Aquaculture 356–357 (2012) 351–356
5. Emerenciano M., Gaxiola G., Cuzon G. (2013) Biofloc Technology (BFT): A Review for Aquaculture Application and Animal Food Industry. DOI: 10.5772/53902
6. Emerenciano M., Gaxiola G., Cuzon G. (2013) Biofloc Technology (BFT): A Review for Aquaculture Application and Animal Food Industry. DOI: 10.5772/53902
7. Emerenciano M., Gaxiola G., Cuzon G. (2013) Biofloc Technology (BFT): A Review for Aquaculture Application and Animal Food Industry. DOI: 10.5772/53902
8. Hargreaves, J.A. (2013) Biofloc Production Systems for Aquaculture, <http://observatorioacuicola.org/userfiles/sistemas%20de%20bioflocs.pdf> Pristupljeno 01.04.2017.

Životopis

Ivan Gulin rođen je 26.07.1992. u Šibeniku gdje je završio Osnovnu školu Jurja Dalmatinca i Gimnaziju Antuna Vrančića. Nakon završene srednje škole 2011. godine upisuje Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, preddiplomski studij Ekološka poljoprivreda te 2014. godine obranom završnog rada „Smilje (*Helichrysum italicum*) kao izvor eteričnog ulja“ pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Ivanke Žutić i neposredne voditeljice doc.dr.sc. Sanje Radman postaje sveučilišni prvostupnik (*baccalaureus*) inženjer ekološke poljoprivrede. Daljnje školovanje nastavlja na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, diplomski studij Ekološka poljoprivreda i agroturizam u okviru kojeg nastaje i ovaj diplomski rad pod mentorstvom doc.dr.sc. Daniela Matulića „Primjena *biofloc* tehnologije u akvakulturi“. Godine 2016. upisuje Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, diplomski studij Ekologije i zaštite prirode smjer Kopnene vode gdje trenutno studira. U privatnom životu je veliki zaljubljenik u prirodu i strastveni lovac.