"Mogućnosti uzgoja desetonožnih rakova u zatvorenim recirkulacijskim sustavima"

Tomulić-Holjar, Marino

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Dubrovnik / Sveučilište u Dubrovniku**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:155:063499

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

Repository of the University of Dubrovnik

SVEUČILIŠTE U DUBROVNIKU
ODJEL ZA AKVAKULTURU
PREDDIPLOMSKI STUDIJ AKVAKULTURA

Marino Tomulić-Holjar

Mogućnost uzgoja desetonožnih rakova u zatvorenim recirkulacijskim sustavima

ZAVRŠNI RAD

Dubrovnik, rujan 2019.

Ovaj završni rad izrađen je pod stručnim vodstvom doc. dr. sc. Marijane Pećarević, u sklopu preddiplomskog studija Akvakultura na Odjelu za akvakulturu Sveučilišta u Dubrovniku.

SAŽETAK

Snažan rast akvakulture u svijetu kao i velika potražnja svježeg proizvoda na tržištu zahtjeva nova tehnološka rješenja za uzgoj rakova. Cilj ovog rada je pregled mogućnosti uzgoja desetonožnih rakova u zatvorenim recirkulacijskim sustavima. Ovaj rad uključuje pogled na recirkulacijske sustave koji koriste morsku vodu za uzgoj hlapa (*Homarus gammarus*), njihove mogućnosti i mane. Također, sadrži kratak osvrt na *bioflock* (BF) metodu uzgoja i njezine prednosti i nedostatke, te usporedbu uzgoja kozica (*Litopenaeus vannamei*) u recirkulacijskom sustavu sa bistrom vodom i *bioflock* tehnikom.
Ključne riječi: Akvakultura, Rakovi, Hlap, Kozice, Zatvoreni recirkulacijski sustavi (RAS), *Biofloc* (BF)

ABSTRACT

High growth of aquaculture in the world as well as increasing demand for fresh produce on the market demands new technological solutions for crustacean farming. This paper is a review of current possibilities in recirculating aquaculture systems (RAS) for farming of European lobster (*Homarus gammarus*). A brief review of *bioflock* (BF) technique, as well as a comparison between clear-water RAS and biofloc systems for shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production are also included.
Key words: Aquaculture, Crustaceans, European lobster, Shrimps, Recirculating aquaculture systems (RAS), *Biofloc* (BF)

SADRŽAJ

1. UVOD 1

2. BIOLOGIJA I EKOLOGIJA RAKOVA 4

2.1. DESETONOŽNI RAKOVI (DEKAPODA) 9

2.1.1. Biologija desetonožnih rakova 10

2.1.1.1. Plivači (Natantia) 11

2.1.1.2. Puzači (Reptantia) 11

3. MOGUĆNOSTI UZGOJA RAKOVA 13

3.1. TROPSKA KLIMATSKA ZONA 14

3.2. (TOPLA) UMJERENA I MEDITERANSKA KLIMATSKA ZONA 15

3.3. UMJERENA KLIMATSKA ZONA 15

4. INTENZIVNI UZGOJ RAKOVA 17

4.1. RECIRKULACIJSKI SUSTAV 17

4.1.1. Razvoj metoda intenzivnog uzgoja europskog hlapa u recirkulacijskom sustavu 18

4.1.1.1. Mrijestilište hlapa Kvitsøy 19

4.1.1.2. Kvaliteta vode 20

4.1.1.3. Matični stok i proizvodnja post-ličinki 22

4.1.1.4. Testiranje različitih metoda uzgoja 24

4.1.1.5. Utjecaj prehrane, substrata i porijekla („obitelji“) na rast juvenilnih hlapova u pojedinačnim odjeljcima 29

4.1.1.6. Stopa rasta i procjena vremena proizvodnje 35

4.1.1.7. Utjecaj astaksantina na pigmentaciju rakova 38

4.1.1.8. Izgledi za budućnost 41

4.1.1.9. Prototip automatske proizvodne jedinice 41

4.1.2. Uzgoj europsko hlapa *Homarus gammarus* uz korištenje prirodnih geotermalnih izvora 43

***4.2. BIOFLOC* (BF) METODA UZGOJA 44**

4.2.1 Usporedba *biofloc* sustava i recirkulacijskog sustava bistre vode za proizvodnju kozica (*Litopenaeus vannamei*) 47

5. ZAKLJUČAK 51

6. LITERATURA 52

1. UVOD

U zadnjih 50 godina, povećanje platežne moći u Japanu i državama Europe i Sjeverne Amerike, dovelo je do velikog interesa za uzgojem slakovodnih i morskih kozica, riječnih rakova i jastoga (Wickins i Lee, 2012). Najveći dio proizvodnje uzgajanih rakova i kozica dolazi iz jugoistočne Azije te Ekvadora (Wickins i Lee, 2012).

Postoje razne opcije i metode koje se koriste za uzgoj rakova. Metode uzgoja se, s obzirom na osnovne značajke dijele na ekstenzivni, polu-intenzivni, intenzivni i super-intenzivni uzgoj. Intenziviranjem akvakulture u svijetu suočeni smo sa velikim problemima, poput dostupnosti vode dobre kvalitete (medij neophodan za uzgoj), problema održivosti uzgojnih tehnika i sustava, te najznačajnijeg problema negativnog utjecaja na okoliš. Ovaj rad fokusira se na super-intenzivne metode uzgoja desetonožnih rakove i mogućnosti suočavanja s problemima moderne akvakulture. Posebna pozornost obraća se na istraživanje mogućnosti uzgoja velikih rakova, poput jastoga i hlapa.

Recirkulacijski sustav vrsta je super-intenzivnog uzgoja. To su kompleksni sustavi čije komponente moraju osigurati: obnovu kisika, otklanjanje amonijaka i ostalih štetnih otopljenih tvari, otklanjanje krutih otpadnih čestica, održavanje optimalne temperature vode te mikrobiološko pročišćavanje vode. Takvi sustavi ne ovise o lokaciji i klimatskim uvijetima same lokacije, te nema potrebe za većom količinom vode s obzirom da se dnevno nadoknađuje samo voda izgubljena evaporacijom. Recirkulacijski sustavi su iznimno produktivni, strogom kontrolom kvalitete vode omogućava se velika nasadna gustoća u bazenima te veliki prinos po volumenu bazena. Ti sustavi zahtjevaju velika financijska ulaganja i stručni kadar, no unatoč financijskim i tehnološkim zahtjevima, recirkulacijski sustavi budućnost su akvakulture.

„Norwegian Lobster Farm AS“ 2000. godine u Norveškoj pokreće prvi projekt istraživanja i razvoja pogona za uzgoj hlapa komercijalne veličine na

kopnu. Cilj ovog projekta je bila procijena potencijala uzgoja europskog hlapa u pogonu na kopnu, uz korištenje morske vode u recirkulaciji. Kako bi se ovaj projekt i njegova održivost mogli procijeniti, bilo je potrebno krenuti u razvoj od samog početka, budući da nema primjerene tehnologije za ovakav uzgoj hlapa, nema formulirane ishrane, kao ni adekvatnog istraživanja tržišta, a uz to, gotovo da ne postoji dokumentacija o korištenju recirkulacijskog sustava morske vode za uzgoj hlapa komercijalne veličine (Kristiansen i sur., 2004).

Veliki napredak akvakulture na području poput recirkulacije morske vode i automatizacije tehnologije za uzgoj, otvorilo je mogućnost uzgoja hlapa unatoč zahtijevnosti postupka (Nicosia i Lavalli, 1999; Kristiansen i sur., 2004). Na temelju tog napretka osnovan je “Centar izvrsnosti europskog hlapa”, a partneri-osnivači su Island, Danska, Norveška i Ujedinjeno Kraljevstvo. Cilj ovog centra je ispitivanje održivosti uzgoja europskog hlapa na kopnu, uz pomoć prirodnih geotermalnih izvora na Islandu (Thorarinsdottir i sur., 2014).

Istraživanjem održivosti akvakulturnih sustava došlo je do razvoja tehnologije uzgoja rakova koja ima potencijal rješavanja modernih problema ovog segmenta akvakulture, a to je *biofloc* (BF) tehnologija. Ova tehnologija uključuje tehniku poboljšanja kvalitete vode balansiranjem koncentracije ugljika i dušika u sustavu. Privukla je puno pozornosti kao održiva metoda za kontrolu kvalitete vode, koja posljedično stvara proteine koje uzgajani organizmi mogu iskoristiti kao hranu (Crab i sur., 2012). Ukoliko su ugljik i dušik dobro uravnoteženi, amonijak i organski dušični otpad pretvara se u bakterijsku biomasu (Schneider i sur., 2005). Dodavanjem ugljikohidrata u sustav (povećanje koncentracije ugljika u hrani ili vanjski izvori) potiče se rast heterotrofnih bakterija te apsorpcija dušika kroz proizvodnju mikrobioloških proteina (Avnimelech, 1999). Ovakva apsorpcija dušika rastom bakterijske biomase smanjuje koncentraciju amonijaka u sustavu brže od procesa nitrifikacije (Hargreaves, 2006). U usporedbi sa konvencionalnim tehnologijama za održavanje kvalitete vode, BF je ekonomski isplativija alternative jer su troškovi tretiranja vode manji za oko 30%. Također, uz ovu metodu otvara se i mogućnost potencijalne uštede na troškovima hrane. Iz

navedenih razloga BF može postati jeftina i održiva metoda uzgoja za budućnost akvakulture (Avnimelech, 2009; De Schryver i sur., 2008).

Zatvoreni akvakulturni sustavi za proizvodnju kozica omogućavaju cjelogodišnju dostupnost svježeg proizvoda na tržištu bez obzira na godišnje doba i klimatske uvijete. Dvije metode za proizvodnju kozica, *biofloc* (BF) i recirkulacijski sustav bistre vode, uspoređene su kako bi došli do sustava koji omogućava maksimizaciju proizvodnje u unutarnjim akvakulturnim sustavima (Ray i sur., 2017).

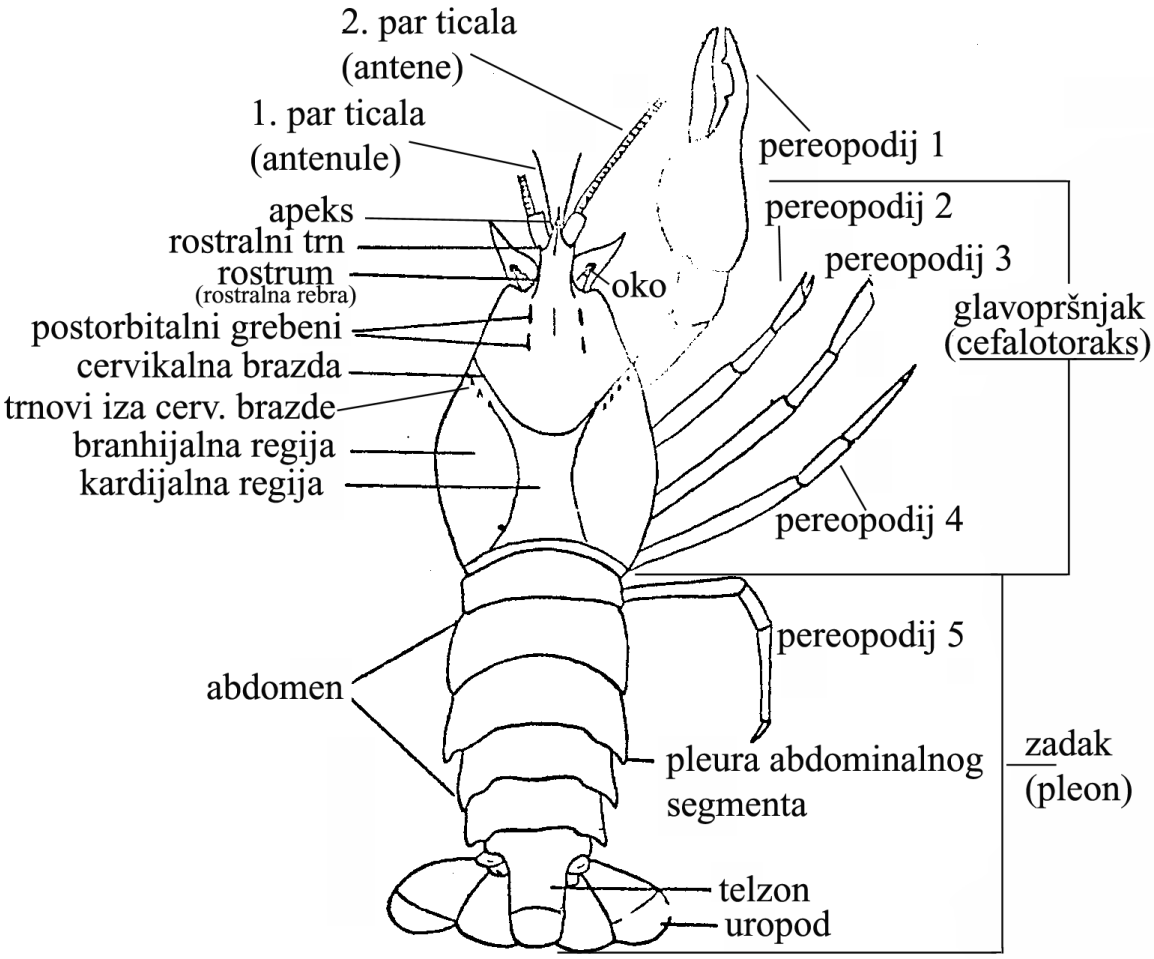
2. BIOLOGIJA I EKOLOGIJA RAKOVA

Rakovi (Crustacea) su jedina skupina člankonožaca (Arthropoda) čiji je život gotovo u potpunosti vezan za vodenu sredinu. Većinom su to morske vrste, od kojih neke ponekad zalaze na kopno. Pretežno su manje veličine, no neki desetonožni rakovi mogu narasti i više od 60 cm (Turk, 2011).

Tijelo viših rakova kolutićavo je i sastavljeno od glave (cephalon), trupa (pereion ili thorax) i zadtka (pleon ili abdomen). Noge za hodanje se nalaze na kolutićima glave i prsnog koša, dok se na repnim kolutićima nalaze noge za plivanje (pleopodi), koje su bolje razvijene kod plivača (kozica). Noge trupa dijele se na torakopodije i pleopodije. Viši rakovi imaju osam parova prsnih nogu, razdjeljenih na dva dijela. Osnovni oblik noga je rašljasta nožica. Prednje noge (maksilipediji) dio su usnog aparata i pomažu kod hranjenja, pa su obično opremljene kliještima. Ostalih 5 parova su noge za hodanje (pereipodiji) pomoću kojih se rakovi kreću, a bolje su razvijene kod puzača koji se kreću po morskom dnu. Prvi par pleopodija desetonožnih rakova preobražen je u organ za parenje, a posljednji par u široke pločice ili uropodije. Oni zajedno sa telzonom tvore repnu peraju pomoću koje rakovi kormilare prilikom plivanja. Opisana kolutićavost u rakova je općenita, no mnoge vrste zbog načina života uvelike odudaraju od osnovne građe (Turk, 2011).

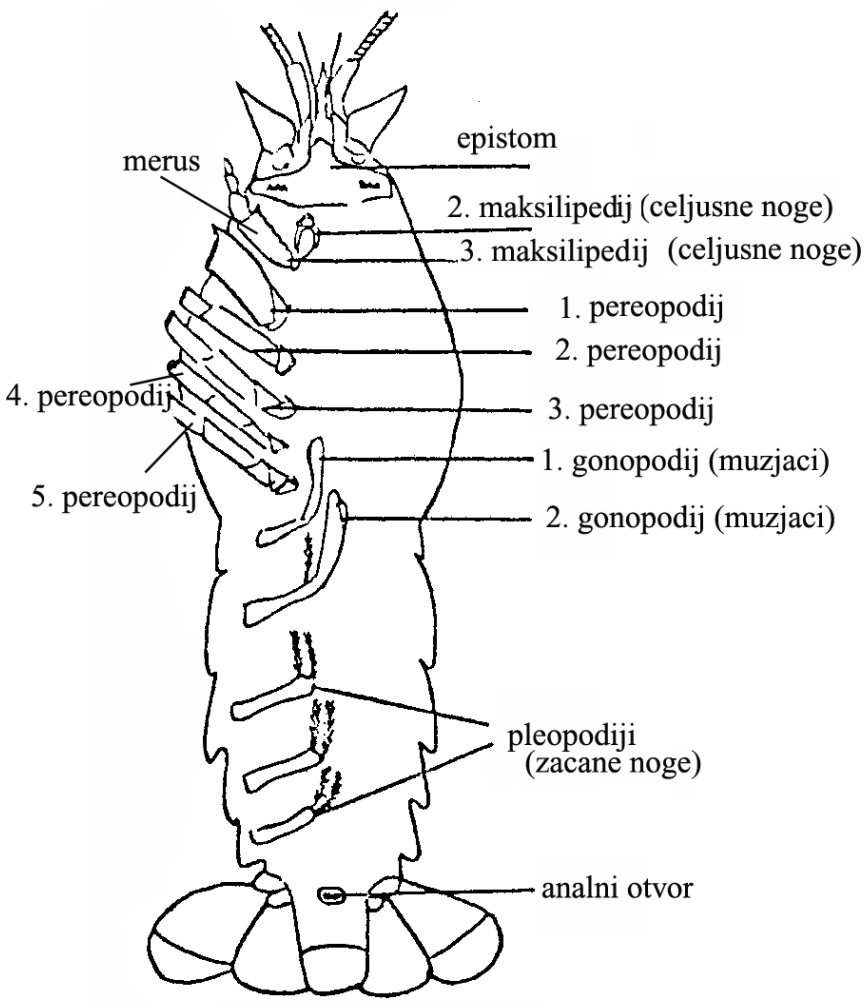
Kod nekih skupina pojedini kolutići trupa i glave su srasli i tvore glavopršnjak. Kod mnogih vrsta, glavopršnjak je prekriven kožnatim naborom, takozvanim košem ili karpaksom. Taj se nabor može preobraziti u tvrdu kućicu, kao kod rakova vitičara. U nekih rakova glava završava šiljastim produžetkom (rostrum). Iz glave rakova izlaze dva para ticala koja služe kao osjetila za dodir i njuh. Prvi par ticala (antennulae), izviru iz rašljaste nožice i imaju jedan ili dva biča na stučku, a najčešće služe za primanje opipnih i mirisnih podražaja. Drugi par ticala (anntenae) sličan je rašljastoj nožici s katkad zakržljalom jednom granom, a takve izrasline nazivamo antenama i one služe za osjet dodira. Usne nožice građene su od jake gornje čeljusti

(mandibula), te slabije razvijene prednje i stražnje maksilule i maksile (Turk, 2011).



Slika 1. Građa rakova – leđna strana

(Prema: http://rakovi.biol.pmf.unizg.hr/rakovi/morfologija.htm)



Slika 2. Građa rakova – trbušna strana

(Prema: http://rakovi.biol.pmf.unizg.hr/rakovi/morfologija.htm)

Vanjski skelet rakova građen je od 4 kutikularna sloja koja proizvode posebne žljezdane stanice u epidermalnom i hipodermalnom sloju kože. Kutikula je građena od hitina i često je pojačana vapnencem i fosfatima te tvori tvrdi skelet. Izrasline vanjskog skeleta sežu i u unutrašnjost tijela te služe kao hvatišta za mišiće i potpora za unutarnje organe. Zbog tvrdog vanjskog skeleta, rakovi se povremeno moraju “presvlačiti”, a taj proces (ekdisis) je složen i iznimno važan za daljni rast i razvoj rakova. Novi skelet odmah nakon “presvlačenja” je mek i omogućuje brzi rast. U koži rakova nalaze se pigmentne stanice s raznim pigmentima (karoteni i melanini), koji omogućuju rakovima prilagodbu okolišu promjenom boje (Turk, 2011).

Tjelesna šupljina (hemocel) razdjeljena je pregradama na više komorica. Najveća je središnja tjelesna šupljina, crijevni zaton. U njemu se nalazi crijevo. Srce je smješteno u perikardijalnom zatonu koji se nalazi na leđnoj strani tijela. Mišići su smješteni u nizu bočnih zatona. Sve komorice obavija tanki sloj stanica, epitel ili celotel, a napunjeni su hemolimfom. Skoro svi mišići rakova su poprečnoprugasti, i njihov raspored odgovara rasporedu tjelesnih kolutića (Turk, 2011).

Živčani sustav gradi trbušna živčana vrpca i par ganglija u svakom kolutiću, a u svakom kolutiću nalazi se i par živčanih čvorova. Trbušna živčana vrpca povezana je sa središnjim spletom živaca koji se nalazi nad ždrijelom. “Mozak” je kod većine rakova podjeljen na 3 dijela koji nadziru različite procese. Osjetila, posebice vid i dodir, dobro su razvijena i omogućuju odlično snalaženje u prostoru. Kod nižih rakova i u ranim ličinačkim stadijima nalazimo samo jedno, nauplijevo oko. U većine ličinki i u kasnijim razvojnim stadijima te u odraslih viših rakova razvijaju se parne oči koje mogu biti priljubljene u glavu ili na stapkama (stapkaste oči). Oči rakova sastavljene su od varijabilnog broja omatidija, a u njima se nalazi pigment. Mnoge dlake i četine povezane sa živčanim sustavom služe za osjet dodira. Stanice za njuh nalaze se na prvim ili drugim antenama, te u blizini usta. Dobro razvijeni organi za ravnotežu sastavljeni su od posebnih kamenčića (statolita) koji leže na dlačicama u posebnim jamicama od hitina. Dlačice su povezane sa osjetilnim stanicama koje registriraju pokrete i promjene u položaju tijela (Turk, 2011).

Probavni sustav započinje ustima, te se nastavlja duž cijelog tijela, a završava analnim otvorom na donjem dijelu telzona. Usta su opremljena čeljustima, a kod hranjenja pomažu i maksilipedi. Kod viših rakova usta se nastavljaju u ždrijelo i jednjak, koji se širi u želudac. Iz želudca se nastavlja srednje crijevo, a probavni sustav završava stražnjim crijevom. Želudac je naboran i opremljen tvorbama za drobljenje hrane, tu se hrana miješa sa probavnim enzimima. Apsorpcija hranjivih tvari odvija se u srednjem crijevu. U viših rakova srednje crijevo je jako kratko i nastavlja se u hitinizirano stražnje crijevo. Većina planktonskih rakova hrani se filtiranjem vode, dok se bentoski organizmi hrane manjim živim ili mrtvim životinjama (Turk, 2011).

Niži rakovi plinove izmjenjuju cijelom površinom tijela, dok viši rakovi sa zadebljanom kutikulom imaju škrge koje se razvijaju iz epipodita (privjesaka) prsnih nogu. Škrge mogu biti listastog, grmolikog ili paperjastog oblika. U nekih vrsta škrge slobodno vise u vodi, a u ostalih su zaštićene leđnim oklopom koji obavija šupljinu za disanje. Desetonožni rakovi mogu, po potrebi, mijenjati smjer strujanja vode kroz šupljinu za disanje, što nekim vrstama omogućuje ukopavanje u mulj ili pijesak. Neke rakovice, koje veći dio života borave na kopnu, u zatvorenoj šupljini za disanje imaju preobražene škrge koje mogu upotrebljavati kao pluća (Turk, 2011).

Krv rakova naziva se hemolimfa, krvni pigment je hemocijan i sadržava bakar. Krvotok je neujednačen i u mnogih vrsta prilično zakržljao. Većina rakova ima otvoreni krvotok građen od srca, arterija, kapilara i krvnih zatona. Srce je duguljasto i nalazi se u perikardijalnom zatonu na leđnoj strani tijela. Rakovi s duljim tijelom imaju pomoćna srca u različitim dijelovima tijela koja pomažu glavnom srcu u potiskivanju krvi (Turk, 2011).

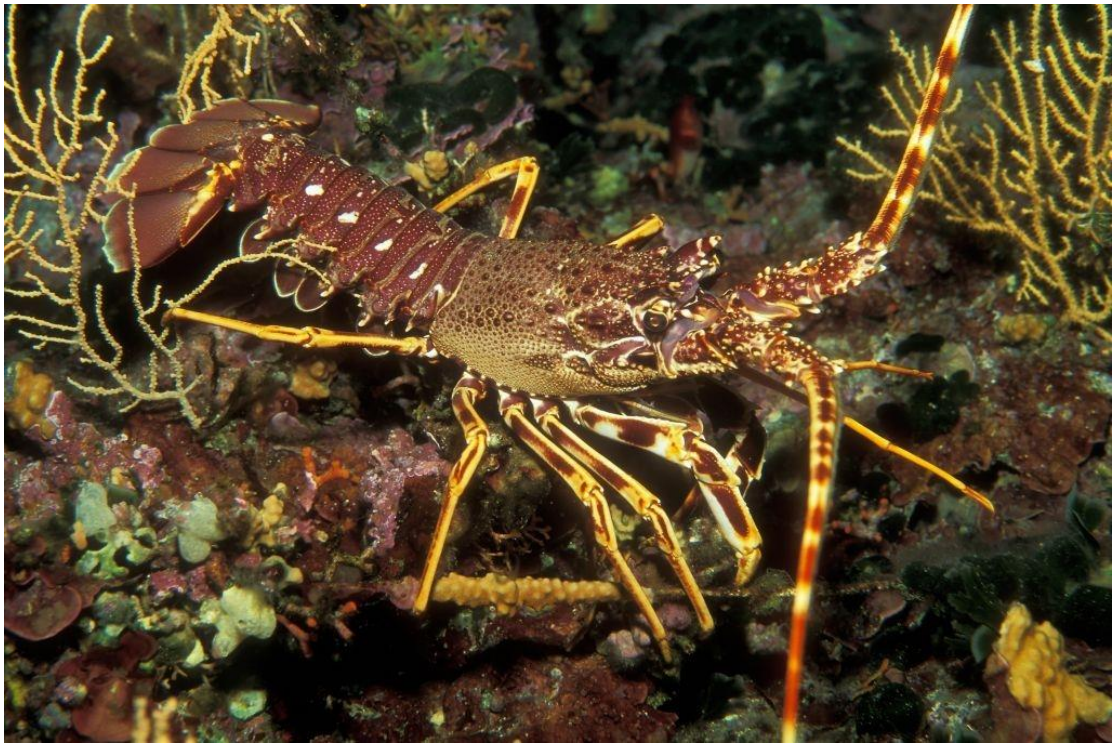
Sustav za izlučivanje sastavljen je od cjevastih organa sličnih metanefridijima kolutićavaca. Cijevi sustava za izlučivanje duge su i savijene, a ispred izlaza se često proširuju u mokraćni mjehur. U vodu se otvaraju ili na bazi antene (antenalne žlijezde) ili na bazi donje čeljusti (maksilarne žlijezde). Antenalne žlijezde mogu se naći kod viših rakova (*Malocostracea*), a maksilarne u nižih rakova (*Entomostracea*), dok je kod ličinačkih stadija situacija obrnuta. Glavni produkt izlučivanja je amonijak i drugi spojevi dušika. Sustav za izlučivanje ima veliku važnost u osmoregilaciji (Turk, 2011)

Spolovi u gotovo svih vrsta su razdvojeni, osim kod rakova vitičara i nekih parazitskih rakova koji su dvospolci. Spol određuju hormoni izlučeni iz androgene žlijezde. Oplođena jajašca razvijaju se često na ženkinom zatku, za koji su priljepljena posebnom izlučinom. Razvoj jajašaca u ličinku je kompleksan i traje 5-8 tjedana. Kod malog broja vrsta, ličinke se u potpunosti razviju već u jajašcu. Kod većine vrsta rakova, razvoj se odvija pomoću slobodno plivajuće ličinke, u nižih rakova je to nauplij, a u viših zoea (Turk, 2011).

Većina vrsta rakova živi u moru, mnoge vrste i u kopnenim vodama, te rijetki primjerci na kopnu u područjima s velikom vlažnosti zraka što im omogućuje disanje. Rakove pronalazimo u raznim biotopima, možemo ih naći u plitkim vodama i na velikim dubinama, u špiljama, te u podzemnim vodama. Veliki broj rakova su planktonski organizmi, i važni su u hranidbenim mrežama mora i oceana. Bentoske vrste žive na pomičnom i tvrdom dnu. Pomično dno (pijesak i mulj) omogućava nekim vrstama ukopavanje, dok na tvrdom dnu rakovi žive u rupama, u raznim šupljinama i špiljama, te ispod kamenja. Neke vrste rakova obrasle su algama i epibiotičnim životinjama, te se odlično uklapaju u okoliš. Rakove često možemo naći u simbiozi s drugim organizmima, poput raka samca i moruzgve, ili kozice i vlasulje. Velik dio nižih rakova te neki jednakonošci i rakušci žive kao paraziti. Dio rakova su prostorni komenzali koji žive u tjelesnim prostorima druge životinje (npr. račići u periski), no njihova prisutnost nema štetnih posljedica. Ukupno je opisano oko 45 000 vrsta rakova (Gordon i Green, 2018). Dijelimo ih na niže rakove (*Entomostracea*), koji se dijele na 8 podrazreda, te na više rakove (*Malocostracea*), koji predstavlja vlastiti podrazred (Turk, 2011).

2.1. Desetonožni rakovi (Dekapoda)

Višim rakovima svojstveno je razvijenije živčevlje i krvotok. Viši rakovi imaju osam prsnih i šest, rjetko sedam začanih nogu. Imaju dobro razvijenu glavu, koja je kod desetonožnih rakova i ustonožaca povezana sa tri, odnosno 5 prsnih kolutića. Noge na glavenim kolutićima su preobražene u maksilipedije. Viši rakovi imaju razvijenu kožnatu boru koja oblikuje karpaks. Karpaks obavija veliku dišnu šupljinu sa škrgama. Između parnih očiju nalazi se oštra izraslina ili rostrum. Živčavlje ima mnogo ganglija koji nadziru rad pojedinih organa. Krvotok je posebno dobro razvijen kod deseteronožnih rakova i građen je od zatvorenih arterija. Viši rakovi uglavnom su radvojena spola. Dijele se na šest nadredova, te više redova i porodica (Turk, 2011).



Slika 3. Jastog (*Palinurus elephas*) - pripadnik viših rakova

(Izvor:http://www.dzzp.hr/galerija-fotografija/morske-svojte-i-stanista/_29)

2.1.1. Biologija desetonožnih rakova

Predstavnici desetonožnih rakova su životinje sa dobro razvijenim glavopršnjakom, prekrivenim jakim oklopom. Oklop tvori veliku škržnu šupljinu. Kod većine vrsta izražen je rostrum. Oči su smještene na pokretljivim stapkama. Tri para prsnih nogu preobražene su u okusne nožice. Prvi par nogu za hodanje u velikom broju vrsta preobražen je u kliješta. Ostale noge za hodanje također mogu imati mala kliješta. Škrge se nalaze na bazi prsnih nogu i sežu u škržnu šupljinu. Zadak ili pleon je različito razvijen u pojedinih vrsti. Kod nekih vrsta je dug i jak te završava dobro razvijenom repnom perajom (dugorepci), u drugih je manji i mekan, dok je repna peraja zakržljala (srednjorepci), dok kod trećih vrsta nailazimo na zanemarivo mali rep, trokutastog oblika koji je savijen ispod glavopršnjaka (kratkorepci ili rakovice). Rakovice (kratkorepci) imaju kratke antene koje se nalaze u posebnim jamicama na prednjem dijelu glavopršnjaka (Turk, 2011).

2.1.1.1. Plivači (*Natantia*)

Predstavnici skupine Natantia su plivajući desetonožni rakovi s dobro razvijenim zadtkom i repnom perajom. Tijelo im je bočno stisnuto i nikada potpuno istegnuto. Veliki broj kozica ima izražen rostrum koji strši između velikih očiju na stapkama. Plivaju pomoću razvijenih nogu za plivanje, a brzim uvlačenjem repa ispod glavopršnjaka se brzo kreću unatrag. Imaju mekani i uglavnom slabo pigmentirani skelet, a mnoge vrste su potpuno prozirne. Neke vrste kozica bojom se mogu prilagoditi okolišu u kojem se nalaze. Kliješta prvog para prsnih nogu uglavnom su zanemariva, a u rijetkih vrsta su dobro razvijena. Vrste sa dobro razvijenim kliještima nisu aktivni plivači (Turk, 2011.). Najpoznatiji predstavnici ove skupine su: velika slatkovodna kozica (*Macrobrachium sp*.), velika tigrasta kozica (*Penaeus monodon*) te pacifička kozica (*Litopenaeus vannamei*).

2.1.1.2. Puzači (*Reptantia*)

U ovu skupinu ubrajaju se svi veliki desetonožni rakovi s jakim glavopršnjakom, izraženim repom i velikom repnom perajom. Tijelo im je blago plosnato, a koža preobražena u tvrdi vapneni skelet. Kod velikog broja vrsta, rostrum je malen ili zakržljao. Pleopodiji su smanjeni jer se ne koriste za plivanje. Prsne noge su dobro razvijene i koriste se za hodanje, dok je prvi par prsnih nogu kod velikog broja vrsta preobražen u snažna kliješta. Puzači su bentoski organizmi te plivaju samo u rijetkim situacijama kada su na to prisiljeni. Dijelimo ih u dvije skupine: *Palinura* je skupina sa svojstvenim plosnatim glavopršnjakom, a skupina *Astacura* ima uglavnom okrugao prerez tijela. Jastog (*Palinurus elephas*) pripada prvoj skupini, a drugoj, hlap (*Homarus gammarus*), te škamp (*Nephrops norvegicus*) (Turk, 2011).

Posebnoj skupini pripadaju srednjorepci (*Anomura*), mekanog repa i bez repne peraje, kao što su rakovi samci i rakovi skakači (Turk, 2011).

Rakovima puzačima također pripadaju i kratkorepci (*Brachyura*), takozvane rakovice. Kratkorepcima je svojstven zakržljao i plosnat zadak,

savijen ispod tijela, priljepljen uz širok i plosnat glavopršnjak koji je uglavnom širi nego duži. Na glavopršnjaku se nalaze kratke antene u posebnim jamicama. Oči na stapkama mogu biti uvučene u očne jamice. Zadnji par usnih nožica plosnat je i prekriva sve ostale usne nožice. Prvi par prsnih nogu često tvori nejednako razvijena kliješta. Ostale prsne noge koriste za hodanje. Posljednji članak nogu za hodanje je šiljast, a kod nekih vrsta na petom paru i plosnat, te služi za ukopavanje u pijesak (Turk, 2011).

3. MOGUĆNOSTI UZGOJA RAKOVA

Uzgoj rakova do konzumne veličine u bazenima započinje oko 1980. godine, uzgajaju se najviše kozice, uz pokušaje uzgoja jastoga i rakovica. Nakon početne faze uzgoja rakova u mrijestilištima i faze razvoja u prirodnim uvijetima, postoje razne opcije i metode koje se koriste za daljnji rast. Radi praktičnosti, te metode su podjeljene s obzirom na različite klimatske zone koje pružaju najpovoljnije temperaturne uvjete za rast. Razni procesi u uzgoju mogu izravno ovisiti o sezoni, poput dostupnosti mlađi ili kvalitete vode (Wickins i Lee, 2012).

Super-intenzivni uuzgoj ne ovisi o klimatskim zonama i može se primjenjivati i na područjima udaljenima od izvora slatke ili morske vode. U ovom tipu uzgoja dominiraju rakovi iz porodice *Penaeidae* koji mogu doseći proizvodnju od 10 000 do 50 000 kg/ha u dva do četiri izlova godišnje. Ova metoda uzgoja zahtijeva skoro potpunu ovisnost o peletiranoj hrani, preciznu kontrolu stope hranjenja, korištenje mlađi dobivene iz mrijestilišta te nasađivanje u kontroliranoj gustoći. Kontinuirana izmjena vode od 50 do 200% dnevno uz aeraciju je također neophodna za ovaj tip uzgoja (Wickins i Lee, 2012.). Velik broj uzgajališta funkcionira uz minimalnu izmjenu vode pri čemu se reciklira veći dio vode u sustavu (McNeil, 2000). Kozice se uzgajaju u betonskim, plastičnim ili stakloplastičnim tankovima polukružnog ili izduženog pravokutnog oblika (tzv. *raceways*) površine od 0,03 do 0,1 ha (Wickins i Lee, 2012).

„Baterijski“ uzgoj dodatna je prilagodba koja se koristi pri uzgoju kanibalističkih vrsta rakova kao što su jastog, hlap i neki veliki slatkovodni rakovi. Pri tome se jedinke uzgajaju u odvojenim odjeljcima kako ne bi došlo do ozljeđivanja ili gubitka jedinki. Iako još nije komercijalno potpuno razvijen, ovaj tip uzgoja ima veliki potencijal. Na ovaj način mogla bi se proizvoditi zadovoljavajuća količina rakova, a ovakvi sustavi u teoriji mogu biti potpuno neovisni o klimatološkim uvijetima (Wickins i Lee, 2012).

Ovakav način uzgoja može se primjeniti i kada je nedostupna velika količina prostora ili za izbjegavanje problema uzrokovanih lošom izmjenom

vode. Poteškoće može stvarati velika gustoća nasada koja značajno utječe na cirkulaciju i kvalitetu vode (Wickins i Lee, 2012).

3.1. TROPSKA KLIMATSKA ZONA

U tropskoj zoni, temperature su generalno pogodne za cijelogodišnji rast, pa metode za uzgoj juvenilnih rakova možemo podijeliti na četiri kategorije s obzirom na očekivani prinos i praksu samog uzgoja (Wickins i Lee, 2012). Te kategorije su: ekstenzivni uzgoj, poluintenzivni i intenzivni uzgoj te super intenzivni uzgoj.

U ekstenzivnom uzgoju najčešće se uzgajaju rakovi iz porodice *Penaeidae*, neki slatkovodni rakovi i rakovi iz porodice *Macrobrachium*. Godišnji prinos u ovom tipu uzgoja iznosi otprilike 1000 kg/ha, s tri parcijalna ili ponekad potpuna izlova godišnje. Ova metoda uzgoja oslanja se na prirodnu proizvodnju hrane, koja se povremeno može pospješiti fertilizacijom sa gnojivima životinjskog porijekla ili kemijskim gnojivima. Ribnjaci su nastanjeni prirodnom populacijom juvenilnih rakova i nema utjecaja na gustoću populacije. Izmjena vode je ograničena na 5-10% dnevno, a kod morskih ili ribnjaka s boćatom vodom, ta izmjena određena je morskim mijenama. Veličine ribnjaka variraju od 0,5 do 100 ha (Wickins i Lee, 2012).

Polu-intenzivni i intenzivni uzgoj rakova određen je većom gustoćom populacije, a prvenstveno se uzgajaju rakovi iz porodice *Penaeidae*, vrsta *Macrobrachium rosenbergii*, te rakovice i australski slatkovodni rakovi (*Cherax* spp.). Ovakav uzgoj daje prinose od 500 do 15000 kg/ha, u dva do tri izlova godišnje. Većinom se koriste formulirane hrane s povremenom fertilizacijom za povećanje prirodne produkcije. Prinos ovisi o kontroliranom nasađivanju prirodnih ili uzgojenih post-ličinki. Veličina ribnjaka varira od 0,2 do 3 ha, te dolaze u ranznim oblicima (kvadratni, pravokutni ili okrugli). Ribnjaci su zemljani te rađeni u svrhu uzgoja s kanalima za dovod i odvod radi lakšeg upravljanja tokom vode. Neki od tih ribnjaka obloženi su glinom, betonom ili gumenom podlogom. Proizvodnja mnogih polu-intenzivnih farmi ograničena je na oko 3000 kg/ha, zbog fluktuacije u zasićenosti kisikom, lošeg upravljanja fitoplanktonom i neredovite izmjene vode (Wickins i Lee, 2012).

3.2. (TOPLA) UMJERENA I MEDITERANSKA KLIMATSKA ZONA

Topla umjerena i mediteranska klima imaju jasno odvojene sezone pri čemu rakovi imaju različitu stopu rasta tijekom godine. Većina uzgajivača primorana je nabaviti mlađ što ranije kad temperature vode narastu dovoljno da omogućuju rast. Tijekom hladnog dijela sezone, uzgajivači moraju omogućiti dodatni zaklon, grijanje ili kontrolirane uvijete u zatvorenom prostoru kako bi osigurali preživljavanje rakova u uzgoju, a u nekim slučajevima i rast. Uzgoj je najčešće ekstenzivni ili polu-intenzivni, a većinom se uzgajaju kozice i slatkovodni rakovi. Mlađ koja se prikuplja iz prirodnih populacija često se pojavljuje nakon podizanja temperature vode na vrijednosti potrebne za rast. U takvim slučajevima, kao i na područjima gdje je dostupna mlađ iz mrijestilišta, proizvodnja mlađi krajem ljeta, te držanje mlađi u zatvorenom prostoru u kontroliranim uvjetima tijekom zime, može imati veliku prednost. Takve mlade jedinke sele se u vanjske bazene za daljnji rast čim temperature dovoljno narastu. Da bi se smanjili troškovi grijanja takvih zatvorenih sustava kroz hladnu sezonu, moguće je korištenje tople vode iz nekih industrijskih postrojenja ili geotermalnih izvora. Ako su kvaliteta, temperatura ili količina tople vode ispod optimalnih, moguće je zagrijati vodu u uzgojnom sustavu i pomoću razmjenjivača topline ili toplinskim pumpama (Wickins i Lee, 2012).

3.3. UMJERENA KLIMATSKA ZONA

U hladnijim klimatskim zonama ima puno manje vrsta rakova pogodnih za uzgoj, za razliku od mekušaca ili riba. Razlog tome je niži trofički status uzgajanih mekušaca (filtratori), koji ne zahtjevaju dodatnu hranu ili svakodnevnu pažnju jer se hrane prirodnim populacijama fitoplanktona. Većina vrsta riba koje se uspješno uzgajaju u hladnim vodama ima veću toleranciju na visoke gustoće nasada nego rakovi. Uz to, mnoge vrste riba u uzgoju uspješno koriste cijeli stupac vode te učinkovitije iskorištavaju proizvodni pogon od rakova koji koriste područje dna, što je ograničavajući čimbenik. Mogućnosti ekstenzivnog i polu-intenzivnog uzgoja rakova u

vodama umjerenog pojasa ograničene su slabom stopom rasta te potrebom za svakodnevnom kontrolom i hranjenjem, uz relativno male prinose. Stoga, kao mogućnost ostaje uzgoj u zatvorenom prostoru i kontroliranim uvijetima, tj. Intenzivni i super-intenzivni uzgoj. U takvim zatvorenim sustavima se mogu proizvoditi rakovi konzumne veličine ili mlađ koja se koristi za daljnji uzgoj ili za poribljavanje (Wickins i Lee, 2012).

4. INTENZIVNI UZGOJ RAKOVA

Intenzivni uzgoj podrazumjeva visoki stupanj kontrole uzgojnog procesa, a za to nam je potrebno vrlo dobro poznavanje biologije i ekologije uzgajanog organizma. U intenzivnom uzgoju kontrolira se nasadna gustoća radi većeg prinosa na manjoj površini. Prati se kvaliteta vode (kisik, temperatura, pH, salinitet, koncentracija nitrata i nitrita) koja se aktivno održava. Također, za ishranu u ovom tipu uzgoja se koristi potpuno formulirana hrana prilagođena uzgajanom organizmu. Ovisno o tehnici koja se koristi, intenzivni uzgoj može ovisiti o lokaciji ali i ne mora. Povećanjem razine kontrole uzgoja u zatvorenim prostorima i većom recirkulacijom vode u sustavu, intenzivni uzgoj prelazi u super-intenzivni uzgoj.

4.1. RECIRKULACIJSKI SUSTAV

Recirkulacijski sustav vrsta je super-intenzivnog uzgoja. To su kompleksni sustavi čije komponente moraju osigurati: obnovu kisika, otklanjanje amonijaka i ostalih štetnih otopljenih tvari, otklanjanje krutih otpadnih čestica, održavanje optimalne temperature vode te mikrobiološko pročišćavanje vode. Osnovne komponente recirkulacijskog sustava su: uzgojni bazeni, biološki filter, mehanički filter, pumpe za vodu, aerator, grijači ili hladnjaci za vodu, razni senzori (za pH,kisik i sl.). Kvaliteta recirkulacijskih sustava ovisi o efikasnosti svake pojedine komponente, a sustav je efikasan koliko i njegova najslabija komponenta. Takvi sustavi ne ovise o lokaciji i klimatskim uvijetima same lokacije, te nema potrebe za većom količinom vode s obzirom da se dnevno nadoknađuje samo voda izgubljena evaporacijom. Recirkulacijski sustavi su iznimno produktivni, strogom kontrolom kvalitete vode omogućava se velika nasadna gustoća u bazenima te veliki prinos po volumenu bazena. Ovi sustavi su iznimno zahtjevni i skupi za održavanje, te zahtijevaju zapošljavanje stručnog kadra zbog čega su često samo eksperimentalne prirode i nisu uvijek profitabilni. Međutim, unatoč financijskim i tehnološkim zahtjevima, recirkulacijski sustavi budućnost su akvakulture.

4.1.1. Razvoj metoda intenzivnog uzgoja europskog hlapa u recirkulacijskom sustavu

„Norwegian Lobster Farm AS“ 2000. godine u Norveškoj pokreće prvi projekt istraživanja i razvoja pogona za uzgoj hlapa komercijalne veličine na kopnu. Cilj ovog projekta je bila procijena potencijala uzgoja europskog hlapa u pogonu na kopnu,uz upotrebu morske vode i recirkulaciju. Kako bi se ovaj projekt i njegova održivost mogli procijeniti, bilo je potrebno krenuti u razvoj od samog početka, budući da nema primjerene tehnologije za ovakav uzgoj hlapa, nema formulirane ishrane, kao ni adekvatnog istraživanja tržišta, a uz to, gotovo da ne postoji dokumentacija o korištenju recirkulacijskog sustava morske vode za uzgoj hlapa komercijalne veličine (Kristiansen i sur., 2004).

U projekt su stoga bila uključena istraživanja za slijedeća područja i aktivnosti (Kristiansen i sur., 2004):

- Izgradnja i priprema mrijestilišta za istraživački uzgoj malih razmjera
- Održavanje sustava, hranjenje hlapova, čišćenje kaveza, cijevi i bazena, vaganje i mjerenje
- Praćenje i dokumentiranje utjecaja uzgojnih uvjeta, hrane i obitelji (porijekla) na brzinu rasta
- Procjena vremena potrebnog za uzgoj do komercijalne veličine
- Praćenje recirkulacije morske vode te kontrola kvalitete vode u takvom sustavu
- Određivanje maksimalne nasadne gustoće u sustavu
- Kvantifikacija faktora konverzije hrane
- Kvantifikacija potrošnje kisika i stope izlučivanja
- Razvoj nove formulirane hrane, uključujući i otkrivanje potrebnog sadržaja pigmenta u suhoj hrani
- Razvoj i testiranje nekoliko novih uzgojnih tehnologija
- Ravoj software-a za procesuiranje slika- praćenje stope rasta i frekvencije „presvlačenja“
- Razvoj automatiziranih sustava za selekciju ličinki, hranjenje i izlov
- Istraživanje tržišta
- Kulinarska analiza

- Upravljanje zdravljem i veterinarska kontrola
- Sustav slijedivosti za sigurnost hrane
- Osnivanje nacionalne mreže uzgajivača hlapa
- Razvoj poslovnog plana za uzgajalište hlapa s proizvodnjom od 15 tona godišnje
- Tehničko i biološko dimenzioniranje uzgajališta kapaciteta 15 T
- Vizualiziranje uzgajališta kroz trodimenzionalne crteže

4.1.1.1. Mrijestilište hlapa Kvitsøy

Mrijestilite hlapa Kvitsøy nalazi se u „Fiskernes hus“ (Ribareva kuća) u luci Kvitsøy. Mrijestilište je osnovala općina Kvitsøy 1998. i od tad je u suradnji s Institutom za istraživanjene mora provedeno više zajedničkih projekata. 2000. godine mrijestilište preuzima „Norwegian Lobster Farm AS“. Zgrada je veličine 150m^2 i sadržava muzej ribolova na hlapove, mrijestilište hlapova s odjelom za izvaljivanje jajašaca i odjelom za uzgoj ličinki, te odjelom za uzgoj hlapova do komercijalne veličine. Odjeli za izvaljivanje jajašaca i uzgoj su opremljeni jedinicama za filtriranje vode, bio-filtrima, titanijskim grijalicama, UV filtrima, vodospremom, tankovima za uzgoj, inkubatorima za ličinke, cijevima, pumpama te ostalim pomoćnim priborom. Zgrada je dobro izolirana kako bi se spriječio gubitak topline. Mrijestilište je tehnološki napredno postrojenje pogodno za izvođenje znanstvenih istraživanja malih razmjera. Opskrba vodom sastoji se od 3 zasebne, ali izmjenjive recirkulacijske petlje, svaka opremljena bio-filtrom (Eikebrokk, 1990) te „drum“ filtrom od 30 µm. Bio-filtri se snažno ozračuju pomoću aeratora pogonjenih s recirkulacijskim pumpama. Svaka recirkulacijska petlja pruža 100 l/min filtrirane i ozračene morske vode temperature 18 – 20ºC. Potrebno je dodavanje približno 1 l/min filtrirane i UV tretirane morske vode po petlji, a kako bi se osigurala kompletna izmjena morske vode u svim petljama svaki tjedan. Ukupna količina morske vode u sustavu varirala je tijekom istraživanja između 19-30 m^3, ovisno koliko je bazena za uzgoj bilo u upotrebi, a dio za uzgoj je reorganiziran 3 puta tijekom trajanja projekt). Temperatura

morske vode podešavala se pomoću titanijskih grijalica s ugrađenim termostatom i održavan je stalni salinitet od 33‰ (Kristiansen i sur., 2004).

4.1.1.2. Kvaliteta vode

Sustav koji omogućava opskrbu vode dobre kvalitete ključan je čimbenik za ostvarivanje dobrog rasta i zdravlja hlapa, te umanjivanje stresa i rizika od bolesti. Ovo se posebno odnosi na recirkulacijske sustave u kojima je izmjena vode minimalna, a brzo dolazi do nakupljanja toksičnih metabolita te pada koncentracije otopljenog kisika (Timmons i Losordo, 1994). Recirkulacija vode potrebna je radi smanjenja gubitka topline, posebno ako nema vanjskih izvora tople vode. Također, iznimno je važno poznavati optimalne uvjete za uzgoj hlapa, kao i njihove ograničavajuće vrijednosti (Kristiansen i sur., 2004).

Tablica 1. Optimalne razine ključnih parametara kvalitete vode za uzgoj vrste *Homarus sp.*

(Prema: van Olst i sur., 1980; Wickins i Lee, 2002)

PARAMETRI	OPTIMALNI UVJETI	PRIRODNI UVJETI	SMRTONOSNE RAZINE
Temperatura(^{0}C)	18-22	1-25	<0.>31
Salinitet (‰)	28-35	28-35	<8.>45
pH	8	7.8-8.2	<5.>9
Otopljeni kisik (mg/L)	6.4	4.0-7.3	<1.>saturacija
NH_3-N (mg/L)	<0.14	0-0.3	>1.4

Drengstig i sur. (2003) pratili su i analizirali kvalitetu vode na uzgajalištu u Kvitsøy-u. Praćenje je provedeno pomoću dva YSI-556 MPS

instrumenta u sustavu s više sondi za praćenje pojedinih parametara kvalitete vode. Mjerene su vrijednosti otopljenog kisika, temperature, pH i salinitet. Analiza pH, CO_2 te ukupnog amonijevog dušika provodila se u laboratoriju u Stavanger-u (Norveški standard, NS 4720 & NS 4744). Tijekom izvođenja raznih projekata sakupljali su se uzorci vode na 5 različitih točaka u svakoj petlji za daljnju analizu. Koncentracija slobodnog ugljičnog dioksida izračunavala se pomoću pH, temperature i ukupnog alkaliniteta / bikarbonatnog alkaliniteta (Kristiansen i sur., 2004).

Koncentracija ne-ioniziranog amonijaka (NH_3) kao postotak ukupnog amonijevog dušika, izračunavan je pomoću slijedeće jednadžbe:

$$\% \, NH_3 = \frac{100}{(1 + \text{antilog}\,(pKa - pH))}$$

Konstanta disocijacije, pKa, varira od 9.09 do 9.90, ovisno o temperaturi i salinitetu (Alabaster i Lloyd, 1982).

Tijekom istraživanja kvalitete vode, zaključeno je da izmjereni parametri u sustavu odgovara uvijetima za rast hlapa. Mjereni parametri, pH (7.6-8.1), temperatura (18-19°C), otopljeni kisik (> 6.2 mg/L), CO_2 (< 3 mg/L), salinitet (33‰), ukupni amonijev dušik (50 – 300 µg/L) te NH_3 (< 5 µg/L) bili su unutar granica za optimalni rast hlapa. Ovi rezultati dokazuju da je korištenje recirkulacije morske vode povoljna metoda za uzgoj hlapa (Kristiansen i sur., 2004).

Limitirajući čimbenik kvalitete vode u recirkulacijskim sustavima sa morskom vodom je koncentracija ne-ioniziranog amonijaka (NH_3). Pri optimalnim uvjetima za rast europskog hlapa stoji da koncentracija NH_3 mora konstantno biti ispod 14 µg N/L (van Olst i sur., 1980; Wickins i Lee, 2002). Koncentracija NH_3 je rezultat ukupne proizvodnje amonijaka uzgajanih organizama i amonijaka odstranjenog pomoću bio-filtra. Tijekom projekta, s malim do srednjim opterećenjem sustava, stopa odstranjivanja amonijaka kretala se od 50-70% sa unosom od 100 – 200 µg/L (Kristiansen i sur., 2004).

4.1.1.3. Matični stok i proizvodnja post-ličinki

Držanje matičnog stoka sastavljenog od jedinki iz prirodne populacije trenutno je najsigurniji način za dolazak do mlađi za intenzivnu akvakulturu. Važno je osigurati točan temperaturni režim za ženke s oplođenim jajašcima prije nego se jajašca izvale, kako bi se povećalo preživljavanje ličinki IV faze. Prema Aiken i Waddy-u (1985), razvijena je mogućnost kondicioniranja ženki iz prirodne populacije sa velikim stupnjem pouzdanosti, koja umanjuje socijalne i zakonske prepreke uzimanja ženki sa oplođenim jajašcima iz prirode. Selektiraju se ženke u pred oogeneznoj fazi, a razvoj embrija kontrolira se temperaturnim režimom. Držanje ženki na temperaturama manjim od 5°C usporava se embrionalni razvoj, dok povećanje temperature na 20°C taj proces ubrzava.

Ta metoda uspješno je primjenjena i u ovom projektu, te „Norwegian Lobster Farm“ uspješno proizvodi ličinke IV faze od veljače do studenog (Kristiansen i sur., 2004).

Hlapovi uzgajani do spolne zrelosti na temperaturi od 20°C pokazali su se kao loš izbor za matični stok, produkcija jajašaca je bila loša (približno 5% izvaljivanja), kao i njihovo prihvaćanje za ženku (Aiken i Waddy, 1995; Wickens i Lee, 2002). Također, mužjaci proizvode manje sjemena i spermatofora. Matični stok najbolje je izabrati korištenjem metoda genetske selekcije. Parenje matičnog stoka iz prirodne populacije kontrolira se pomoću dvije metode, prirodnim parenjem između odabranih primjeraka pri čemu je ženka u fazi „presvlačenja“ ili umjetnom oplodnjom (Talbot i Helluy, 1995). Druga metoda pruža malu kontrolu izbacivanja i oplodnje jajašaca. Također, jajašca oplođena tom metodom loše se vežu za ženku (Wickens i Lee. 2002).

U projektu su korištene ženke s oplođenim jajašcima koje su ulovili lokalni ribar, nakon čega su držane u posebnim bazenima. Kada se približilo vrijeme za izvaljivanje jajašaca, ženke su prebačene u tankove u mrijestilište. Odjel za valjenje sastajao se od 16 crnih polietilenskih bazena (70 x 40 x 25 cm; 70.000 cm^3) s prelijevanjem kroz cijev promjera 20 mm koja vodi do

odvojenog spremnika opremljenog filtrima koji zadržavaju ličinke. Budući da se ličinke izvaljuju većinom noću, svijetlo je bilo upaljeno od 08:00– 22:00 kako bi se razdoblje izvaljivanja koncentriralo i skratio boravak ličinki u kolektorima (Kristiansen i sur., 2004).

Slika 4. Tankovi s maticama i kolektori za ličinke

(Izvor: Kristiansen i sur., 2004).

Novoizvaljene ličinke svakog jutra su se sakupljale, selektirale i prenosile u inkubatore veličine 40 litara, s uzvodnim kretanjem vode, opskrbljivane s približno 10 L/min aerirane morske vode, temperature 18-20ºC. U svakom pojedinom inkubatoru uzgajane su ličinke dobivene od jedne ženke hlapa, maksimalno 1500 ličinki po inkubatoru. Hranjene su zaleđenim račićima (*Artemia* i mizidi) dva puta dnevno. Uspješna se pokazala i metoda hranjenja ličinki formuliranom peletiranom hranom, iako je rast bio blago inhibiran. Približno 12 dana bilo je potrebno da ličinke dosegnu IV fazu. Ličinke IV faze tada su pojedinačno selektirane i preseljene u individualne spremnike da bi se izbjegao kanibalizam, gubitak kliješta i druge ozljede (Kristiansen i sur., 2004).

Slika 5. Shematski prikaz inkubatora i slika inkubatora za ličinke hlapa

(Prema: Kristiansen i sur., 2004).

4.1.1.4. Testiranje različitih metoda uzgoja

Uslijed nedostatka adekvatne i ekonomski isplative tehnologije za uzgoj hlapa u intenzivnim sustavima, projekt je morao uključiti testiranje i razvoj raznih tehnoloških rješenja te istraživanje komercijalno prihvatljive metode. Tijekom projekta je testirano 6 različitih tehnoloških rješenja, pri čemu je samo jedno uspješno obuhvatilo sve potrebne značajke u jednom dizajnu (Drengstig i Drengstig, 2003) pa je zaštićeno patentom (Kristiansen i sur., 2004).

Sustav za proizvodnju mlađi razvijen je 2002. godine. Sastojao se od 5 do 7 podložaka naslaganih jedan iznad drugog, uronjenih u bazene veličine 1 m^2 s dubinom vode 70 cm. Prilagodljivost podložaka također omogućava i uzgoj rakova konzumne veličine u ovakvim sustavima. Podlošci su bili različitih kapaciteta, od 12 rakova konzumne veličine u odjeljcima veličine 540 cm^2 do 180 juvenilnih rakova u odjeljcima veličine 36 cm^2. Najveća gustoća u takvom sustavu je 60 rakova konzumne veličine ili 1260 juvenilnih rakova po metru kvadratnom. U najvećim odjeljcima uzgajani su juvenilni rakovi do konzumne veličine, pri čemu je dužina tijela bila 21 cm, a masa 300 g. Maksimalna dužina tijela rakova uzgajanih u najmanjem odjeljku bila je 9 cm. Usprkos maloj veličini uzgajališta u Kvitsøy-u, pokazalo se da je pomoću ovog

koncepta moguće proizvesti između 30 000 i 40 000 juvenilnih rakova (dužine tijela 9 cm) (Kristiansen i sur., 2004).

Protok vode kroz sustav održavan je povećanjem pritiska kroz gornji podložak, uz omogućavanje jednakog protoka kroz sve razine. Tijekom hranjenja i pregleda, sustav se morao rastaviti. Glavna slabost ovog sustava bila je potreba vađenja podložaka s rakovima izvan vode tijekom tog procesa. To je uzrokovalo stres kod rakova u fazi „presvlačenja“ i dovelo do povećanog mortaliteta. Druga slabost ovog sustava je neadekvatan mehanizam samočišćenja koji nije bio dostatan zbog jake sedimentacije hrane i drugih materijala organskog porjekla u tankovima. Da bi se izbjeglo vađenje podložaka iz tankova za vrijeme hranjenja, za ishranu se koristila *Artemia,* čime se postiglo preživljavanje od 80% od IV faze, tj. 9 cm ukupne duljine tijela (Kristiansen i sur., 2004).

Slika 6. Metoda naslaganih podložaka

(Izvor: Kristiansen i sur., 2004)

Juvenilni hlapovi uzgajani su na podlošcima s individualnim odjeljcima. Podlošci su napravljeni od bijele plastike s rupičastim dnom (promjera otvora od 1 mm), a svaki odjeljak bio je veličine 6 x13 cm (78 cm^2). Ovakvi odjeljci pogodni su za uzgoj hlapova do 80 mm ukupne dužine tijela. Dizajnirani su tako da cirkuliraju u kružnim kanalima, a hlapovi se u njima hrane pri prolasku ispod takozvanog mosta za hranjenje (Grimsen i sur.,1987; Uglem, 1995). Ovakvi odjeljci omogućavaju lako hranjenje i kontrolu, no kvaliteta vode brzo opada ako su uzgajani hlapovi veliki ili se previše hrane, i to zbog otežane cirkulacije vode kroz ovakav sustav. Nedostatak ove tehnologije je i potreba za većim prostorom, a što je često ograničavajući čimbenik (Kristiansen i sur., 2004).

Slika 7. Podlošci s individualnim odjeljcima

(Izvor: Kristiansen i sur., 2004)

Za uzgoj juvenilnih jedinki hlapa korištene su i košare od polietilena veličine 25x25x35 cm (21,875 cm^3). Početni nasad bio je 500 ličinki IV faze po košari. Po dvije košare smještene su u tankove veličine 1 m^2, dubine vode 40 cm. Juvenilni rakovi su jednom dnevno hranjeni suhom peletiranom hranom, formuliranom za uzgoj ribe. Nakon 2 i pol mjeseca, jedinke iz tankova su izlovljene i svi juvenilni rakovi su izbrojeni i izmjereni. Preživljavanje po tankovima variralo je od 1% do 8%. Na kraju je ovaj koncept uzgoja juvenilnih hlapova odbačen radi njihovog vrlo agresivnog ponašanja i izraženog kanibalizma, (Kristiansen i sur., 2004).

Slika 8. Polietilenske košare za uzgoj juvenilnih jedinki hlapa

(Izvor: Kristiansen i sur., 2004)

Za uzgoj hlapa do konzumne veličine korištena je horizontalna nastamba kružnog oblika („kotač“). Svaka nastamba mogla se podijelliti na 28 odjeljaka. Nadalje, 22 odjeljka mogla su biti dodatno podjeljena na 3 kaveza različite veličine: mali 46 cm^2; srednji 74 cm^2 i veliki 99 cm^2. Maksimalna duljina navedenih odjeljaka bila je 11 cm. Ukupni broj kaveza u takvoj nastambi bio je 84, odnosno, 28 kaveza svake navedene veličine. U pokusima s uzgojem više rakova po kavezu, nastamba se dijelila na 4 velika odjeljka veličine 1550 cm^2. Voda se dovodila kroz sredinu nastambe i tekla je kroz perforirane zidove odjeljaka. Povećavajući tlak vode u srednjem odjeljku postizala se jednaka raspodjela vode kroz sve odjeljke (Kristiansen i sur., 2004).

Slika 9. Sustav odjeljaka za uzgoj hlapa u horizontalnom kotaču

(Izvor: Kristiansen i sur., 2004)

U jednom od eksperimentalnih sustava za uzgoj koristio se i vertikalni kotač sa odjeljcima u dvije veličine, smješten u tankove veličine 1x1 m. Manji odjeljci su bili veličine 6x6x3 cm (108 cm^3), a veći odjeljci 6x6x6 cm (216 cm^3). Hranjenje hlapova odvijalo se kad bi se pojedini odjeljci nalazili pri površini bazena. Otpad proizveden procesom hranjenja i drugim mehanizmima ispadao je sam kada su se kavezi uslijed okretanja kotača nalazili pri dnu kaveza. Preživljavanje u ovom sustavu bilo je dosta loše, između 20% i 30%. Kako bi se spriječio bijeg životinja iz uzgoja, koristila se zelena mreža s okom veličine 1,5 mm. Zbog mreže se mogla koristiti samo granulirana hrana, što je dovelo do lokalnog zagađenja u odjeljcima, a time i do loše kvalitete vode u tankovima. Nadalje, ovi kotači bili su zahtjevni za održavanje, a ovakav sustav nije omogućio niti pravilnu izmjenu vode u odjeljcima. S obzirom da odjeljci nisu bili pravilnog oblika, rakovi veće dužine tijela nisu bili u mogućnosti zauzeti povoljan položaj tijela, što je stvaralo dodatan stres uzgajanim jedinkama. Ovaj koncept je stoga odbačen radi niza nedostataka i visokog stupnja mortaliteta (Kristiansen i sur., 2004).

Slika 10. Vertikalni kotač

(Izvor: Kristiansen i sur., 2004)

4.1.1.5. Utjecaj prehrane, substrata i porijekla („obitelji“) na rast juvenilnih hlapova u pojedinačnim odjeljcima

Tijekom eksperimentalnog uzgoja juvenilnih hlapova u pojedinačnim odjeljcima proučavan je utjecaj substrata, skloništa, veličine odjeljka i prehrane na njihov rast i razvoj. Promatrana su prva 3 mjeseca uzgoja, od post-ličinki veličine 14 mm, do juvenilnog hlapa veličine 30 mm. Da bi juvenilni hlapovi razvili kliješta za drobljenje u V ličinačkoj fazi, potreban je odgovarajući substrat, primjerice pijesak, drobljene ljušture školjkaša ili neki slični materijal (Wickins, 1986). U praznom plastičnom odjeljku svi hlapovi razvijali su po jedan par kliješta za rezanje. Cilj ovih testiranja bila je dokumentacija rasta i preživljavanja u odabranim sustavima za uzgoj pri optimalnim uvjetima, te proizvodnja juvenilnih hlapove za daljnji uzgoj. Također, promatrala se razlika u brzini rasta između potomstva različitih „obitelji“, tj. različitih ženki matičnog stoka (Kristiansen i sur., 2004).

U eksperimentu se koristilo 4 različite vrste prehrane, 4 vrste substrata, 6 različitih „obitelji“ i 3 veličine odjeljaka. Svaka vrsta prehrane testirana je na svim vrstama substrata, a sve „obitelji“ testirane su na svim kombinacijama prehrane, substrata i veličine odjeljaka. Dio rezultata morao se izuzeti zbog tehničkih poteškoća prilikom provođenja istraživanja (Kristiansen i sur., 2004).

U svaki tank u sustavu horizontalnog kotača dodana je jedna vrsta substrata. jedan substrat je bio sloj finog pijeska debljine 1 cm, a za sklonište je služila mala prazna ljuštura kapice (*Pecten maximus*) ili plave dagnje (*Mytilus edulis*); druga vrsta substrata sastojala se od dvije čajne žličice pijeska, kojoj se također mogla dodati prazna ljuštura školjkaša kao sklonište. Vjeruje se da je mala količina pijeska dovoljna za razvoj kliješta za drobljenje. Odnos substrata i razvoja kliješta za drobljenje procjenjena je nakon 10 mjeseci, kad su rakovi dostigli veličinu oko 80mm dužine tijela, a kliješta za drobljenje postanu lako prepoznatljiva (Kristiansen i sur., 2004).

Tijekom ovo eksperimenta isprobane su četiri vrste prehrane: Prehrana A: naizmjenična prehrana sa zamrznutim mizidima (*Praunus flexousus*), zamrznutim krilom (*Thysanoessa* sp.) te zamrznutim ličinkama hlapa I faze; Prehrana B: zamrznuti mizidi; Prehrana C: zamrznuti kril; Prehrana D: komercijalna peletirana hrana za morsku ribu (veličina peleta 2mm) sa dodatkom zamrznutih ličinki hlapa I faze jednom tjedno. Hlapovi su hranjeni jednom dnevno u izobilju. Količina hrane kojom su hlapovi hranjeni povećavana je shodno sa njihovim rastom i potrebama. Također, hlapovima je bilo dozvoljeno da pojedu svoju odbačenu ljušturu nakon „presvlačenja“ (Kristiansen i sur., 2004). Dizajn eksperimenta o utjecaju hrane i substrata na rast i razvoj hlapa prikazan je u tablici 2.

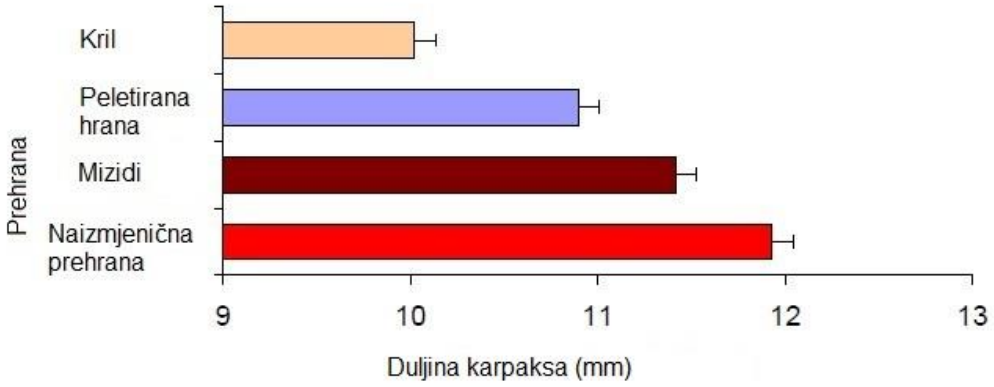
Tablica 2. Dizajn eksperimenta utjecaja substrata i hrane na rast i razvoj juvenila hlapa

(Prema: Kristiansen i sur., 2004)

1: Prehrana A; Pijesak	5: Prehrana B; Pijesak	9: Prehrana C; Pijesak	13: Prehrana D; Pijesak
2: Prehrana A; Pijesak+ ljuštura	6: Prehrana B; Pijesak+ ljuštura	10: Prehrana C; Pijesak+ ljuštura	14: Prehrana D; Pijesak+ ljuštura
3: Prehrana A; Malo pijeska	7: Prehrana B; Malo pijeska	11: Prehrana C; Malo pijeska	15: Prehrana D; Malo pijeska
4: Prehrana A; Ljuštura+ malo pijeska	8: Prehrana B; Ljuštura+ malo pijeska	12: Prehrana C; Ljuštura+ malo pijeska	16: Prehrana D; Ljuštura+ malo pijeska

Ličinke odabrane su za eksperiment dobivene od 6 različitih ženki (tj. iz 6 različitih „obitelji“) imale su dužinu glavopršnjaka između 89 i 107 mm, te masu od 497 do 830 g. Unutar 24 sata od dostizanja IV faze, po 14 ličinki iz svake „obitelji“ smješteno je u 84 odjeljaka, a ukupno je korišteno 16 tankova s ukupno 1344 ličinki IV faze, po 224 od svake „obitelji“. Svaki odjeljak numeriran je od 1 do 84. Ličinke prve „obitelji“ smještene su u odjeljke 1-14, druge „obitelji“ 15-28 i tako redom. Odjeljci 1, 4, 7, itd. bili su velikih dimenzija (99 cm^2); 2, 5, 8, itd. srednjih dimenzija (74 cm^2); 3, 6, 9, itd. malih dimenzija (46 cm^2). Voda u tankovima kružila je od centra prema van, redom mali-srednji-veliki odjeljak (Kristiansen i sur., 2004).

Veliki utjecaj prehrane na rast primjećen je već nakon 3 mjeseca, a najveća stopa rasta zamjećena je kod naizmjenične prehrane raznim vrstama hrane. Grupa hranjena zamrznutim mizidima bila je na drugom mjestu, dok je grupa hranjena peletiranom hranom bila osjetno manja i slabije pigmentirana. Grupa hranjena zamrznutim krilom imala je najlošiju stopu rasta te najveću stopu mortaliteta (49%). Pretpostavlja se da je zamrznuti kril izgubio svoju nutritivnu vrijednost (Kristiansen i sur., 2004).

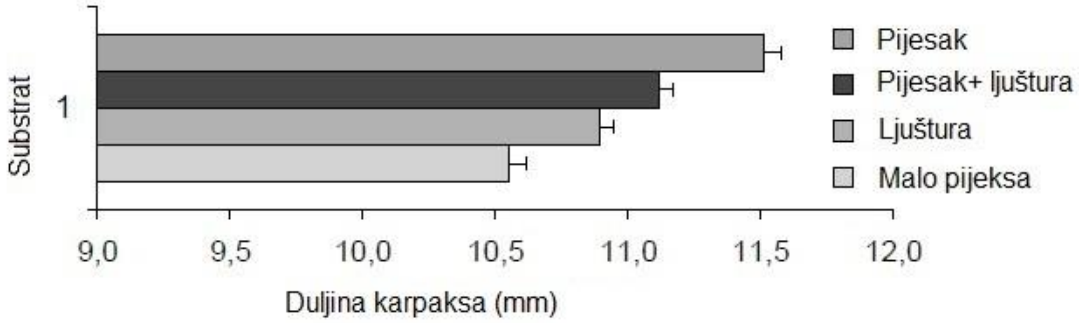


Slika 11. Prosječna veličina karpaksa nakon 3 mjeseca hranjenja različitom prehranom

(Prema: Kristiansen i sur., 2004)

Stopa rasta grupe hranjene peletiranom hranom bila je 86% stope rasta najbolje grupe, a preživljavanje je bilo jednako ili bolje. Budući da se peletirana hrana za morsku ribu smatrala nutritivno beznačajnom za uzgoj hlapa, ovi rezultati su iznenađujući. Dobri rezultati ostvareni sa dodatkom nekoliko zamrznutih ličinki hlapa jednom tjedno naznačuje da su potrebne male promjene za dobivanje formulirane prehrane za uzgoj hlapa. Posebno je primjećen nedostatak pigmenta (astaksantina) uz zaključak da su u tom dijelu potrebne dodatne prilagodbe (Kristiansen i sur., 2004).

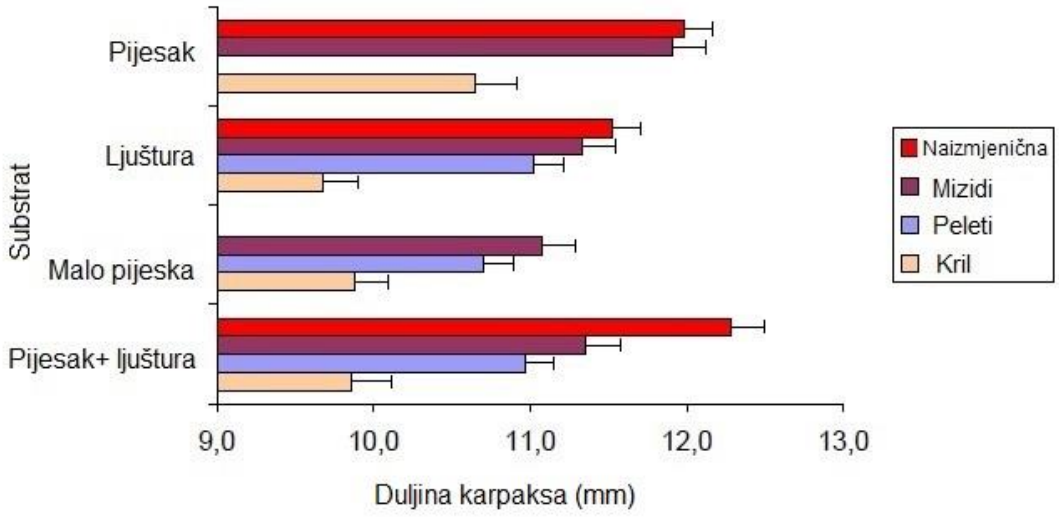
Gledajući utjecaj substrata na rast, pokazalo se da su najveći primjerci dobiveni na pješčanoj podlozi, a najmanji na podlozi sa malo pijeska.



Slika 12. Prosječna veličina karpaksa nakon 3 mjeseca s obzirom na substrat

(Prema: Kristiansen i sur., 2004)

Značajna interakcija zamjećena je između vrste substrata i prehrane. Grupa hranjena naizmjeničnom prehranom na substratu od pijeska s ljušturom kao skloništem pokazala je najbolji rast dok je grupa hranjena krilom daleko najbolji rast imala na pješčanoj podlozi (Kristiansen i sur., 2004).



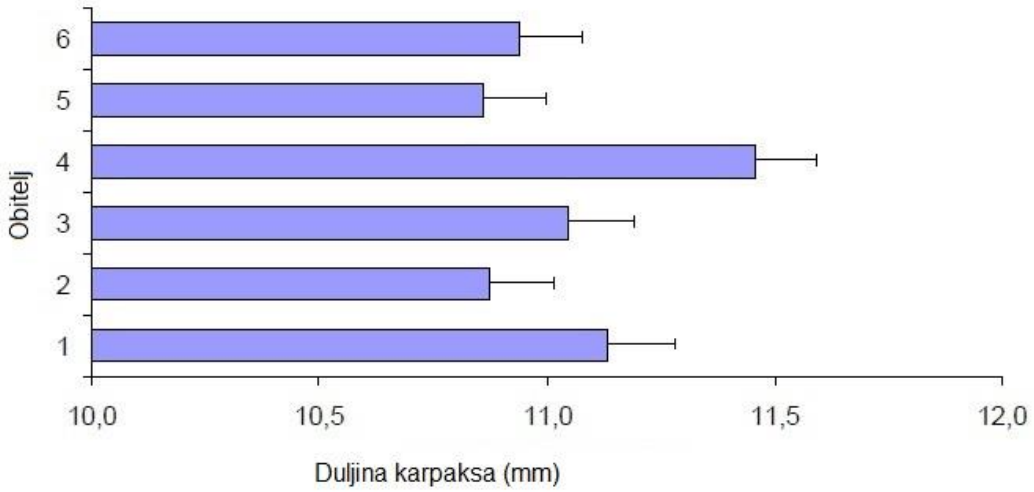
Slika 13. Interakcija vrste substrata i prehrane s obzirom na rast

(Prema: Kristiansen i sur., 2004)

Sa 10 mjeseci starosti, hlapovi uzgajani na pješčanoj podlozi ili pješčanoj podlozi sa ljušturom u 93-95% slučajeva razvili su kliješta za drobljenje. Grupe koje su uzgajane na podlozi s malo pijeska su u 63% slučajeva razvile kliješta, a dodatkom prazne ljušture školjkaša taj se postotak popeo na 87%. Ovi rezultati ukazuju da količina pijeska utječe na razvoj kliješta za drobljenje, također, prazna ljuštura školjkaša potiče njihov razvoj (Kristiansen i sur., 2004).

Veličina odjeljaka nema zapaženiji utjecaj na rast rakova. U prosjeku su hlapovi u malim odjeljcima neznatno manji od ostalih. Interakcija između veličine odjeljka i vrste prehrane nije zamjećena. S obzirom da su svi odjeljci jednake duljine, postoji mogućnost da je duljina odjeljka važnija od same površine (Kristiansen i sur., 2004).

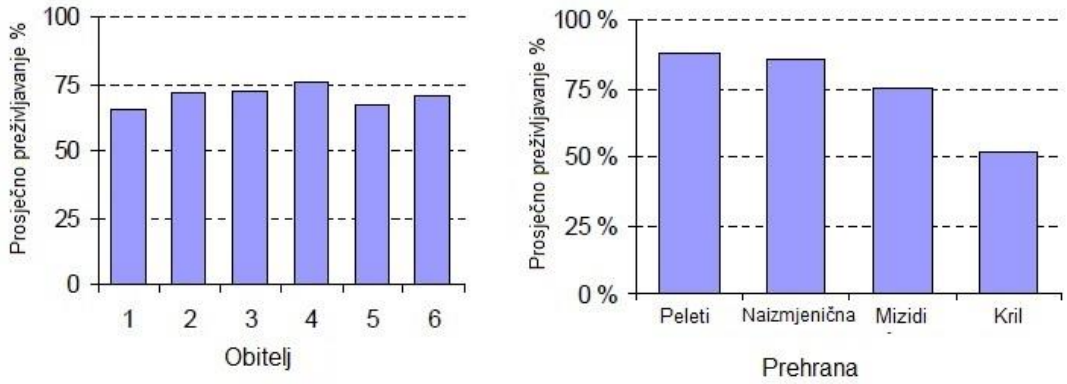
Osjetna razlika u rastu primjećena je kod različitih „obitelji“. Potomstvo „obitelji“ 4 ostvarilo je najbolji rast, no nije primjećena značajna interakcija između obitelji, vrste substrata i prehrane (Kristiansen i sur., 2004).



Slika 14. Utjecaj roditelja na rast potomstva

(Prema: Kristiansen i sur., 2004)

Najbolje preživljavanje također je ostvarila „obitelj“ 4, no i ostale obitelji imale su slično preživljavanje. Na preživljavanje je značajno utjecala prehrana jer su se rezultati jako razlikovali po grupama s različitom prehranom gdje je posebno veliki mortalitet imala grupa hranjena krilom (oksidirani stari kril, koji je izgubio nutritivnu vrijednost). Veći mortaliteta je bio u prvim tjednima eksperimenta, većinom radi tehničkih problema. Bez tih problema, očekivano je da bi preživljavanje prelazilo 90% (Kristiansen i sur., 2004).



Slika 15. Preživljavanje po pojedinim „obiteljima“, te preživljavanje s obzirom na vrstu prehrane

(Prema: Kristiansen i sur., 2004)

4.1.1.6. Stopa rasta i procjena vremena proizvodnje

Ključni čimbenik u intenzivnom uzgoju hlapa jest vrijeme potrebno za rast od ličinke do konzumne veličine (300 g). Prema Wickins i Beard (1991), europski hlap u individualnim odjeljcima s grijanom vodom, te prirodnom hranom ostvaruje linearnu stopu rasta od 0.0874 mm dnevno do XXII faze (duljina glavopršnjaka 67 mm). Nakon toga rast se usporava uslijed prostornog ograničenja (Kristiansen i sur., 2004).

Da bi procjenili vrijeme proizvodnje u ovom sustavu, pokrenut je pod-projekt u kojem se u 6 tankova uzgajalo po 28 juvenilnih hlapova mase 2 g do 40 g. Hlapovi su uzgajani metodom „horizontalnog kotača“, a prva tri mjeseca u odjeljcima su imali razne kombinacije substrata i skloništa (Kristiansen i sur., 2004).

Bazen	Ljuštura Pokrov	Pijesak	Sklonište	28 Aug #	T(g)	DG (mm)	01 Nov #	T(g)	DG (mm)	DDG (mm/dan)	DT(g)	SSR
1	+	+	-	28	7.4	22	22	14.5	27	0.082	7.1	1.03
2	+	+	-	28	7.6	24	24	16.5	30	0.094	8.9	1.19
3	-	+	+	28	11.0	25	26	21.5	31	0.098	10.5	1.03
4	-	-	+	28	9.7	24	25	16.3	29	0.077	6.6	0.80
5	+	-	-	28	11.4	25	28	20.9	32	0.097	9.5	0.93
6	+	+	+	28	11.9	26	20	22.0	32	0.091	10.1	0.95
Prosjek				**28**	**10.3**	**25**	**24**	**18.6**	**31**	**0.091**	**9.1**	**0.98**

Slika 16. Rezultati eksperimenta procjene rasta i vremena proizvodnje nakon 3 mjeseca

(Prema: Kristiansen i sur., 2004)

Rakovi su nakon 3 mjeseca izmjereni i izvagani. Nakon mjerenja, sav substrat je uklonjen, kao i skloništa, te su hlapovi držani u praznim odjeljcima. Po potrebi su premještani u veće odjeljke. Mjerenje je ponovljeno u petom te u desetom mjesecu uzgoja. Prvih 5 mjeseci uzgoja, hlapovi su hranjeni mješavinom svježih kozica (*Pandalus borealis*) i zamrznutog krila (*Thysanoessa* sp.) jednom dnevno u izobilju, a u zadnjem razdoblju koristila se peletirana hrana za morsku ribu (Kristiansen i sur., 2004).

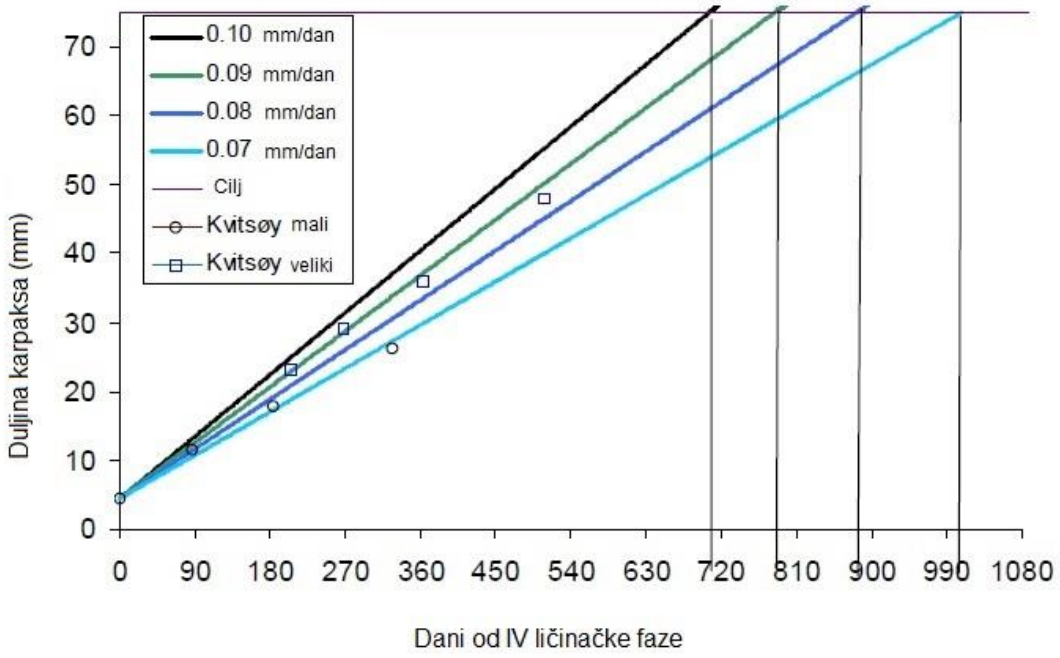
U prvom razdoblju opažena je malo bolja stopa rasta nego kod Wickins i Beard (1991), a u narednim razdobljima stopa rasta smanjila se sa 0.29 mm po danu na 0.21 mm u drugom te 0.23 mm u trećem razdoblju. Do smanjenja stope rasta u drugom razdoblju djelomično je došlo radi problema s grijalicama, što je dovelo do smanjene i nestabilne temperature vode u sustavu. U trećem razdoblju prelazak na peletiranu hranu nije doveo do smanjenja stope rasta, no nedostatak pigmenta bio je očigledan, te je doveo do svijetlo plavog obojenja već nakon jednog ili dva „presvlačenja“ (Kristiansen i sur., 2004).

Grupe juvenilnih hlapova hranjene isključivo peletiranom hranom, nakon nekoliko „presvlačenja“ u potpunosti gube pigmentaciju te gube vitalnost (Kristiansen i sur., 2004).

Zaključak ovog eksperimenta jest da je moguće dobiti jednake stope rasta kao i kod Wickins i Beard (1991) u ovom sustavu, no potrebno je

omogućiti dovoljno kvalitetne hrane i stabilnu temperaturu (oko 20°C) jer su hlapovi jako osjetljivi na kvalitetu hrane i temperaturne varijacije (Kristiansen i sur., 2004).

Vrijeme potrebno za proizvodnju hlapa konzumne veličine (mase 300 g, duljine glavopršnjaka 75 mm) ovisno je o stopi rasta. Na slici (Slika 17.) su prikazane 4 linije linearnog rasta po različitim stopama rasta. Također su označene veličine hlapova u raznim dobnim skupinama iz ovog eksperimenta. Kod većih juvenila primjećuje se da dobro prate liniju rasta od 0.09 mm/dan, što daje uvid u mogućnost da uz unaprijeđenu prehranu, stabilnu temperaturu i kvalitetu vode, te sa povećanom frekvencijom hranjenja, prosječno vrijeme uzgoja hlapa od ličinke do konzumne veličine može biti kraće od 800 dana. Richards (1981) je pokazao da se smanjenjem fotoperioda može smanjiti razina stresa te povećati stopa rasta. Također, selekcijom matičnog stoka može se dodatno smanjiti vrijeme proizvodnje (Kristiansen i sur., 2004).



Slika 17. Procjena vremena proivodnje hlapa do konzumne veličine s obzirom na stopu rasta

(Prema: Kristiansen i sur., 2004)

4.1.1.7. Utjecaj astaksantina na pigmentaciju rakova

Nakon 5 mjeseci hranjenja sa peletiranom hranom za morsku ribu, bez astaksantina, hlapovi su postali svijetlo plavi/bijeli/prozirni. Niti jedna formulirana hrana na tržištu ne sadrži dovoljno visok udio proteina te potrebnu količinu astaksantina koja bi osigurala prirodnu pigmentaciju hlapa.

Slika 18. Gubitak pigmentacije uslijed nedovoljne količine astaksantina u prehrani hlapa

(Izvor: Kristiansen i sur., 2004)

Eksperimentalne proizvodnje juvenilnih hlapova do sada su se oslanjale na prirodnu hranu, koja je zadovoljavala kvalitetom, no automatizirana veća proizvodnja zahtjeva formuliranu prehranu koja se lako dozira, radi smanjenja gubitaka. Također je vrlo bitno da je hrana otporna na uvijete u uzgojnom sustavu (20°C, 33‰),tj. da se ne razgrađuje prebrzo. Nedostatak formulirane hrane jedan je od glavnih problema uzgoja hlapa i ostalih velikih rakova, a iz tog razloga, pokrenut je eksperiment s ciljem određivanja minimalne potrebne količine astaksantina u prehrani hlapa koja osigurava prirodnu pigmentaciju (Kristiansen i sur., 2004).

Juvenili hlapa, ukupne dužine tijela između 50 i 150mm, hranjeni su peletima (veličine 2 mm i 5 mm) sa 3 različite koncentracije astaksantina (50, 100 i 200 mg/kg). Hrana se sastojala od proteina (54.7%), masti (15.6%) i ugljikohidrata (13.6%), energetske vrijednosti 21.5 MJ/kg, a minerali i vitamini bili su zastupljeni manje od 1% i naknadno su dodavani u hranu (Kristiansen i sur., 2004).

Prije početka ovog eksperimenta, hlapovi su godinu dana hranjeni peletiranom hranom za bakalara, a rezultat takve prehrane bila je blijeda pigmentacija rakova. Svaka promjena nakon početka hranjenja novom hranom s astaksantinom lako je opažena, a prve promjene primjećene su već nakon dva „presvlačenja“ (nakon 6-8 tjedana). Hlapovi su dobili svijetlo plavo obojenje koje je svakim idućim „presvlačenjem“ postajalo sve tamnije. Razlika u pigmentaciji između grupa hranjenih hranom s različitim koncentracijama astaksantina nije primjećena, stoga je zaključeno da je koncentracija od 50 mg/kg astaksantina u hrani dovoljna za osiguravanje prirodne pigmentacije (Kristiansen i sur., 2004).

Slika 19. Promjena pigmentacije nakon prelaska na novu hranu sa dodatkom astaksantina

(Izvor: Kristiansen i sur., 2004)

Nova vrsta hrane korištena je i kod ličinki nakon izvaljivanja, a one su također zadržale snažnu pigmentaciju, te ostvarile snažan rast i preživljavanje. Također, ova hrana proizvela je manje otpada te je održavanje inkubatora bilo jednostavnije. Ovi rezultati pokazali su da je peletirana hrana pogodna za uzgoj ličinki u inkubatoru, te da je moguće uzgajati hlapa od ličinke do konzumne veličine isključivo s formuliranom peletiranom hranom (Kristiansen i sur., 2004).

Astaksantin je važan dio enzimatskog procesa, a primarna uloga u prirodi je osiguravanje odgovarajuće pigmentacije skeleta radi bolje prilagodbe okolišu. Također, astaksantin međusobno djeluje s raznim probavnim enzimima pa se smatra da pospješuje apetit i rast te debljinu oklopa velikih rakova (Kristiansen i sur., 2004).

Tijekom ovog eksperimenta temperatura u sustavu držana je na 14°C±2°C. Temperatura je primarni regulator brzine rasta i frekvencije „presvlačenja“, a idealan rast prema Waddy-u (1988) postiže se na 20-22°C. Tada juvenilni hlapovi postižu stopu rasta od 0.1 mm/dan ili više. U ovom eksperimentu postignuta je stopa rasta od 0.05–0.06 mm/dan. Prosječna konverzija hrane varirala je od 1.0 do 1.14 (Drengstig i sur., 2003a). Lošija stopa rasta očekivala se s obzirom na nižu temperaturu u sustavu, a s obzirom na obećavajuće rezultate potrebna su nova istraživanja pri optimalnim uvjetima za rast (Kristiansen i sur., 2004).

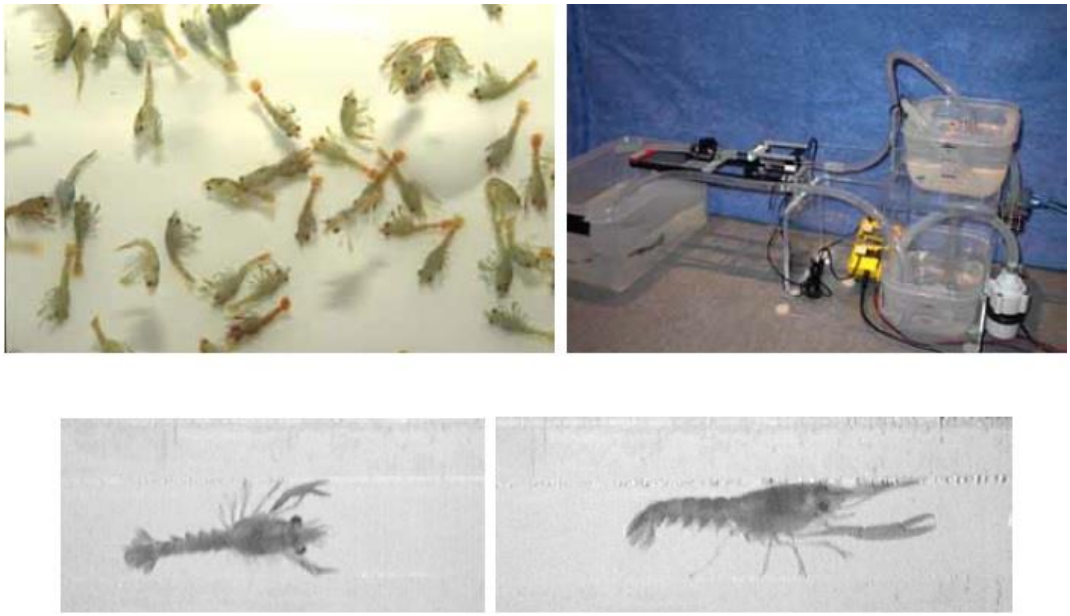
4.1.1.8. Izgledi za budućnost

Homaroidni hlapovi vrlo su agresivni i skloni kanibalizmu, stoga da bi se ostvarile dobre razine preživljavanja i rasta, potrebno je pojedinačno držanje hlapova, što stvara veliki logistički problem (van Olst i sur., 1980). Uzgajališta za komercijalnu proizvodnju uzgajala bi između 100 000 i 1 000 000 jedinki u istom trenutku, a ručno hranjenje i održavanje kaveza na dnevnoj bazi bilo bi nemoguće. Automatsko čišćenje i hranjenje neophodno je za takve sustave, a ta tehnologija nedavno je razvijena (Drengstig i sur., 2002; Drengstig i Drengstig, 2003; Drengstig i sur., 2003b). Nova tehnologija odlikuje se smanjenim troškom investicije, omogućava veće nasadne gustoće, i zahtijeva manju površinu za sami pogon u usporedbi s drugim poznatim i dostupnim tehnologijama. Rezultati ovog projekta stvorili su veliku priliku za utemeljenje nove industrije u akvakulturi i otvorili mogućnosti optimizacije uzgoja velikih rakova (Kristiansen i sur., 2004).

4.1.1.9. Prototip automatske proizvodne jedinice

„Norwegian Lobster Farm AS“ razvio je automatske sustave za izlov, prebacivanje ličinki IV faze te softver za obradu slika jedinki (praćenje razvoja i rasta). Svi sustavi testirani su na živim hlapovima te su potom i industrijalizirani. Automatski sustav za prebacivanje ličinki IV faze prepoznaje ličinke koje još nisu dostigle IV fazu te ih automatski vraća u inkubator. Ovo

predstavlja veliki napredak s obzirom da se prije sve to obavljalo ručno (Kristiansen i sur., 2004).



Slika 20. Prototip automatskog sustava za prepoznavanje i transfer ličinki IV faze za daljnji uzgoj

(Izvor: Kristiansen i sur., 2004)

Softver za obradu slika individualnih hlapova omogućava potpunu kontrolu frekvencije „presvlačenja“, procjenjuje pogodno vrijeme za izlov te prati stopu rasta i mortalitet (Kristiansen i sur., 2004).

Slika 21. Slika hlapa konzumne veličine i fotografija dobivena pomoću softvera

(Izvor: Kristiansen i sur., 2004)

Planirana je gradnja uzgajališta za proizvodnju 50 000 rakova konzumne veličine (15 tona) i 430 000 juvenila u dvije različite veličine za poribljavanje ili daljnji rast, a za izgradnju takvog uzgajališta potrebno je oko 500 m^2 zemlje (Kristiansen i sur., 2004).

4.1.2. Uzgoj europsko hlapa *Homarus gammarus* uz korištenje prirodnih geotermalnih izvora

Veliki napredak akvakulture na područjima poput recirkulacije morske vode i automatizacije tehnologije za uzgoj, otvorio je mogućnosti za uzgoja hlapa unatoč velikoj zahtijevnosti (Nicosia i Lavalli, 1999; Kristiansen i sur., 2004). Stoga je osnovan “Centar izvrsnosti europskog hlapa”, a partneri-osnivači su Island, Danska, Norveška i Ujedinjeno Kraljevstvo. Cilj ovog centra bio je ispitivanje održivosti uzgoja europskog hlapa na kopnu, uz korištenje prirodnih geotermalnih izvora na Islandu (Thorarinsdottir i sur., 2014).

Juvenilni hlapovi dobiveni su iz Nacionalnog mrijestilišta Padstow, UK, te s Instituta za istraživanje mora iz Bergena, Norveška. Svi hlapovi držani su u pojedinačnim odjeljcima. Koncentracija kisika, temperatura, salinitet kao i konzumacija hrane praćeni su na dnevnoj bazi, a također su bilježeni frekvencija „presvlačenja“ i preživljavanje (Thorarinsdottir i sur.,2014).

Ispitivanja rasta rakova (dobivenih iz UK) odvijali su se u polu-recirkulacijskom sustavu i protočnom sustavu sa morskom vodom temperature 18°C, te salinitetom 32±1‰ u oba sustava. Rakovi dobiveni iz Norveške uzgajani su u protočnim sustavima s temperaturama od 10°C i 18°C. Održavan je fotoperiod 16 sati svjetla i 8 sati tame, a hlapovi su dobivali hranu 5 dana tjedno. Stopa rasta praćena je mjerenjem ukupne dužine te dužine karpaksa, a masa se pratila samo kod jedinki čija je ukupna duljina tijela prelazila 35 mm. Proizvodnja metabolita u hlapa mjerena je u stanju mirovanja te tijekom hranjenja. Respiracija je mjerena metodom zatvaranja hlapa u bočicu od 100 do 300 ml napunjenu kisikom zasićenom morskom vodom. Pad koncentracije kisika mjeren je kalibriranim Strathkelvin 1302

elektrodama i Strathkelvin 98 sustavom (Thorarinsdottir i sur.,2014). Korištena je komercijalno dostupna hrana za jezersku zlatovčicu (*Salvelinus alpines*), a peleti su bili veličine 3 mm. Hlapovi su držani u dva različita tipa odjeljaka te su rezultati međusobno uspoređeni (Thorarinsdottir i sur.,2014).

Zabilježena stopa rasta i preživljavanje bili su bolji u odnosu na ranije preovedena istraživanja, a na stopu rasta najviše je utjecala razlika u temperaturi. Tipovi odjeljaka nisu imali značajan utjecaj na stopu rasta, kao ni hrana koju su jedinke dobro prihvaćale. Sastav hrane bio je sličan hrani za hlapove razvijenoj u sklopu projekta „Norwegian Lobster Farm". Peleti su sadržavali astaksantin, a kao rezultat je postignuta prirodna tamna pigmentacija hlapova, pogodna za tržište (Thorarinsdottir i sur., 2014).

Proizvodnja metabolita i potrošnja kisika varirala je ovisno o različitim veličinskim kategorijama jedinki, te ovisno o temperaturi vode. Dobiveni rezultati poslužili su razvoj intenzivnog recirkulacijskog sustava za komercijalnu proizvodnju hlapa (Thorarinsdottir i sur., 2014).

4.2. BIOFLOC (BF) METODA UZGOJA

Biofloc tehnologija je tehnika poboljšanja kvalitete vode balansiranjem količine ugljika i dušika u uzgojnom sustavu. Ova tehnologija privukla je puno pozornosti kao održiva metoda za kontrolu kvalitete vode, koja posljedično stvara proteine koje uzgajani organizmi mogu iskoristiti kao hranu (Crab i sur., 2012).

Ukoliko su ugljik i dušik dobro uravnoteženi, amonijak i organski dušični otpad pretvara se u bakterijsku biomasu (Schneider i sur., 2005). Dodavanjem ugljikohidrata u sustav, povećanjem koncentracije ugljika u hrani ili vanjskim izvorima, potiče se rast heterotrofnih bakterija te apsorpcija dušika kroz proizvodnju mikrobioloških proteina (Avnimelech, 1999). Ovakva apsorpcija dušika rastom bakterijske biomase smanjuje koncentraciju amonijaka u sustavu brže od procesa nitrifikacije (Hargreaves, 2006).

Tipični *floc*-ovi (pahulje) nepravilna su oblika, sastavljeni su od čestica raznih veličina, savitljivi su, porozni i propusni za tekućine (Chu i Lee, 2004, Avnimelech, 2009). Građeni su od fitoplanktona, bakterija, skupina živih i mrtvih organskih čestica te organizama koji se hrane bakterijama (Hargreaves, 2006).

BF tehnologija omogućava minimalnu izmjenu i potrošnju vode u akvakulturnim postrojenjima održavanjem adekvatne kvalitete vode u uzgojnim jedinicama. U isto vrijeme proizvodi jeftine pahulje (*biofloc*-ove) koje su bogate proteinima koji mogu poslužiti kao izvor hrane uzgajanim organizmima (Crab, 2010; Crab i sur., 2007, 2009, 2010a). U usporedbi s konvencionalnim tehnologijama za održavanje kvalitete vode, BF je ekonomski isplativija alternativa jer su troškovi tretiranja vode manji za oko 30%. Također, treba spomenuti i potencijalnu uštedu na troškovima hrane jer se organizmi hrane nakupljenim pahuljama (*floc*-ovima). Iz navedenih razloga BF može postati jeftina i održiva metoda uzgoja u budućem uzgoju rakova (Avnimelech, 2009; De Schryver i sur., 2008).

Za ovu tehnologiju karakteristična je velika koncentracija slobodnoplutajućih krutih čestica u vodi, pa je potrebno osigurati adekvatnu aeraciju i miješanje vode da ne bi došlo do taloženja tih čestica na dnu bazena. Ukoliko koncentracija čestica postane prevelika, potrebno je obaviti djelomičnu izmjenu vode ili ispuštanje mulja iz bazena. Implementiranje BF tehnologije u sustavima poput *raceway*-a potencijalno je rješenje za problem nakupljanja čestica na dnu (Avnimelech, 2009).

U usporedbi s konvencionalnim biofiltrima, BF tehnologija omogućava uklanjanje dušika i dok je potreba za kisikom u sustavu velika (Avnimelech, 2009). Vrijeme potrebno za uspostavu funkcionalnog BF sustava ovisi o količini dušika i organskog otpada proizvedenog u sustavu, te o intenzitetu uzgoja. Primjerice, za uspostavu potrebne mikrobiološke kulture u biofiltru potrebno je ponekad i više tjedana, ovisno o količini nutrijenata, protoku vode i temperaturi (Avnimelech, 2009). Budući da heterotrofne bakterije rastu 10 puta brže od nitrifikacijskih bakterija u biofiltrima (Crab i sur., 2007), BF može biti uspostavljen puno brže od konvencionalnih biofiltara (Crab i sur., 2012).

Prednost BF tehnologije jest u nepostojanju otpada u uzgojnom sustavu. Dušik unešen nepojedenom hranom kao i metabiličkim izlučivanjem uzgajanih organizama pretvara se u proteinsku hranu dostupnu organizmima u uzgoju, čime se zatvara kruženje nutrijenata u sustavu (Crab i sur., 2012).

Najveća prepreka primjeni BF sustava su sami uzgajivači, budući da je koncept BF tehnologije u izravnom sukobu s općim znanjem da voda u uzgojnom sustavu mora biti čista i prozirna (Avnimelech, 2009). S druge strane, nekoliko čimbenika potiče implemetaciju BF sustava. Dostupnost vode je postala slaba ili jako skupa do tog stupnja da ograničava razvoj akvakulture. Ispuštanje otpadnih voda u okoliš zabranjeno je i strogo kontrolirano u većini država svijeta. Pojave infektivnih bolesti u sustavima dovele su do jakih mjera opreza za sprječavanje širenja zaraze, poput smanjenja izmjene vode (Avnimelech, 2009). Također, postoji mogućnost da BF tehnologija može biti alternativna u borbi protiv patogenih bakterija u akvakulturi (Crab i sur. 2010b). Intenzivna akvakultura rakova jedna je od najbrže rastućih sektora akvakulturne proizvodnje (Wang et al., 2008), no unatoč velikim uspjesima, akvakultura kozica suočava se s pojavama zaraznih bolesti koje stvaraju velike ekonomske gubitke. Nedavno istraživanje otkrilo je da BF uzgojen na glicerolu može pružiti zaštitu vrsti *Artemia franciscana* od patogenog *Vibrio harveyi*-a, a preživljavanje nauplija poraslo je 3 puta nakon dodavanja BF u sustav (Crab i sur. 2010b). Više istraživanja pokazalo je da su kozice najboljeg zdravlja i rasta u akvakulturnim sustavima s velikim koncentracijama algi, bakterija i drugih prirodnih organizama (Kuhn i sur., 2009). BF tehnologija može pridonijeti prehrani i rastu kod nekih vrsta kozica i porodice *Penaeidae*, npr. pri uzgoju vrste *L. vannamei*, pružajući dodatni izvor hrane u intenzivnom sustavu s malom izmjenom vode.

Razne korisne karakteristike mogu se pronaći u BF tehnologiji koja omogućuje održivu metodu uzgoja koja u isto vrijeme rješava probleme negativnog utjecaja na okoliš, te socijalne i ekonomske probleme povezane sa razvojem industrije. Osnove tehnologije postoje, no potrebn je trud sadašnjih i budućih istraživača i uzgajivača kako bi ova tehnika postala kamen temeljac održive akvakulture (Crab i sur., 2012).

4.2.1 Usporedba *biofloc* sustava i recirkulacijskog sustava bistre vode za proizvodnju kozica (*Litopenaeus vannamei*)

Zatvoreni akvakulturni sustavi za proizvodnju kozica omogućavaju cjelogodišnju dostupnost svježeg proizvoda na tržištu bez obzira na godišnje doba i klimatske uvijete. Dvije metode za proizvodnju kozica, *biofloc* (BF) i recirkulacijski sustav bistre vode, uspoređene su kako bi došli do sustava koji omogućava maksimizaciju proizvodnje u unutarnjim akvakulturnim sustavima (Ray i sur., 2017).

Recirkulacijski sustavi bistre vode tipično su građeni od bioflitera sa nitrifikacijskim bakterijama, nekoliko mehaničkih filtera za eliminiranje krutih čestica iz vode, te UV lampama za sterilizaciju vode (Timmons i Ebeling, 2007). BF je sustav u kojem se nalazi velika količina čestica u vodi koje su građene i sastavljene od mikrobioloških zajednica (Ray i sur., 2009). Takvi sustavi koriste samo jedan mehanički filter za kontrolu količine čestica u vodi (Azim i Little, 2008).

Recirkulacijski sustavi s obzirom na količinu opreme potrebne za rad imaju veće troškove za pokretanje proizvodnje, i potencijalno veće operativne troškove (Luo i sur., 2014) u usporedbi sa BF. Odvajanje biofiltera u zaseban tank sa stabilnim uvijetima omogućava veću kontrolu i stabilnost recirkulacijskog sustava, posebno u pogledu kruženja dušika (Hargreaves, 2013). S obzirom na manju količinu opreme, BF ima manje troškove za pokretanje proizvodnje. Također, BF može pružiti dodatnu hranu kozicama reciklirajući nutrijente iz hrane. To dovodi do smanjenja stope konverzije hrane (Avnimelech, 2012; De Schryveret i sur., 2008; Wasielesky i sur., 2006). BF sustavi se uglavnom teže kontroliraju i mogu imati dug period uspostave adekvatne bakterijske kulture za preradu životinjskih metabolita (Prangnell i sur., 2016).

Ovaj project proveden je u Centru za akvakulturna istraživanja Sveučilišta u Kentucky-u. Svaka metoda koristila je po tri bazena veličine 1.36 m^3. Recirkulacijski sustav koristio je vanjski bazen za sedimentaciju, dva frakcionatora za krute čestice te vanjski biofilter koji su neprestano radili. BF

je koristio vanjski bazen za sedimentaciju te jedan frakcionator koji su se koristili po potrebi (Ray i sur., 2017).

U svaki bazen nasađeno je po 340 kozica prosječne težine 0.48 g. Nasadna gustoća u svakom taknu iznosila je 250 kozica po m^{-3}. Kozice su hranjene ručno tri puta dnevno, svaki bazen je dobivao jednaku količinu hrane. Stopa hranjenja bazirana je na pretpostavci da je konverzija hrane 1.5:1, a stopa rasta 1,5 g $tjedno^{-1}$. Ukoliko su primjećeni ostatci nepojedene hrane, smanjila bi se količina hrane za sve bazene. Kozice su uzgajane 55 dana, a potom su izlovljene i vagane (ukupna biomasa). Za izračun stope rasta i konverzije hrane selektirano je i vagano po 50 kozica iz svakokog bazena. Preživljavanje je izračunato dijeljenjem ukupne biomase sa prosječnom težinom kozice, a potom dijeljenjem sa početnim brojem kozica u bazenu. Konverzija hrane izračunata je dijeljenjem ukupne količine suhe hrane utrošene na pojedini tank sa ukupnom masom kozica (Ray i sur., 2017).

Razine amonijaka i pH osjetno bile su veće u recirkulacijskom sustavu sa bistrom vodom, dok su razine nitrata, nitrita i turbiditeta bile veće u BF. Svi parametri nalazili su se u prihvatljivim granicama za uzgoj kozica (Ray i sur., 2017).

Tablica 3. Usporedba parametara kvalitete vode između BF i recirkulacijskog sustava sa bistrom vodom

(Prema: Ray i sur., 2017)

Parametri kvalitete vode	*Biofloc* (BF)	Recirkulacijski sustav sa bistrom vodom
Temperatura (^{0}C)	29.1 ± 0.1 (24.8–33.1)	29.0 ± 0.1 (25.1–32.5)
Otopljeni kisik (mgL^{-1})	6.4 ± 0.0 (5.6–8.2)	6.3 ± 0.0 (5.2–8.8)
pH	7.7 ± 0.0 (6.6–8.1)	7.9 ± 0.0 (5.9–8.9)
Salinitet (gL^{-1})	28.4 ± 0.2 (21.6–36.6)	28.8 ± 0.2 (21.3–35.6)
Amonijak (mg TAN L^{-1})	0.1 ± 0.0 (0.0–0.4)	0.3 ± 0.0 (0.0–0.8)
Nitriti (mg NO2-N L^{-1})	2.2 ± 0.1 (0.2–2.8)	0.9 ± 0.1 (0.3–2.7)
Nitrati (mg NO3-N L^{-1})	39.3 ± 3.8 (6.8–101.2)	20.5 ± 1.5 (0.5–32.7)
Turbiditet (NTU)	90.1 ± 8.0 (10.6–174.0)	6.1 ± 0.4 (1.9–11.4)

Prosječna težina kozica te ukupna biomasa osjetno su veće u recirkulacijskom sustavu sa bistrom vodom dok je konverzija hrane u istom sustavu niža. Nije zamjećena veća razlika u preživljavanju u oba sustava (Ray i sur., 2017).

Tablica 4. Rezultati proizvodnje kozica u BF i recirkulacijskom sustavu sa bistro vodom

(Prema: Ray i sur., 2017)

	Biofloc (BF)	Recirkulacijski sustav sa bistrom vodom
Individualna težina (g)	11.1 ± 0.2 (10.8–11.3)	11.6 ± 0.3 (11.1–12.2)
Ukupna biomasa (kg m^{-3})	1.7 ± 0.0 (1.6–1.8)	2.0 ± 0.1 (1.9–2.2)
Stopa rasta (rast $tjedno^{-1}$)	1.4 ± 0.0 (1.4–1.4)	1.5 ± 0.0 (1.4–1.5)
Stopa konverzije hrane	1.8 ± 0.1 (1.7–1.8)	1.5 ± 0.1 (1.3- 1.6)
Preživljavanje (%)	69 ± 0.6 (68–70)	78 ± 4.3 (70–85)

Nutritivno bogata voda u BF sustavu nije pridonjela boljem rastu kozica u sustavu. Točan razlog za razlike u produkciji nije u potpunosti jasan, ali pretpostavlja se da je razlika u kvaliteti vode odigrala ulogu u tome. Rezultati ovog istraživanja ukazuju da je recirkulacijski sustav sa bistrom vodom produktivniji od BF kao metoda uzgoja kozica u zatvorenom prostoru (Ray i sur., 2017).

5. ZAKLJUČAK

Recirkulacija morske vode pokazala se kao uspješna metoda za uzgoj Europskog hlapa (*Homarus gammarus*), povoljni uvijeti i dobra kvaliteta vode u sustavu omogućavaju brz rast i kvalitetu proizvoda. Hlapovi su kanibalističke naravi i moraju se držati u pojedinačnim odjeljcima. Formulirana peletirana hrana sa povećanim sadržajem proteina i astaksantina u potpunosti zadovoljava potrebe hlapa, te omogućava daljnje napredovanje u području intenzivnog uzgoja hlapa. Rezultati istraživanja u Kvitsøy-u predstavljaju temelj za uzgoj velikih kanibalističkih rakova u svijetu.

Korištenje geotermalnih izvora uzgoj Europskog hlapa na Islandu, s obzirom na dobivene razultate, potvrda je uspješnosti projekta iz Kvitsøy-a.

Biofloc (BF) metoda uzgoja pojavila se kao moguće rješenje modernih problema akvakulture poput nedostatka kvalitetne vode i negativnog na okoliš. BF koristi mikrobiološke zajednice za kontrolu kvalitete vode. Također, unutar BF sustava nepojedena hrana i metabolički produkti reciklirni su pomoću tih mikrobiolokih zajednica i postaju nutritivni dodatak uzgajanim organizmima.

Usporedba uzgoja kozica (*Litopenaeus vannamei*) u recirkulacijskim sustavima sa bistrom vodom i BF metodom otkriva da unatoč *in situ* proizvodnji dodatne hrane, BF metoda ima slabiju produkciju te se teže kontroliraju uvijeti i kvaliteta vode.

Obje metode imaju veliki potencijal, no za sada su klasični recirkulacijski sustavi sa bistrom vodom daleko stabilniji i produktivniji. BF metoda zasigurno ima ulogu u budućnosti akvakulture, no potrebno je još puno istraživanja u tom području.

6. LITERATURA

Aiken, D.E., Waddy, S.L. 1985. Production of seed stock for lobster culture. Aquaculture, 44(2): 103 -114.

Alabaster, J. S., Lloyd, R. 1982. *Water Quality Criteria for Freshwater Fish*. FAO, Butterwords, London, 2nd Edition, pp 361.

Avnimelech, Y. 1999. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. Aquaculture 176: 227-235.

Avnimelech, Y. 2009. Biofloc Technology - A Practical Guide Book. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, United States. pp 182.

Avnimelech, Y. 2012. Biofloc Technology: A Practical Guide Book. WorldAquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, USA, pp 258.

Azim, M.E., Little, D.C. 2008. The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: waterquality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Aquaculture 283: 29-35.

Chu, C.P., Lee, D.J. 2004. Multiscale structures of biological flocs. Chemical Engineering Science 59: 1875-1883.

Crab, R. 2010. Bioflocs technology: an integrated system for the removal of nutrients and simultaneous production of feed in aquaculture. PhD thesis, Ghent University. pp 178.

Crab, R., Avnimelech, Y., Defoirdt, T., Bossier, P., Verstraete, W. 2007. Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. Aquaculture 270: 1-14.

Crab, R., Chielens, B., Wille, M., Bossier, P., Verstraete, W. 2010a. The effect of different carbon sources on the nutritional value of bioflocs, a feed for Macrobrachium rosenbergii postlarvae. Aquaculture Research 41: 559-567.

Crab, R., Defoirdt, T., Bossier, P., Verstraete, W. 2012. Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges

Crab, R., Kochva, M., Verstraete, W., Avnimelech, Y. 2009. Bio-flocs technology application in over-wintering of tilapia. Aquaculture Engineering 40: 105-112.

Crab, R., Lambert, A., Defoirdt, T., Bossier, P., Verstraete, W. 2010b. Bioflocs protect gnotobiotic brine shrimp (*Artemia franciscana*) from pathogenic *Vibrio harveyi*. Journal of Applied Microbiology 109: 1643-1649.

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.

Drengstig, A., Bergheim, A., Drengstig, T., Kollsgård, I., Svensen, R. 2003a. Testing of a new feed especially manufactured for European lobster (*Homarus gammarus* L.), Report RF-Rogaland Research - 2003/183, pp 18.

Drengstig, A., Borthen, J., Kristiansen, T. S., Jacobsen, P. 2003b. Nettverk for koordinert næringsutvikling- Tiltaksplan for hummer. Rapport fra Norsk Sjømatsenter, Bergen desember 2003, pp 22.

Drengstig, A., Drengstig, T., Kristiansen, T. S., Aardal, L. 2002. High density rearing units for production of lobster juveniles in recirculated seawater, pp 220-221. Extended abstract and Poster presentation, EAS special publication No. 32. August 2002, Trieste, Italy, pp 561.

Drengstig, T., Drengstig A. 2003. Beskrivelse av et landbasert oppdrettsanlegg for produksjonporsjonshummer og havbeitehummer. *Internrapport Norwegian Lobster Farm AS*. Stavanger,Norway, pp 47.

Eikebrokk, B. 1990. Design and performance of the BIOFISH water recirculation system. - Acuaculture Engineering 9: 285-294.

Green, J., Gordon, I. 2018. Crustacean. Encyclopædia Britannica, inc. (https://www.britannica.com/animal/crustacean) [Pristup: 26.09.2019.]

Grimsen, S., Jaques, R.N., Erenst, V., Balchen, J.G. 1987. Aspects of automation in a lobster farming plant. - Modelling, Identifcation and Control 8: 61-68.

Hargreaves, J.A. 2006. Photosynthetic suspended-growth systems in aquaculture. Aquaculture Engineering 34: 344-363.

Hargreaves, J.A. 2013. Biofloc production systems for aquaculture. Southern Regional. Aquaculture Center Publication 4503, Stoneville, MS, USA. pp 11.

Kim, S.-K., Guo Q., Jang, I.-K. 2015. Effect of biofloc on the survival and growth of the postlarvae of three penaeids (*Litopenaeus vannamei*, *Fenneropenaeus chinensis*, and *Marsupenaeus japonicus*) and their biofloc feeding efficiencies, as related to the morphological structure of the third maxilliped

Kristiansen, T. S., Drengstig, A., Bergheim, A., Drengstig, T., Svensen, R., Kollsgård, I., Nøstvoll, E., Farestveit, E., Aardal, L. 2004. Development of methods for intensive farming of European lobster (*Homarus gammarus* L.) in recirculated seawater. Results from experiments conducted at Kvitsøy lobster hatchery from 2000 to 2004. Fisken og Havet, pp 52.

Kuhn, D.D., Boardman, G.D., Lawrence, A.L., Marsh, L., Flick, G.J. 2009. Microbial floc meals as a replacement ingredient for fish meal and soybean protein in shrimp feed. Aquaculture 296: 51-57.

Luo, G., Gao, Q., Wang, C., Liu, W., Sun, D., Li, L., Tan, H. 2014. Growth, digestiveactivity, welfare, and partial cost-effectiveness of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultured in a recirculating aquaculture systemand an indoor biofloc system. Aquaculture 422-423: 1-7.

McNeil R. 2000. Zero exchange, aerobic, heterotrophic systems:Key considerations. Global Aquaculture Advocate, 3(3): pp 72-76.

Nicosia, F., Lavalli, K. 1999. Homarid lobster hatcheries: their history and role in research, management and aquaculture. Marine Fisheries Review, 61(1): 1-57.

Prangnell, D.I., Castro, L.F., Ali, A.S., Browdy, C.L., Zimba, P.V., Laramore, S.E.,Samocha, T.M. 2016. Some limiting factors in superintensive production of juvenile Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in no-

water-exchange,biofloc-dominated systems. J. World Aquacult. Soc. 47 (3): 396-413.

Ray, A. J., Drury, T. H., Cecil, A. 2017. Comparing clear-water RAS and biofloc systems: Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production, water quality, and biofloc nutritional contributions estimated using stable isotopes. Aquacultural Engineering, 77: 9-14.

Ray, A.J., Shuler, A.J., Leffler, J.W., Browdy, C.L. 2009. Microbial ecology andmanagement of biofloc systems. In: Browdy, C.L., Jory, D.E. (Eds.), The Rising Tide, Proceedings of the Special Session on Sustainable Shrimp Farming. World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, USA, 231-242.

Richards, P.R. 1981. Some aspects of growth and behaviour in the juvenile lobster *Homarus gammarus* (Linnaeus). PhD Thesis University of Wales, Bangor, Great Britain, pp 209.

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.

Thorarinsdottir, R.I., Magnusdottir, S. K., Halldorsson, H.P., Drengstig, A., Agnalt, A.-L. 2014. Farming of European lobster *Homarus gammarus* using natural geothermal sources.

Timmons, M. B., Losordo, T. M. 1994. Aquaculture water reuse systems: engineering design and management. Elsevier, New York, USA.

Timmons, M.B., Ebeling, J.M. 2007. Recirculating Aquaculture, 2nd ed. Cayuga Aqua. Ventures, Ithaca, NY, USA, pp 948.

Turk, T. 2011. Pod površinom Mediterana. Školska knjiga, Hrvatska, pp 592.

Uglem, I. 1995. Håndbok i hummeryngeloppdrett. Havforskningsinstituttet (ISBN 82-7461-041-5), pp 68.

van Olst, J.C., Carlberg, J.M., Hughes, J.T. 1980. Chapter 10: Aquaculture. In: Cobb, J.S., Phillips (Ur.), B.F. The biology and management of lobsters. Vol II. Ecology and management. Academic Press, Inc. 333-384

Wang, J.-C., Chang, P.-S., Chen, H.-Y. 2008. Differential time-series expression of immune-related genes of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* in response to dietary inclusion of β-1,3-glucan. Fish & Shellfish Immunology 24: 113-121.

Wasielesky Jr., W., Atwood, H., Stokes, A., Browdy, C.L. 2006. Effect of natural production in a zero exchange suspended microbial floc based super-intensiveculture system for white shrimp *Litopenaeus vannamei*. Aquaculture 258: 396-403.

Wickens, J.F., Lee, J.F., D.O. 2002. Crustacean Farming Ranching and Culture. Second edition. Blackwell Science, Wiley-Blackwell, USA, pp 464.

Wickins, J.F. 1986. Stimulation of crusher claw development in cultured lobsters, *Hamarus gammarus* (L.) Aquaculture and Fisheries Management, 117: 267-274.

Wickins, J.F., Beard, T.W. 1991. Variability in size at moult among individual broods of cultured lobsters, *Homarus gammarus* (L.). Aquaculture and Fisheries Mangement, 22: 481-489.

Mrežni izvori:

http://rakovi.biol.pmf.unizg.hr/rakovi/morfologija.htm

http://www.dzzp.hr/galerija-fotografija/morske-svojte-i-stanista/_29