Vee korduskasutusega vesiviljeluse juhend

Uute keskkonnahoidlike ja suure tootlikkusega suletud kalakasvatussüsteemide tutvustus

Jacob Bregnballe

2022. a väljaanne

Food and Agriculture Organization of the United Nations

EUROFISH INTERNATIONAL ORGANISATION

Originaali tiitel: Bregnballe, J. 2022. A guide to recirculation aquaculture – An introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems. Rome. FAO and Eurofish International Organisation. https://doi.org/10.4060/cc2390en

Tõlge eesti keelde: Helika Mäekivi (Keelehelin OÜ)
Väljaandja: Kalanduse teabekeskus, 2023

ISBN 978-9949-7483-9-6

Kalanduse teabekeskus
www.kalateave.ee

EMKF
RAKENDUSKAVA
2014-2020

Euroopa Liit
Euroopa Merendus- ja Kalandusfond

Vee korduskasutusega vesiviljeluse juhend

Uute keskkonnahoidlike ja suure tootlikkusega suletud kalakasvatussüsteemide tutvustus

Jacob Bregnballe

ÜRO Toidu- ja Põllumajandusorganisatsioon (FAO) ning
Ida- ja Kesk-Euroopa Kalanduse Arendamise
Rahvusvaheline Organisatsioon (EUROFISH)

Mõned õigused kaitstud. Teos tehakse kättesaadavaks Creative Commonsi Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 IGO litsentsi alusel (CC BY-NC-SA 3.0 IGO; https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo/legalcode).

Kõnealuse litsentsi tingimustel võib seda teost kopeerida, levitada ja kohandada mitteärilistel eesmärkidel, tingimusel et teosele on asjakohaselt viidatud. Selle teose mis tahes viisil kasutamise korral ei tohi miski viidata sellele, nagu FAO või EUROFISH toetaks konkreetset organisatsiooni, toodet või teenust. FAO ja EUROFISHi logo kasutamine ei ole lubatud. Kui teost on ajakohastatud, tuleb seda litsentsida sama või samaväärse Creative Commonsi litsentsi alusel. Teose tõlkimisel tuleb koos kohustusliku viitega lisada järgmine lahtiütlus: „Seda tõlget ei teinud ÜRO Toidu- ja Põllumajandusorganisatsioon (FAO) ega EUROFISH. FAO ega EUROFISH ei vastuta selle tõlke sisu ega täpsuse eest. Algupärane [keel] väljaanne on autoriteetne väljaanne."

Litsentsi alusel tekkinud vaidlused, mida ei saa rahumeelselt lahendada, lahendatakse lepitus- ja vahekohtumenetluse teel, nagu on kirjeldatud litsentsi artiklis 8, juhul kui siinkohal pole sätestatud teisiti. Kehtivad lepituseeskirjad on Maailma Intellektuaalse Omandi Organisatsiooni lepituseeskirjad (http://www.wipo.int/amc/en/mediation/rules) ning vahekohtumenetlus toimub ÜRO rahvusvahelise kaubandusõiguse komisjoni (UNCITRAL) vahekohtumenetluse eeskirjade kohaselt.

Kolmandate isikute materjalid. Kasutajad, kes soovivad taaskasutada selle teose materjale, mis kuuluvad kolmandale isikule, nagu tabelid, joonised või pildid, peavad kindlaks tegema, kas nende taaskasutamiseks on vaja luba, ja vajaduse korral taotlema loa autoriõiguse omajalt. Vastutus teose mis tahes kolmanda isiku omandis oleva osa õiguste rikkumisest tekkivate kahjunõuete eest lasub ainult kasutajal.

Müük, õigused ja litsentsimine. See materjal on saadaval FAO veebisaidil (www.fao.org/publications) ja EUROFISHi veebisaidil (www.eurofish.dk/activities/publications/) ning seda saab osta aadressilt publications-sales@fao.org või info@eurofish.dk. Ärieesmärgil kasutamise taotlused tuleb esitada aadressil www.fao.org/contact-us/licence-request. Päringud õiguste ja litsentside kohta tuleks saata aadressile cpyright@fao.org või info@eurofish.dk.

Originaali tiitel: Bregnballe, J. 2022. A guide to recirculation aquaculture – An introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems. Rome. FAO and Eurofish International Organisation. https://doi.org/10.4060/cc2390en

Teabematerjalis kasutatud nimetused ja esitatud materjal ei väljenda ÜRO Toidu- ja Põllumajandusorganisatsiooni (FAO) või Ida- ja Kesk-Euroopa Kalanduse Arendamise Rahvusvahelise Organisatsiooni (EUROFISH) arvamust mis tahes riigi, territooriumi, linna või piirkonna või selle ametiasutuste õigusliku või arengualase staatuse või piiride kindlaksmääramise kohta. Konkreetsete ettevõtete või tootjate toodete mainimine, olenemata sellest, kas need on patenditud või mitte, ei tähenda, nagu FAO või EUROFISH toetaks või soovitaks neid, eelistades neid teistele siinkohal nimetamata sarnastele toodetele. Piltide puhul, millel puuduvad viited, on allikaks AKVA kontsern.

Selles teabematerjalis väljendatud seisukohad on autori(te) omad ega pruugi kajastada FAO või EUROFISHi seisukohti või põhimõtteid.

ISBN 978-92-5-136981-4 [FAO]

© FAO ning Ida- ja Kesk-Euroopa Kalanduse Arendamise Rahvusvaheline Organisatsioon (EUROFISH), 2022 (3. väljaanne)

Sisukord

Eessõna 5

1. peatükk. Sissejuhatus vee korduskasutusega vesiviljelusse 9

2. peatükk. Vee korduskasutusega süsteemi üksikasjalik ülevaade 15

3. peatükk. Kalaliigid vee korduskasutusega süsteemis 43

4. peatükk. Projekti kavandamine ja teostus 53

5. peatükk. Vee korduskasutusega süsteemi tööshoidmine 63

6. peatükk. Reovee käitlemine 81

7. peatükk. Haigused 91

8. peatükk. Projektide näited 99

Kasutatud kirjandus 110

Lisa 111

Eessõna

Ranged keskkonnakaitsepiirangud, mille eesmärk on vähendada haudemajadest ja maismaal asuvatest vesiviljelusrajatistest tulenevat saastet Põhja-Euroopa maades, on käivitanud vee korduskasutusega vesiviljeluse kiire tehnoloogilise arengu, investeerimise ja innovatsiooni paljudes maailmaosades. Selline vesiviljelus tagab ühtlasi ka suurema ja stabiilsema toodangu, kuna haiguspuhanguid on harvem ja kontroll haudemajade kalade kasvu mõjutavate näitajate üle parem. See suund on teretulnud ja igati kooskõlas ÜRO Toidu- ja Põllumajandusorganisatsiooni (FAO) vastutustundliku kalapüügi juhendiga. Siinne vee korduskasutusega vesiviljeluse juhend täiendab FAO Kesk- ja Ida-Euroopa piirkondliku büroo tehtavat tööd keskkonna seisukohalt jätkusuutliku vesiviljeluse edendamise valdkonnas. Vee korduskasutusega vesiviljeluse süsteem tähendab ühtlasi seda, et haudemajad ei pea enam asuma hinnalistel jõeäärsetel aladel. Nüüd võib neid ehitada peaaegu igale poole, kuna nende vajadus puhta, haigustekitajatest vaba vee järele on varasemast palju väiksem. Seepärast on FAO-l olnud hea meel toetada selle juhendi väljaandmist. Loodetavasti innustab see kalakasvatajaid ja aitab neil tulevikus üle minna vee korduskasutusega vesiviljelusele.

Haydar Fersoy
kalanduse ja vesiviljeluse vanemametnik
FAO Euroopa ja Kesk-Aasia piirkondlik büroo

Vesiviljelusel, mis on juba praegu maailma kiiremini kasvavaid põllumajandusharusid, on eeldusi kasvada ka edaspidi ning varustada maailma elanikkonda kvaliteetsete ja tervislike kalandus- ja mereannitoodetega. Kuigi ülemaailmne püügitoodang on olnud viimasel kümnendil üsna stabiilne, ulatudes 92 miljoni tonnini 2019. aastal, oli vesiviljelustoodang 85 miljonit tonni, mis tähendab 48% kasvu alates 2010. aastast.

Et üha rohkem pööratakse tähelepanu kestlikkusele, tarbijate nõudmistele, toiduohutusele ja tasuvusele, arendatakse vesiviljeluse tehnoloogiat pidevalt edasi. Üldiselt mõjutab vesiviljelusega tootmine keskkonda, aga vee korduskasutusega vesiviljeluse tipptasemel meetodid vähendavad seda mõju traditsiooniliste kalakasvatusmeetoditega võrreldes märkimisväärselt. Vee korduskasutusega vesiviljelusel on seetõttu kaks vahetut eelist: tasuvus ja vähenenud keskkonnamõju. Käesolevas juhendis käsitletakse üleminekut traditsiooniliselt vesiviljeluselt vee korduskasutusega vesiviljelusele ja antakse vesiviljelejale nõu eksimuste vältimiseks.

Juhend põhineb ühe selle ala tuntuma asjatundja, AKVA kontsernis töötava Jacob Bregnballe kogemustel. Loodetavasti on see vee korduskasutusega vesiviljelusele üleminevatele kalakasvatajatele kasulik töövahend.

Marco Frederiksen
direktor
EUROFISH

Autori Jacob Bregnballe ja AKVA kontserni tutvustus

Jacob Bregnballe AKVA kontsernist on vee korduskasutusega vesiviljeluse valdkonnas töötanud üle 40 aasta. Ta on 25 aastat pidanud isiklikku kalakasvandust Taanis ja on olnud seotud paljude tehniliste uuendustega, mille eesmärk on muuta vee korduskasutusega vesiviljeluse süsteem sobivaks laiale valikule vesiviljeluses kasvatatavatele liikidele. Samuti on ta töötanud rahvusvahelise vesiviljeluse nõustajana ja omandanud Kopenhaageni ülikoolis magistrikraadi. Praegu on ta maismaaosakonna müügidirektor AKVA kontsernis, mis on üks maailma suurimaid vesiviljelustehnoloogia ettevõtteid, hõlmates kõiki vesiviljeluse aspekte nii maismaal kui ka merel. Ettevõttel on üle 40-aastane kogemus meres asuvate võrksumpade, söödapraamide, toitmissüsteemide, keskkonnaandurite ja kalakasvatustarkvara väljatöötamises ja tootmises. Maismaaosakonnas pakub ettevõte vee korduskasutusega vesiviljeluse projektide valmislahendusi.

Jacob Bregnballe
AKVA group Land Based A/S
Venusvej 24, 7000 Fredericia
Taani

Mob: (+45) 2068 0994
jbregnballe@akvagroup.com
www.akvagroup.com

1. peatükk. Sissejuhatus vee korduskasutusega vesiviljelusse

Vee korduskasutusega vesiviljelus on kalade või teiste veeorganismide kasvatamine korduvalt kasutatavas vees. Tehnoloogia põhineb mehaaniliste ja bioloogiliste filtrite kasutamisel ning seda saab tarvitada põhimõtteliselt kõikide vesiviljeluses kasvatatavate liikide puhul, nagu kalad, krevetid, karbid jne. Vee korduskasutust rakendatakse eeskätt kalade kasvatamisel, seega on käesolev juhend mõeldud peamiselt kalakasvatusega tegelevatele inimestele.

Vee korduskasutusega vesiviljelussüsteemide kasutamine kalakasvatuses suureneb kiiresti ja selliseid süsteeme paigaldatakse erinevatesse tootmisüksustesse suurtest kasvandustest, mis toodavad tonnide kaupa kaubakala aastas, kuni väikeste keerukate süsteemideni, kus kalu kasvatatakse ohustatud liikide taasasustamiseks või säilitamiseks.

Vee korduskasutus võib toimuda eri intensiivsusega, sõltuvalt taasringleva või korduskasutatava vee hulgast. Tänapäeval on paljud vee korduskasutusega vesiviljelussüsteemid intensiivsed kasvandused kinnistes, väliskeskkonnast isoleeritud hoonetes, kus ühe kalakilogrammi tootmiseks kulub kõigest 300 liitrit värsket vett. Vee tarbimist saab vähendada veelgi vaid 30–40 liitrini ühe kalakilogrammi tootmiseks, kui vee korduskasutusega vesiviljelussüsteemi puhul

Joonis 1.1. Vee korduskasutusega süsteem sisetingimustes

võetakse kasutusele lämmastiku ja fosfori eemaldamine. On ka traditsioonilisi välistingimustes asuvaid ja sageli vee korduskasutuseks ümberehitatud kasvandusi, kus ühe kalakilogrammi tootmiseks kulub ligikaudu 3 m³ värsket vett. Traditsiooniline läbivooluga forellikasvandus, kus vesi lihtsalt voolab ühe korra läbi kasvanduse enne, kui see välja lastakse, kasutab tavaliselt ühe kalakilogrammi tootmiseks umbes 30 m³ vett, mis on umbes sada korda rohkem vett kui tavalise vee korduskasutusega vesiviljelussüsteemi puhul.

Vee korduskasutuse määra väljendatakse ka järgneva valemi põhjal:

$$\frac{\textit{sisene taasringlusvool}}{\textit{väline taasringlusvool + värske vee sissevõtt}} \times 100$$

Seda valemit kasutatakse joonise 1.2 puhul vee taasringluse määra arvutamiseks erineva intensiivsusega süsteemide puhul, samuti võrreldakse erinevaid vee taasringluse määra mõõtmise viise.

Tabel 1.1. Vee korduskasutuse määrade võrdlus eri intensiivsuse ja korduskasutuse määra väljendamise viiside juures

Süsteemi liik	Värske vee tarbimine kalakilogrammi kohta	Värske vee tarbimine tunnis	Päevas tarbitava värske vee kogus süsteemi mahust	Vee korduskasutuse määr valemi abil
Läbivool	30 m³	1712 m³/h	1028%	0%
Väikese intensiivsusega vee korduskasutus	3 m³	171 m³/h	103%	95,9%
Intensiivne vee korduskasutus	0,3 m³	17 m³/h	10%	99,6%
Vee korduskasutus koos lämmastiku ja fosfori eemaldusega	0,03 m³	1,7 m³/h	1%	99,96%

Arvutused põhinevad 500-tonnise aastatoodanguga süsteemi teoreetilisel näitel, mis võtab vett ringlusse kord tunnis söödavääringuse 1,0 juures ning 4000 m³ vee kogumahu juures, millest 3000 m³ moodustab kasvubasseini maht.

Paljudes piiratud veeressursiga piirkondades on vee korduskasutamine keskkonnasäästlik. Peale selle muudab piiratud veekasutus toitainete eemaldamise veest lihtsamaks ja odavamaks, sest kasutatava vee kogus on palju väiksem kui traditsioonilises kalakasvanduses. Vee korduskasutusega kalakasvatust võib pidada kõige keskkonnasäästlikumaks kala tootmise viisiks, mis on ühtlasi ka majanduslikult tasuv. Kalakasvanduses toodetud kalade eritatavaid toitaineid on võimalik kasutada väetisena põllumajandusmaal või biogaasi tootmiseks.

Joonis 1.2. Vee korduskasutusega süsteem välitingimustes

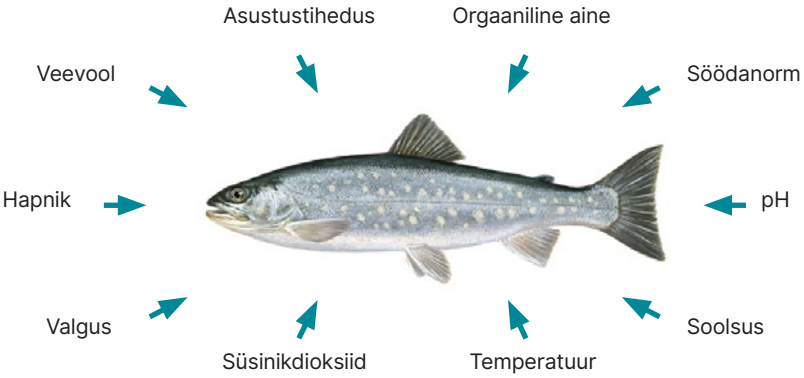
Kalakasvatuse kontekstis kasutatakse mõnikord terminit „vee nullkasutus“ (ing k *zero water usage*) või „nullheide“ (ing k *zero-discharge*); kuigi on võimalik täielikult vältida reovee ja muda kasvandusest keskkonda sattumist, siis on reovee lõplik käitlemine sageli liiga kulukas. Seetõttu soovitatakse taotleda heiteluba, mis võimaldab toitainete heidet sellisel määral, mis muudab projekti majanduslikult tasuvaks ning samal ajal vähendab keskkonnamõju.

Huvitav on sealjuures see, et piiratud veekasutus annab tootmises tohutult suure eelise. Traditsiooniline kalakasvatus sõltub täielikult väliskeskkonna tingimustest, nagu jõevee temperatuur, vee puhtus, hapnikusisaldus või vetikate ja lehtede põhjustatud ummistused sissevooluvõres jne. Vee korduskasutuse puhul puuduvad välised keskkonnategurid täielikult või osaliselt sõltuvalt vee korduskasutuse määrast ja kasvanduse ehitusest.

Vee korduskasutus võimaldab kalakasvatajal täielikult kontrollida kõiki tootmise parameetreid. Oskus vee korduskasutuse süsteemi töös hoida muutub seega sama oluliseks kui oskus hoolitseda kalade eest.

Parameetrite, nagu vee temperatuur, hapnikusisaldus või isegi päevavalgus, kontrollimine loob kaladele stabiilsed ja optimaalsed tingimused, mis omakorda tekitavad vähem stressi ja tagavad parema kasvu. Sellistes tingimustes kasvab

Joonis 1.3. Mõningad parameetrid, mis mõjutavad tehistingimustes peetava kala kasvu ja heaolu



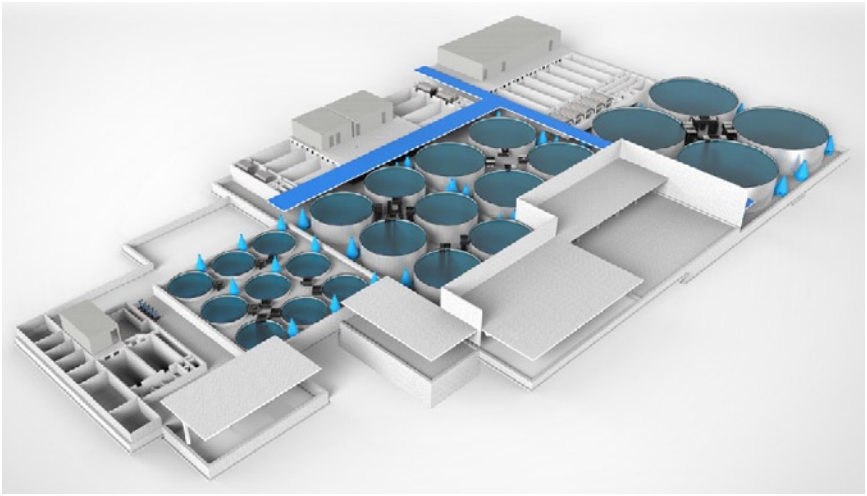
kala ühtlaselt ja prognoositavalt, nii et kalakasvataja teab, millal kala jõuab teatavasse staadiumi või suurusse. Selle peamine eelis on võimalus koostada täpne tootmisplaan ja täpselt prognoosida, millal kalad müügiküpseks saavad. See hõlbustab kasvanduse üldist juhtimist ja võimaldab toodangut konkurentsivõimelisemalt turustada.

Vee korduskasutuse tehnoloogial on kalakasvatuses veel palju eeliseid, millest tuleb juttu järgmistes peatükkides. Siiski tuleb kohe välja tuua, et muude süsteemidega võrreldes on vee korduskasutusega süsteemi üks tähtsamaid omadusi tunduvalt harvem haiguste esinemine. Väliskeskkonnast võetava vee vähene kogus piirab haiguste levikut kasvandusse. Traditsioonilise kasvanduse vesi pärineb jõest, järvest või merest ning see tõstab haiguste kasvandusse pääsemise riski. Vee korduskasutusega süsteemis võimaldab piiratud veevajadus kasutada sageli puurkaevu-, dreeni- või allikavett, mille puhul on haiguste esinemise oht väga väike. Peale selle töötlevad paljud vee korduskasutusega süsteemid sissetulevat vett ultraviolettkiirguse või osooniga soovimatute organismide hävitamiseks. Paljudes vee korduskasutuse süsteemides puuduvad haigustega seotud probleemid täielikult ja neis kasutatakse märgatavalt vähem ravimeid, mis on hea nii keskkonnahoiu kui ka tootmise seisukohalt. Kalakasvanduse sellisele tasemele viimiseks on loomulikult väga oluline kalakasvatajate suur hoolsus kasvandusse siseneva marja või vastsete valikul. Paljud haigused võivad jõuda kasvandustesse nakatunud marjaga või taasasustamiseks toodud kaladega. Parim viis haiguste leviku vältimiseks sellisel viisil on mitte tuua taasasustamiseks kalu väljastpoolt, vaid tuua ainult marja, kuna seda on võimalik täielikult enamiku haiguste vastu desinfitseerida.

Terve vee korduskasutusega vesiviljeluskasvanduse projekteerimisel tuleks arvestada sellega, et nõuded kalade puhul on vastavalt kalade elustaadiumile ja suurusele erinevad. On oluline, et kasvandus on kavandatud eraldiseisvate üksustena toimivatest sõltumatutest moodulitest, mis vastavad eri kasvustaadiumite erivajadustele. Kasvanduse jagamine eri mooduliteks tagab selle, et kindla suurusega kaladel on sobiva suurusega basseinid, õige söötmisvõimsus, valgusrežiim jne. Eri moodulite olemasolu ei vasta mitte ainult kalade bioloogilistele vajadustele ega paranda kasvanduse juhtimise tõhusust, vaid suurendab ka kasvanduse bioturvalisust tootmise ajal ja hoiab ära haiguste leviku.

Vesiviljelus nõuab teadmisi, häid kasvatusoskusi, järjepidevust ja mõnikord ka raudset närvi. Üleminek traditsiooniliselt kalakasvatuselt vee korduskasutusele teeb nii mõnegi asja lihtsamaks, aga nõuab ka uusi oskusi. Tipptasemel vesiviljelussüsteemide edukaks käitamiseks on vaja eelkõige erialast väljaõpet ja haridust, mis ongi selle juhendi eesmärk.

Joonis 1.4. Moodne vee korduskasutusega vesiviljelussüsteem, mis on jagatud eri mooduliteks, et süsteemi ülesehitus vastaks eri kasvustaadiumis olevate kalade erivajadustele



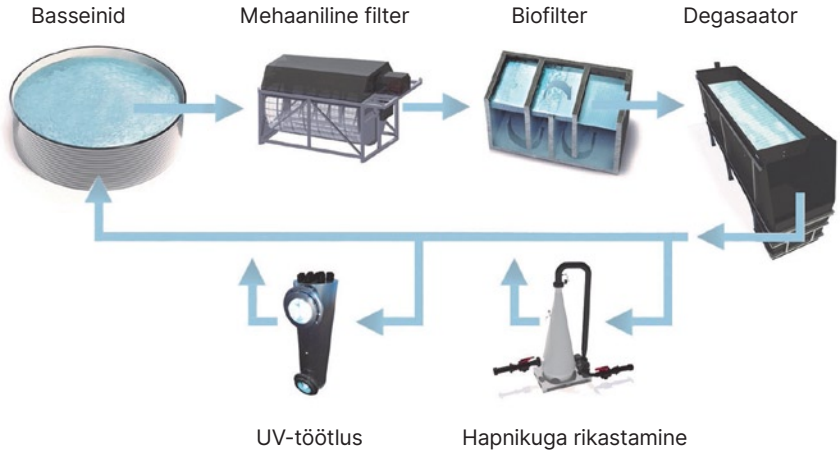
2. peatükk. Vee korduskasutusega süsteemi üksikasjalik ülevaade

Vee korduskasutusega süsteem vajab pidevat veekäitlust, mis eemaldab kalade eritatavad jääkained ja lisab hapnikku, et kalad püsiksid elus ja terved. Süsteemi põhimõte on tegelikult päris lihtne. Kasvubasseinist välja voolav vesi juhitakse kõigepealt mehaanilisse filtrisse ja seejärel biofiltrisse. Biofiltrist väljuv vesi degaseeritakse ja sellest eraldatakse süsinikdioksiid, misjärel juhitakse puhas vesi tagasi kalabasseini. See on vee korduskasutuse peamine põhimõte.

Vajaduse korral võib lisaks kasutada vee puhta hapnikuga rikastamist, ultraviolettkiirguse ja osooniga töötlemist, automaatset pH reguleerimist, soojusvahetust, denitrifikatsiooni jmt.

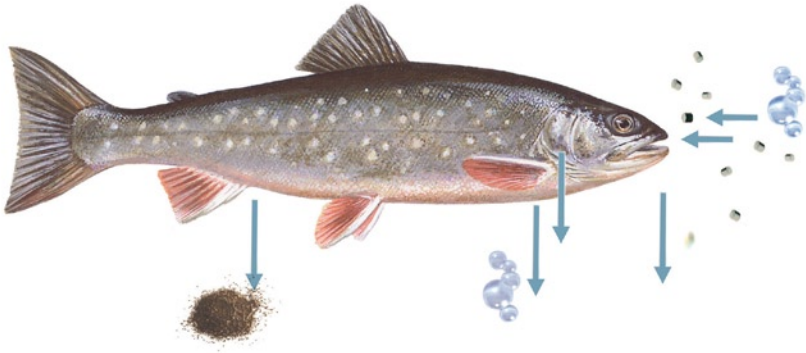
Kalakasvanduses olevaid kalu on vaja sööta mitu korda päevas. Söödud ja seeditud toit kasutatakse kala ainevahetuses energia ja toitainete saamiseks, et tagada kala kasv ja muud füsioloogilised protsessid. Läbi lõpuste sisse hingatud hapnikku (O_2) kasutatakse energia tootmiseks ja proteiinide lõhustamiseks, kusjuures süsinikdioksiid (CO_2) ja ammoniaak (NH_3) väljutatakse jääkainetena. Sööda

Joonis 2.1. Vee korduskasutusega süsteemi põhiskeem



Veepuhastussüsteemi põhiosad on mehaaniline filtreerimine, bioloogiline töötlemine ning degaseerimine. Vajaduse korral saab lisaks kasutada hapnikuga rikastamist või UV-töötlust.

Joonis 2.2. Sööta ja hapnikku tarbides kala kasvab ning eritab jääkaineid, nagu süsinikdioksiid, ammoniaak ja väljaheited



seedimatu osa väljutatakse vette väljaheidete, heljumi ja lahustunud orgaanilise ainena. Süsinikdioksiid ja ammoniaak väljutatakse vette lõpuste kaudu. Niisiis on kalade hapniku ja sööda tarbimise tagajärjel süsteemis ringlev vesi saastunud väljaheidete, süsinikdioksiidi ja ammoniaagiga.

Vee korduskasutusega süsteemis on soovitatav kasutada ainult kuivsööta. Kindlasti peaks vältima tehniliseks otstarbeks ettenähtud kalaga söötmist, sest see saastab süsteemi olulisel määral ja levitab suure tõenäosusega haigusi. Kuivsööt on ohutu ja see on valmistatud kalaliigi bioloogilisi vajadusi täpselt arvestades. Graanuleid valmistatakse kala suuruse järgi eri suuruses ning on võimalik valida vastsetele, sugukarjale, täiskasvanud kaladele vms sobiva koostisega sööt.

Vee korduskasutusega süsteemis toob tulu võimalikult tõhus söödakasutus, sest siis tekib vähem jääkprodukte ja koormus vee puhastamisel on väiksem. Õigesti majandatud süsteemis söövad kalad kogu sööda ära, viies söömata jäänud sööda osakaalu miinimumini. Söödaväärindus näitab ühe kilogrammi kala tootmiseks kuluvat söödakogust. Selle optimeerimine tagab kasvatajale parema tootlikkuse ning vähendab vee töötlemise vajadust. Söömata jäänud sööt on ressursside ja raha raiskamine ning koormab asjatult filtrisüsteemi. Saadaval on spetsiaalselt vee korduskasutusega süsteemidele mõeldud söödad. Nende puhul kasutab kala ära kogu söödas sisalduva proteiini ning tänu sellele väheneb ammoniaagi eritumine vette. Samuti on eelis see, kui tekkivad väljaheited on pigem tahked kui lahustuvad, sest suurem osa jääkaineid eemaldatakse juba mehaanilise filtreerimise käigus. Tahked väljaheited vähendavad ka vees heljuvate peenosakeste kogust, mistõttu on süsteemi vesi puhtam ja selgem.

Tabel 2.1. Koostisained ja nende sisaldus vee korduskasutusega süsteemis kasutamiseks sobilikus forellisöödas

Graanuli suurus	Kala suurus grammides	Valk	Rasv
3 mm	50–100	43%	29 %
4,5 mm	100–450	42%	30%
6,5 mm	450–1000	41%	31%

Koostisained (%)	3,0 mm	4,5 mm	6,5 mm
Kalajahu	20	19	18
Kalaõli	10	11	11
Rapsiõli	16	16	17
Hemoglobiini pulber	11	11	11
Herned	5	5	5
Soja	10	11	11
Nisu	12	11	11
Nisugluteen	5	5	5
Muud proteiini kontsentraadid	10	10	10
Vitamiinid, mineraalid jms	1	1	1

Allikas: BioMar.

Vee korduskasutusega süsteemi osad

Kasvubasseinid

Kalakasvatusbasseini keskkond peab vastama kala vajadustele nii vee puhtuse kui ka basseini kuju poolest. Õige suuruse, kuju, veesügavuse ja isepuhastusvõimega basseini valik võib avaldada suurt mõju kasvatatava kalaliigi tootlikkusele.

Kui kala on põhjaeluviisiga (kammeljas, merikeel või muu lestaline), on kõige tähtsam piisav basseini pindala ning võimalus alandada vee sügavust ja voolukiirust. Kogu veekihti kasutavad liigid, nagu lõhelised, kasvavad paremini suurema veemahu ja voolukiiruse juures.

Ümmarguses või ruudukujulises basseinis liigub kogu veesammas ringiratast, pööreldes ümber keskpunkti. Vee sellise liikumisega kaasneb isepuhastuv efekt ning orgaaniliste osakeste viibeaeg on võrdlemisi lühike – paar minutit, olenevalt basseini suurusest. Sellistes basseinides saab voolu tõhusalt kontrollida horisontaalselt reguleeritava vertikaalse sissevoolu abil.

Kiirvoolukanalites ei aita vee liikumine kaasa osakeste eemaldamisele. Vastupidi, kalade piisava asustustiheduse korral oleneb basseini isepuhastusvõime rohkem kalade aktiivsusest kui basseini kujust. Basseini põhja kalle mõjutab selle isepuhastusvõimet vähe või üldse mitte, ent see lihtsustab basseini täielikku tühjendamist.

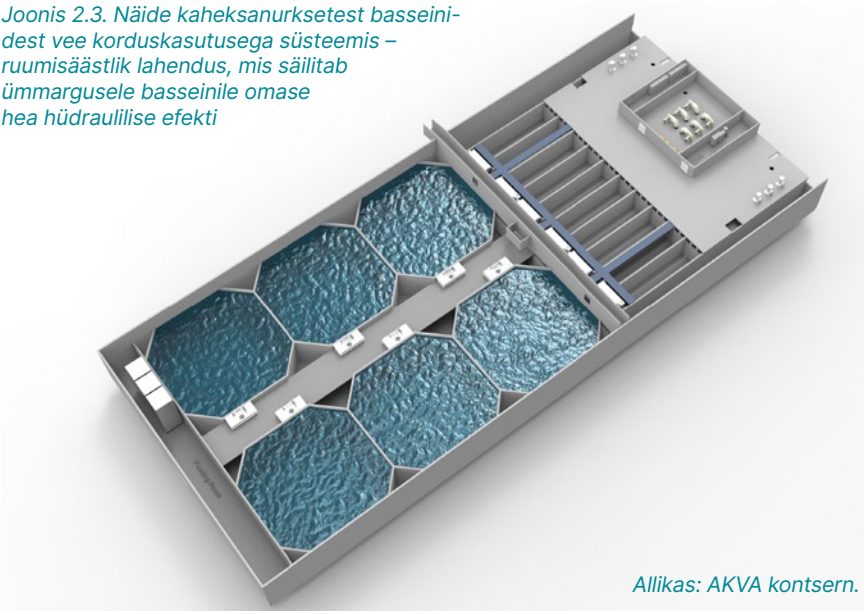
Kiirvoolukanalitega võrreldes võtavad ümmargused basseinid palju ruumi, mistõttu suurenevad hoone ehituskulud. Kui lõigata nelinurkselt basseinilt nurgad ära, saadakse kaheksanurkne bassein, mis on ruumisäästlikum ja säilitab samas ümmargusele basseinile omase hüdraulilise efekti (vt joonis 2.3). Tuleb siiski meeles pidada, et suurte basseinide puhul on ümmargune kuju siiski alati eelistatud, kuna see on kõige tugevama konstruktsiooniga ja odavam.

Tabel 2.2. Eri kujuga basseinidel on erinevad omadused ja eelised

Basseini omadused	Ümar bassein	D-lõpuline kiirvoolukanal	Kiirvoolukanali tüüpi
Isepuhastusvõime	5	4	3
Osakeste lühike viibeaeg	5	4	3
Hapnikukontroll ja reguleerimine	5	5	4
Ruumikasutus	3	4	5

Hinne 1–5, kus 5 on parim.

Joonis 2.3. Näide kaheksanurksetest basseinidest vee korduskasutusega süsteemis – ruumisäästlik lahendus, mis säilitab ümmargusele basseinile omase hea hüdraulilise efekti



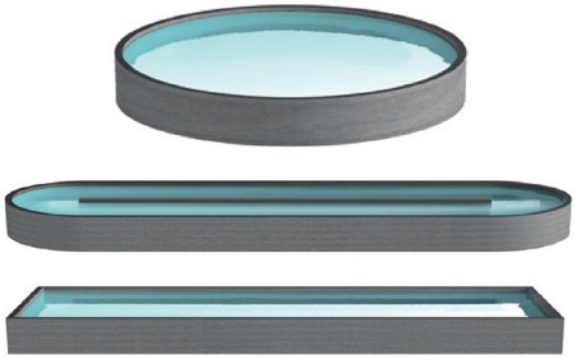
Allikas: AKVA kontsern.

Ümmarguse basseini ja kiirvoolukanali hübriidi nimetatakse ka D-lõpuliseks kiirvoolukanaliks (vt joonis 2.4). See ühendab endas ümmarguse basseini isepuhastusvõime ja kiirvoolukanali efektiivse ruumikasutuse. Sellist tüüpi basseine on praktikas harva kasutatud, tõenäoliselt sellepärast, et basseinide ning sisse- ja väljavoolude projekteerimine ja paigaldamine on keerulisemad.

Kalade heaolu huvides peab vee hapnikutase olema piisav ning tavaliselt saavutatakse see hapniku lisamisega basseini juurdevoolavasse vette. Enamikusse kasvandustesse on piisava hapnikutaseme olemasolu tagamiseks paigaldatud süsteemid puhta hapniku lahustumiseks tehnoloogilises vees. Süsteemid kasutavad kambrit, näiteks hapnikukoonust, kus vesi ja hapnik segunevad rõhu all suure hapnikuga küllastatuse saavutamiseks. Võimalik on ka puhta hapniku otse basseini viimine difuusorite abil, aga see meetod on väiksema efektiivsusega ja seadmed kulukamad. Hapniku otse basseini viimist kasutatakse eeskätt hädaolukordades ning see on sageli ühendatud magnetklapiga, mis vabastab elektrikatkestuse korral hapniku.

Ümmarguses või sellesarnases basseinis on hapnikutaset kontrollida ja reguleerida võrdlemisi lihtne, sest veesammas on pidevalt segatud ja hapnikutase kogu basseinis peaaegu ühesugune. See tähendab, et basseinis soovitud hapnikutaseme hoidmine on üsna lihtne. Basseini väljalaskeava lähedusse paigutatud hapnikuandur annab hea ülevaate hapnikusisaldusest basseinis. Hapniku lisamisel

Joonis 2.4. Ümmargune bassein, D-lõpuline kiirvoolukanal ja kiirvoolukanal



kajastab andur muutust võrdlemisi kiiresti. Andurit ei tohi paigutada puhta hapniku difuseerimise koha või hapnikurikka vee sissevoolu avale liiga lähedale.

Kiirvoolukanali puhul on hapnikusisaldus aga sissevooluava juures alati suurem ja väljavooluava läheduses väiksem, mistõttu tingimused erinevad vastavalt sellele, kuidas kala parajasti ujub. Vee hapnikusisaldust mõõtev andur tuleks alati paigutada väikseima hapnikusisaldusega piirkonda, st väljavooluava lähedusse. Selline voolusuunaline gradient raskendab hapnikusisalduse reguleerimist, kuna hapnikusisalduse reguleerimine sissevoolu juures võib väljavoolu läheduses tehtaval mõõtmisel kajastuda kuni tunnise viivitusega. Nii võib tekkida hapnikusisalduse pidev üles-alla kõikumine, selle asemel et enam-vähem valitud sisalduse juures püsida. Kaasaegsete algoritme ja ajakonstante kasutavate hapnikukontrolli süsteemide paigaldamine aitab siiski selliseid soovimatuid kõikumisi vältida.

Basseinide väljavoolud tuleb ehitada jäätmeosakeste optimaalset eemaldust silmas pidades ning paigaldada tuleb sobiva tihedusega võred, mis aitavad ära hoida kalade väljumise ja võimaldavad mustusel läbi pääseda. Samuti tuleks basseini väljavoolud ehitada sellised, et surnud kalade eemaldamine igapäevatöö käigus oleks lihtne.

Üldiselt tuleks kõik basseinid varustada hapnikuanduriga, et saada pidevalt teavet hapniku kättesaadavuse kohta ning anda häiret, kui tase langeb ohtlikult madalale. Hädaolukordades peaks olema võimalik basseini põhjas oleva difuusori abil viia hapnikku otse igasse basseini.

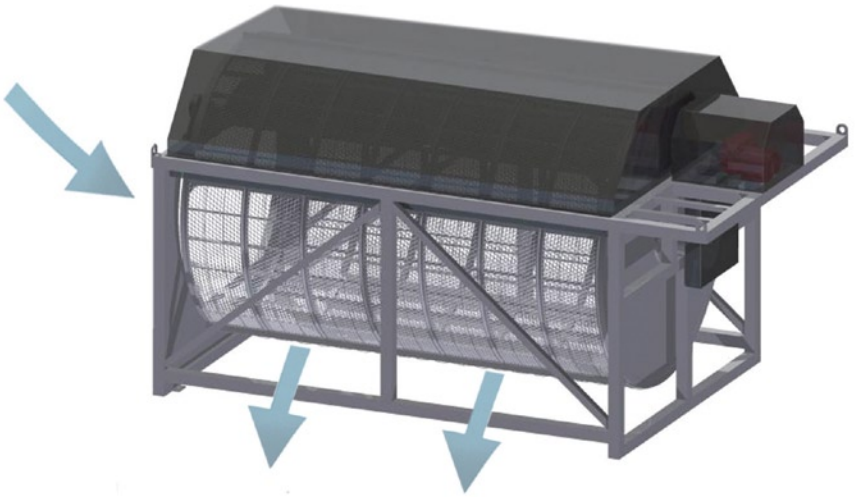
Enamasti jälgitakse veetemperatuuri hapnikusondi abil, sest tavaliselt on see varustatud sisseehitatud temperatuurianduriga. Vee korduskasutusega süsteemi suure ringluskiiruse tõttu on veetemperatuur kõigis basseinides enam-vähem samasugune.

Kasvubasseinidele saab paigaldada ka veetasemeanduri, mis annab märku siis, kui näiteks veetase on liiga madal. Täpsete veetasemete seireks on saadaval veetasemeandurite keerukad versioonid. Selliseid seadmeid kasutatakse kalade sorteerimisel, vaktsineerimisel või väljapüügil, mil veetaset tuleb järk-järgult langetada. Valitakse seadeväärtus ning pumbasüsteem reguleerib vee nõutud tasemele.

Mehaaniline filtratsioon

Basseini väljavoolu mehaaniline filtreerimine on osutunud kõige praktilisemaks lahenduseks orgaaniliste jäätmete eemaldamisel. Tänapäeval kasutavad peaaegu kõik vee korduskasutuse süsteemiga kalakasvandused basseinist välja voolava vee filtreerimiseks 20–100-mikronilise filterkangaga mikrovõret. Trummelfilter on seni kõige laialdasemalt kasutusel olev mikrovõre ja selle disain tagab, et osakesed eemaldatakse õrnalt.

Joonis 2.5. Trummelfilter



Vesi filtreeritakse läbi pöörleva trumli, mis on varustatud (20–100-mikronilise) filterkangaga mikrovõrega.
Allikas: CM Aqua.

Trummelfiltri tööpõhimõte:

1. Filtreeritav vesi siseneb trumlisse.
2. Vesi filtreeritakse läbi trummelfiltri kanga, mis on võimalik tänu trumli seesmise ja välimise veetaseme erinevusele.
3. Tahked osakesed jäävad filterkangasse kinni ja pöörlev trummel suunab need loputusalasse.
4. Loputamine toimub loputuspihustite abil, mis asuvad väljaspool filterkangast. Eemaldatud orgaaniline materjal pestakse kangast välja mudaalusele.
5. Kõnts voolab koos veega raskusjõu mõjul filtrist ja vee korduskasutusega vesiviljelussüsteemist edasiseks töötlemiseks välja (vt 6. peatükk).

Mikrovõrefiltratsioonil on järgmised eelised:

- biofiltri orgaaniline koormus väheneb;
- orgaaniliste osakeste veest eemaldamine muudab vee selgemaks;
- kuna biofilter ei ummistu, paranevad nitrifikatsioonitingimused;
- mõjub biofiltratsioonile stabiliseerivalt.

Bioloogiline käitlemine

Mehaaniline filter ei eemalda kogu orgaanilist ainet. Vette jäävad kõige peenemad osakesed ja lahustunud ühendid, nagu fosfaat ja lämmastik. Fosfaat on toksilise toimeta inertne aine, lämmastik aga vaba ammoniaagina (NH_3) toksiline ja tuleb biofiltris muuta ohutuks nitraadiks. Orgaanilise aine ja ammoniaagi lagundamine on bioloogiline protsess, mille viivad läbi biofiltris elavad bakterid. Orgaanilist ainet oksüdeerides tarbivad heterotroofsed bakterid hapnikku ning toodavad süsinikdioksiidi, ammoniaaki ja kõntsa. Nitrifitseerivad bakterid muudavad ammoniaagi nitritiks (NO_2) ja lõpuks nitraadiks (NO_3). Biofiltri efektiivsus sõltub eelkõige süsteemi:

- veetemperatuurist,
- pH-väärtusest.

Aktsepteeritava nitrifikatsioonitaseme saavutamiseks tuleb veetemperatuur hoida 10–35 °C piires (optimaalne umbes 30 °C) ning pH 7 ja 8 vahel. Vee korduskasutusega süsteemi veetemperatuur sõltub valdavalt kasvatatavast kalaliigist ja seda ei reguleerita mitte optimaalseima nitrifikatsioonitaseme saavutamiseks biofiltris, vaid kalade kasvuks sobiva temperatuuri tagamiseks. pH reguleerimine on aga biofiltri seisukohast oluline, kuna väiksem pH vähendab biofiltri töö tõhusust. Seega tuleb kõrge bakteriaalse nitrifikatsioonitaseme tagamiseks pH-d hoida üle 7. Teisalt kasvab pH väärtuse suurenedes vaba ammo-

niaagi (NH_3) hulk, mis suurendab omakorda vee toksilisust. Seetõttu tuleb leida pH reguleerimisel kahe vastandliku juhise vahel tasakaal. Soovituslik pH vahemik on 7–7,5.

Kaks peamist tegurit, mis mõjutavad pH-d vee korduskasutusega süsteemis:

- kalade ja biofiltri toodetav CO_2;
- nitrifikatsiooni käigus tekkiv hape.

Nitrifikatsiooni tulemus:

NH_4 (ammonium) + 1,5 O_2 → NO_2 (nitrit) + H_2O + $2H^+$ + 2e

NO_2 (nitrit) + 0,5 O_2 → NO_3 (nitraat) + e

$NH_4 + 2\ O_2 \leftrightarrow NO_3 + H_2O + 2H^+$

CO_2 eemaldatakse veest aereerimisega, mille abil toimub degaseerimine. Protsessi läbiviimiseks on mitu viisi, mida selles peatükis hiljem ka kirjeldatakse.

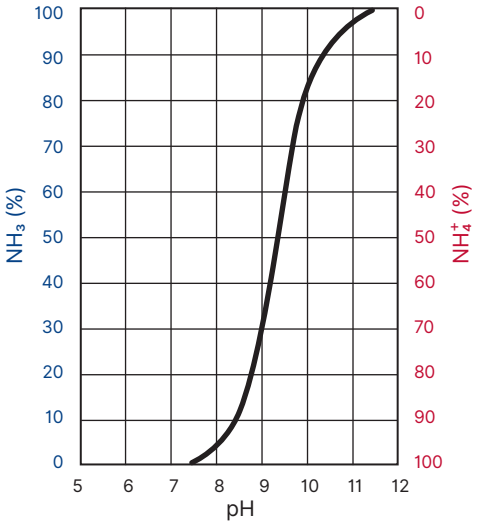
Nitrifikatsioon suurendab happelisust (H^+) ning pH-väärtus väheneb. pH-väärtuse stabiliseerimiseks tuleb lisada veele alust, näiteks lupja, naatriumhüdroksiidi (NaOH) või muud aluselist ainet.

Kala väljutab ammoniaagi ja ammooniumi segu (üldlämmastik (üld-N) = ammoonium (NH_4^+) + ammoniaak (NH_3)), kus ammoniaak moodustab eritise peamise osa. Ammoniaagi kogus vees sõltub aga pH-väärtusest, nagu on näha joonisel 2.6, kus on kujutatud ammoniaagi (NH_3) ja ammooniumi (NH_4^+) vahelist tasakaalu.

Üldiselt on ammoniaak kalade jaoks toksiline tasemel üle 0,02 mg/l. Joonis 2.7 näitab eri pH-väärtuste juures üldlämmastiku maksimaalset lubatud kontsentratsiooni, mis võimaldab tagada ammoniaagi sisalduse püsimise alla 0,02 mg/l. Väiksem pH-väärtus vähendaks riski, et ammoniaagitase tõuseb üle 0,02 mg/l, ent biofiltri tõhususe tõstmiseks vastavalt eespool kirjeldatule soovitatakse kalakasvatajal hoida pH-tase 7 juures. Kahjuks vähendab see märgatavalt maksimaalset lubatud üldnaatriumi sisaldust, nagu on näidatud joonisel 2.7. Seega tuleb kalakasvatajal biofiltri optimeerimisel arvesse võtta neid kahte faktorit, millele pH-väärtuse mõju on risti vastupidine.

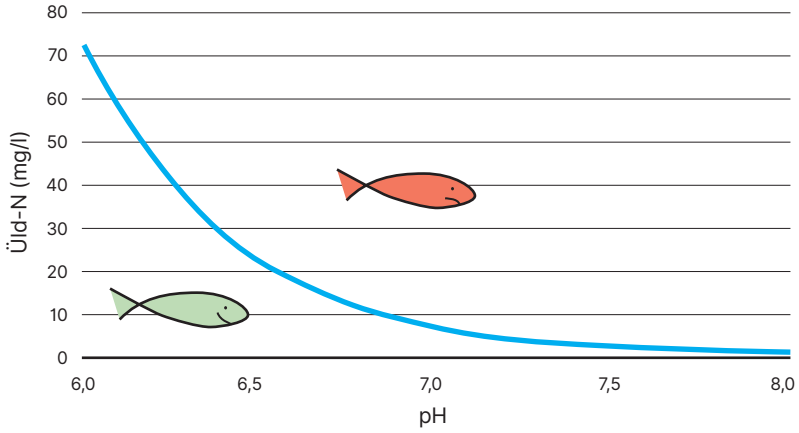
Nitritid (NO_2^-) moodustuvad nitrifikatsiooniprotsessi vaheetapis ja need on kaladele toksilised, kui nende sisaldus vees on üle 2 mg/l. Kui vee korduskasutusega süsteemis ahmivad kalad õhku, kuigi hapnikusisaldus on piisav, võib põhjuseks olla nitritite kõrge tase. Suure kontsentratsiooni juures transporditakse nitritid läbi lõpuste kala verre, kus need takistavad hapniku omastamist. Vette soola lisamisel kõigest 0,3‰ (protsendipunkti) tasemeni inhibeerib sool nitriti omastamist.

Joonis 2.6. Ammoniaagi (NH_3) ja ammooniumi (NH_4^+) tasakaal 20 °C juures



Toksiline ammoniaak puudub, kui pH on alla 7, kuid kasvab pH-väärtuse suurenedes kiiresti.

Joonis 2.7. Mõõdetud pH ja kogu biofiltris lagundamiseks olemasoleva üldlämmastiku sisalduse vaheline seos toksilise ammoniaagi kontsentratsiooni 0,02 mg/l juures temperatuuril 15 °C



Üld-N väärtused ülalpool kõverat on kaladele toksilised.

Nitraat (NO_3^-) on nitrifikatsiooni lõpp-produkt ja kuigi seda peetakse kahjutuks, on täheldatud selle kõrge taseme (üle 100 mg/l) ebasoodsat mõju kala kasvule ja söödavääringule. Kui värske vee vahetus hoitakse süsteemis minimaalsel tasemel, siis nitraadid kuhjuvad lubamatult kõrge tasemeni. Üks viis nitraatide kuhjumise vältimiseks on värske vee hulga suurendamine, mis lahjendab kontsentratsiooni nii palju, et probleemid kaovad.

Teisest küljest on vee säästmine korduskasutusega süsteemi eesmärk ja mõnikord on see äärmiselt oluline. Sellisel juhul saab nitraatide kontsentratsiooni vähendada ka denitrifikatsiooniga. Normaaltingimustes piisab nitraatide kontsentratsiooni lahjendamiseks, kui vee korduskasutusega süsteemis kasutatakse üle 300 l värsket vett söödakilogrammi kohta. Kui ühe söödakilogrammi kohta kasutatakse alla 300 l vett, tasub kaaluda denitrifikatsiooni kasutamist.

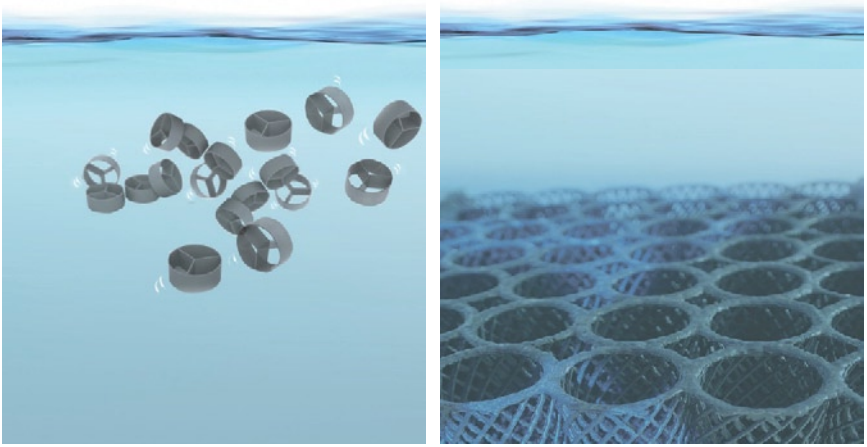
Kõige tüüpilisemaks denitrifitseerivaks bakteriks on *Pseudomonas*. Anaeroobse (hapnikku mittevajava) protsessi käigus muudetakse nitraat õhulämmastikuks. Selle protsessiga eemaldatakse lämmastik veest õhku, mistõttu väheneb lämmastikukoormus ümbritsevale veekeskkonnale. Protsess vajab orgaanilist materjali (süsinikku), näiteks puupiiritust (metanool), mida saab lisada denitrifikatsioon ikambrisse. Praktikas kulub 1 kg nitraadi denitrifitseerimiseks 2,5 kg metanooli.

Enamasti on denitrifikatsioonikambris biofiltrielemendid, mille ettenähtud viibeaeg on 2–4 tundi. Veevool peab olema kontrollitud, et väljavoolava vee hapnikutase püsiks umbes 1 mg/l juures. Hapniku täieliku ammendumise korral on denitrifikatsiooniprotsess vähem tõhus ning on suurem oht selleks, et tekib palju mädamuna lõhnaga vesiniksulfiidi (H_2S). Vesiniksulfiid on kaladele äärmiselt mürgine ja seda tuleb vee korduskasutusega süsteemides vältida. Denitrifikatsioonikambris võib tekkida võrdlemisi palju kõntsa, mistõttu tuleb seadet sageli vastuvoolu läbi pesta.

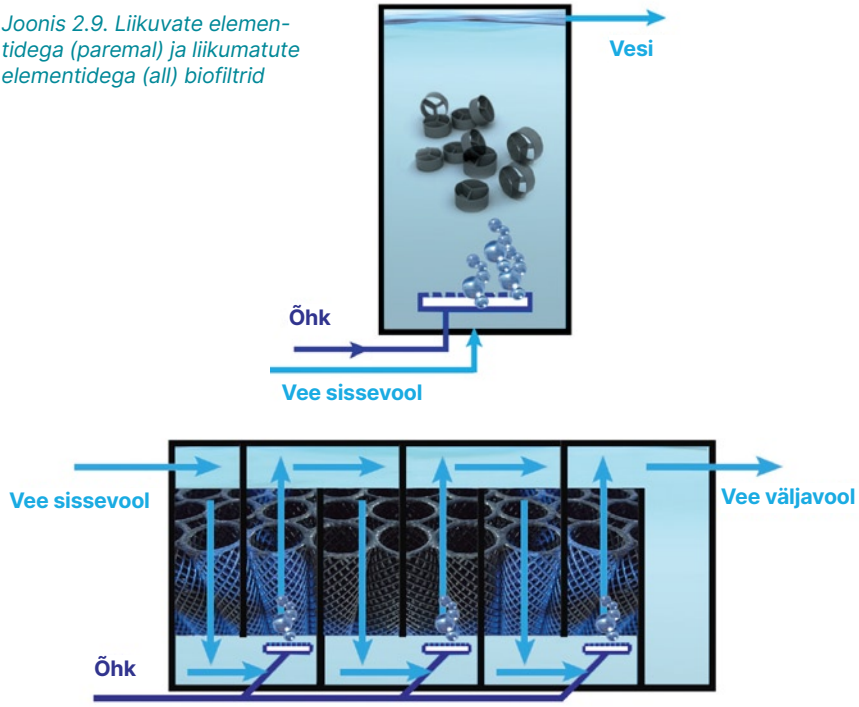
Biofiltris kasutatakse tavaliselt plastist elemente, millel on biofiltri kuupmeetri (m^3) kohta suur pindala. Bakterid moodustavad elemendil õhukese biokile, hõivates äärmiselt suure pindala (võrreldes biokilekandja suurusega). Hästi projekteeritud biofiltri eesmärk on saavutada võimalikult suur pindala kuupmeetri kohta, jättes samal ajal piisavalt liikumisruumi orgaanilise aine ummistuste vältimiseks filtri töö ajal. Seega on liikumatu elemendiga biofiltris oluline, et suure osa moodustaks vaba ruum, kust vesi läbi pääseb, ning et üldine läbivool regulaarse läbipesemise juures oleks piisav. Läbipesu tuleb teha piisava intervalliga, sõltuvalt filtri koormusest ja ülesehitusest, kas kord nädalas või kuus. Selleks tekitatakse suruõhu abil filtris väike turbulents, mis orgaanilise materjali lahti loksutab. Läbipesu ajal eraldatakse biofilter veeringest ning enne biofiltri uuesti süsteemiga ühendamist lastakse must vesi välja ja juhitakse minema.

Tänapäeval on paljud sellistes süsteemides kasutatavad biofiltrid sukeldatud seadmed (kogu aeg vee all). Liikumatu elemendiga biofiltri puhul on plastist

Joonis 2.8. Liikuva biokilekandja näide vasakul ja liikumatu biokilekandja näide paremal



Joonis 2.9. Liikuvate elementidega (paremal) ja liikumatute elementidega (all) biofiltrid



filtrielement paigale fikseeritud. Vesi liigub läbi liikumatu filtrielemendi laminaarvooluna, et puutuda kokku bakterikihiga. Liikuva elemendiga filtris liiguvad plastist filtrielemendid vees ringi biofiltrisse pumbatava õhu mõjul. Mis puudutab läbilaskevõimet (filtri pindala) ruutmeetri (m^2) kohta liikumatu ja liikuva elemendi puhul, siis siin olulist erinevust ei esine, kuna bakterikiht on mõlema filtritüübi puhul enam-vähem sama tõhus. Ent liikumatu elemendiga filtris eemaldatakse lisaks ka väiksemad orgaanilised osakesed, mis kinnituvad bakterikihile. Seega toimib liikumatu elemendiga filter ühtlasi ka peene mehaanilise filtrina (nimetatakse ka mikroosakeste filtreerimiseks), eemaldades mikroskoopilist orgaanilist materjali ning andes tulemuseks väga selge vee. Liikuvate elementidega filtril selline omadus puudub, kuna pidev turbulents muudab igasuguse kinnitumise võimatuks. Teisalt on liikuvate elementidega filtrid isepuhastuvad ning neid pole vaja läbi pesta.

Ühes süsteemis saab kasutada mõlemat tüüpi filtreid. Liikuvate elementidega filtrit kasutatakse, et vältida läbipesuga seotud probleeme, ning liikumatute elementidega filtrit kasutatakse, et eemaldada mikroosakesed. Seega olenevalt kasvanduse suurusest, kasvatatavatest liikidest, kalade suurusest jne on võimalik kasutada erinevate lõpp-lahendustega biofiltrite süsteeme.

Degaseerimine ja aereerimine

Enne vee kalabasseini tagasi juhtimist tuleb sellest eemaldada vette kogunenud gaasid kaladele optimaalsete tingimuste loomiseks. Kõnealune protsess toimub ringleva vee aereerimise teel ja kõige sagedamini viidatakse sellele kui degaseerimisele. Vee korduskasutusega süsteemi vees leidub suures kontsentratsioonis süsinikdioksiidi (CO_2), mis tekib kalade hingamisel ja biofiltri bakterite elutegevuse käigus. Ringlusprotsessi erinevate rõhkude tõttu võib tekkida ka vaba lämmastik (N_2) üleküllastunud tasemetel (üle 100%). Süsinikdioksiidi ja gaasilise lämmastiku kontrollimatu kontsentreerumine mõjub halvasti kalade heaolule ja kasvule.

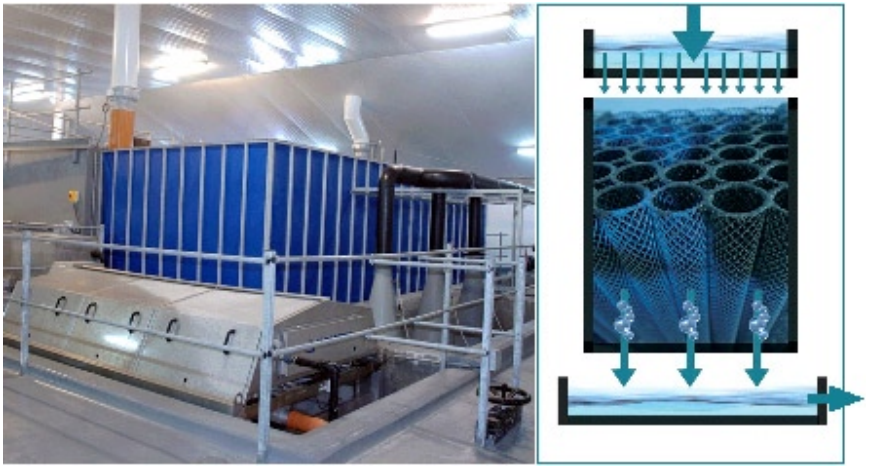
Vesiniksulfiid (H_2S) on samuti gaas, mis tuleb veest eemaldada. Nagu eespool mainitud, võib anaeroobsetes tingimustes tekkida gaasiline vesiniksulfiid. See on eriti ohtlik soolase veega süsteemides, sest soolane vesi sisaldab palju rohkem sulfaati kui magevesi. Kui vesiniksulfiid tekib ja ringleb süsteemis, mõjutab see kalu ja tõenäoliselt hävitab nad. Seega tuleb vee korduskasutusega süsteem projekteerida selliselt, et vältida kõntsa kuhjumist ja vesiniksulfiidi teket.

Degaseerimine saavutatakse lihtsa aereerimisega, pumbates vette õhku, mille käigus õhumullide ja vee kokkupuude turbulentsis eraldub veest gaase. Selline veealune aeratsioon võimaldab samal ajal ka vett liikuma panna, näiteks kui kasutatakse nn õhktõstukitüüpi aeratsiooni (joonis 2.10).

Joonis 2.10. Õhktõstuki-tüüpi aereerimissüsteem

Kaevu põhja lisatud õhk tõmbab vett läbi kasvanduse. Samal ajal vett aereeritakse ja degaseeritakse.

Joonis 2.11. Pritsmete põrandale sattumise vältimiseks sinise plastiga kaetud nõrgfiltri foto ja joonis

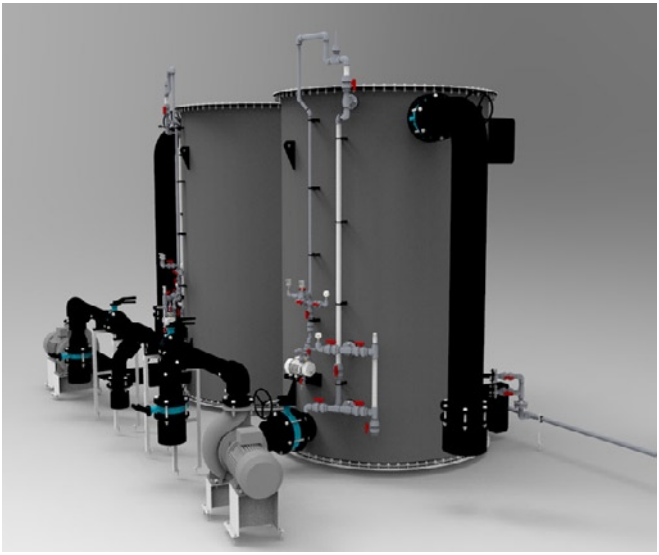


Aereerimise/degaseerimise protsessi nimetatakse ka CO_2 eraldamiseks. Allikas: Billund Aquaculture, Taani.

Lihtsa vee aereerimise asemel saab kasutada nõrgfiltrit. Nõrgfiltris eraldatakse gaasid vee ja sammastena paikneva plastist filtrielemendi füüsilisel kokkupuutel. Vesi juhitakse filtrisse sisse pealisküljel oleva aukudega jaotusplaadi kaudu, kust see voolab maksimaalse kokkupuute ja turbulentsi saavutamiseks läbi plastist filtrielemendi alla.

Vaakumtehnoloogia abil degaseerimine võib täiendada eespool nimetatud degaseerimismeetodeid. Mõned kalaliigid ei talu nii hästi suuri CO_2 koguseid ja eriti väikesed kalad või kalavastsed võivad olla väga tundlikud lämmastiku üleküllastumise (üle 100-protsendilise küllastatuse) suhtes. Vaakumdegaseerimist kasutatakse süsinikdioksiidi- ja lämmastikutaseme langetamiseks madalamale kui see, mis saavutatakse lihtsa aereerimise või nõrgfiltriga filtreerimise teel, kus gaasi eemaldamine madalamale tasemele kui 100-protsendiline küllastatus on võimatu. Vaakumi kasutamine võimaldab gaasi välja tõmmata alla 100-protsendilise küllastustasemeni. Tavaliselt paigaldatakse vaakumdegasaator nii, et see võtab väiksema osa vee korduskasutuse süsteemi peavoolust, mistõttu vaakumiga degaseeritud vesi segatakse peavoolu hulka, mille tulemuseks on väiksem üldine gaasiküllastatus.

Joonis 2.12. Vaakumdegasaatorit kasutatakse vees olevate gaaside väljatõmbamiseks, et saavutada väiksem gaasiküllastatus kui tavapärase degaseerimistehnoloogia abil. Vaakumdegaseerimist kasutatakse eeskätt noorkalade puhul, kes on sageli tundlikumad gaasi üleküllastatuse suhtes.



Hapnikuga rikastamine

Vee aereerimine kujutab endast samasugust mehaanilist protsessi nagu gaaside eraldaminegi ning selle käigus lisatakse vette hapnikku lihtsa vee ja õhu gaasivahetuse teel. Vee 100-protsendiline hapnikuga küllastatus tähendab, et vee ja õhu hapnikutasemed on tasakaalus. Parast kalabasseinide läbimist vee hapnikusisaldus langeb kalade hingamise tõttu enamasti umbes kuni 70–80% ning biofiltris väheneb see veelgi. Vee aereerimine võib hapnikuga küllastatust tõsta 90%-ni, mõnes süsteemis ka 100%-ni. Siiski soovitakse sageli sissevoolava vee üle 100-protsendilist hapnikuga küllastatust, et tagada piisav hapnikusisaldus kalade kiireks ja stabiilseks kasvuks. Kui on vaja üle 100-protsendilist küllastustaset, peab kasutusel olema puhta hapnikuga rikastamise süsteem.

Joonis 2.13. Hapnikukoonus puhta hapniku lahustamiseks kõrgsurvel ja lähivõte andurist (sondist) vee hapnikuga küllastatuse mõõtmiseks

Allikas: Oxyguard International.

Joonis 2.14. Hapnikuplatvorm puhta hapniku lahustamiseks madalal rõhul, samal ajal vett kasvanduses ringlusse pumbates. Süsteem tõstab lahustunud hapniku taseme vees tavaliselt pisut kõrgemaks kui 100%, sõltudes voolukiirustest ja kasvanduse ülesehitusest

Allikas: Frea Aquaculture Solutions.

Puhast hapnikku tarnitakse tavaliselt veoautoga ning hoitakse kohapeal paagis vedela hapnikuna (LOX), aga seda on võimalik kasvanduses toota ka hapnikugeneraatoriga. Hapnikuga üleküllastatud vee (hapnikuküllastus 200–300%) saamiseks on mitu viisi. Tavaliselt kasutatakse kõrgsurvega hapnikukoonuseid või sügava šahtiga hapnikuplatvorme. Tööpõhimõte on mõlemal sama. Vesi ja puhas hapnik segatakse rõhu all, mistõttu hapnik lahustub vees. Hapnikukoonuses tekitab rõhu veepump (tavaliselt umbes 1,4 baari). Ent hapnikukoonustesse vee pumpamiseks rõhu all kulub palju elektrit. Hapnikuplatvormi puhul on rõhk palju madalam (tavaliselt umbes 0,1 baari) ja vett pumbatakse lihtsalt läbi karbi seda hapnikuga segades. Kõrgsurvelahendus kasutab hapnikuga rikastamiseks osa eraldi ringes ringlevast veest, samal ajal kui madalsurvelahendus kasutab kogu vee korduskasutusega süsteemis ringlevat vett.

Sõltumata kasutatavast hapnikuga rikastamise meetodist, tuleb protsessi hapniku mõõtmise abil kontrollida. Enamasti asetatakse hapnikusond kasvubasseini, et see annaks hapnikuga rikastamise kontrollsüsteemile tagasisidesignaali selle kohta, kas suurendada või vähendada lisatava hapniku mahtu.

Ultraviolettkiirgus

Ultraviolettkiirgusega (UV) töötlemisel kasutatakse sellise lainepikkusega valgust, mis kahjustab bioloogiliste organismide DNA-d. Vesiviljeluses on selle eesmärk hävitada haigust tekitavad bakterid ja üherakulised organismid. Tehnoloogia on juba aastakümneid kasutusel meditsiinis ning kalu see ei kahjusta, kuna vett töödeldakse UV-ga väljaspool kalade kasvukeskkonda UV-kaitsega suletud alal. Kõige paremini saavutatakse suur UV-kiirgus vee korduskasutusega süsteemis suure UV-läbilaskvuse (UVT) juures. Mida selgem on vesi, seda suurem on UVT. Kõrge hukkumise määra saavutamiseks soovitatakse UV-läbilaskvust (UVT) vähemalt 90%, kuigi UV-töötlus avaldab mõju ka väiksema UVT juures. Mehaaniline filtreerimine läbi trummelfiltri ning seejärel liikumatute elementidega biofiltreerimine, mis hõlmab mikroosakeste eemaldamist, muudab vee selgeks (väike hägusus), mis on tõhusaks UV-töötluseks piisav.

UV-kiirguse doosi saab mõõta mitme ühikuga. Laialdaselt kasutatakse millidžaule ruutsentimeetri kohta (mJ/cm²).

Enamiku kalade haigust tekitavate bakteritüüpide hävitamiseks läheb vaja kuni 20 mJ/cm² UVT-d 90-protsendilise hukkumise määra juures. Vee korduskasutusega süsteemi kõige levinuma seennakkuse Saprolegnia hävitamiseks on vajalik 40 mJ/cm² UVT-d hüüfide või eostena vees heljumise korral ning 230 mJ/cm² UVT-d seene staadiumis. Selliste parasiitide nagu *Ich*, *Trichodina* või *Costia* hävitamiseks on vaja vähemalt 300 mJ/cm² UVT-d.

Et UV-lambi mõju oleks maksimaalne, peab lamp asuma vees. Veepinna kohale asetatud lamp ei ole kuigi tõhus, sest veepind peegeldab valgust tagasi. Tähelepanu tuleb pöörata sellele, et UV-valgus ei paistaks otse inimeste peale.

Osooni (O_3) kasutamist kalakasvatuses on kritiseeritud, kuna üledoseerimise korral võib see kalu tõsiselt kahjustada. Siseruumis paiknevas kalakasvatuses võib osoon liiga suures koguses sissehingamisel kahjustada töötajaid. Seetõttu on osooni kasutamisel positiivse ja turvalise tulemuse saavutamiseks hädavajalik õige doseerimine ja osooni kontsentratsiooni jälgimine, nagu ka õige projekteerimine ja korralik ventilatsioon.

Osooniga töötlemine on tõhus viis soovimatute organismide hävitamiseks orgaanilise aine ja bioloogiliste organismide tugeva oksüdatsiooni kaudu. Osooniga töötlemisel lagundatakse mikroosakesed molekulaarstruktuurideks, mis omavahel uuesti seonduvad, moodustades nõnda suuremaid osakesi. Seejärel püütakse need suuremad osakesed vee korduskasutusega süsteemi filtrites kinni, selle asemel et läbida neid mikroskoopiliste osakestena. Selline töötlus muudab vee selgemaks ning vähendab heljumit ja võimalikke heljumi külge kinnituda võivaid baktereid. See meetod on eriti sobiv haudemajades ja vastsete kasvatamisel, kuna väikesed kalad on vees leiduvate mikroosakeste ja bakterite suhtes eriti tundlikud. Selline vee konditsioneerimine muutub üha populaarsemaks ka kalade täissuuruseni kasvatamise süsteemides.

Joonis 2.15. Kinnine ja avatud UV-töötlemise süsteem

Vastavalt mõeldud paigaldamiseks kinnise torustikuga süsteemi või avatud kanalitega süsteemi. Allikas: ULTRAAQUA.

Osoon

Osooni (O_3) kasutamist kalakasvatuses on kritiseeritud, kuna üledoseerimise korral võib see kalu tõsiselt kahjustada. Siseruumis paiknevas kalakasvatuses võib osoon liiga suures koguses sissehingamisel kahjustada töötajaid. Seetõttu on osooni kasutamisel positiivse ja turvalise tulemuse saavutamiseks hädavajalik õige doseerimine ja osooni kontsentratsiooni jälgimine, nagu ka õige projekteerimine ja korralik ventilatsioon.

Osooniga töötlemine on tõhus viis soovimatute organismide hävitamiseks orgaanilise aine ja bioloogiliste organismide tugeva oksüdatsiooni kaudu. Osooniga töötlemisel lagundatakse mikroosakesed molekulaarstruktuurideks, mis omavahel uuesti seonduvad, moodustades nõnda suuremaid osakesi. Seejärel püütakse need suuremad osakesed vee korduskasutusega süsteemi filtrites kinni, selle asemel et läbida neid mikroskoopiliste osakestena. Selline töötlus muudab vee selgemaks ning vähendab heljumit ja võimalikke heljumi külge kinnituda võivaid baktereid. See meetod on eriti sobiv haudemajades ja vastsete kasvatamisel, kuna väikesed kalad on vees leiduvate mikroosakeste ja bakterite suhtes eriti tundlikud. Selline vee konditsioneerimine muutub üha populaarsemaks ka kalade täissuuruseni kasvatamise süsteemides.

Joonis 2.16. Osoonigeneraator

Allikas: Wedeco/Xylem.

pH reguleerimine

Biofiltris toimuva nitrifitseerimise käigus tekib hape, mis langetab vee pH väärtust aja jooksul. Vee korduskasutusega süsteemis stabiilse pH hoidmiseks tuleb vette lisada alust. Enamikus vee korduskasutusega süsteemides on pH vahemikus 6,5–7,5, jäädes sageli umbes pH 7,0 juurde, sest sellest suurema pH puhul eelistatakse nitrifikatsiooni biofiltris ning väiksema pH puhul CO_2 eemaldamist degasaatoris. pH reguleerimiseks kasutatakse kõige laialdasemalt naatriumhüdroksiidi (NaOH), mida nimetatakse ka seebikiviks ehk kaustiliseks soodaks. Teise võimalusena võib kasutada kaltsiumhüdroksiidi ($Ca(OH)_2$), mis on tuntud ka kui kustutatud lubi. Kaltsiumhüdroksiidi kasutamisel tuleb paigaldada segamisjaam, et toota lubjavett, mida saab lisada automaatse dosaatori abil, mille pH-mõõdik annab tagasisideimpulsi doseerimispumbale. Sama põhimõtet kasutatakse naatriumhüdroksiidi kasutamisel, mis on vedelal kujul kaubaalustel olevates mahutites, mida on lihtsam käsitseda ja mis on vähem segasem, sest puudub vajadus segamisjaama järele.

Lubi ja kaustiline sooda on alused, mis võivad põhjustada tõsiseid silmade ja nahapõletusi. Seetõttu tuleb täita ohutusnõudeid ning nende ja teiste tugevate hapete ja aluste käsitsemisel tuleb kanda kaitseprille ja -kindaid.

Aluselisus ja karedus

Aluselisus ja karedus aetakse sageli segi mõnede ühiste sarnasuste tõttu, näiteks mõlemaid parameetreid mõõdetakse mg/l kaltsiumkarbonaadi ($CaCO_3$) kohta ning aluselisuse ja kareduse kontsentratsioon veeproovis võib mõnikord olla peaaegu identne. Ent karedus väljendab metallioonide hulka vees ning aluselisus on pH puhverdusvõime või happe neutraliseerimisvõime näitaja.

Mõnes piirkonnas on vee korduskasutusega süsteemides kasutatav lisavesi väga kare (> 300 mg/l), mis põhjustab klappide, torude ja soojusvahetite lubjastumist. Mõnes piirkonnas on vesi jällegi väga pehme (0–75 mg/l) ning seda tuleb vee korduskasutusega süsteemis kasutamisel karedamaks muuta, sest väike aluselisus võib häirida pH stabiilsust, nitrifikatsioonitaset ja CO_2 eraldamise tõhusust. Vee korduskasutusega süsteemi vee aluselisus peaks jääma eelistatavalt vahemikku 70–200 mg/l $CaCO_3$, et kalakasvatajal oleks piisav ja ohutu kontroll oma vee üle. Aluselisust saab suurendada ja kontrollida süsteemi kaltsiumi lisamise teel, kasutades näiteks naatriumvesinikkarbonaati ($NaHCO_3$) ehk söögisoodat või kaltsiumhüdroksiidi ($Ca(OH)_2$) ehk kustutatud lupja.

Tuleb märkida, et biofiltris toimuva nitrifikatsiooni käigus kulutatakse aluselisust – tegelikult kulub iga nitraadiks muundatud ammoniaagi grammi kohta 7 g aluselisust. Seevastu toodab denitrifikatsiooniprotsess umbes 3,5 g $CaCO_3$ lämmastikgaasiks (N_2) muundatud nitraadi grammi kohta.

Joonis 2.17. pH reguleerimiseks kasutatav doseerimispump, mis doseerib ettemääratud koguse NaOH-d. Pump võib olla ühendatud pH-anduriga, mispuhul on pH reguleerimine täisautomaatne

Joonis 2.18. Kemikaalide tõhus ja ohutu käitlemine pH ja aluselisuse reguleerimiseks on kasvanduse tõhusa toimimise seisukohast oluline. Soovituslik on leeliseid, näiteks kustutatud lupja, söögisoodat või seebikivi sisaldavate Big-Bagi kottide tolmuvaba tühjendamise lahendus

Allikas: Tekfa A/S.

Ka CO_2 eraldamisel degasaatoris kulutatakse aluselisust, sest selle protsessi abil eemaldatakse süsinik pidevalt süsteemist.

Aluselisuse hoolikas jälgimine ja reguleerimine on oluline stabiilse veekeskkonna hoidmiseks. Mõned vee korduskasutusega süsteemi haldajad eelistavad kasutada pH ja aluselisuse reguleerimiseks kaltsiumhüdroksiidi ($Ca(OH)_2$), kasutades üht ja sama kemikaali, samal ajal kui teised eelistavad kasutada pH reguleerimiseks naatriumhüdroksiidi (NaOH) ja lisavad vajaduse korral naatriumvesinikkarbonaati ($NaHCO_3$) või kaltsiumhüdroksiidi.

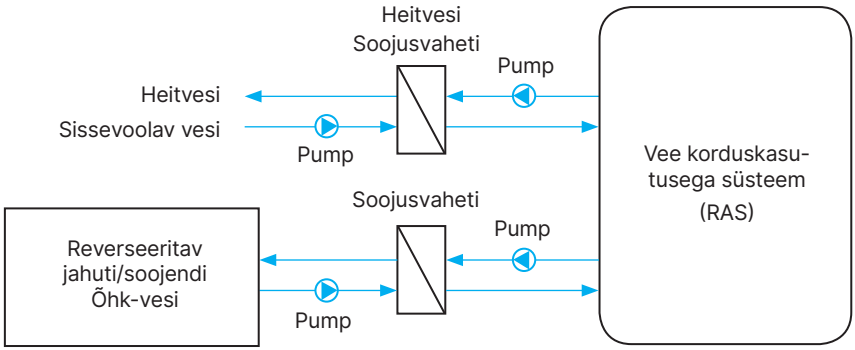
Veetemperatuuri reguleerimine

Optimaalse veetemperatuuri tagamine kasvukeskkonnas on väga oluline, kuna sellel on otsene seos kala kasvukiirusega. Lihtsaim viis temperatuuri reguleerida on kohandada kasutatud sissetuleva vee mahtu. Ent üha populaarsemaks on muutunud kütte- ja jahutussüsteemide kasutamine. Soojustatud hoones asuvas suletud veekasutusega süsteemis soojeneb vesi vähehaaval kalade ainevahetuse ja biofiltri bakterite elutegevuse käigus soojusena vabaneva energia tõttu. Soojust tekitab ka pumpade ja teiste elektriseadmete töö käigus vabanev soojus. Seetõttu ongi intensiivse vee korduskasutusega süsteemi probleemiks sagedamini pigem liiga kõrge kui liiga madal veetemperatuur.

Kütte- ja jahutussüsteemi projekteerimine ja kavandamine sõltub kohalikest ilmastikuoludest, eelkõige minimaalsetest ja maksimaalsetest õhutemperatuuridest ja õhuniiskusest. Lisaks tasub uurida, kas kasutamiseks on saadaval kohalikke ressursse heitsoojuse, maapõueenergia, jaheda merevee või põhjavee näol. Selliste allikate kasutamine nende olemasolu korral võib aidata kütte- ja jahutusprotsessis märkimisväärselt säästa. Kui selliseid ressursse pole saadaval, tuleb kasutada jahuteid, soojuspumpasid või katlaid.

Paljudel juhtudel lõpeb jahutuslahenduse otsimine tavalise õhk-vesijahuti paigaldamisega, mis kasutab elektrienergiat vee korduskasutusega süsteemi jaoks külma vee tootmiseks. Jahuti toob jahedat vett soojusvahetisse, mis on ühendatud vee korduskasutusega süsteemi ringlusega.

Joonis 2.19. Vee korduskasutusega süsteemi veetemperatuuri reguleerimise skeem



Reverseeritav õhk-vesi jahuti/soojendi on ühendatud soojusvahetiga, mis kannab soojuse või jahutuse üle vee korduskasutusega süsteemi tehnoloogilisele veele. Lisaks saab soojusvaheti ühendada heitveega soojuse või jahutuse taaskasutamiseks või ülekandmiseks sissevoolavale veele.

Külmas kliimas võib vajalikuks osutuda vee korduskasutusega süsteemi vee soojendamine, eriti vähe metaboolset energiat tootvate kalade väikese biomassiga süsteemides. Soojust vee korduskasutusega süsteemi jaoks saab toota soojusvahetiga ühendatud õli- või gaasikatla abil, mis soojendab ringlevat vett. Soojuspump on keskkonnahoidlik alternatiivne lahendus soojuse tootmiseks. See pump võimaldab soojuse tootmiseks ära kasutada veeressurssides või ümbritsevas õhus leiduvat energiat.

Teine võimalus, kuidas vähendada küttekulusid, on vee korduskasutusega süsteemi heitveest vabaneva energia salvestamine soojusvaheti abil. Energia kantakse üle külmale sissetulevale veele. Selleks juhitakse mõlemad veed läbi soojusvaheti, kus soe heitvesi soojendab külma sissetulevat vett, ilma et veed omavahel kokku puutuks.

Pumbad

Vee ringlema panemiseks süsteemis kasutatakse eri liiki pumpasid. Pumpamine nõuab märkimisväärselt elektrienergiat, mistõttu on jooksvate kulude võimalikult väikesena hoidmiseks tähtis madal tõstekõrgus ning tõhusad ja õigesti paigaldatud pumbad.

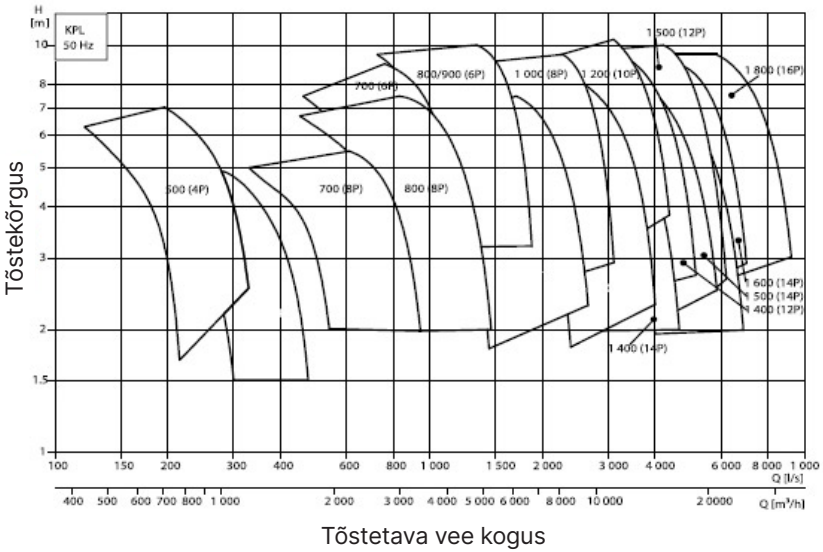
Vee ülespumpamine peaks toimuma vaid ühes kohas vee korduskasutuse tsükli jooksul, pärast seda voolab vesi gravitatsioonijõu mõjul ise pumbakaevu tagasi. Pumbad peavad asuma mehaanilise filtri järel, sest nii hoitakse ära kalabasseinidest tulevate tahkete osakeste peenestamine. Enamasti paigutatakse pumbad biofiltreerimis- või degaseerimisala ette või taha, et suurendada rõhku enne, kui vesi voolab kasvubasseinidesse ja tagasi mehaanilisse filtreerimisse enne süsteemis uue ringi tegemist.

Pumpamise kogutõstekõrguse arvutamisel tuleb arvesse võtta tegelikku tõstekõrgust, torude voolutakistusest tingitud rõhukaotust, torustiku kuju ja teisi tegureid. Seda nimetatakse ka dünaamiliseks tõstekõrguseks. Kui vesi pumbatakse läbi veealuse biofiltri enne läbi degaseerija alla nirisemist, tuleb arvestada ka biofiltrist tulenevat vastusurvet. Siinne juhend ei hõlma siiski hüdromehaanika ja pumpade üksikasjalikku käsitlust.

Tänapäeval on paljude intensiivse vee korduskasutusega süsteemide kogutõstekõrgus umbes 2–3 meetrit. Seetõttu on kõige ratsionaalsem kasutada väikese tõstekõrgusega pumpasid peamise veeringluse loomiseks. Seevastu puhta hapniku lisamise protsessis on sageli vaja kasutada tsentrifugaalpumpasid, sest need tekitavad hapnikukoonuses vajaliku kõrge rõhu. Osades väga madala peavoolu

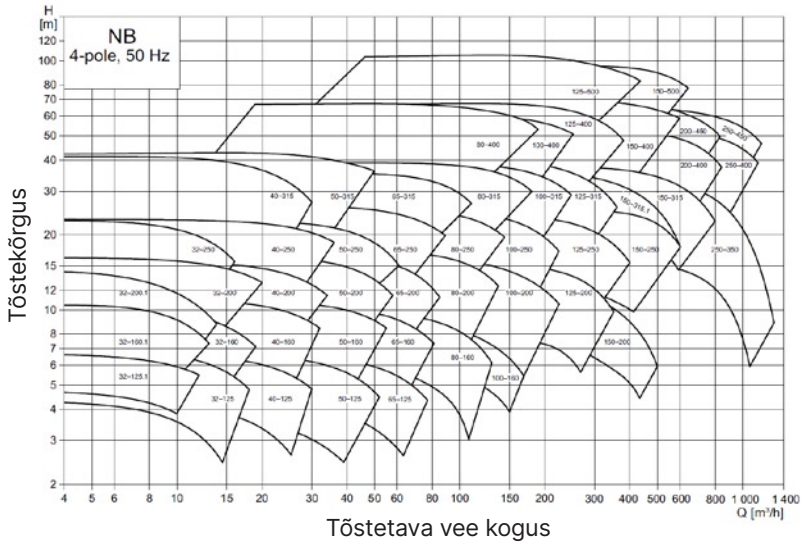
tõstekõrgusega süsteemides ei liiguta vett mitte pumbad, vaid hoopis õhk pumbatakse õhktõstukiga aereerimisel vette. Neis süsteemides on degaseerimine ja vee liigutamine liidetud üheks protsessiks, mis teeb võimalikuks väikese tõstekõrguse. Ent selline degaseerimine ja vee liigutamine ühe ja sama protsessi käigus ei ole tingimata tõhusam kui vee eraldi pumpamine ja degaseerimine, sest iga protsessi tõhusus on enamasti iseseisvalt kavandatud ja optimeeritud väga hästi.

Joonis 2.20. KPL-tüüpi tõstepumbad suurte veekoguste tõhusaks tõstmiseks



Tõstepumpi kasutatakse sageli peamise veevoolu tekitamiseks vee korduskasutusega süsteemides. Õige pumba valik on tähtis kulude väiksena hoidmise seisukohalt. Sageduse reguleerimine võimaldab määrata täpselt sobivat voolukiirust vastavalt kalatootmise vajadustele. H on tõstekõrgus ja Q on tõstetud veekogus. Allikas: Grundfos.

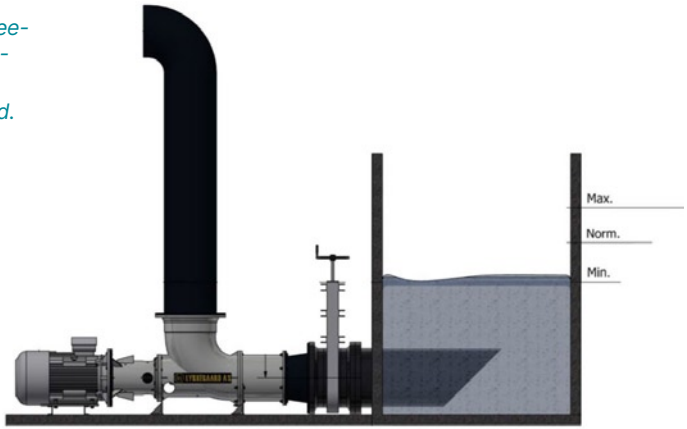
Joonis 2.21. NB-tüüpi tsentrifugaalpumbad vee pumpamiseks kõrge rõhu juures või suurtele kõrgustele



Tsentrifugaalpumpade valik on lai, seega saab selliseid pumpasid edukalt kasutada ka väiksemate kõrguste juures. Tsentrifugaalpumpasid kasutatakse sageli vee korduskasutusega süsteemides teisese veevoolu puhul, nagu UV-puhastuse läbimine, või kõrgrõhu tekitamiseks hapnikukoonuses. H on tõstekõrgus ja Q on tõstetud veekogus. Allikas: Grundfos.

Joonis 2.22. Peaveepumba kuivseadistuse näide

Allikas: Lykkegaard.



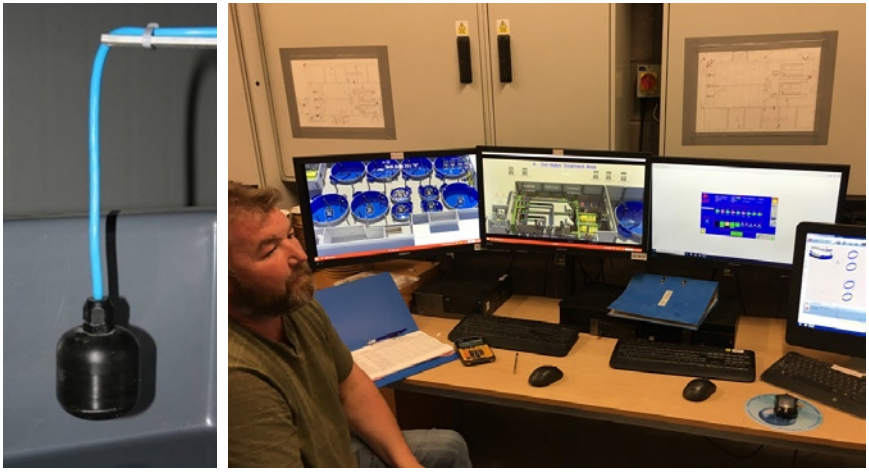
Seire, reguleerimine ja häiresüsteemid

Intensiivne kalakasvatus nõuab tootmise pidevat jälgimist ja reguleerimist, et tagada kaladele püsivalt optimaalsed tingimused. Tehnilised rikked võivad kergesti põhjustada märkimisväärseid kadusid, seetõttu on häiresüsteemid turvalise töö tagamiseks elulise tähtsusega.

Paljudes moodsates kasvandustes seirab ja kontrollib hapnikutaset, temperatuuri, pH-d, veetaset ja pumpade tööd keskne juhtimissüsteem. Kui mõni parameeter väljub soovitud hüstereesi piiridest, lahendab kõnealune sisse- ja väljalülitusprotsess probleemi. Kui probleemi ei õnnestu lahendada automaatselt, käivitub alarm. Ka automaatne söötmine võib olla integreeritud keskse juhtimissüsteemiga. See võimaldab ajastada söötmist kooskõlas hapniku doseerimisega, sest söötmise ajal hapnikutarve kasvab. Lihtsamates süsteemides ei ole seire ja reguleerimine täielikult automatiseeritud ja töötajad peavad tegema paljusid seadistusi käsitsi.

Igal juhul ei toimi kasvanduses ükski süsteem ilma töötava personali järelevalveta. Juhtimiskeskusesse tuleb paigaldada häiresüsteem, mis hoiatab töötajaid suuremate tõrgete eest. Soovitatav on vähem kui 20-minutiline reageerimisaeg isegi siis, kui on paigaldatud varusüsteem.

Joonis 2.23. Hapnikusondi (OxyGuard) kalibreeritakse õhu käes enne vette laskmist vee hapnikusisalduse reaalajas mõõtmiseks (vasakul)



Tänapäeva kalakasvataja tavaline töölaud, kus kogu protsessi saab jälgida arvutite vahendusel, lisades mitu mõõtepunkti ja häireteavitust (paremal).

Varusüsteemid

Kõige esmasem ettevaatusabinõu on puhta hapniku varusüsteem. Seda on lihtne paigaldada ning see koosneb puhta hapniku paagist ja jaotussüsteemist koos igasse basseini paigaldatud difuusoritega. Kui elektrivarustus katkeb, tõmbuvad magnetklapid tagasi ja rõhu all olev hapnik voolab igasse basseini, hoides nõnda kalad elus. Hapniku difuusoritesse voolamise kiirus tuleb juba eelnevalt parajaks reguleerida, et paagis olevat hapnikku jätkuks hädaolukorras rikke õigeaegse kõrvaldamise võimaldamiseks piisavalt kauaks.

Elektrivarustuse tagamiseks on hädavajalik kütusel töötav elektrigeneraator. Peapumpade töö taastamine nii kiiresti kui võimalik on äärmiselt oluline, sest kui vesi ei ringle enam üle biofiltrite, siis tõuseb kalade eritatava mürgise ammoniaagi hulk vees toksilisele tasemele. Seega on oluline saada vesi uuesti ringlema umbes tunni aja jooksul.

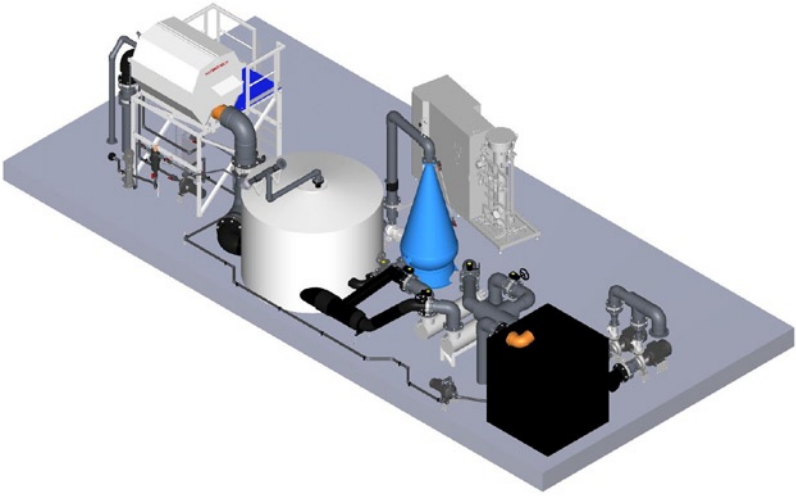
Joonis 2.24. Vedela hapniku (LOX) paak ja diislikütusega töötav varugeneraator

Lisatav vesi

Vee korduskasutusega süsteemi lisatav vesi peaks olema enne süsteemi laskmist steriliseeritud, et vältida igasuguste haiguste sissetoomist/levikut. Kui haigus satub vee korduskasutusega süsteemi, levib see vee korduskasutuse protsessi käigus kõikidesse paakidesse, avaldades sageli hävitavat mõju kalade suremusele. Enamasti saab haigust ravida, kuid suure tõenäosusega jääb see süsteemi püsima ja võib tekkida hiljem puhang. Ainus viis haigusest täielikult vabanemiseks on eemaldada kõik kalad ja desinfitseerida kogu süsteem enne taasasustamist.

Samadel põhjustel eelistatakse allikast või puurkaevust pärit lisatavat vett jõest, järvest või merest pärit veele, kus haiguste esinemine on palju tõenäolisem. Enamik maa-alusest veest on haigusvaba ja samuti on maapinnalt pärit vett lihtsam töödelda, sest see on enamasti selge ja seda saab tõhusalt desinfitseerida ultraviolettkiirguse (UV) abil. Jõgedest, järvedest või merest pärit vesi nõuab palju põhjalikumat puhastamist ja desinfitseerimist, sest vesi on sageli must ning sisaldab orgaanilist materjali ja muid aineid. Mehaanilise filtreerimise ja/või liivafiltrite kasutamine, millele järgneb UV-kiirguse ja/või osooniga töötlemine, on tavalised viisid puhta ja desinfitseeritud vee tagamiseks vee korduskasutusega süsteemi jaoks.

Joonis 2.25. Lisatava vee desinfitseerimise näide enne kasutamist vee korduskasutusega süsteemis



Vesi filtreeritakse vasakul olevas mehaanilises filtris enne osooniga rikastamist keskel olevas kambris. Vesi läbib kaks UV-süsteemi ja jõuab lõpuks musta paaki.

3. peatükk. Kalaliigid vee korduskasutusega süsteemis

Vee korduskasutusega süsteemi on kallis ehitada ja ka hooldada. Kõikidel kalatoodete turgudel on tihe konkurents ja kasumi teenimiseks peab tootmine olema efektiivne. Õigete liikide valimine tootmiseks ja tõhusa süsteemi ehitamine on seega üliolulised. Tootmise eesmärk on müüa kala kõrge hinnaga ja hoida samal ajal toote omahind võimalikult madalal.

Kalakasvatuses on üks tähtsamaid parameetreid veetemperatuur. Põhjus on see, et kalad on kõigusoojased loomad. See tähendab, et kalade kehatemperatuur ja selle vee temperatuur, kus nad ujuvad, on ühesugused. Kalad ei reguleeri oma kehatemperatuuri nii nagu sead, lehmad ja teised püsisoojased loomad.

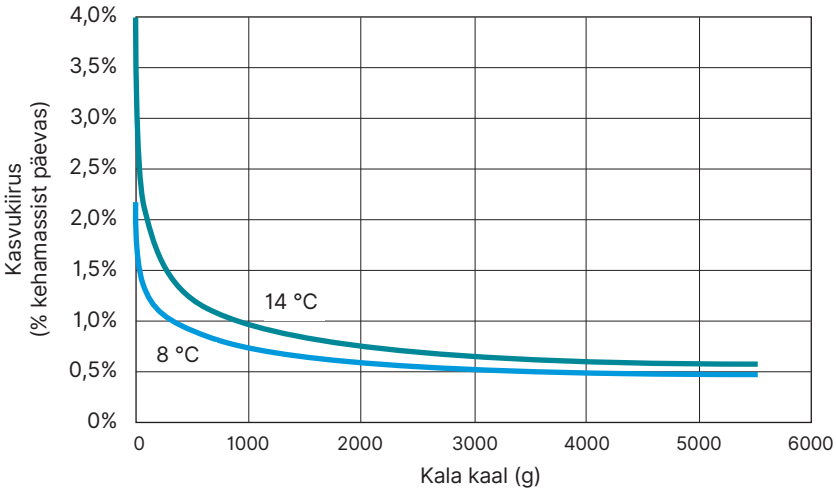
Eri kalaliikidel on erinevad optimaalsed kasvutemperatuurid. Parasvöötmes elavatel kaladel, nagu forell ja lõhe, on optimaalne kasvukiirus temperatuuril umbes 15–20 °C, kuid troopikavöötmes elavatel kaladel, nagu tilaapia ja angersäga, on optimaalne kasvukiirus temperatuuril umbes 30 °C. Samuti on kaladel surmava temperatuuri ülemine ja alumine piirväärtus ning kalakasvataja peab hoolitsema selle eest, et tehistingimustes peetavad kalad jääksid nende piirväärtuste piiresse, vastasel juhul kalad surevad.

Vee korduskasutusega süsteemi veetemperatuuri aasta läbi optimaalsel tasemel hoidmiseks kulutatud raha on seda väärt. Optimaalsetes kasvutingimustes kasvavad kalad kiiremini kui ebasoodsates tingimustes looduses. Oluline on mõista ka puhta vee ja piisava hapnikutaseme jms eeliseid vee korduskasutusega süsteemis, kuna need mõjutavad positiivselt kalade elulemust, tervist jne, mille tulemusena saadakse kvaliteetne toodang.

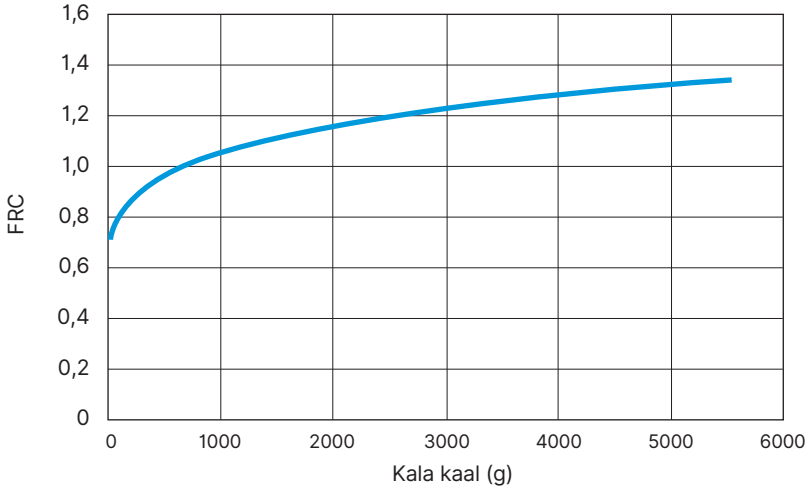
Kasvatuse tasuvus vee korduskasutusega süsteemis sõltub kasvatatava kala suurusest. Sõltumata veetemperatuurist kasvavad väikesed kalad kiiremini kui suured. See tähendab, et sama ajavahemiku jooksul võtavad väikesed kalad kaalus kiiremini juurde kui suured (vt joonis 3.1).

Väikesed kalad omastavad kalasööta paremini kui suured kalad (st nende söödaväärindus on väiksem ja seega tõhusam kui suurematel kaladel, vt joonis 3.2). Kiirem kasv ja parem sööda omastamine mõjuvad küll soodsalt tootmiskuludele, kuna ühe kilogrammi kala tootmiseks tehtavad kulutused on väiksemad. Ent väikese kala kasvatamine on ainult üks etapp kogu kalakasvatuse tsüklist enne turustatava kalani jõudmist. Loomulikult ei saa kalakasvatustes toota üksnes väikeseid kalu ja seega on nende kalade potentsiaal piiratud. Siiski tasub vee korduskasutusega süsteemide puhul esmajärjekorras rääkida väikesemõõduliste kalade kasvatamisest. Kalavastsete või -maimude tootmisse investeerimine

Joonsi 3.1. Atlandi lõhe kasvukiiruse näide temperatuuridel 8 °C ja 14 °C sõltuvalt kala suurusest



Joonis 3.2. Atlandi lõhe söödaväärinduse näide vee korduskasutusega süsteemis, võrreldes kala kaaluga 14 °C juures

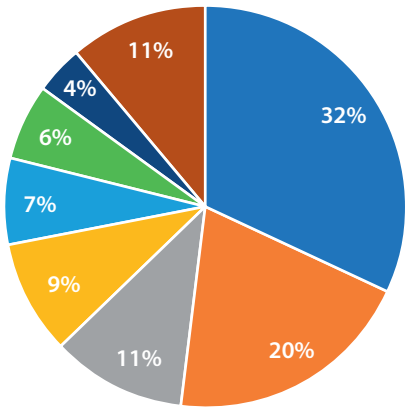


on loogiline samm, kuna väikeste kalade puhul on investeering suurema tootlikkusega. Hea näide on lõhesektor, kus sumbakalakasvatus sõltub väikeste lõhede (laskujate) asustamisest meres paiknevatesse võrksumpadesse, et kasvatada kalad müügisuuruseni (umbes 5 kg). Varem oli laskujate suurus asustamisel umbes 100 g, kuid tänapäeval toodetakse laskujad sageli 400-grammiste – või suurematena –, et vee korduskasutusega süsteemi kasvupotentsiaali täielikult ära kasutada.

Suurte kalade kasvatamine vee korduskasutusega süsteemides (edasikasvatus) on üldiselt kallim toodetud kilogrammi kohta kui väikeste kalade kasvatamine. Kuigi suured kalad tarbivad vähem hapnikku kilogrammi kasvu kohta, tarbivad nad rohkem sööta vähese omastamisvõime tõttu. Sööt on vaieldamatult suurim tegevuskulu kalakasvatuses. Seetõttu on sööt kõige olulisem kulutegur, mida jälgida ja kontrollida.

Niisiis, kui kalad kasvavad suuremaks, kasvavad nad aeglasemalt ja omastavad sööta vähem optimaalselt võrreldes väikeste kaladega, võttes samal ajal väga suure osa süsteemi mahust. Kalade arv võib olla samasugune nagu siis, kui nad olid väikesed, kuid nüüd on kalad palju suuremad ning vajavad basseinis rohkem ruumi, hapnikku ja sööta. Suurte kalade kasvatamine võrreldes väikeste kaladega muutub aeglaste kasvajate suure biomassi hoidmiseks süsteemis märkimisväärse aja jooksul, enne kui nad on väljapüügiks valmis. Seega on investeerimiskulud ning jooksvad kulud kalade müügisuurusesse kasvatamisel märkimisväärselt suuremad.

Võrreldes põllumajandusloomadega (nt sead, lehmad ja kanad) on kalakasvatuses palju kalaliike. Kalaturgu ei saa võrrelda sea-, lehma- ega kanaturuga, kus tarbijad ei otsi mitte kindlat tõugu, vaid valivad lihatüki selle anatoomilise asu-



Joonis 3.3. Maailma vesiviljelustoodang aastal 2018

- Karpkalad jt karpkalalased
- Limused
- Koorikloomad
- Muud mageveekalad
- Krevetid
- Tilaapiad jt ahvenalised
- Lõhe ja forell
- Muu

Allikas: FAO

koha või suuruse järgi. Kalaliike on rohkesti ja paljud tarbijad on harjunud nende vahel valima, see muudab mitmed liigid kasvatajate silmis huvitavaks kasvatusobjektiks. Viimase paari aastakümne jooksul on vesiviljelusse võetud mitusada veeorganismi liiki. Veeorganismide n-ö kodustamise kiirus on palju suurem kui taimedel või teistel loomadel.

Ent vaadates kalakasvatuse toodangumahtu maailmas, ei näi pilt soosivat suurt liigilist mitmekesisust. Joonisel 3.3 on näha, et kalaliikidest moodustavad karpkalad, tilaapiad ja teised mageveeliigid 47% tehistingimustes peetavatest kaladest. Lõhe ja forell moodustavad järgmise tehistingimustes peetavate kalade suurima rühma, kuid sellesse kategooriasse kuulub ainult kaks liiki. Joonisel võib näha „Muu" all veel umbes kümmet liiki. Seega ilmneb, et kuigi kasvatatavaid liike on palju, saadab ülemaailmses plaanis edu ainult väheseid. See ei tähenda aga, et ükski uus vesiviljeldav liik edukaks ei või osutuda. Oluline on lihtsalt meeles pidada, et uute kalaliikide osa ülemaailmses toodangus on piiratud ning nende liikide kasvatamise edukus sõltub suuresti turul valitsevast olukorrast.

Väikese koguse hinnatud kalaliigi tootmine võib samuti olla kasumlik, kuna selle eest saab küsida head hinda. Kuna hinnaliste liikide turg on aga piiratud, siis võib hind peagi langeda koos tootmise ja pakkumise kasvuga. Väga tulus võib olla turul esimene ja ainus uue vesiviljeldava liigi pakkuja. Teisest küljest on see ka riskantne, kuna nii tootmine kui ka olukord turul on väga ebakindlad.

Uute liikide vesiviljelusega alustamisel ei tohi samuti unustada, et toome loodusest pärit metsikuid liike. Neid liike püütakse ja paljundatakse vesiviljeluses, et näha, kas nad kasvavad hästi ja sobivad kodustamiseks. Kodustamise edukust mõjutavad mitmed tegurid, nagu üldine käitumine, geneetilisest varieeruvusest tulenevad suured erinevused kasvukiiruses, söödavääringuses, elulemuses ning varases küpsemises ja haigustele vastuvõtlikkuses. Seega on väga tõenäoline, et metsiku liigi tootlikkus ei vasta kalakasvataja ootustele. Samuti võib loodusest püütud liikidega kaasa tulla viiruseid, millest osa lööb välja alles pärast mitmeaastast tõuaretust, olles nõnda demotiveerivaks tagasilöögiks.

Keeruline on soovitada, milliseid kalu tuleks vee korduskasutusega süsteemis kasvatada. Kalakasvatuse edu sõltub mitmest tegurist, nagu kohalikud ehituskulud, elektrivarustuse maksumus ja stabiilsus, oskustööjõu olemasolu jne. Esmalt tuleks leida vastused kahele tähtsale küsimusele: kas soovitavat liiki saab vee korduskasutusega süsteemis edukalt kasvatada ning kas selle liigi jaoks on olemas piisav turg, kuhu toodangut plaanitud mahus ja tasuva hinnaga turustada?

Esimesele küsimusele on lihtsam vastata. Bioloogilisest aspektist on vee korduskasutusega süsteemis võimalik kasvatada kõiki neid liike, mida kasvatatakse traditsioonilises kasvanduses. Nagu juba mainitud, saab vee korduskasutusega süsteemis kohandada keskkonnatingimusi kasvatatavale kalaliigile sobivaks. Vee korduskasutust võimaldava tehnoloogia kasutamine ei ole iseenesest takis-

tus ühegi uue kalaliigi kasvatamisel. Kala kasvab seal sama hästi ja sageli isegi paremini kui traditsioonilises kasvanduses. Majanduslik tõhusus on aga vähem kindel, kuna see sõltub turu olukorrast, rahastamisest, toote omahinnast ja kala kasvukiirusest. Väikese kasvukiirusega kalade, näiteks väga külmaveeliste liikide kasvatamine raskendab kasvandustesse tehtud investeeringuid õigustava aastatulu teenimist.

Soodsad turutingimused teatava liigi kasvatamiseks vee korduskasutusega süsteemis sõltuvad suurel määral konkurentsist teiste tootjatega. See ei piirdu ainult kohalike tootjatega; kalakasvatus on ülemaailmne äri ja sama kehtib konkurentsi kohta. Poolas kasvatatud forell võib konkureerida nii Vietnamis kasvatatud säga kui ka Norra lõhega, sest kalu on küllaltki lihtne ja suhteliselt odav ühest maailma otsast teise transportida.

Vee korduskasutusega süsteemis soovitatakse kasvatada eelkõige vääriskalaliike, sest kõrge müügihind jätab ruumi suurematele tootmiskuludele. Teisalt võib täheldada suundumust kasvatada vee korduskasutusega süsteemis vähem väärtuslikke kalu, nagu portsjonsuuruses forell, tilaapia või angersäga. Enamasti on see seotud loodusliku vee nappuse ja heitega seotud keskkonnaprobleemidega.

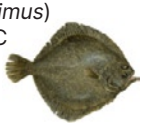
Taani vee korduskasutusega forellikasvanduse põhimõte on hea näide vee korduskasutusega tehnoloogiast, mis kuulub võrdlemisi madalasse hinnaklassi, näiteks portsjonsuuruses forelli äri puhul. Tootmise tasuvuse eeldus on aga suur tootmismaht. Konkurentsivõimeline tootmine algab 1000 tonnist. Lõheäris tuntakse praegu väga suurt huvi tohutute maismaal asuvate lõhekasvanduste – umbes 10 000 tonni – kui traditsioonilise sumbakalakasvatuse tehnoloogia alternatiivi arendamise vastu. Enamik neist maismaaprojektidest põhinevad vee korduskasutuse tehnoloogial mitte ainult vee säästmiseks ja heite piiramiseks, vaid eesmärgiga viia tootmine tarbijatele lähemale. Suurlinnade läheduses asuvad lõhede vee korduskasutusega süsteemid tarnivad värsket kala ja säästavad keskkonda CO_2 heitest, mida tekitab värske lõhe välismaalt kohale lennutamine.

Konkreetsete kalaliikide sobivus kasvatamiseks vee korduskasutusega süsteemis sõltub paljudest teguritest, milleks on teiste seas tasuvus, keskkonnahoid ja bioloogiline sobivus. Alltoodud tabelites on kalaliigid jaotatud eri kategooriatesse vastavalt tootmise tasuvusele vee korduskasutusega süsteemis.

Tuleb märkida, et väikeste kalade puhul on vee korduskasutusega süsteem alati soovitatav, kuna väikesed kalad kasvavad kiiremini ja on seetõttu eriti sobilikud kontrollitud tingimustes kasvatamiseks kuni järgmiseks kasvuetapiks vajaliku suuruse saavutamiseni.

Hea bioloogilise tootlikkuse ja sobilike turutingimuste tõttu on järgnevad kalaliigid potentsiaalselt huvipakkuvad vee korduskasutusega kasvandustes kasvatamiseks kuni müügisuuruse saavutamiseni:

Liik	Hetkeseis	Turg
Arktika paalia (*Salvelinus alpinus*) 14 °C	Arktika paalia või selle ristandid ameerika paaliaga on juba pikka aega näidanud üles head kasvu külmaveevesiviljeluses.	Müüakse kindlatel turgudel mõistliku kuni hea hinnaga.
Atlandi lõhe, smolt (*Salmo salar*) 14 °C	Lõhe noorkala on laskuja ehk smolt. Laskujaid kasvatatakse magevees, kust nad täissuuruseni kasvatamiseks edasi soolasesse vette viiakse. Laskujaid kasvatatakse vee korduskasutusega süsteemides väga edukalt.	Turg lõhe laskujate jaoks on tavaliselt väga soodne. Nõudlus kasvab pidevalt ja suuremate laskujate turg kasvab.
Angerjas (*Anguilla anguilla*) 24 °C	Vee korduskasutusega süsteemides osutunud edukaks. Ei saa paljuneda vangistuses. Vajalik on metsikute vastsete (angerjamaimude) püük. Tegemist on ohustatud liigiga ja tuleks kaaluda, kas selle kasvatamine on eetiliselt õigustatud.	Kuna see on ohustatud liik, siis mõned ostjad keelduvad ostmast.
Kivikoha (*Epinephelus* spp.) 28 °C	Peamiselt Aasias kasvatav soolaveekala. Palju liike. Vajalikud kudemise ja vastsete kasvatamise alased teadmised. Täissuuruse saavutamine võrdlemisi lihtne.	Müüakse mõistliku hinnaga peamiselt kohalikel turgudel piirkondades, kus toodang pärineb paljudelt väiketootjatelt.
Vikerforell (*Oncorhynchus mykiss*) 16 °C	Lihtne kasvatada. Kasvatamisel laialdaselt kasutusel magevee korduskasutus, alates vastsete kasvatamisest kuni portsjonsuurusega kaladeni. Ka suuremaid forelle on võimalik korduskasutusega kasvatada nii soolases kui ka magedas vees.	Võrdlemisi karm konkurents enamikul turgudel. Tooted peavad olema mitmekesised.

Huntahven/ kuld-merikoger (*Dicentrarchus labrax* / *Sparus aurata*) 24 °C	Soolavee liik vesiviljeluseks, kõrgelt-arenenud sumpades kasvatamise tööstus. Vastsefaasid nõuavad põh-jalikke kasvatusoskusi. Osutunud vee korduskasutusega süsteemis hästi kasvatatavaks.	Üldiselt karmid turutin-gimused, aga mõnin-gates kohalikes piir-kondades võib saada värske kala eest head hinda.
Tuur (*Acipenser* spp.) 22 °C	Rühm mageveekalu, kus palju liike – võrdlemisi lihtsad kasvatada. Vajali-kud oskused erinevate bioloogiliste staadiumite kasvatamiseks. Järjest rohkem kasvatatakse vee korduska-sutusega süsteemides.	Liha turutingimused mõistlikud. Marja müük hinnalisema kauba tur-gudel näib laienevat.
Harilik kammeljas (*Scophthalmus maximus*) 17 °C 	Sugukarja ja haudemajade haldami-ses vajalikud head oskused. Kasvab vee korduskasutusega süsteemis väga hästi.	Üldiselt karmid rahvus-vahelised turutingimu-sed. Kohalik turuhind võib olla kõrgem.
Valgejalg-krevett (*Penaeus vannamei*) 30 °C	Kõige levinum krevetiliik vesiviljelu-ses. Täissuuruseni kasvatamine vee korduskasutusega süsteemides on osutunud edukaks. Tootmismeetodit arendatakse.	Krevetihind on üldiselt hea ja võrreldes kala-hindadega kõrge.
Hiidseriool (*Seriola lalandi*) 22 °C	Hiidseriool on soolaveekala, mis on osutunud tootlikuks nii sumpades kui ka vee korduskasutusega süstee-mides.	Turuhind hea. Müüakse kindlatel turgudel.

Madalate turuhindade tõttu on järgnevate liikide kasumlik kasvatamine vee korduskasutusega süsteemides keerukas ning sealjuures on oluline kõrgel tasemel turundus ja müük:

Liik	Hetkeseis	Turg
Aafrika angersäga (*Clarias gariepinus*) 28 °C	Väga lihtsalt kasvatatav mageveekala. Vastupidav ja kiire kasvuga kala, mis kasvab hästi vee korduskasutusega süsteemides. Tootmine peab olema väga kulutõhus.	Mõõdukad kuni madalad hinnad. Enamik kalu müüakse kohalikel turgudel. Vajalik tegeleda hoogsa turundamisega.
Barramundi (*Lates calcarifer*) 28 °C	Nimetatakse ka lateseks. Elab nii mage- kui ka soolases vees. Vajalikud vastsete kasvatamise alased teadmised. Võrdlemisi lihtne suureks kasvatada.	Müüakse peamiselt kohalikel turgudel mõistliku hinnaga. Ülemaailmse turunduse kasvades on oodata rahvusvahelise turu kasvu.
Karpkala (*Cyprinus carpio*) 26 °C	Kõik karpkalade liigid kasvavad vee korduskasutusega süsteemides väga hästi. Peamine katsumus seisneb tootmiskulude võimalikult väiksena hoidmises.	Enamikul turgudel loetakse karpkalu madala hinnaga liikideks, kuid mõnel turul võib hooajaliste pidustuste ajal hind olla kõrgem.
Panga (*Pangasius bocourti*) 28 °C	See kala kasvab suurtes mudastes tiikides peamiselt Vietnamis. Muljetavaldav võime ellu jääda ja kasvada ebasoodsates tingimustes.	Odavama klassi toode ülemaailmsel kalaturul, tootmiskulude katmiseks jääb vähe ressurssi.
Ahven (*Perca fluviatilis*) 17 °C	Mageveekala, mis on osutunud hästi kasvatatavaks vee korduskasutusega süsteemides, kuigi ei kasvatata laialdaselt.	Piiratud turg kõikuvate hindadega.
Tilaapia (*Oreochromis niloticus*) 28 °C	Üks levinud vesiviljeluses kasvatatavaid kalu, mis on vastupidav ja kiire kasvuga. Konkurentsivõime säilitamiseks tuleb tootmiskulud hoida minimaalsed.	Müüakse maailmaturul madala kuni mõõduka hinnaga. Kohalik hind võib olla kõrgem.
Merisiig (*Coregonus lavaretus*) 15 °C	Siiad on mageveekalade rühm, mida on võimalik kasvatada vesiviljeluses ja vee korduskasutusega süsteemides.	Hind võrdlemisi madal, kuna tihe konkurents loodusest püütud liikidega.

Neid kalu on kaubanduslikult tasuval tasemel vee korduskasutusega või muud tüüpi kasvandustes väga raske kasvatada kas bioloogilistest faktoritest tulenevalt ja/või karmide turutingimuste tõttu:

Liik	Hetkeseis	Turg
Atlandi tursk (*Gadus morhua*) 12 °C	Vastsete kasvatamine vee korduskasutusega süsteemis on osutunud edukaks. Suuremate turskade täissuuruseni kasvatamise meetodid vajavad veel väljatöötamist, ei sobi hetkel hästi vee korduskasutusega süsteemi.	Hinnad kõiguvad, kuna turgu mõjutavad tugevalt loodusest püütud kalade püügi-numbrid.
Atlandi lõhe, suur (*Salmo salar*) 14 °C	Suuri lõhesid kasvatatakse traditsiooniliselt meres olevates võrksumpades, et saavutada müügisuurus vähemalt 5 kg. Suurtes maismaal asuvates vee korduskasutusega süsteemides kalade täissuuruseni kasvatamine areneb kiiresti.	Ülemaailmsel turul ülekaalus Norra turustajad. Suundumus sertifitseeritud toodete suunas.
Harilik tuun (*Thunnus thynnus*) 24 °C	Loodusest püütud kalade täiskasvatamine on seni ainus kasumlik kasvatusviis. Terve kala elutsükli kontrollimine kaubanduslikult tasuval tasemel on veel väljatöötamisel.	Ülemaailmnetuunikalaturg on heitlik, aga võimalik on saada väga kõrget hinda.
Seersantkala (*Rachycentron canadum*) 28 °C	Võrdlemisi uus soolaveekala vesiviljeluses, liha hea kvaliteediga. Täiskasvatamine sumpades. Tootmismahud kasvavad, kuigi paljundamise vallas esineb veel takistusi.	Turg ei ole välja arenenud, kala on enamikul turgudel tundmatu.
Väikesuulest (*Microstomus kitt*) 17 °C	Selle vesiviljeluses uue liigi kasvatusmetoodika ei ole veel täielikult välja töötatud, kuna esineb erinevaid takistusi, nt seoses geneetika, bioloogia, söötmisega.	Kõrgema klassi toode, mille hind on kõrge ja stabiilne.
Koha (*Sander lucioperca*) 20 °C	Raskestikasvatatav mageveekala. Vastsestaadiumi kasvatamine keerukas, täiskasvatamine pisut lihtsam. Hariliku koha kasvatamises edukaid vee korduskasutusega süsteeme on ainult mõni üksik.	Hea ja mõistliku hinnaga. Oodata on nõudluse kasvu sedamööda, kuidas looduslikud kalavarud kahanevad ning tarbimine kasvab.

4. peatükk. Projekti kavandamine ja teostus

Vee korduskasutusega kalakasvanduse rajamist kavandades on igaühel oma arusaam, mis on oluline ja mis huvipakkuv. Kiputakse keskenduma juba tuttavatele või kasvatajate jaoks põnevamatele aspektidele ning seetõttu jäävad projekti muud küljed tähelepanuta.

Enne projektiga alustamist tuleb viiele asjale:

- kõnealuse kala hind ja turg;
- asukoha valik ning ametiasutustelt lubade taotlemine;
- süsteemi ülesehitus ja tootmistehnoloogia;
- tööjõud koos pühendunud juhatajaga;
- terve projekti rahastamine kuni toimiva ettevõtteni välja.

Müügihind ja turg

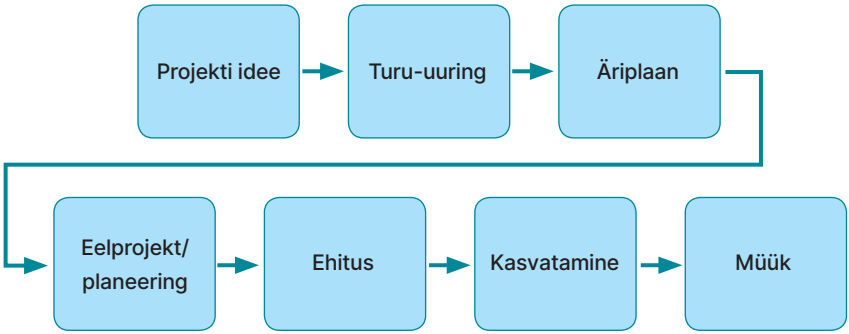
Esimese asjana on vaja selgeks teha, kas kasvatatavat kala on võimalik müüa vastuvõetava hinnaga ja piisavas koguses. Seetõttu on tähtis enne järgmisi samme teha põhjalik turu-uuring. Poes nähtavad kalahinnad on väga erinevad nendest hindadest, millega kala kasvandusest välja ostetakse. Kala jõudmiseks kasvandusest poeletile tuleb läbida pikk tee, mis hõlmab tapmist, rookimist, pakendamist ja transporti. Sellega kaasnevad kulud võivad olla üsnagi märgatavad ning nendega tuleb üldiseid kalkulatsioone tehes arvestada. Kauplus ja vahendajad võtavad kasumist oma osa ning rookimisel tekkiv kaalukadu mõjutab märgatavalt toodangu lõppkaalu, mille alusel kauba eest tasutakse.

Asukoha valik ja tegevuslitsentsid

Hea asukoha valik on äärmiselt oluline. Kuigi vee korduskasutustehnoloogia on vett säästev, on veevajadus kalakasvatuses siiski märgatav. Vaieldamatult kõige eelistatum veeallikas on põhjavesi tänu selle suhtelisele puhtusele ja jahedale temperatuurile. Vee võtmist otse jõest, järvest või merest ei soovitata, kui seda ei ole haiguste vältimiseks põhjalikult töödeldud. Kui kasutatakse merevett, siis tasub üldjuhul rajada liivafiltrid või kasutada puuraugust võetud vett.

Asukoha valik on seotud ka kohalikelt, piirkondlikelt ja riigiasutustelt kalakasvatuse rajamiseks vajalike lubade hankimiseks kuluva suure töömahuga. Sageli alahinnatakse kalakasvatuse heitvee väljutamiseks vajaliku loa saamise raskust ja sellele kuluvat aega. Kuigi heitvesi on põhjalikult töödeldud ning kõik osakesed

Joonis 4.1. Projekti käik ideest teostuseni



eemaldatud, siis suhtuvad ametiasutused toitaineterikkasse tööstusjääki alati tõsiselt. Soovitatav on koostada eelprojekt, et asjakohaste ametiasutuste poole saaks ehitus-, veekasutus-, reovee- jms lubade taotlemise eesmärgil õigel ajal pöörduda.

Süsteemi ülesehitus ja tehnoloogia

Paljud kalakasvatajad kipuvad süsteeme või lahendusi ise kavandama ja ehitama, mis esmapilgul on arusaadav, kuna soovitakse kulusid kokku hoida ning enda ideid ellu rakendada. Ajalooliselt on aga paljud vee korduskasutusega süsteemid alaarendatud, kuna pole arvestatud näiteks tegelikke vajadusi hapniku ja veevoolu järele ja ruumi teatud kalakoguse kasvatamiseks. Sageli on tähelepanuta jäänud kalade bioloogiliste vajaduste mõistmine ning vee korduskasutuse protsessi jäätmete käitlemiseks vajalikust ulatusest arusaamine, mille tulemuseks on süsteemide ebaõige projekteerimine ja väiksemad mõõtmed. Sellised projektid on kahetsusväärsed mitte ainult omaniku, vaid ka kogu tööstuse maine seisukohast. Parim lähenemisviis on palgata professionaalse süsteemi ehitaja, et arutada läbi projekti ideed ja soovitav tehnoloogia ning leida koostöös kasvanduse ehitamiseks optimaalne lahendus. Kalakasvataja peaks keskenduma kalakasvatuse tegevuse juhtimisele ja optimeerimisele, selle asemel et sekkuda tugevalt tehniliste lahenduste ja planeerimise üksikasjadesse. Kalakasvataja ja tehnoloogia pakkuja koostöö on projekti arendamise edukuse seisukohast väärtuslik, kuid vastutuse jaotus peab olema selge. Süsteemide tootjad töötavad sageli väga süstemaatiliselt, et viia projekt ellu alates põhikavast kuni ehituse ja lõpuks käivitamiseni. Mõned süsteemide pakkujad annavad igapäevast tuge kasvanduse juhtimise ja tööprotseduuride vallas ka kasvanduse täieliku üleandmise järel, et tagada kasvanduse pikaajaline edu.

Tööjõud

Oskustega tööjõu leidmine on hädavajalik, et tagada kasvanduse igapäevane (sh nädalavahetuseti ja öösiti) professionaalne juhtimine. Äärmiselt oluline on leida täielikult tööle pühendunud ning osanikega samaväärselt kasvanduse edule orienteeritud üldise töökorralduse juhataja. Kalad on elusolendid ning neid tuleb väga tähelepanelikult jälgida, et nad saaksid kasvada tervislikus ja stabiilses keskkonnas. Eksimused või vale hooldamine mõjutab hetkega suurel määral nii tootmist kui ka kalade heaolu. Vesiviljelustööstuse kasvades ja järjest rohkem spetsialiseerudes muutub ilmseks ka vajadus suuremate erioskustega ja paremini haritud töötajate järele. Koolitamine ja haridus on järjest enam kaasaegse vesiviljeluse oluline osa.

Rahastamine

Sageli alahinnatakse kogu projekti lõpuleviimiseks vajaliku rahastuse mahtu. Uue kalakasvanduse ehitamise ja käivitamise kapitalikulud on väga suured, eriti vee korduskasutuse tehnoloogia korral. Samuti näivad investorid unustavat, et kalade müügisuuruseni kasvatamine nõuab kannatust. Ehituse algusest kuni müüdud kaladelt esimese tulu saamiseni kulub tavaliselt 2–4 aastat sõltuvalt projekti suurusest, asukohast ja liikide müügisuurusest. Rahavoo võimalikult kiiresti käivitamise eesmärgil on soovitatav algetapis täita süsteem suurema arvu kaladega, millest üleliigse osa saab esimesel aastal müüa väiksema suurusega, kuni tootmislogistika jõuab plaanitud päevatoodangu koguste ja suuruste juurde. Teine oluline punkt on see, et kogu investeerimis- ja töömahu arvestamisel tuleb sisse arvata kõik kulud, ning lisaks hoida käepärast varuressurssi ootamatute tõrgete või vajaduste tarbeks. Vee korduskasutusega süsteemis on tehnoloogia ja bioloogiline funktsioneerimine vastastikuses sõltuvuses. See tähendab, et kui ükskõik milline tehnoloogilistest lahendustest on kas paigaldamata, liiga vähese jõudlusega või töökorrast ära, siis kannatab rängalt kogu vee korduskasutuse süsteem. Lõpptulemusena mõjutab see kalade heaolu ja kasvutulemusi, mis viib kalade viletsa kvaliteedi ja plaanitust väiksema tootmismahuni. Teisisõnu: te ei saa kindlustada oma teed edule kalakasvatuses.

Projektist täieliku ülevaate saamiseks tuleb koostada üksikasjalik äriplaan. Selle ja ka turu-uuringu koostamise juhiseid sellest juhendist ei leia, vaid neid on põhjalikumalt käsitletud muudes allikates. Siiski on allpool esitatud äriplaani kavand ning eelarve ja finantsarvestuse näited, et anda lugejale juhiseid kalakasvanduse rajamise kohta.

Tutvustavaid materjale ettevõttega alustamiseks ja äriplaanide näiteid leiab veebis lihtsa otsinguga või näiteks järgmiselt veebisaidilt: www.bplans.com.

Joonis 4.2. Äriplaani põhipunktid (mugandatud Palo Alto Software Ltd. järgi)

1. **Lühikokkuvõte**
   Eesmärk, missioon ja edu võtmetingimused
2. **Ettevõtte andmed**
   Ettevõtte omanikud, partnerid
3. **Tooted**
   Tooteanalüüs
4. **Turuanalüüsi kokkuvõte**
   Millisteks segmentideks on turg jaotunud?
   Milline saab olema sihtturg?
   Millised on selle turu vajadused?
   Konkurendid?
5. **Strateegia ja teostuse kokkuvõte**
   Konkurentsieelis
   Müügistrateegia
   Müügiprognoos
6. **Juhtimistegevuse kokkuvõte**
   Personaliplaneerimine ja ettevõtte korraldus
7. **Finantsplaan**
   Olulised eeldused
   Kasumiläve analüüs
   Prognoositav kasum ja kahjum
   Käive ja bilanss

Kokkuvõttes vajab äriplaan järgmisi eraldi eelarveid:

- investeeringueelarve (CAPEX)
  (kapitalikulutused, kogukapitalikulud)
- tegevuskulude eelarve (OPEX)
  (tegevuskulud, ettevõtte tööshoidmine)
- käibe-eelarve
  (likviidsus, püsiv äritegevus)

Alati on kasulik pidada nõu professionaalse raamatupidajaga, et koostada võimalikult põhjalik üldeelarve, mis kajastaks kõiki kulutusi. Hästi dokumenteeritud eelarvet on vaja ka investorite veenmiseks, pangalaenu taotlemiseks ja vastavatest institutsioonidest rahastuse taotlemiseks.

Tootmise planeerimine

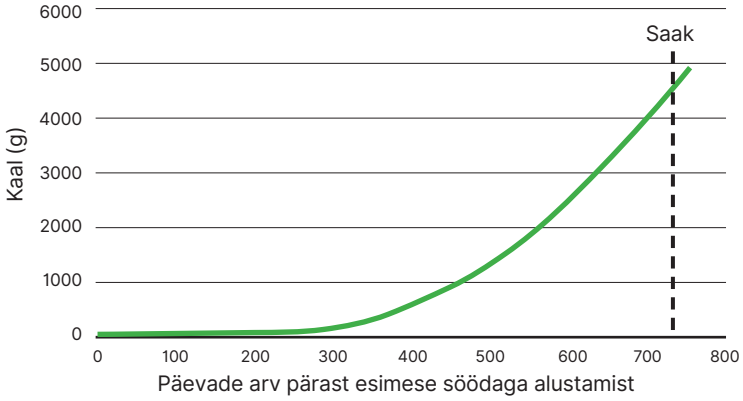
Samuti on tähtis koostada bioloogilise kalatootmise üksikasjalik plaan ja viia see hoolikalt vastavusse eelarvega. Tootmisplaan on põhiline vahend selle väljaarvutamiseks, mitu tonni kala on teatud ajahetkel väljapüügiks valmis. Enamasti asustab kalakasvataja kasvanduse aasta jooksul mitme kalamarja- või väikeste kalade partiiga, et tagada aasta ringi turustatava kala pidev toodang. Kalad jaotatakse suuruse järgi eri klassidesse, kui nad kasvavad lõppsuuruseni. Tootmisplaan põhineb kala kasvutulemustel ja seda saab väljendada kasvukõverana.

Tootmisplaani tuleks tootmise ajal järjepidevalt muuta ja täiendada, sest kalakasvatus on ettearvamatu ning võib nii halvas kui ka heas mõttes erineda planeeritust. Tootmisplaani väljatöötamine tähendab põhimõtteliselt kala kasvu kalkuleerimist, enamasti kuude kaupa. Ent plaani elluviimisel tuleks arvestada praktilist kogemust ja arutelu teiste kasvatajatega.

Toodangu kalkuleerimiseks ja planeerimiseks on mitmesuguseid tarkvaraprogramme. Kõik need põhinevad protsendiarvutusel, arvestades kala kasvukiirust protsentidena päeva kohta. Kasvukiirus sõltub kalaliigist, kala suurusest ja veetemperatuurist. Eri kalaliigid vajavad kasvamiseks eri temperatuuri, sõltuvalt nende looduslikust elupaigast, ning väiksemate kalade kasvutempo on kiirem kui suurematel.

Söödakulu ja -väärinduse arvutamine on loomulikult selliste arvutuste lahutamatu osa. Tootmisplaani koostamiseks kasutatakse kasvatatava kala söötmis-

Joonis 4.3. Vee korduskasutusega süsteemis temperatuuril 14 °C kasvatatud atlandi lõhe eeldatav kasvukõver



Kõver põhineb söötmistabelitest saadud andmetel ning seda on vastavalt vee korduskasutusega süsteemide lõhekasvatajatelt saadud kogemustele kohandatud.

Tabel 4.1. Eri suuruses tuurade soovitusliku söödanormi näide kala kaalu protsendina eri veetemperatuuridel

Kala mõõdud (g)	Graanuli suurus (mm)	13 °C	15 °C	17 °C	19 °C	21 °C	23 °C	25 °C	27 °C	29 °C
50–100	3,0	0,60	0,89	1,04	1,19	1,39	1,44	1,34	1,19	0,99
100–200	3,0	0,50	0,80	0,99	1,09	1,19	1,24	1,14	0,99	0,80
200–800	4,5	0,45	0,70	0,85	0,94	1,04	1,04	0,94	0,85	0,70
800–1500	4,5	0,35	0,55	0,65	0,75	0,85	0,85	0,75	0,60	0,40
1500–3000	6,5	0,20	0,35	0,45	0,55	0,65	0,65	0,55	0,45	0,30
3000–5000	9,0	0,15	0,25	0,34	0,39	0,44	0,49	0,44	0,34	0,20
5000–10 000	9,0	0,12	0,20	0,28	0,31	0,35	0,39	0,35	0,28	0,16

Söötmist tuleks kohandada ja söödatüüp valida vastavalt tootmisstrateegiale ja kasvatustingimustele. Soovitusi järgiv söötmine annab parima söödaväärinduse, aidates säästa söödakulusid ja vähendades väljaheidete hulka. Kui tõsta söödanorm kõrgeimale võimalikule tasemele, kiireneb kasv söödaväärinduse arvelt. Allikas: BioMar.

tabelit. Selliseid tabeleid pakuvad söödatootjad ning need arvestavad kalaliiki, kalade suurust ja veetemperatuuri (joonis 4.3).

Söödanormi jagamine söödaväärindusega annab kalade kasvukiiruse. Järgmiste päevade kaalutõusu saab seega arvutada protsendiarvutusega:

$$K_n = K_o(1 + r)^n$$

kus *n* tähistab päevade arvu, K_o on kala kaal 0. päeval, K_n on kala kaal n-ndal päeval ja r on kasvukiirus. 100 g kala, kes kasvab 1,2% päevas, kaalub 28 päeva pärast:

$$K_{28\ \text{päeva}} = K_{100\ \text{g}}\,(1 + 0{,}012)^{28\ \text{päeva}}$$

$$= 100\ (1{,}012)^{28} = 139{,}7\ \text{g}$$

Seda valemit saab kasutada kalavarude kasvu arvutamiseks ükskõik kui suurte kalade või suure kalade arvu puhul. See võimaldab koostada täpse tootmisplaani ning annab infot selle kohta, millal mõõta ja jaotada kalu uutesse basseinidesse. Tootmisplaani koostamisel tuleb arvestada ka kalade suremusega. Arvutusi on soovitatav teha iga kuu ja sõltuvalt kogemustest kasutada umbes üheprotsendilist suremust kuus. Ühte kuud ei peaks arvestama kui 30 päeva, sest tavaliselt jääb selle sisse ka päevi, mil tehakse hooldustöid ja kalu ei söödeta, ning seetõttu on ka alljärgnevas näites arvestatud 28 päevaga.

Kulud ja investeeringud

Investeeringukulud sõltuvad suurel määral tootmisrajatise ehitusest, mis omakorda sõltub asukohariigist ja sealsetest ehitustingimustest. Tabelis 4.2 on esitatud investeeringueelarve hinnanguline näidis protsentides. Kulude hulka ei ole arvatud maa ostu.

Tabel 4.2. Vee täieliku korduskasutusega hoonesisese süsteemi näidiseelarve protsentides. Kulude protsentuaalne jaotus erineb sõltuvalt süsteemi tüübist, kalaliigist ja asukohast

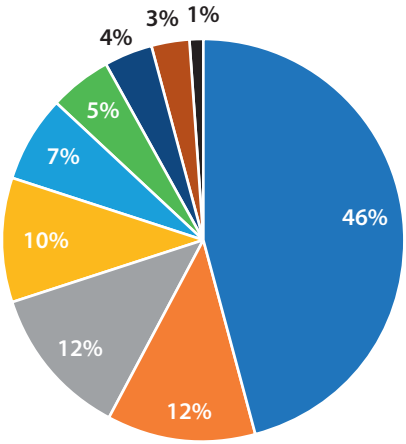
Investeeringueelarve	Kapitalikulude osakaal
Ehitustööd: territooriumi arendamine, hoonete rajamine, betooni- ja ehitustööd, torustik, elekter, käiguteed	46%
Vee korduskasutus: ülesehitus ja varustus, kohaletoimetamine ja paigaldamine	33%
Kasvubasseinid, sh sisse- ja väljavoolud	12%
Söötmise ja valgustuse süsteemid	2%
Soojendus, jahutus, ventilatsioon	3%
Kalade käsitsemine, sh torud	3%
Tööks vajalikud seadmed	1%

Kulud sõltuvad samuti suuresti sellest, kas kasvandus kasvatab kalu kõigis arenguetappides või ainult täiskasvatamise etapis ning kas kasvandus paikneb sise- või välistingimustes. Konkreetsed otsused sõltuvad kliimatingimustest, kalaliikidest, tootmiseesmärgist jne. Enamasti on nii, et mida rohkem vett süsteem korduskasutab, seda tõenäolisemalt peaks see asuma sisetingimustes.

Sisetingimustes paikneva täieliku vee korduskasutusega kasvanduse puhul, mis sisaldab kõiki rajatisi, nagu haudemajad, kalavastsete ja täissuuruseni kasvatamise süsteemid, mis on varustatud söötmissüsteemide, sorteerimislahenduste, sissevoolava vee ja heitvee käitlusega jne, ulatub kogu investeerimiskulu (CAPEX) 12–20 euroni (või rohkem) toodangu kg kohta aastas.

Mida suurem on müügiküpseks kasvatatav kala, seda suurem on investeerimiskulu, kuna suuremate kalade kasvatamisel on sama tootmismassi saavutamiseks vaja võimsamat süsteemi ja basseinimahtu kui väikeste kalade puhul. Seega ulatub suuremate kalade, nagu 4–5 kg müügiküpse lõhe kasvatamisel kulu täieliku kõikehõlmava süsteemi puhul umbes 20 euroni toodangu kilogrammi kohta aastas. Skaala teises otsas olev portsjonsuuruses forelli tootmiseks mõeldud täieliku vee korduskasutusega süsteemi projekt on vähem kulukas, sest väiksemate

Joonis 4.4. Näide kulude jaotumise kohta ühes portsjonsuuruses forelli vee korduskasutusega tootmisüksuses (2000 tonni aastas), kus maimudest kasvatatakse 300–500-grammised portsjonsuuruses forellid



- Sööt (pigmenteerimata)
- Amortisatsioon
- Palk
- Kalasisend (maimud)
- Energia
- Haldus ja müük
- Hapnik
- Hooldustööd ja kindlustus
- Kemikaalid

Kogutoodangu kulu ühe kilogrammi toodetud eluskala kohta on veidi alla 2 euro.

kalade suure kasvukiiruse tõttu on tootmistõhusus mahuti kuupmeetri kohta suurem.

Kõige väiksemad investeeringud on vaja teha välistingimustes olevatesse kalakasvatusmoodulitesse, mis toodavad väikeseid müügisuuruses kalu vähem arendatud vee korduskasutuse süsteemides, mida kasutatakse üksnes näiteks tilaapia, säga või forelli täissuuruseni kasvatamiseks. Selliste lihtsate vee korduskasutusega kasvatusmoodulite, mis on mõeldud ainult kalade kasvatamiseks vastsestaadiumist kuni turustatava portsjonsuuruseni, investeerimiskulud ilma hoonete rajamise, sissevoolava vee töötlemise jms kuludeta on hinnanguliselt umbes 6 eurot toodetud kilogrammi kohta aastas, kui need on kavandatud vähemalt 1000 tonni jaoks.

Tänapäeva kalakasvatuse puhul tuleb arvesse võtta mastaabisäästu. Eelarve koostamisel tuleb mõista, et suurema kasvanduse rajamine vähendab investeerimis- ja tegevuskulusid kg toodetud kala kohta võrreldes väiksema kasvanduse loomisega. Üldjuhul jäävad vee korduskasutusega süsteemi müügisuuruses kalade projektid vahemikku umbes 500–10 000 tonni toodangut aastas. Väiksemad projektid on tavaliselt seotud väärtuslikumate kalaliikidega, nagu haug või kammeljas, ning suuremad projektid odavamate kalaliikidega, nagu tilaapia ja säga. Erand sellest on suur maismaal asuv vee korduskasutusega lõhekasvanduse süsteem, mille puhul projektid on mahukad, kuigi turuhind on suhteliselt

hea. Ent see on seotud ka asjaoluga, et need vee korduskasutusega lõhekasvanduse süsteemid toodavad suuri, aeglaselt kasvavaid kalu, võrreldes väiksemate ja kiiremini kasvavate kalaliikidega, nagu säga või tilaapia.

Mis puudutab maa ostmist, siis sõltub vee korduskasutusega kasvanduse territooriumi suurus ka kalaliigist ning tootmise intensiivsusest. Üldiselt on vee korduskasutusega süsteemi pindala suurus 100 tonni kala kohta umbkaudu 1000 m². Mida suurem on toodangu kogumaht, seda väiksem on 100 tonni tootmiseks vajalik pindala, kuna basseinid on suuremad ning sügavamad. Suure 1000-tonnise kalafarmi ehitamiseks on seega vaja vaid 7000 m² suurust ala. Sageli on lisaks veel vaja ruumi vee sissevõtuks, jääkvee käitlemiseks, kalade laadimiseks, teede ehituseks jne.

Joonisel 4.4 toodud näitest on näha, et huvitaval kombel moodustab energiatarbimine kõigest 7% kuludest. Elektritarbimist tasub loomulikult alati jälgida, kuigi see ei ole kaugeltki mitte peamine kulu. Tegelikkuses pole paljude vee korduskasutusega süsteemide elektrikulu palju suurem kui traditsioonilistel kasvandustel, kus vesirattad, vett tagasi pumpavad pumbad, hapnikukoonused ja muud seadmed üsna olulisel määral energiat tarbivad.

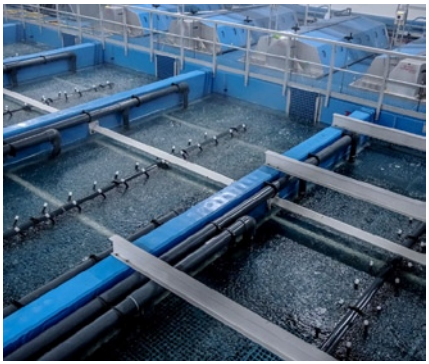
Nagu jooniselt 4.4 nähtub, on söödale tehtavad kulutused palju suuremad kui mõni muu kulu, mis tähendab, et peamine tegur on õige majandamine. Tootmise tõhususele avaldab tunduvat positiivset mõju söödaväärinduse parandamine, sest kalad võtavad kaalus rohkem juurde tarbitud sööda kilogrammi kohta ning vee korduskasutusega süsteemi mehaaniliste ja bioloogiliste filtrite koormus on väiksem.

Lisas on toodud tabel bioloogiliste ja tehniliste küsimustega, mis võivad mõjutada vee korduskasutusega süsteemi kasutuselevõttu. See kontroll-loend on eelkõige mõeldud täpsustavate asjaolude ja võimalike takistuste tuvastamiseks vahetult enne projekti elluviimist.

5. peatükk. Vee korduskasutusega süsteemi tööshoidmine

Üleminek traditsiooniliselt kalakasvatuselt vee korduskasutusega süsteemile muudab tunduvalt kalakasvatuse igapäevaseid ülesandeid ja eeldab uusi oskusi. Kalakasvataja peab nüüd vastutama lisaks kalade heaolule ka vee kvaliteedi eest. Vee kvaliteet on sealjuures vähemalt sama oluline – kui mitte olulisemgi – kui kalade eest hoolitsemine. Traditsioonilise kalakasvanduse päevatööst on saanud ööpäev läbi töötava masinavärgi peenhäälestamine. Kogu süsteemi automaatne jälgimine tagab selle, et kalakasvatajal on alati ülevaade kasvanduse hetkeseisust ning hädaolukorrast annab märku alarmsüsteem.

Joonis 5.1. Veekvaliteeti ja -voolu filtrites ja kasvubasseinides tuleb sageli jälgida



Näiteks esiplaanil kujutatud liikumatu elemendiga biofiltri aereerimisskeem peab olema stabiilne ja ühtlane.

Tööülesanded ja -protseduurid

Allpool on toodud kõige olulisemad tööülesanded ja -protseduurid. Tegevus hõlmab muidugi veel suurt hulka ülesandeid, ent üldine tegevuskava peaks olema selline. Kindlasti tuleb koostada nimekiri nii kõigist igapäevastest tööülesannetest kui ka harvemini vajalikest töödest.

Iga päev või kord nädalas:

- kalade käitumise visuaalne jälgimine;
- veekvaliteedi visuaalne jälgimine (läbipaistvus/hägusus);
- hüdrodünaamika (veevool) kontroll basseinides;
- söötmisseadetest sööda jaotamise kontroll;
- surnud kalade eemaldamine ja üles märkimine;
- basseinide väljalaskeavade loputamine püstiste torude korral;
- hapnikusondi membraani puhtaks pühkimine;
- basseinide tegeliku hapnikusisalduse mõõtmine;
- pumbakaevude veetaseme kontroll;

- mehaaniliste filtrite pihustusotsikute kontroll;
- temperatuuri mõõtmine;
- ammoniaagi, nitritite, nitraatide ja pH testid;
- süsteemi lisatud värske vee mahu registreerimine;
- hapnikukoonuste rõhu kontroll;
- pH reguleerimiseks kasutatava NaOH või lubja kontroll;
- osooni doseerimise ja/või UV-lampide töökorras oleku kontroll;
- elektrikulu (kWh) registreerimine;
- teiste töötajate poolt teadetetahvlile jäetud teadete lugemine;
- kasvandusest lahkudes veendumine, et häiresüsteem on sisse lülitatud.

Iga nädal või kord kuus:

- biofiltrite puhastamine vastavalt juhendile ja enda vaatlustele;
- sumpade jne kontroll näiteks mustuse settimise suhtes (kasulik on kasutada kaamerat);
- kondensvee väljalaskmine kompressorist;
- puhverpaagi veetaseme ja alarmi toimimise kontroll;
- allesoleva O_2 koguse kontroll hapnikupaagis;
- pH-mõõdiku kalibreerimine;
- söötjate kalibreerimine;
- O_2-sondide kalibreerimine basseinides ja süsteemis;
- alarmide kontroll – alarmide testide tegemine;

Joonis 5.2. Hapnikugeneraator. Eraldi paigaldatud seadmete kontroll ja hooldus peab olema korraldatud. See tagatakse sageli teeninduslepinguga, mis on sõlmitud spetsialiseerunud ettevõttega

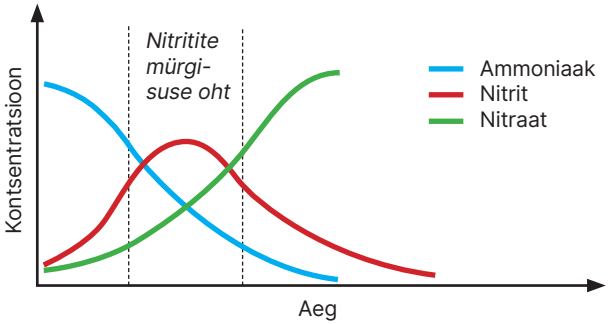
- selle kontroll, kas hapniku manustamine hädaolukorras töötab kõigis basseinides;
- kõigi pumpade ja mootorite kontroll töökindluse ja ebakõlade suhtes;
- generaatorite kontroll ja testkäivitamine;
- nõrgfiltrite ventilaatorite töötamise kontroll;
- mehaaniliste filtrite laagrite õlitamine;
- mehaaniliste filtrite pihustiotsakute loputamine;
- süsteemist seisva veega tsooni otsing ning ettevaatus-abinõude kasutamine;
- filtrikambrite kontroll – ei tohi esineda kõntsa.

6–12 kuu tagant:

- UV-sterilisaatori puhastamine, lampide vahetamine kord aastas;
- kompressori õli, õli- ja õhufiltrite vahetamine;
- jaheda reservvee mahutite puhtuse kontroll seestpoolt;
- degasaatori puhtuse kontroll, vajaduse korral puhastamine;
- vajaduse korral biofiltri põhjalik puhastamine;
- hapnikusondide hoolduse korraldamine;
- mehaaniliste filtrite pihustiotsakute vahetamine;
- filtriplaatide vahetamine mehaanilistes filtrites.

Vee kvaliteet

Kaladele ideaalse kasvukeskkonna loomiseks tuleb vee korduskasutusega süsteemi pidevalt jälgida ja vajaduse korral kohandada. Iga asjaomase parameetri puhul on kehtestatud kaladele bioloogiliselt vastuvõetavad piirid. Tootmistsükli jooksul tuleb võimaluse korral kasvanduse iga sektsioon enne uute kaladega asustamist eraldi sulgeda ja taaskäivitada. Tootmisega seotud muudatused mõjutavad süsteemi kui tervikut ning eriti tundlik kuivamise ja muude muudatuste suhtes on biofilter. Joonisel 5.3 on näha mõju äsja tööd alustanud biofiltrist väljuvale lämmastikuühendite kontsentratsioonile. Kõikumisi esineb ka paljude teiste parameetrite puhul, neist põhilisemad on näidatud joonisel 5.4. Teatud olukorras võivad parameetrite näidud tõusta kaladele ebasoodsa või isegi toksilise tasemeni. Nende tasemete kohta ei ole siiski võimalik anda täpseid andmeid, sest toksilisus oleneb paljudest teguritest, nt kala liik, veetemperatuur ja pH. Enamasti kalad kohanevad süsteemi keskkonnatingimustega ning taluvad seega süsinikdioksiidi, nitraatide ja/või nitritite kontsentratsiooni ning muude parameetrite suuremaid väärtusi. Kõige olulisem on vältida vee füüsiliste ja keemiliste näitajate järske muutusi.



Joonis 5.3. Erinevate lämmastikuühendite sisalduse kõikumised alates biofiltri käivitamisest kuni kasutamiseni pikema aja jooksul

Tabel 5.1. Füüsikaliste ja keemiliste veekvaliteedi parameetrite soovituslikud ja ebasoodsad vahemikud magevee korduskasutusega süsteemis

Parameetrid	Valem	Ühik	Norm	Ebasoodne tase
Temperatuur		°C	Sõltub liigist	Sõltub liigist
Hapnik	O_2	%	70–100	< 40 ja > 250
Lämmastik	N_2	% küllastusest	80–100	> 101
Süsinikdioksiid	CO_2	mg/l	10–15	> 20
Ammoonium-N	NH_4^+	mg/l	0–2,5 (pHmõju)	> 2,5
Ammoniaak-N	NH_3	mg/l	< 0,01 (mõju)	> 0,025
Nitrit-N+	NO_2	mg/l	0–0,5	> 0,5
Nitraat-N	NO_3^-	mg/l	100–200	> 300
pH			6.5–7.5	< 6,2 ja > 8,0
Aluselisus	mg/l $CaCO_3$	70–200	< 70	
Fosfor	PO_4^{3-}	mg/l	1–20	Teadmata
Heljum	Heljum	mg/l	10–25	> 100
KHT (keemiline hapnikutarve)	KHT	mg/l	25–100	Teadmata
BHT (bioloogiline hapnikutarve)	BHT	mg/l	5–20	> 20
Hägusus		NTU	1–3	> 4
vesiniksulfiid	H_2S	µg	< 5 (mõju)	> 5
Kaltsium	Ca^{++}	mg/l	5–50	Teadmata

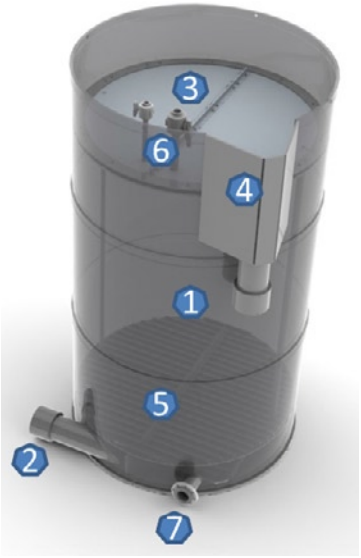
Soolase vee keskkond muudab mõningaid nimetatud tasemeid. Loetelu on üldine ülevaade juhiste saamiseks. Mõned liigid vajavad puhtamat vett kui teised. Kalavastsed ja väikesed kalad vajavad alati puhtamat vett kui suuremad kalad.

Perioodil, mil nitritite kontsentratsioon on suurim, saab toksilisust ära hoida soola lisamisega süsteemi. Juba vee soolasisaldus 0,3‰ (ppt) on nitritite toksilise toime pärssimiseks piisav. Vee korduskasutusega süsteemi soovituslikud vee füüsikaliste ja keemiliste omaduste parameetrid on toodud tabelis 5.1.

Biofiltri hooldus

Selleks et süsteemi veekvaliteet oleks stabiilselt hea, peab biofilter töötama pidevalt optimaalsetel tingimustel. Järgnev on biofiltri hooldustoimingute näidisnimekiri.

Joonis 5.4. Monteeritava polüetüleenist (PE) biofiltri põhiskeem



1 - biofiltri/mikrofiltri kamber; 2 - vee sissevool, 3 - pealmine plaat, 4 - väljalaskekarp/-toru, 5 - aereerimistorustik 6 - aereerimine ja õhu puhastamine 7 - kõntsa väljalase

Tavaliselt paigutatakse PE-biofiltrid maapinnast kõrgemale ja varustatakse kõntsa väljalaske klapiga, mis lihtsustab läbiloputamist ja puhastamist. Kõntsavesi juhitakse kasvanduse vee korduskasutamise süsteemist eraldi asuvasse reovee käitlemise süsteemi. Parempoolne pilt illustreerib suure PE-biofiltri suurust. Allikas: AKVA kontsern.

Biofiltri hooldus hõlmab:

- pealmise plaadi harjamist iga kahe nädala tagant, et ära hoida bakterite ja vetikate kasvu ning sellest tulenevat plaadi aukude ummistumist;
- iga kahe nädala tagant mikromullide difuusori harjamist ja puhastamist viimasest biofiltri kambrist mikroosakeste filtrini viivas torus;
- regulaarset seire ja puhastamise graafikut.

Regulaarselt tuleb kontrollida järgmisi parameetreid:

- kontrollige õhumullide jaotuvust igas biofiltri kambris. Aja jooksul koguneb biofiltrisse orgaanilist ainet, mis mõjutab õhumullide jaotuvust ning mullid muutuvad suuremaks;
- kontrollige biofiltrisisese veetaseme ja PE-silindri ülemise ääre kõrguste erinevust, et tuvastada voolukiiruste muutused biofiltri ja mikroosakeste filtri läbimisel;
- mõõtke regulaarselt biofiltri jaoks kõige olulisemaid veekvaliteedi parameetreid;
- jälgige hoolega doseeritava aluse või happe olemasolevaid varusid.

Joonis 5.5. Mitmekambrilises PE-biofiltris voolab vesi vasakult paremale ning igas kambris ülespoole

Enamik orgaanilist materjali eemaldatakse heterotroofsete bakterite poolt esimeses kambris. Sellest tulenev väike orgaaniline koormus järgnevates kambrites tagab õhukese nitrifitseeriva biokile säilimise, mis muundab ammoniaagi nitraadiks. Viimast kambrit nimetatakse mikroosakeste filtriks ning see on mõeldud väga väikeste mehaanilisest filtrist läbipääsevate osakeste eemaldamiseks. Seda tüüpi filtri saab luua ka betoonist.

Puhastamine ja loputamine kõntsa eemaldamiseks biofiltrist

Biofiltri alla võib koguneda anorgaanilise aine, lahtitulnud biokile ja muu orgaanilise aine segu, mille lagundamisega biofiltris oleva biokilekandja alla kogunevad mikroorganismid hästi toime ei tule. Selline mass tuleb eemaldada kambritest kõntsa eemaldamise süsteemi abil.

Loputamise teel kõntsa eemaldamiseks toimige järgmiselt:

- ühendage puhastatav PE-biofilter süsteemist välja;
- avage väljalaskeklapp mõneks sekundiks (ligikaudu 10 s);
- kui paigaldatud on kõntsapump, pumbake kõnts PE-biofiltrist välja ja vaadake, kas vees on pruuni värvi;
- toimige samamoodi kõigi bio- ja mikroosakeste filtritega (kui olete valmis, siis sulgege kõntsavool); veenduge, et biofiltri kambrist ei tõmba sifooni efekt vett kõntsapumba kaudu välja. Kui on oht vee väljajooksmiseks sellisel moel, siis sulgege väljalaskeklapid.

Biofiltri lihtpuhastus õhuga

Lihtpuhastust on soovitatav teha kaks korda nädalas. Selle käigus puhastatakse PE-biofiltreid õhu abil.

Biofiltri lihtpuhastuseks toimige järgmiselt:

- ärge sulgege vee voolu biofiltrisse;
- avage esimese PE-biofiltri õhkpuhastuse klapid;
- kontrollige samal ajal, kas puhastuspuhur on töövalmis; lülitage puhur sisse;
- juhtige kogu õhuvoog 1. biofiltrisse 10–15 minutiks. Läbi filtri voolav töödeldav vesi viib lahtipaisatud orgaanilise aine edasi järgmisse kambrisse;
- juhtige kogu õhuvoog järgmisse PE-biofiltrisse 10–15 minutiks. Jätkake samamoodi kuni viimase biofiltrini; mikroosakeste filter jätke vahele;
- kogu lahtitulnud orgaaniline aine jõuab mikroosakeste filtrisse.

Mikroosakeste filtri puhastamine

Mikroosakeste filtri puhastamise sagedus sõltub süsteemi koormusest. Reeglina soovitatakse seda puhastada kord nädalas.

Mikroosakeste filtri lihtpuhastuseks toimige järgmiselt:

- peatage veevool läbi PE-biofiltrite;
- langetage veetaset nii, et see on mikroosakeste filtri pealmisest plaadist 100 mm allpool, kasutage selleks kõntsa väljalaske klappi (olemasolu korral kasutage kõntsapumpa);
- sulgege kõigi PE-biofiltri kambrite õhkpuhastuse klapid; avage mikroosakeste filtri kambri õhkpuhastuse klapp;
- kontrollige tehnikuga, kas puhastuspuhur on töövalmis; lülitage puhur sisse;
- juhtige kogu puhastamiseks mõeldud õhk 30 minutiks mikroosakeste filtrisse. Sisenev õhk tõstab veetaset väljalaske karpide juures. Mustal veel ei tohi lasta väljalaske karbi kaudu välja voolata;
- pärast puhastamist laske kogu mikroosakeste filtris olev vesi välja, nagu on kõntsa väljaloputamise juhises kirjeldatud.

Biofiltri süvapuhastus

Kui biofiltri ja/või mikroosakeste filtri kambrite läbilaske erinevus kasvab ja see probleem ei lahene tavapuhastusega, siis on vajalik biofiltri süvapuhastus. Biofiltri ja mikroosakeste filtri läbivooluprobleemide tuvastamiseks kasutage tavapärast mõõtmist igas biofiltri kambris, mõõtes veetaseme kaugust PE-silindri ülemisest äärest.

Enne süvaloputuse lõpule viimist sulgege kambris aeratsioon kaheks tunniks. Kamber toimib selle lühikese ajavahemiku jooksul siis nagu mikroosakeste filter, kogudes endasse rohkem jääke, mis eemaldatakse puhastusega. Soovitatav on sügavpuhastada kõiki biofiltri osi kord kuus.

Biofiltri süvapuhastuseks toimige järgmiselt:

- peatage veevool läbi PE-biofiltrite;
- 30 minuti jooksul aereerige filtrit/filtreid, mida puhastatakse tugevalt; seejärel tühjendage filter/filtrid täielikult, nagu on kõntsa väljaloputamise juhises kirjeldatud.

Naatriumhüdroksiidiga (NaOH) puhastamine

Kui biofiltri süsteemis esineb tõsine ummistus, puhastage seda naatriumhüdroksiidiga. Tõsise ummistuse märgiks võivad olla pidevad probleemid läbivoolu erinevustega kambrite vahel, märgid aeratsiooni ebaühtlusest kambri ülaosas ja/või biofiltri jõudluse langemine.

Naatriumhüdroksiidiga puhastamiseks toimige järgmiselt:

- tühjendage filtrisektsioon;
- täitke see magevee ja naatriumhüdroksiidi lahusega (NaOH, nii palju, et pH oleks 12);
- laske sel tund aega mõjuda koos aereerimisega, seejärel tühjendage filter uuesti, nagu on kõntsa läbiloputamise juhendis kirjeldatud.

Selline puhastamine peaks osutuma vajalikuks ainult siis, kui biofiltrit pole regulaarselt hooldatud. Naatriumhüdroksiidiga puhastatud kambril kulub uuesti täisjõudluse saavutamiseks päevi (20–40 päeva).

Biofiltri probleemide tõrkeotsing

Tabel 5.2. Probleemide loetelu koos põhjuste ja võimalike lahendustega

Probleem	Põhjus	Lahendus
Suurenenud hägusus	Liigne aeratsioon	Vähendage aeratsiooni
	Läbivoolu vähenemine biofiltris	Avage degasaatori ja biofiltri vaheline klapp, suurendage läbivoolu
Suurenenud üld-N	Liigne aeratsioon, nitrifikatsiooni vähenemine biokile kahjustuste tõttu	Vähendage aeratsiooni
Suurenenud nitritite sisaldus ja üld-N	Liiga suur orgaaniline koormus	Veenduge, et söötmine ei ületa süsteemi tehnilisi näitajaid. Kontrollige mehaanilise filtri tööd
Nitraatide sisalduse langus	Anaeroobne aktiivsus	Suurendage aeratsiooni, puhastage biofiltrit
Tekivad vesiniksulfiidid (H_2S) (mädamuna lõhn puhastamisel)	Anaeroobne aktiivsus	Suurendage aeratsiooni, puhastage biofiltrit
Suurenenud aluselisus	Anaeroobne aktiivsus	Suurendage aeratsiooni, puhastage biofiltrit
Voolu vähenemine biofiltris	Osaliselt suletud sisselaskeklapid	Avage degasaatori ja biofiltri vaheline klapp, suurendage läbivoolu
	Biofiltri ummistus, biofiltri ebapiisav puhastamine	Puhastage biofiltrit vastavalt graafikule ja tootespetsiifilistele nõuetele
Aeratsioon vähenenud või puudub	Puhuri rike	Kontrollige puhurit, õhu sissevõtu filtrit, elektrikaitset ja vooluühendust

Ettevaatusabinõud

Aereeritava vee tihedus on väiksem kui tavalisel veel, selles ei ole võimalik ujuda!

Operaator tohib biofiltri pealmisel plaadil käia ainult ohutusrakmetega! Kanda tuleb sobivaid jalanõusid ning rakendada ettevaatust äärmiselt libeda pinna suhtes!

Järgida tuleb kõiki ohutusmeetmeid tööriistade, kemikaalide, masinate ja muu kasutamiseks!

Hapniku taseme reguleerimine

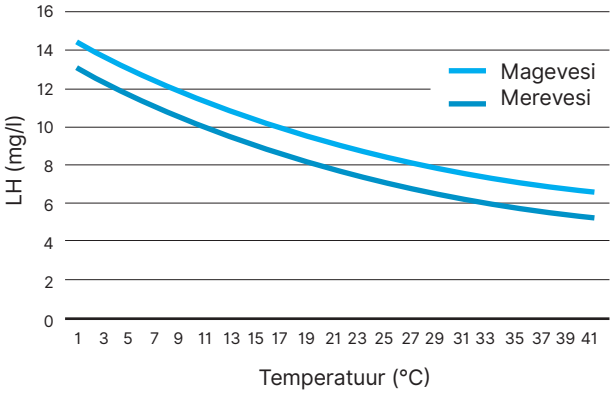
Lahustunud hapnik (LH) on kalakasvatuses üks olulisimaid parameetreid ning on tähtis mõista, mida tähendavad protsent küllastumisest ja mg/l. Kui vesi on õhuga küllastunud, on selle LH 100% küllastunud. Korrektne hapnikusisalduse seire kalakasvanduses on üldise tegevuse seisukohast hädavajalik.

Hapniku sisaldus milligrammides liitri vee kohta sõltub temperatuurist, soolsusest ja õhurõhust. Baromeetrilise rõhu 1013 millibaari juures on 100-protsendiline küllastatus magevees võrdne sisaldusega 12,8 mg/l temperatuuril 5 °C, aga kõigest 7,5 mg/l temperatuuril 30 °C. See tähendab, et külmas vees sisaldub kalade jaoks palju rohkem hapnikku kui soojas vees. Seega tuleb kalade kasvatamiseks soojas vees hapnikusisaldust veelgi rohkem jälgida ja reguleerida kui külma vee puhul. Soolase vee puhul on küllastatus väiksem kui magevee puhul.

Lahustunud hapniku sisaldus erineb samuti soolase ja magevee puhul. Magevees on hapnikusisaldus suurem kui soolases (vt tabelid 5.3 ja 5.4).

Joonis 5.6. Lahustunud hapniku (LH) kontsentratsioon magevees ja soolases vees mg/l kohta 100-protsendilise küllastatuse juures

Külmas vees on kontsentratsioon suurem kui soojas vees.



Joonis 5.7. Handy Polarise hapnikumõõdik vee hapnikusisalduse mõõtmiseks ühikutes mg/l ja % küllastumisest

Allikas: Oxyguard International.

Tabel 5.3. Lahustunud hapnik magevees, mg/l 100-protsendilise küllastatuse juures

Lahustunud hapnik magevees												
mm Hg		700	710	720	730	740	750	760	770	780	790	800
millibaari		933	946	960	973	986	1000	1013	1026	1040	1053	1066
Temperatuur												
°C	°F											
0	32	13,4	13,6	13,8	14,0	14,2	14,4	14,6	14,8	15,0	15,2	15,4
5	41	11,8	11,9	12,1	12,3	12,4	12,6	12,8	12,9	13,1	13,3	13,4
10	50	10,4	10,5	10,7	10,8	11,0	11,1	11,3	11,4	11,6	11,7	11,9
15	59	9,3	9,4	9,5	9,7	9,8	9,9	10,1	10,2	10,3	10,5	10,6
20	68	8,4	8,5	8,6	8,7	8,8	9,0	9,1	9,2	9,3	9,4	9,6
25	77	7,6	7,7	7,8	7,9	8,0	8,1	8,2	8,4	8,5	8,6	8,7
30	86	6,9	7,0	7,1	7,2	7,3	7,4	7,5	7,6	7,7	7,8	7,9
35	95	6,4	6,5	6,6	6,7	6,8	6,8	6,9	7,0	7,1	7,2	7,3
40	104	5,9	6,0	6,1	6,2	6,2	6,3	6,4	6,5	6,6	6,7	6,7

Esiletõstetud veerus toodud soolsuse mõju hapnikusisaldusele saab näha tabelis 5.4.

Tabel 5.4. Lahustunud hapnik soolases vees, mg/l 100-protsendilise küllastatuse juures

Lahustunud hapnik soolases vees (760 mm Hg juures)						
Soolsus, tuhandikku osa		0	10	20	30	40
Temperatuur						
°C	°F					
0	32	14,6	13,6	12,7	11,9	11,1
5	41	12,8	11,9	11,2	10,5	9,8
10	50	11,3	10,6	9,9	9,3	8,7
15	59	10,1	9,5	8,9	8,4	7,9
20	68	9,1	8,6	8,1	7,6	7,2
25	77	8,2	7,8	7,4	7,0	6,6
30	86	7,5	7,1	6,8	6,4	6,1
35	95	6,9	6,6	6,2	5,9	5,6
40	104	6,4	6,1	5,8	5,5	5,2

Tänapäeva seadmetel on nii temperatuuri kui ka baromeetrilise rõhu andurid, mis annavad õiged näidud igal ajahetkel. Hapnikutaseme mõõtmiseks soolases vees sisestage hapnikumõõdiku menüüs lihtsalt vee soolsuse määr ning mõõdik kohandab end sellele vastavalt. Nõnda on näiteks käeshoitava hapnikumõõdiku kalibreerimine üsna lihtne.

Täpsete mõõtmistulemuste jaoks on vajalik täpne kalibreerimine, mis omakorda vajab stabiilseid tingimusi.

Haridus ja koolitus

Kalakasvanduse juhtimine on täpselt sama tähtis kui õige tehnoloogia paigaldamine. Ilma vastavalt haritud ja koolitatud inimesteta ei saavuta kasvandus kunagi rahuldavat efektiivsust. Kalakasvatuses läheb üldiselt vaja tervet rida erialaoskusi, alates paljundamisvarude ja haudemajade haldusest ning vastsete eest hoolitsemisest kuni maimude tootmise ja turuküpse kala täiskasvatamiseni.

Viise koolitamiseks ja harimiseks on mitmesuguseid, alates praktilistest kursustest kuni akadeemiliste ülikooliprogrammideni. Vee korduskasutusega vesiviljelussüsteemi terviklikuks mõistmiseks on vaja ühendada teooria ja praktika.

Järgnevalt on toodud loetelu valdkondadest, mida tuleks haridusprogrammi koostamisel arvesse võtta.

Elementaarne vee keemia

Vee põhiliste keemiliste ja füüsiliste parameetrite, nagu ammooniumi, ammoniaagi, nitriti, nitraadi, fosfori, raua, hapniku ja süsinikdioksiidi sisaldus, soolsus, pH ja aluselisus, mõistmine on kasvanduse töös oluline.

Süsteemi tehnoloogia ja üldine haldamine

Arusaamine erinevatest süsteemilahendustest, primaarsest ja sekundaarsest veevoolust. Tootmise planeerimine, söötmisrežiim, söödavääringus, spetsiifilised kasvukiiruse mõjurid, kalade suuruse, arvu ja biomassi arvutamine ja registreerimine. Teadmised hädaolukorraks paigaldatud seadmetest ja hädaprotseduuridest.

Tarbimine

Kalasööda koostise, söötmise arvestamise ja jaotamise, veetarbimise mahu ning allikate, elektri- ja hapnikutarbimise, naatriumhüdroksiidi ja lubja abil pH reguleerimise alased teadmised.

Parameetrite näidud ja kalibreerimine

Hapniku, süsinikdioksiidi, pH, temperatuuri, soolsuse, rõhu jms andurite näitudest aru saamine. Oskus mõõta ja arvutada ammoniaagi, nitritite, nitraatide ja üldlämmastiku kontsentratsioone ning teadmised lämmastikutsükli toimimisest. Hapnikku, pH, temperatuuri, süsinikdioksiidi, soolsuse, veevoolu jms mõõtmise seadmete kalibreerimine. Alarmide, ohtlike tasemete jms seadistamine programmeeritava kontrolleri (PLC) ja arvuti puhul.

Masinad ja tehnika

Teadmised süsteemi mehaanikast ja vajalikest hooldustoimingutest, nt mehaanilise filtri, nii liikumatu kui ka liikuva filtermaterjaliga biofiltri süsteemide, degasaatori, nõrgfiltrite ja denitrifikatsiooni filtrite puhul. Teadmised UV-süsteemide, pumpade, kompressorite, temperatuuri reguleerimissüsteemi, soojenduse, jahutuse, ventilatsiooni, hapnikuga varustamise süsteemide, hädaolukorra hapnikusüsteemide, hapnikugeneraatori ja varuhapnikusüsteemide, pH reguleerimise süsteemide, pumpade sagedusadapterite süsteemide, elektrigeneraatori süsteemide, programmeeritava kontrolleri ja arvutisüsteemide, automaatsete söötmissüsteemide kasutamise kohta.

Praktilised teadmised

Praktilised teadmised kalakasvanduse tööst, sh sugukarja, marja, vastsete, maimude ja suuremate täiskasvatatavate kalade käsitsemist puudutavad teadmised. Reaalne kogemus kalade eest hoolitsemisel, sorteerimisel, vaktsineerimisel, loendamisel ja kaalumisel, suremuse haldamisel, tootmise planeerimisel ja muus kasvanduse igapäevatöös. Bioturvalisuse meetmete, hügieeni, kalade heaolu, kalahaiguste ja nende õige ravi tähtsuse mõistmine.

Abi kasvanduse haldamisel

Vee korduskasutusega süsteemi rajamisel vajavad tähelepanu väga paljud asjad ning nende tähtsuse järjekorda seadmine ja tähelepanu õigetele asjadele suunamine võib olla raske. Süsteemi käivitamine ja tööshoidmine nõnda, et see toimiks optimaalselt täiel tootmismahul, on tihti äärmiselt keerukas.

Üks viis, kuidas alguses toime tulla ning hoiduda kasvanduse haldamisel tehtavatest vigadest, on professionaalse kalakasvataja poolne igapäevase tootmise jälgimine või haldustugi. Sellise toe pakkumine võib hõlmata ka kasvanduse töötajate jätkuvat harimist ja koolitamist töö käigus.

Kalakasvataja peaks kokku panema oskustöötajate meeskonna, kes haldaks kasvandust ööpäev läbi. Meeskonna liikmed töötavad enamasti vahetustega, et katta öövahetused ning töö nädalavahetustel ja pühade ajal.

Meeskonda peavad kuuluma järgmised töötajad:

- juhataja, kes vastutab üldiselt kogu kalakasvanduse igapäevase praktilise juhtimise eest;
- assistendid, kes annavad kasvanduse praktilise töö kohta juhatajale aru, pöörates erilist tähelepanu kalade eest hoolitsemisele;
- vähemalt üks tehnik, kes vastutab tehniliste seadmete hoolduse ja parandamise eest;
- enamasti tuleb palgata veel töötajaid erinevate ülesannete jaoks.

On tähtis veenduda, et meeskonnal jääb tõepoolest aega koolituse läbimiseks töö käigus, et nende oskused oleksid võimalikult head. Sageli jääb koolitamine unarusse, kuna igapäevatöö on olulisem ning õppimiseks ei näi olevat aega. See ei ole aga hea viis uue ettevõttega alustamiseks. Iga võimalus teadmiste suurendamiseks ja töö tõhusamaks ja professionaalsemaks muutmiseks peaks olema esmatähtis.

Teenindus ja parandustööd

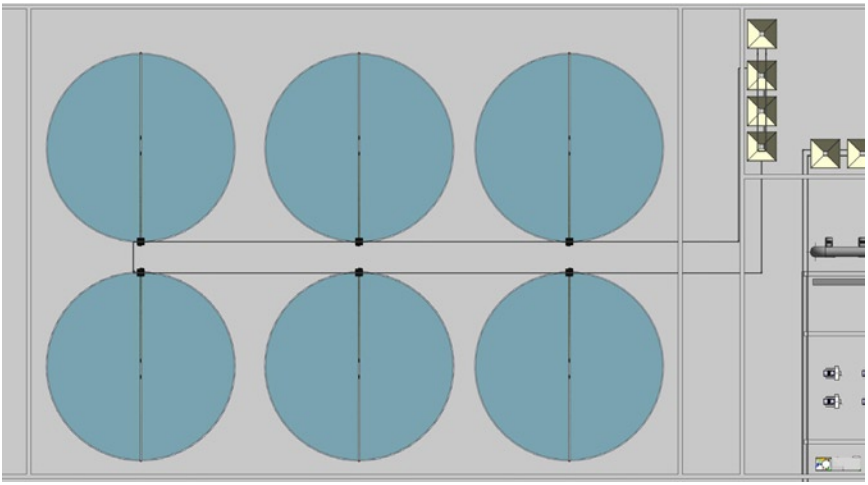
Koostada tuleb vee korduskasutusega süsteemi teenindus- ja hooldusprogramm, et tagada kõigi komponentide pidev töökorras olek. Selle peatüki alguses on välja toodud vajalikud tegevused, samuti tuleb tähelepanu pöörata sellele, kuidas likvideerida kõikvõimalikud rikked. Soovitatav on sõlmida teeninduslepingud erinevate seadmete tarnijatega, et professionaalne teenindus toimuks regulaarsete intervallidega ja oleks alati käepärast.

Koos teeninduse korraldamisega on oluline ka varuosade tarnimise tõhus korraldus. Kasvanduses peaks kohapeal kohe kasutamiseks olema valmis kõige olulisemate varuosade täielik komplekt koos varuseadmetega, nagu veepumbad ja puhurid.

Kalade söötmine

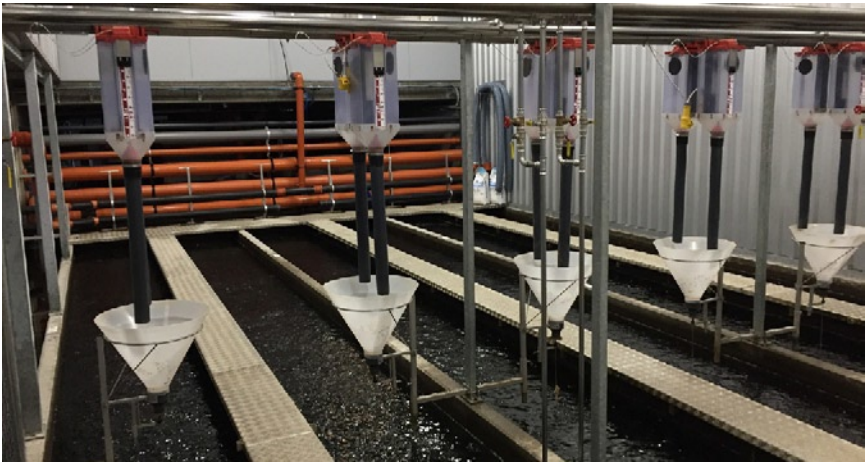
Söötmine on üks kõige olulisemaid ülesandeid kalakasvanduses, sest sööt on vaieldamatult kalatootmise suurim kulu. Seega on oskuslik söötmine edu saavutamise seisukohast kõige olulisem. Vee korduskasutusega süsteemis tuleb söötmisele erilist tähelepanu pöörata võrreldes muude kalakasvatussüsteemidega. Põhjus on selles, et maha loksunud sööt ja/või väikesed söödaväärindused avaldavad otsest mõju biofiltri tegelikule võimsusele. Söömata jäänud või halvasti seeditud sööt suurendavad biofiltri koormust ja kasvanduse tootmisvõimsus väheneb. Vähene väärindus või söömata jäänud sööt suurendavad ka tekkiva mustuse hulka ning seeläbi soovimatu sette tekkimise ohtu süsteemi eri osades.

Joonis 5.8. Automaatsöötmissüsteemi skeem



Eri suurusega söödagraanuleid hoitakse silodes (üleval paremal) ja jaotatakse konveiertorusüsteemis basseini küljel olevate punkrite täitmiseks. Punkrist jaotatakse teatud suurusega sööt tigulaaduri abil ühtlaselt üle kogu kalabasseini. Tarkvaraprogramm kontrollib söötmisannuste intervalle ja sööda üldkogust päevas.

Joonis 5.9. Automaatsöötmissüsteemi näide



Allikas: FREA Aquaculture Solutions.

Tänapäeval toimub enamik söötmisest vee korduskasutusega süsteemis automaatselt söötmisseadmete abil, mis enamasti koosnevad iga mahuti juures olevatest punkritest, mida täidetakse iga päev käsitsi või automaatse täitmissüsteemi abil. Sööda hea jaotamine üle kogu veepinna parandab söötmise tõhusust ja tagab, et kõigil kaladel on päeva jooksul lihtne söödale ligi pääseda. Traditsiooniline pendelsöötja, mis aktiveerub, kui kala puutub vastu punkrist vette rippuvat pendlit, on lihtne ja töökindel lahendus, ent siin võidakse hõlpsalt eelistada tugevaimaid kalu. Täisautomaatsed söötmissüsteemid levitavad sööta pöörleva ratta või suruõhu abil ning mõned süsteemid on varustatud kogu paagi ulatuses tigulaaduriga, mis tagab kõige tõhusama jaotuse.

Vee korduskasutuse tehnoloogia jaoks on välja töötatud erisöödad nii seoses toitainelise koostise kui ka graanuli füüsilise struktuuriga. Väga oluline on vältida tolmu teket või graanulite purunemist sööda jagamisel. Tolm on lihtne sööda-kadu ja purunenud graanulid on ebaefektiivsed. Seetõttu tuleb olla hoolikas usaldusväärse söötmissüsteemi kavandamisel ja paigaldamisel.

Kalade käsitsemine

Tehistingimustes peetavaid kalu käsitsetakse ja teisaldatakse tootmisperioodi jooksul mitu korda ühest paagist teise alates vastsestaadiumist kuni valmistooteni. Kalakasvatuse tõhusus seisneb basseinide ja basseinimahtude parimal võimalikul viisil ärakasutamises. See tähendab, et kalad tuleb kasvamisel viia uutesse ja enamasti suurematesse basseinidesse, et anda neile kasvamiseks rohkem ruumi. Kui kalu liigutatakse, on nad enamasti jaotatud suuruse järgi eri kategooriatesse, et hallata praktiliselt kalade voolu väljapüügini. Kalade sorteerimine hoiab ära ka agressiooni ning kalavarud kasvavad ka paremini, kui kalad on ühtlase suurusega.

Kalade käsitsemisel tuleb nad loendada, et jälgida, mitu kala on igas basseinis ja milline on nende biomass. Kalad loendatakse automaatselt sorteerijale või kala transporditoru otsa paigaldatud loenduri abil enne kala sisenemist basseini. Enamik kalaloendureid töötavad infrapunavalguse abil, mis tuvastab mööduva kala. Kalade biomassi arvutamiseks basseinis korrutatakse kokkuloetud kalade arv kalade keskmise kaaluga. See tähendab, et kalade keskmise kaalu arvutamiseks tuleb võtta kalavalim. Väiksemaid kalu saab loendada veega täidetud ämbrisse ja kaaluda keskmise kaalu arvutamiseks, kuid suuremate kalade valimid nõuavad muid meetodeid, näiteks kalade valimi loendamine suuremas vette asetatud püügivõrgus, mis tõstetakse üles ja kaalutakse.

Joonis 5.10. Allolev vaakumpump pumpab elusad kalad kasvubasseinist üleval olevasse sorteerijasse

Kalad jaotatakse suuruse järgi eri kategooriatesse enne, kui nad loendatakse infrapunavalguse abil ja saadetakse raskusjõu abil tagasi basseinidesse. Allikas: IRAS A/S.

Surnud kalade käsitsemine

Kalakasvatusega kaasnevad alati surnud kalad. Isegi täiuslikus vee korduskasutuse keskkonnas on alati mõni surnud kala, mis tuleb kalabasseinidest välja korjata. Rajatise puhtuse ja hügieenilisuse hoidmiseks on oluline iga päev surnud kalad välja korjata. Kõikjal vedelevad surnud kalad tekitavad soovimatu bakterite ja seente keskkonna, mis suurendab tervete kalade nakatumisohtu. Hästi juhitud vee korduskasutusega süsteemis pole surnud kalad probleem, kuid haiguspuhangu või õnnetuse korral võib surnud kalade hulk olla märkimisväärne ning nende kõrvaldamise meetodid ja viisid tuleb eelnevalt lahendada.

Kalavastsete kasvatamine on seotud suurema arvu surnud kaladega kui suurte kalade kasvatamine. Kui kalamarjad kooruvad ning vastsed hakkavad ujuma ja sööma, on nad nakkustele väga vastuvõtlikud ning rangete hügieenistandardite tagamiseks on sageli vaja kaks korda päevas puhastada ja kõrvaldada surnud kalad. Surnud vastsed eemaldatakse käsivõrguga või imemisega käes hoitava sifooni sisse või püsivalt basseini paigaldatud surnud kalade väljavoolutoru kaudu.

Joonis 5.11. Surnud kalade eemaldamine basseini põhjas keskel oleva väljavoolutoru kaudu basseini küljel olevasse väljalaskekarpi

Karp on varustatud võrega, mis hoiab väljutamiseks mõeldud surnud kalu kinni. Pildil kujutatud väljavoolutoru saab reguleerida põhja suunas, et saavutada parim võimalik imemiskõrgus.

Surnud kalade eemaldamine kalabasseinidest muutub üha raskemaks, kuna kalad kasvavad ja ka basseinide suurus võib ulatuda vähemalt 20 m läbimõõduni ja vähemalt 6 m sügavuseni. Selle asemel et korjata surnud kalad välja võrguga, on leiutatud süsteem surnud kalade väljutamiseks basseini keskel oleva ava või toru kaudu. Mõned süsteemid tekitavad õhu abil hetkeks kiirema voolu, teised kasutavad lihtsat raskusjõudu kalade välja imemiseks.

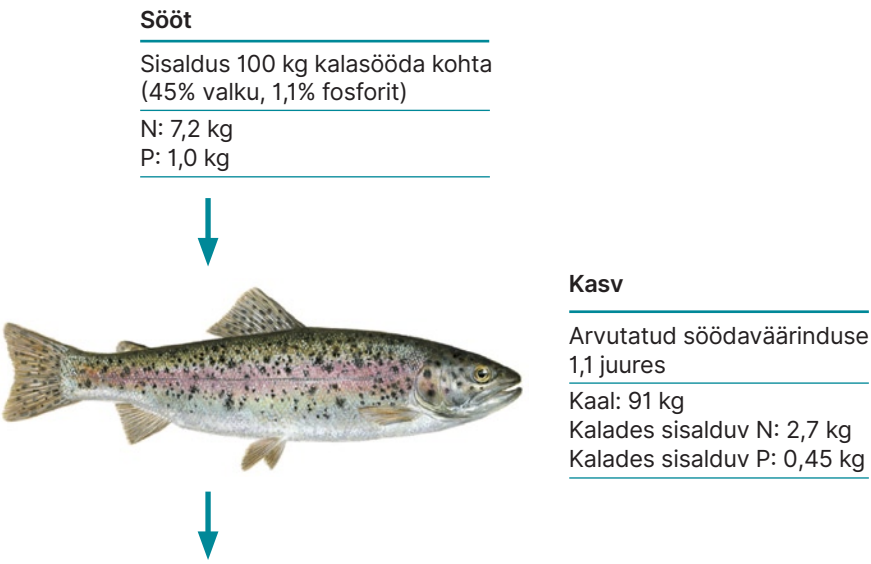
Kui kalad kasvavad suuremaks, muutuvad nad tavaliselt nakkustele vastupanuvõimelisemaks, kuid surnud kalad kuuluvad endiselt kalakasvanduse tööshoidmise juurde. Kui kalad kasvavad, muutuvad surnud kalad suuremaks kuluks nende suurema suuruse tõttu. Loomulikult on 2 kg kala kaotamine suurem kulu kui 2 g vastse kaotamine. Hoolimata sellest, kas kulud on suured või väikesed, on kalakasvatuse põhireegel järgmine: ära kaota oma kalu. Kalakasvandus on investeerinud kõik neisse elusatesse kaladesse, kes kalakasvanduses ringi ujuvad: sööt, hapnik, tööjõud, elektrienergia, intressimäär jne. Seega on kalakasvanduse juhtimisel oluline vältida kalade suremist.

Varasemalt surnud kalad põletati või viidi prügilasse või kasutati toiteväärtuslikke jäätmeid kalajahu tootmiseks või lemmikloomatoidu koostisosana. Ent õigusnormide ja muude probleemide tõttu on vaja vaadata teistesse suundadesse, nagu anaeroobne lagundamine ehk biogaasi tootmine. Sõltuvalt kalakasvanduse asukohast korjatakse surnud kalad lihtsalt kasvanduse tasandil kokku. Teise võimalusena tuleb surnud kalad enne kogumist tükeldada ja töödelda.

6. peatükk. Reovee käitlemine

Kala kasvatamisel vee korduskasutusega süsteemis, kus vesi on pidevas taaskasutuses, ei kao kalade tekitatavad jäätmed iseenesest. Mustus ja kalade eritised peavad siiski kuskile jõudma. Reovee puhastamise eesmärgil tuleb rajada reoveepuhasti.

Joonis 6.1. Kasvanduse kalade eritatud lämmastiku (N) ja fosfori (P) kogused. Pöörake tähelepanu lämmastiku suurele kogusele lahustunud kujul



Allikas: Biomar ja Taani Keskkonnakaitse Amet.

Vee korduskasutusega süsteemis on oluline suunata kalasõnnik basseinidest otse mehaanilisse filtrisse, ilma et see vahepeal laguneks. Mida tervemad ja tahkemad on väljaheited, seda suurem on eemaldatud tahkete ja muude ühendite kogus ning seda vähem heitvett voolab vee korduskasutusega süsteemist välja. Tabel 6.1 näitab eeldatavat lämmastiku, fosfori ja heljumi (orgaanilise aine) koguse eemaldamist 50-mikronilise mehaanilise filtriga.

Tabel 6.1. Lämmastiku (N), fosfori (P) ja heljumi eemaldamine erineva võrgusilma suuruse ja basseini kujuga mehaanilisest filtrist

Parameetrid	Kiirvoolukanal			Isepuhastuv bassein		
	40 µ	60 µ	90 µ	40 µ	60 µ	90 µ
	Efektiivsus %					
Üld-P	50–75	40–70	35–65	65–84	50–80	45–75
Üld-N	20–25	15–25	10–20	25–32	20–27	15–22
Üld-SS	50–80	45–75	35–70	60–91	55–85	50–80

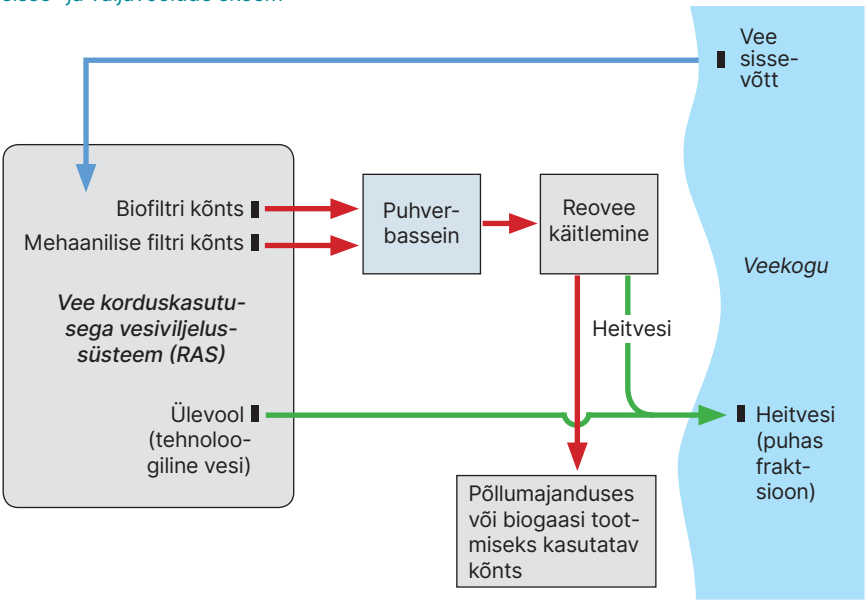
Allikas: kalakasvatuse uurimisjaam, Baden-Württemberg, Saksamaa.

Mida suurem on vee korduskasutus, seda vähem uut vett kasutatakse ja seda vähem on vaja vett käidelda. Mõningatel juhtudel puudub ümbritsevasse keskkonda tagasi lastav vesi täielikult. Ent seesuguse nullheitesüsteemi ehitamine on kulukas ja jäätmekäitlusele tehtavad jooksvad kulutused võivad olla märgatavad. Lisaks nõuab igapäevane jäätmekäitlus palju tähelepanu, et tagada selle efektiivsus. Ametiasutused ja kalakasvataja peavad heitvee suhtes jõudma kokkuleppele, mis lubab kaitsta keskkonda ja samas pidada ka majanduslikult tasuvat kalakasvatust.

Vee korduskasutusega süsteemis toimuvad bioloogilised protsessid vähendavad teatud määral orgaaniliste osiste hulka süsteemisisese bakterite elutegevuse ja bioloogilise lagunemise tõttu. Siiski eritub vee korduskasutusega süsteemist märkimisväärsel hulgal käitlemist vajavat orgaanilist kõntsa.

Enamikus vee korduskasutusega süsteemides tuleb süsteemi sissevõetava ja väljuva vee koguste tasakaalustamiseks välja lasta üleliigset vett. Tegemist on sama veega, milles kalad ujuvad, ning see kujutab endast piiratud reostusallikat seni, kuni tegemist ei ole liiga suurte kogustega ning sel viisil välja lastava vee aastane kogus ei kasva liiga suureks. Mida intensiivsem on vee korduskasutamine, seda vähem üleliigset vett välja lastakse. Ametiasutuste nõudmisel võib ülevooluvee enne väljalaskmist suunata reoveepuhastisse.

Joonis 6.2. Vee korduskasutusega süsteemi sisse- ja väljavoolude skeem

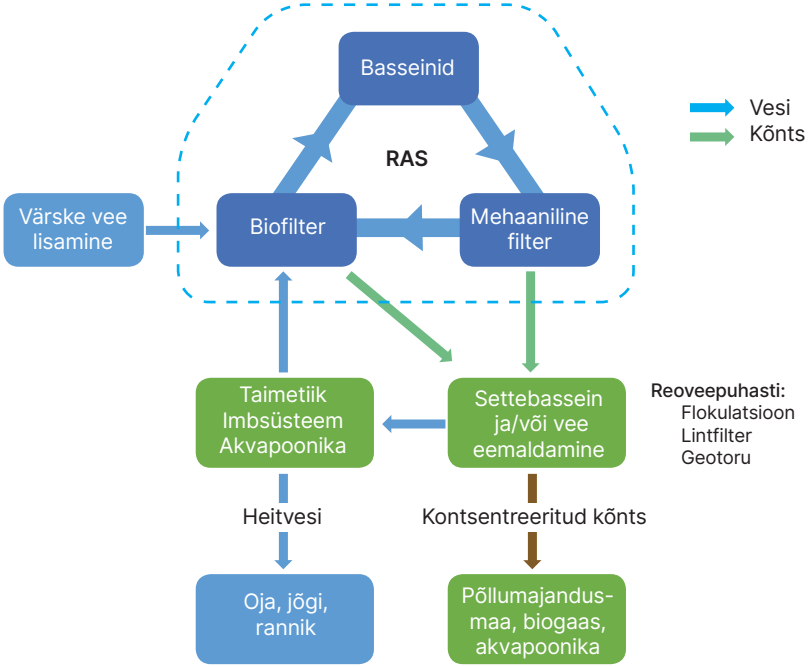


Vee korduskasutusel tekkiv reovesi tuleb tavaliselt mehaanilisest filtrist, kus sõnnik ja muu orgaaniline materjal eemaldatakse filtrist väljuva kõntsana. Biofiltrite puhastamisel ja loputamisel tekib samuti reovett.

Vee korduskasutusega süsteemist väljuva reovee käitlemiseks on erinevaid viise. Üsna sageli paigaldatakse enne reoveepuhastit ehk kõntsa käitlemise süsteemi puhverbassein, kus kõnts heitveest eraldatakse. Kõnts läheb edasi kogumissüsteemi setitamiseks või edasiseks mehaaniliseks vee eemaldamiseks, enne kui seda kasutatakse tavaliselt kas väetise või mullaparandajana põllumajanduses, samuti on võimalik selle kasutamine biogaasi tootmiseks, et saada sooja või elektrit. Vee mehaaniline eraldamine muudab kõntsa lihtsamini käsitsetavaks ning vähendab selle mahtu, millest tulenevalt saab ka sellest vabanemise kulusid või regulatiivseid tasusid vähendada.

Pärast kõntsakäitlust üle jääv puhastatud reovesi sisaldab tavaliselt palju lämmastikku, samas kui fosfori saab kõntsa käitlemisel peaaegu täielikult eemaldada. Selline heitvesi lastakse enamasti ümbritsevasse keskkonda, jõkke, merre jne koos vee korduskasutusega kasvandusest otse väljalastava nn ülevoolava veega. Selles ja ülevoolavas vees sisalduvaid toitaineid on võimalik eemaldada, juhtides neid veetaimetiiki, taimejuurtesüsteemi või imbsüsteemi, kus fosfori ja lämmastiku ühendite sisaldust veelgi vähendatakse.

Joonis 6.3. Kõntsa ja vee liikumine vee korduskasutusega süsteemis (RAS) ja sellest väljaspool



Mida tõhusam on vee korduskasutusega süsteem, seda vähem vett lastakse süsteemist välja ja seda väiksem kogus reovett tuleb käidelda. Allikas: Hydrotech.

Joonis 6.4. Hydrotechi lintfilter kõntsa veetustamiseks teiseses veekäitluses

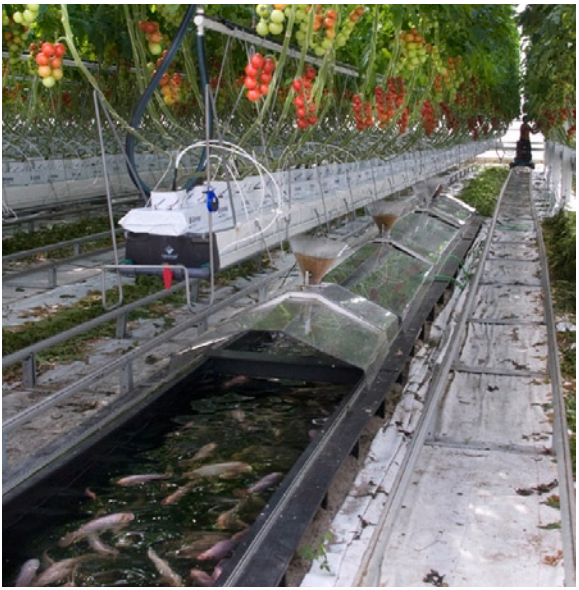
Joonis 6.5. Vee korduskasutusega forellikasvanduse (taustal) heitvesi voolab taimetiiki edasiseks puhastamiseks enne jõkke laskmist

Taimetiik on rajatud endise läbivoolukasvanduse vanade tiikide abil. Allikas: Lisbeth Plesner, Danish Aquaculture.

Alternatiivse võimalusena võib sellist vett ja mingil määral ka kõntsa kasutada väetisena akvapoonilistes süsteemides. Need on sellised süsteemid, kus kaladest üle jäävaid jääkaineid kasutatakse taimede kasvatamiseks, ja need asuvad tavaliselt kasvuhoonetes. Muudes akvapoonilistes süsteemides on kalakasvandus ja kasvuhoone eraldiseisvad üksused, aianduse ja vesiviljeluse kombinatsioon, mille puhul saab reguleerida toitainete voolu kasvuhoonesse.

Joonis 6.6. EcoFutura projekt, kus katsetati tomatite kasvatamist koos niiluse tilaapia ***(Oreochromis niloticus)*** *kasvatamisega*

Allikas: Priva, Madalmaad.



Samuti tuleks siinkohal ära märkida, et võrreldes näiteks sigade ja lehmadega väljutavad kalad jääkaineid teisiti. Lämmastik eritatakse lõpuste kaudu, väiksem osa eritub väljaheitena pärakust. Fosfor väljutatakse ainult väljaheitena. Seetõttu on peamine osa lämmastikust täielikult vees lahustunud ning seda ei saa mehaanilise filtriga eemaldada. Mehaaniline filter püüab kinni väikese osa lämmastikust ja suure osa fosforist. Ülejäänud vees lahustunud lämmastik muudetakse biofiltris põhiliselt nitraadiks. Sellisel kujul on lämmastik taimedele kergesti omastatav ning seda saab väetisena kasutada või seotakse see taimetiigis või taimejuurtesüsteemis.

Nitraatide eemaldamine on reoveekäitluses suur katsumus, mis on samas üha olulisem, sest heitvee õigusraamistik muutub üha rangemaks. See on suurendanud huvi nitraatide tõhusa eemaldamise ja tehnoloogia arendamise vastu kalakasvatuse nullheite kontseptsiooni suunas.

Nitraadid saab eemaldada nii vee korduskasutusega süsteemi ringluses kui ka väljaspool seda reoveekäitlusprotsessis. Meetodeid saab kombineerida, et saavutada üldiselt tõhusam protsess. Mõlemad eemaldamisprotsessid põhinevad anaeroobsel denitrifikatsioonitehnoloogial, mis kasutab süsinikuallikat, näiteks metanooli. Ent denitrifikatsioon vee korduskasutusega süsteemis keskendub peamiselt värske vee kasutamise vähendamisele, samal ajal kui denitrifikatsioon

Joonis 6.7. Forelli välistingimustes olevast vee korduskasutusega vesiviljelussüsteemist pärit heitvees sisalduvate nitraatide eemaldamiseks kasutatav puiduhakke-bioreaktori tehnoloogia

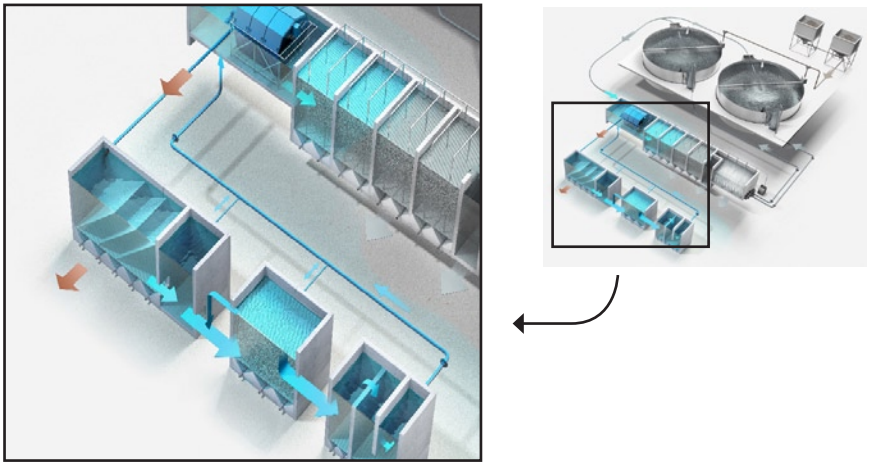
Joonisel olev filter mahutab 6000 m³ puiduhaket heitvee puhastamiseks 100 l/s. Puiduhake toimib bakterite denitrifitseerimise süsinikuallikana, muundades nitraadi anaeroobses keskkonnas vabaks lämmastikuks. Allikas: Mathis von Ahnen, DTU Aqua.

reoveepuhastis keskendub nitraatide eemaldamisele enne heitvee väljalaskmist. Selle kombinatsiooni tulemus on, et vee korduskasutusega süsteemist väljalastava vee kogus on väiksem ning seda on reoveepuhastis hõlpsam käidelda. Lisaks suurendab vee korduskasutusega süsteemis toimuv denitrifikatsioon üldist nitraatide eemaldamise kiirust.

Denitrifikatsiooni vee korduskasutusega süsteemis nimetatakse sageli nullveekasutuseks, ehkki värsket vett siiski kasutatakse. See protsess vähendab siiski vajadust värske vee järele kümme korda võrreldes tavalise intensiivse vee korduskasutuse tehnoloogiaga. Praktikas tähendab see vähenemist umbes 300 liitrilt söödakilogrammi kohta umbes 30–40 liitrini.

Traditsioonilises vee korduskasutusega süsteemis kasutatakse värsket vett tehnoloogilise vee nitraadisisalduse lahjendamiseks tasemeni, mis võimaldab kaladel areneda ja kasvada. Nitraadisisalduse vähendamine ilma lahjendamata eeldab denitrifikatsiooniringlust, kus nitraat muudetakse vabaks lämmastikgaasiks (N_2) ja vabastatakse õhku. Kahjuks suurendab vähenenud veetarbimine selliste ühendite nagu fosfor ja lahustunud metallid süsteemi kogunemise ohtu. Seetõttu peaks fosfori eemaldamise etapp, mille puhul kasutatakse ioonkomponentide eemaldamiseks keemilist sadestamist, olema osa ringlusest (joonis 6.8).

Joonis 6.8. Vee korduskasutusega süsteemi denitrifikatsiooniringlus, mis juhib mehaanilisest filtrist pärit kõntsavee läbi settesüsteemi enne denitrifikatsioonikambrisse jõudmist



Protsessile peaks järgnema sadestusetapp enne taaskasutamist vee korduskasutusega süsteemis, et vältida fosfori ja lahustunud metallide kuhjumist. See tehnoloogia vähendab märkimisväärselt vee tarbimist.

Intensiivse kalakasvatuse (kas korduskasutusel põhineva või traditsioonilise) kombineerimine ekstensiivse vesiviljelusega, näiteks karpkalakasvatusega, hõlbustab bioloogiliste jäätmete käitlemist. Intensiivsest süsteemist pärit üleliigne vesi juhitakse suurtesse karpkalatiikidesse, kus vees sisalduvad toitained kasutatakse ära väetisena. Intensiivkasvatuses saab omakorda taaskasutada suurtest tiikidest võetud vett. Tänu toitainetele kasvavad suurtes tiikides vetikad ja veetaimed, millest toituvad taimtoidulised karpkalad, mis lõpuks välja püütakse ja ära tarbitakse. Intensiivses süsteemis saavutatakse tõhusad kasvutingimused ning sellest tulenev keskkonnamõju neutraliseeritakse paralleelselt kasutusel oleva ekstensiivse kalakasvatusega.

Uuendusmeelse ettevõtte jaoks kätkeb sedasorti vee korduskasutusega vesiviljelus endas ohtralt võimalusi. Näiteks võib erinevate kasvatussüsteemide kombineerimist edasi arendada puhkeasutuseks, kus karpkala kui spordikala või kasvandusest forelliõngitsemine võib olla osa suuremast turismikompleksist koos hotelli, kalarestorani ja muuga.

Tabel 6.2. Lämmastikusaaste vee korduskasutuse erineva intensiivsuse juures

Forelli tootmine, 500 tonni				
Kasvanduse ja käitlemise tüübid	Värske vee tarve toodetud kala kg kohta aastas	Värske vee tarve ühe kuupmeetri kohta tunnis	Värske vee tarve päevas kogu süsteemis sisalduva vee kohta	Lämmastiku väljutamine, kg aastas
Läbivool koos settetiigiga	30 m³	1700 m³/h	1000%	20 tonni N-i
Vee korduskasutus koos kõntsakäitluse ja taimetiigiga	3 m³	170 m³/h	100%	10 tonni N-i
Intensiivne vee korduskasutus koos kõntsakäitluse ja reoveekäitluse denitrifikatsiooniga	0,3 m³	17 m³/h	10%	5 tonni N-i
Vee korduskasutusega süsteemi nullheide koos lämmastiku ja fosfori eemaldamisega ning reoveekäitluse denitrifikatsiooniga	0,03 m³	1,7 m³/h	1%	0 tonni N-i

Arvutused põhinevad teoreetilise 500-tonnise aastatoodanguga süsteemi näitel, mille kogu veemaht on 4000 m³, millest 3000 m³ on kasvubasseinides. Väljuva lämmastiku kogust ei vähenda mitte vee korduskasutus, vaid veekäitlustehnoloogia kasutamine. Mida väiksem on vee tarbimine vee korduskasutusega süsteemis, seda vähem vett tuleb reoveepuhastis töödelda.

Joonis 6.9. Kombineeritud intensiivse ja ekstensiivse kalakasvanduse süsteemid Ungaris

Võimalused näivad olevat lõputud. Allikas: Laszlo Varadi, kalanduse, vesiviljeluse ja niisutuse uurimisinstituut (HAKI), Szarvas, Ungari.

7. peatükk. Haigused

On hulk vee korduskasutuse süsteemiga kalakasvandusi, kus ei esine kunagi probleeme haiguspuhangutega, sest seal on võimalik hoida vee korduskasutusega süsteem soovimatutest haigustekitajatest täiesti vaba. Kõige tähtsam on selle juures jälgida ja olla kindel, et kasvandusse toodav mari ja kalad on haigusvabad ning soovitatavalt pärinevad sertifitseeritud karjast. Hoolitsege selle eest, et kasutatav vesi on haigustekitajatest vaba või steriliseeritakse enne süsteemi laskmist. Kõige parem on võtta vett tava- või puurkaevust või muust sarnasest allikast, mitte looduslikust veekogust, nagu jõgi, järv või meri. Samuti peab olema kindel, et ükski kasvandusse siseneja, ei külaline ega töötaja, ei tooks endaga juhuslikult kaasa haigustekitajaid. Eriti tuleks hoolikalt desinfitseerida / reostusest puhastada mujal kaladega töötavaid inimesi (kui nad sisenevad rajatisse vahetult pärast seda), et vältida haiguste võimalikku levikut rajatisse.

Alati kui võimalik, tuleks teostada kogu kalakasvanduse põhjalik desinfitseerimine. See tähendab nii kõigi uute, alles kasutusele võetavate hoonete kui ka kõigi olemasolevate süsteemide, mis on parajasti kaladest tühjendatud ja valmis uueks tootmistsükliks, desinfitseerimist. Ei tohi unustada, et kui vee korduskasutusega süsteemi ühes basseinis on haigus, siis levib see täie kindlusega ka teistesse basseinidesse, isegi hoolimata ultraviolettkiirguse ja osooni kasutamisest rajatises, mistõttu pole liiast ükski ennetusmeede, mis hoiab kasvanduse haigusvabana.

Kui taastootmise eesmärgil inkubeeritakse vee korduskasutusega süsteemis loodusest püütud kalade marja, näiteks taasasustamiseks, ei saa sellest kasvata-

Joonis 7.1. Jalanõude desinfitseerimiseks mõeldud desinfitseerimislahusega vann

Allikas: Virkon Aquatic / Syndel.

Tabel 7.1. Haiguste ennetamise juhendi näide

Olulised punktid	Kuidas saavutada?
Puhas lisatava vee allikas	Eelistatud on põhjavee kasutamine. Desinfitseerida UV abil. Mõnedel puhkudel kasutada liivafiltrit ja osooni.
Süsteemi desinfitseerimine	Süsteem täita veega ning tuua naatriumhüdroksiidi (NaOH) abil pH vahemikku 11–12. Umbes 1 kg ühe kuupmeetri vee kohta, olenevalt puhverdusvõimest. Enne väljalaskmist neutraliseerida vesinikkloriidhappe (HCl) abil.
Seadmete ja pindade desinfitseerimine	Kasta seade desinfektsioonivahendisse või pihustada pinnale desinfektsioonivahendit, nt Virkon S – vastavalt juhistele. NB! Sool võib toimet pärssida.
Marja desinfitseerimine	Jätta mari 10 minutiks lahusesse, mis sisaldab 3 dl 1% joodi 50 l vee kohta. Vahetada lahust iga 50 kg marja desinfitseerimise järel.
Personal	Vahetada kalakasvandusse sisenemisel rõivad ja jalatsid. Pesta või desinfitseerida käed.
Külastajad	Vahetada jalanõud või kasta need jalanõude puhastamise vanni (desinfektsioonivahend). Pesta või desinfitseerida käed. Kasvanduses sees seada külastajate jaoks sisse reegel – „Palun mitte puutuda“. Teistest kalakasvandustest pärit inimestele, sh loomaarstile, peaks kehtima erikord.

tud järglaste nakkusohutuses kindel olla. Alati jääb risk, et kasvandusse tuuakse marja sees olevaid haigustekitajaid, mida marja desinfitseerimisega pole võimalik hävitada, nagu nakkuslik pankrease nekroos (IPN, ingl *infectious pankreas necrosis*), bakteriaalne neeruhaigus (BKD, ingl *bacterial kidney disease*) ja võimalik, et ka herpesviirus. Haiguste ennetamise juhendi näide on toodud tabelis 7.1.

Hea viis, kuidas ennetada vee korduskasutusega süsteemi patogeenidega saastumist, on kasvuetappide füüsiline eraldamine üksteisest. Haudemaja ning vastsete ja kaubakalaüksused peaksid seetõttu kõik töötama isoleeritud süsteemidena. Sugukarja olemasolul peaks ka see olema eraldi isoleeritud üksuses. See lihtsustab haiguse elimineerimist.

Mõni kalakasvandus on rajatud põhimõttel „kõik sisse, kõik välja“. See tähendab, et kõik haudekastid, basseinid ja kiirvoolukanalid tühjendatakse täielikult, puhastatakse ja desinfitseeritakse enne iga uue marja või kalade sisselaskmist. Marja ja väiksemate kalade puhul, mille kasvuperiood basseinis on lühem, on see vaieldamatult hea tava ja seda tuleks alati praktikas ellu viia. Hea tava on see ka suuremate kalade puhul, aga sellisel juhul võib selline tava kergesti osutuda ebatõhusaks. Kalade eemaldamine kasvubasseinist enne uute kalade lisamist on suure kalakoguse korral logistiliselt keerukas. On oht, et see muutub majanduslikult ebatasuvaks, kuna süsteemi võimsust ei kasutata efektiivselt ära.

Kalahaiguste ravimine vee korduskasutusega süsteemis erineb traditsioonilises kalakasvanduses kasutatavatest meetmetest. Traditsioonilises kalakasvanduses kasutatakse vett enne selle süsteemist väljumist ainult ühe korra. Vee korduskasutusega süsteemis on tänu biofiltrite kasutamisele ja vee üha uuesti ja uuesti

Joonis 7.2. Suurenenud ujupõiega vikerforelli lahkamine. Sümptomi põhjuseks on tõenäoliselt gaaside üleküllastumine vees

Joonis 7.3. Vikerforelli mari. Enne marja vee korduskasutusega süsteemi toomist on haiguste ennetamiseks soovituslik mari desinfitseerida

Allikas: Torben Nielsen, AquaSearch Ova.

kasutamisele vajalik teistsugune käsitlus. Tuleb teada, et ravimite vette lisamine mõjutab peale kalade kogu süsteemi, sealhulgas biofiltri aktiivsust. Eelkõige seetõttu tuleb ravimite kasutamisel olla väga ettevaatlik. Täpseid juhiseid raviks sobivate kontsentratsioonide kohta on väga raske anda. Ravimi toime võib sõltuda mitmest tegurist, nagu vee karedus, orgaanilise aine sisaldus, veetemperatuur ja veevoolu kiirus. Seetõttu on tähtis toetuda kogemusele. Ravimi kontsentratsiooni võib suurendada ettevaatlikult iga järgneva kasutuskorraga, et vältida kalade hukku ja/või biofiltri hävimist. Tegutseda tuleb põhimõttel „parem karta kui kahetseda". Haiguspuhangu korral peab sobiva ravimi retsepti koos kasutusjuhendi ja soovitustega andma kohalik veterinaar või ihtüopatoloog. Samuti tuleb enne ravimi kasutamist hoolikalt tutvuda ohutusnõuetega, sest paljud kaladele mõeldud ravimid võivad vale kasutamise korral põhjustada nendega töötavatele inimestele tõsiseid tervisekahjustusi.

Ektoparasiitide (kala kehapinnal ja lõpustel elavad välisparasiidid) tõrjeks võib lisada vette kemikaale. Samamoodi toimitakse ka seennakkuste korral. Magedaveelistes süsteemides on enamiku välisparasiitide tõrjes ja bakteriaalse lõpusehaiguse puhul osutunud mõjusaks tavalise soola (NaCl) lisamine. Kui sellest ei ole abi, piisab edasiseks raviks tavaliselt formaliinist (HCHO) või vesinikperoksiidist (H_2O_2). Kalade vannitamine flubendasooli lahuses on andnud ektoparasiitide tõrjes samuti väga häid tulemusi.

Samuti on tõhus ektoparasiitide levikut takistav vahend vee mehaaniline filtreerimine. 70-mikronilise filterkanga abil saab eemaldada süsteemist teatavas arengustaadiumis gürodaktülusi ja 40-mikronilise filtriga enamiku parasiitide mune.

Ohutuim ravimeetod on kalade vannitamine kemikaalilahuses. Praktikas ei ole see meetod siiski teostatav, kuna kalade hulk on selliselt toimimiseks sageli liiga suur. Selle asemel jäetakse kalad basseini ning katkestatakse vee juurdevool, basseini hapnikuga rikastamine ja aereerimine toimub difuusorite abil. Basseinivette lisatakse kemikaalilahust ja kaladel lastakse selles vees teatud aeg ujuda. Seejärel avatakse vee sissevool ning lastakse basseinis oleval kemikaalilahusel vähehaaval lahjeneda sedamööda, kuidas vesi basseinis vahetub. Basseinist väljavoolava ravimilahuse kontsentratsioon lahjeneb ülejäänud süsteemi vees nii, et kahjustava preparaadi sisaldus on biofiltrisse jõudmise ajaks märkimisväärselt väiksem kui basseinis, kus kalu raviti. Sel moel on võimalik saavutada kemikaali suhteliselt suur kontsentratsioon basseinis, kus on vaja parasiidid hävitada, ning ühtlasi on kemikaali võimalik kahjulik mõju biofiltrile kontrolli all. Nii kalad kui ka biofiltrid kohanevad raviga soola, formaliini või vesinikperoksiidiga, kui järjestikuste ravivannide tegemisel igal korral kontsentratsiooni veidi suurendada. Kui basseinitäis kalu on ravitud, võib selle vee taaskasutuse asemel pumbata välja ka eraldi hoidlasse keemiliseks lagundamiseks.

Vannitamine on marja puhul lihtne viis miljonite indiviidide töötlemiseks lühikese aja jooksul, näiteks forellimarja desinfitseerimisel joodiga (tabel 7.1). Nõnda saab

ravida ka seennakkust (Saprolegnia), kastes marja lihtsalt 20 minutiks soolalahusesse (7‰).

Haudemajades, kust kalavastsed viiakse üle kohe, kui nad on valmis ise sööma hakkama, on biofiltri roll väiksema tähtsusega, kuna munadest ja vastsetest eritav ammoniaagi kogus on üsna väike. Ravi on seega lihtne teostada, kuna peaeesmärk on ainult kalade ja marja heaolu. Samuti on haudemajas kasutatava vee maht suhteliselt väike, mis võimaldab seda kiiremini vahetada. Seega saab tervet haudemaja süsteemi ühe korraga ohutult töödelda.

Kogu süsteemi ravimine suuremas vee korduskasutusega kasvanduses on palju tundlikum töö. Peamine reegel on hoida ravimi kontsentratsioon ravi ajal väike ja ravida pikema aja jooksul. See nõuab nii hoolt kui ka kogemust. Iga järgneva preparaadi lisamise korral tuleb kontsentratsiooni aeglaselt tõsta, jättes vahepeale mitu päeva, mil ravi katkestatakse, et jälgida tegevuse mõju suremusele, kalade käitumisele ja vee kvaliteedile. Tavaliselt kohanevad nii kalad kui ka biofilter uue kontsentratsiooniga ja seda on võimalik ilma kahjulike kõrvalmõjudeta tõsta, millega kasvab parasiitide hävimise tõenäosus. Pikema raviperioodi vältel sobib väga hästi kasutada soola, aga ka formaliini, mis 4–6-tunniste intervallidena on olnud edukas. Biofilter kohaneb lisatud formaliiniga ja lagundab selle nagu iga teisegi süsteemist pärit süsinikuühendi.

Nagu varem mainitud, ei ole võimalik anda täpseid kontsentratsioone ja soovitusi kemikaalide kasutamiseks vee korduskasutusega süsteemis. Arvestada tuleb näiteks nii kalaliigi, kalade suuruse, veetemperatuuri, vee kareduse, orgaanilise aine koguse, vee vahetumise kiiruse, kohandumise, soolsuse kui ka muu sellisega. Seetõttu on ka alltoodud juhised ligikaudsed.

Sool (NaCl): suhteliselt ohutu ja võib kasutada magedas vees selliste haiguste raviks nagu ihtüoftirioos (*Ichthyophthirius multifilis*) ja saprolegnioos (*Saprolegnia*), mis on üks tavalisi seenhaigusi. Ihtüoftiiriuse vees ujuvaid hulkurrakke saab hävitada 10‰ soolalahusega ning uuemate andmete kohaselt soovitatakse parasiitide põhjas elutsevate faaside hävitamiseks kasutada 15‰ soolalahust. Kala kehavedelikes sisaldub soola 8‰ ning enamik mageveekalu suudab sellise soolsusega vees elada mitu nädalat. Haudemajas hoiab marja seentega nakatumast 3–5‰ suurune NaCl sisaldus. NB! Soolakontsentratsiooni suurenemine vee korduskasutusega süsteemis võib viia gaasiküllastatuse ebasoodsale tasemele, näiteks võib lämmastiku üleküllastumise tendents süsteemis muutuda ootamatult probleemiks.

Formaliin (HCHO): formaliini väike kontsentratsioon (15 mg/l) pikema perioodi (4–6 tundi) vältel on näidanud häid tulemusi ihtüopodoosi (*Ichthyobodo necator* (Costia)), trihhodinoosi (*Trichodina* sp.), gürodaktüloosi (*Gyrodactylus* sp.), ripsloomade ja ihtüoftirioosi tõrjel. Formaliin laguneb biofiltris suhteliselt kiiresti,

Joonis 7.4. Soola võib kasutada profülaktiliselt teatud haiguste ennetamiseks vee korduskasutusega süsteemis või seda võib kasutada raviks, kui nakkus on tekkinud

Soola saab kasutada ka nitriti ootamatu toksilisuse ennetamiseks, kui biofilter ei ole täielikult välja arenenud (vt 5. peatükk). Paljud vee korduskasutusega süsteemid kasutavad soolsuse reguleerimiseks soola automaatset doseerimist peamisse veevoolu.

temperatuuril 15 °C umbes 8 mg/h/m² (biofiltri pind), kuid samal ajal võib see vähendada lämmastiku konverteerimist.

Vesinikperoksiid (H_2O_2): pole leidnud laialdast kasutamist, kuid katsed annavad paljulubavaid tulemusi selle kasutamisel formaliini asendajana kontsentratsioonil 8–15 mg/l 4–6 tunni jooksul. Biofiltri töö võib olla häiritud vähemalt 24 tundi pärast preparaadi kasutamist, kuid olukord normaliseerub paari päeva jooksul.

Teisi kemikaale, nagu vasksulfaat või kloramiin-T, ei soovitata kasutada. Need on väga tõhusad näiteks bakteriaalse lõpuste haiguse ravil, kuid võivad suure tõenäosusega kahjustada biofiltri tööd. Seetõttu võidakse vee korduskasutuse protsessi ja tootmist hõlpsalt häirida.

Bakteriaalseid nakkusi, nagu furunkuloos, vibrioos või bakteriaalne neeruhaigus (BKD), saab tõhusalt ravida vaid antibiootikumidega. Mõnikord võivad kalad nakatuda ka kala sisemuses elutsevate parasiitidega ning nende tõrjeks kasutatakse samuti antibiootikume.

Antibiootikume segatakse kalasööda hulka ja manustatakse kaladele mitu korda päevas näiteks 7–10 päeva jooksul. Antibiootikumide kontsentratsioon peab olema bakterite hävitamiseks piisav, kusjuures täpselt tuleb järgida ravimi kontsentratsiooni ja ravikuuri pikkust isegi siis, kui kalade suremine ravi ajal lõpeb.

Kui ravikuur katkestatakse enne ettenähtud aega, võib haiguspuhang uuesti vallanduda.

Vee korduskasutusega süsteemis avaldab antibiootikumravi mõju ka biofiltri bakteritele. Kuna antibiootikumide kontsentratsioon vees on võrdlemisi väike võrreldes kontsentratsiooniga ravimit sisaldavat sööta saavate kalade organites, siis on selle mõju biofiltri bakteritele suhteliselt väike. Igal juhul tuleb hoolikalt jälgida muutusi vee parameetrites, sest need võivad anda tunnistust ravimi mõjust biofiltrile. Söödaratsiooni muutmise järel võib osutuda vajalikuks lisada uut vett või muuta veevoolu hulka süsteemis.

Kalahaiguste raviks võib kasutada mitmeid antibiootikume, nagu sulfadiasiini, trimetoprimi või oksoliinhapet, vastavalt kohaliku veterinaari ettekirjutusele.

Nakkusliku pankrease nekroosi (IPN) ja viirusliku hemorraagilise septitseemia (VHS) vastane ravi puudub. Viirustel on aga optimaalne temperatuur ning vähem patogeensete viiruste, nagu nakkuslik pankrease nekroos (IPN), mõju on võimalik leevendada veetemperatuuri tõstmise teel. Väga patogeensete viiruste, nagu viiruslik hemorraagiline septitseemia (VHS), puhul saab kalade hävimist vähendada söödanormi vähendamise teel. Ent viirusega nakatunud kalakasvanduse tööshoidmine ei vii edasi ning ainus võimalus viirusest vabaneda on tühjendada kasvandus täielikult, desinfitseerida kogu süsteem ja alustada otsast peale.

Joonis 7.5. Noorkalade vaktsineerimist kasutatakse tavaliselt siis, kui kala väljub vee korduskasutusega süsteemist, et vältida haigusi kalade edasikasvatamisel meres asuvates võrksumpades või läbivoolusüsteemides

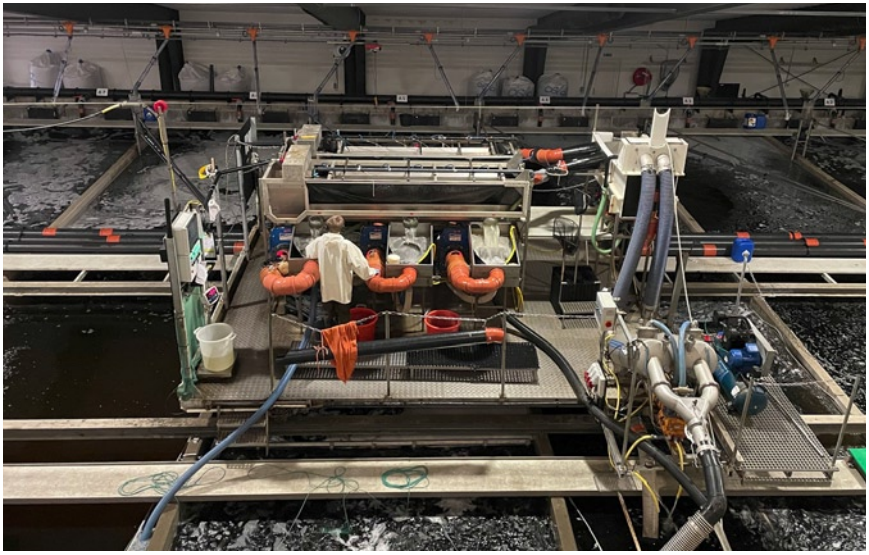
Käsitsi vaktsineerimist saab teha ka automaatselt vaktsineerimisseadme abil.

8. peatükk. Projektide näited

Harilik koha kui teerajaja

Ettevõte AquaPri kasvatab harilikku koha tipptasemel moodsas vee korduskasutusega süsteemis, kus toodetakse aastas 400–500 tonni kvaliteetset toodet, mis on suunatud Euroopa turule. See mageveekala on tuntud oma puhta valge liha ja maheda maitse poolest. Koha on traditsiooniliselt kuulunud paljude kalarestoranide menüüsse ning on nüüd jõudnud suširestoranidesse oma väga erilise ja hõrgu maitse tõttu. Ent hariliku koha kasvatamine õnnestub vaid üksikutel ettevõtetel, kellel on oskusi toime tulla tundlike vastsestaadiumite ja noorkalade võõrutamisega edasikasvatusprotsessi käivitamiseks. Mitte just paljud pole julgenud investeerida sellesse äritegevusse, kuid Taani pereettevõte AquaPri, kes on põlvkondade jooksul omandanud kalakasvatusalased teadmised, on tõestanud, et koha kasvatamine vee korduskasutusega süsteemis on võimalik.

Joonis 8.1. 2016. aastal AquaPri ehitatud hariliku koha vee korduskasutusega süsteem, mille aastatoodang on 600 tonnI



Allikas: AquaPri A/S.

Hiidseriool

Hiidseriool (*Seriola lalandi*) on esmaklassiline soolase vee kalaliik, mis võeti vee korduskasutusega süsteemis kasutusele umbes 20 aastat tagasi.

Tollal oli hiidseriool juba tuntud vesiviljelusliigina, mida kasvatati meres asuvates võrksumpades. Peagi selgus, et see sobib hästi ka vee korduskasutusega süsteemi, näidates head tootlikkust. Kaubanduslik tootmine arenes siiski aeglaselt.

Ent olukord muutus, kui The Kingfish Company alustas tootmist oma Kingfish Zeelandi rajatises Madalmaades. Praegu on ettevõte juhtpositsioonil suuremahulise kestliku vee korduskasutusega süsteemis kalade kasvatamise vallas ning aastane tootmisvõimsus on 1500 tonni kvaliteetset hiidseriooli. 2021. aasta väljapüügi- ja müügimaht ulatus üle 900 tonni. Laienemine on käimas ning Madalmaade rajatise võimsus saavutab 3500 tonni 2022. aasta lõpuks. Ameerika Ühendriikides edeneb plaanipäraselt ettevõtte 8500-tonnise võimsusega rajatise planeerimine.

Joonis 8.2. Kingfish Zeelandi tegevus on kestliku ja keskkonnahoidlikuna sertifitseeritud ja heaks kiidetud ning selle toiduohutuse ja kvaliteedi on taganud Aquaculture Stewardship Council (ASC), Best Aquaculture Practices (BAP) ja British Retail Consortium (BRC)

Kingfish Zeeland võitis 2019. aastal mereandide kvaliteedi auhinna (Seafood Excellence Award) ning seda ettevõtet on soovitanud keskkonnahoidliku valikuna Good Fish Foundation. Allikas: Kingfish Zeeland.

Lõhe laskujate tootmine Norras

Lõhekasvatussektor parandab pidevalt oma tõhusust, arendades tootmiskiirust ja minimeerides riske. Näiteks lõhe laskujaid kasvatatakse suuremaks kui tavaliselt enne meres olevatesse võrksumpadesse laskmist. Sellega kaasneb lühem kasvuaeg meres ja väiksem nakkusoht välistingimustes.

Norrast Hjelmelandist pärit ettevõte Tytlandsvik AQUA on teinud märkimisväärseid investeeringuid eriti suurte laskujate tootmiseks mõeldud vee korduskasutusega süsteemidesse. Laskujate kasvatuses on kalad tavaliselt umbes 100-grammised enne meres olevatesse võrksumpadesse laskmist, kuid nüüd on suuremad, 200–400-grammised laskujad (noorlõhe-järgses arenguetapis) muutunud üha populaarsemaks. Tytlandsvik AQUA on läinud sammu võrra kaugemale ja kasvatab suuri, 800–1000-grammiseid laskujaid, et saada veelgi rohkem kasu suurest kasvukiirusest vee korduskasutusega keskkonnas.

Joonis 8.3. Ülevaade esimesest kahest vee korduskasutusega süsteemist, mille Tytlandsvik AQUA ehitas Norrasse suurte, 800–1000-grammiste laskujate tootmiseks, enne kui kalad lastakse meres olevatesse võrksumpadesse viimaseks, 5–6 kg suuruseks kasvatamise etapiks

Allikas: Tytlandsvik AQUA.

Lisaks täiustab ettevõte oma üldist kalalogistikat, kasutades paremini ära sumbakohtade tootmisvõimsust. Suremus on olnud eriti väike (umbes 0,5 protsenti) ajavahemikus, mis kulub kalade kasvatamiseks 100 grammist 800–1000 grammini. Praegu käitab ettevõte kolme sellist vee korduskasutusega süsteemi, mille võimsus on u 6500 kg sööta päevas, arvestades päevast biomassi suurenemist 8000 kg võrra söödaratsiooni 0,8 juures.

Iga vee korduskasutusega süsteemi tootmismaht on 8000 m³, mis on jagatud nelja 2000 m³ basseini vahel. Peagi lisatakse neljas moodul, mis annab koguvõimsuse 26 000 tonni sööta ja kohapealse tootmismahu 32 000 m³. Suurte laskujate aastatoodang oleks siis umbes 8000 tonni.

Energiatarbimine on praegu umbes 4–5 kWh kg toodetud kala kohta ning see langeb eeldatavasti 3 kWh-ni, kui saavutatakse kasvanduse täisvõimsus.

Krevettide kasvatamine vee korduskasutusega süsteemis

Krevette on aastakümneid kasvatatud välistingimustes suurtes veesüsteemides või tiikides, sageli väga edukalt tänu odavale tehnoloogiale ja heale saagikusele. Kahjuks on krevetikasvatus tuntud ebastabiilse tööstusharuna, millega kaasneb palju ohte, näiteks üleujutused, reostus, haiguspuhangud jne. Kritiseeritud on tootmismeetodeid ning tarbijate üha suurem teadlikkus on sundinud krevetitootjaid järele mõtlema, kuidas asju tehakse. Krevettide kasvatamine sisetingimus-

Joonis 8.4. SwissShrimp AG on edukalt paigaldanud selle sisetingimustes oleva krevetikasvanduse ja käitanud seda alates 2018. aastast

Krevetid kasvatatakse suurusesse 10–50 g ning müüakse hinnaga 80–150 eurot/kg. Allikas: SwissShrimp AG.

tes olevates rajatistes vee korduskasutuse tehnoloogia abil on muutunud krevetikasvatuse uueks põnevaks osaks. Vee korduskasutusega süsteemis toodetud krevetid on haigusvabad ja kasvavad eriti hästi puhastes optimaalsetes tingimustes, pakkudes suurepärast toodet kallima hinnaga toodete turule. Nõudlus selliste kestlikult toodetud krevettide järele kasvab ja hinnad on eeldatavasti jätkuvalt kõrged.

Näidisforellikasvandused Taanis

Taani on kahtlemata keskkonnahoidliku forellikasvatuse teerajaja. Ranged keskkonnakaitsenõuded on sundinud forellikasvatajaid saastekoormuse vähendamiseks kasutusele võtma uusi tehnoloogiaid. Vee korduskasutusega süsteem võeti kasutusele nn näidiskalakasvanduste väljatöötamise käigus, eesmärgiga suurendada tootmist, vähendades samas mõju keskkonnale. Selle asemel et kasutada suurtes kogustes jõevett, pumbatakse kasvandusse piiratud koguses ülemiste kihtide põhjavett. Mõju on märgatav – kogu aasta ühtlane veetemperatuur tänu moodsale ja hõlpsamalt hallatavale tegevusele tagab kalade kiirema kasvu ja suurema tõhususe väiksemate tootmiskulude, sh investeeringute väärtuse vähenemisega. Positiivne efekt keskkonna seisukohalt on välja toodud kuuendas peatükis.

Joonis 8.5. Taani näidiskalakasvandus

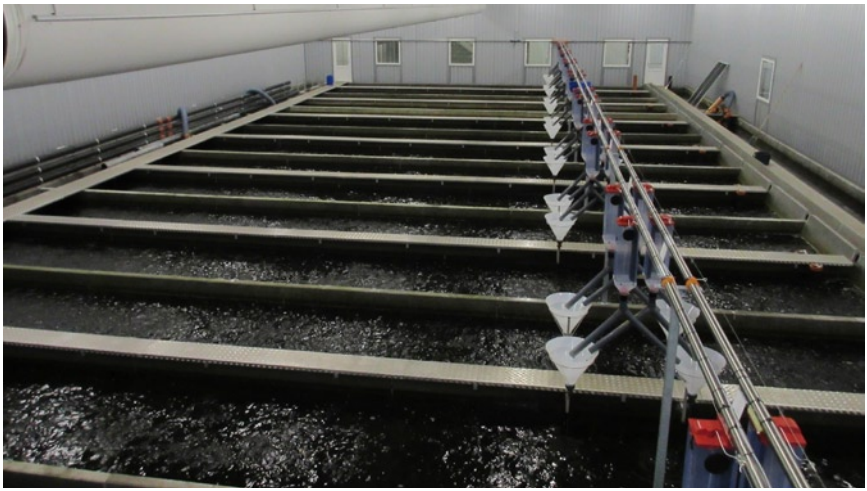
Allikas: Kaare Michelsen, Danish Aquaculture.

Sisetingimustes kasutatav kulutõhus vee korduskasutuse süsteem

Taani näidiskasvandused on tavaliselt välistingimustes kasvandused ning seetõttu ohustavad neid teatud määral ilmastikutingimused, haigused ja kiskjad. Sisetingimustes kasutatava vee korduskasutuse süsteemi ehitamine suurendab tavaliselt kulusid ja sageli keskendutakse seal väärtuslike liikide kasvatamisele, mis ei ole väiksema väärtusega kalu tootvate kasvatajate huvides. See on avanud võimaluse lihtsamatele tehnilistele lahendustele, mida on odavam ehitada ja millel on väiksemad tegevuskulud.

Sellise vee korduskasutusega näidissüsteemi ehitas Taani ettevõte FREA Solutions, et toota vikerforelli, osaliselt kalavastseid ja -maime edasikasvatamiseks ja osaliselt 300–400 g portsjonsuuruses forelli töötlemiseks. Tehnoloogia on viidud miinimumini ning koosneb madalsurve-propellerpumpadest peamise veevoolu jaoks, madalrõhuventilaatoritest degaseerimiseks ja segmentrootorpuhuritest liikuvate elementidega biofiltrite jaoks. Puhas hapnik lahustatakse raskusjõul põhineva passiivse süsteemi abil (vt 2. peatükis kirjeldatud hapnikuplatvorm) ning setitamisel ja liikumatute elementidega filtreerimisel põhineva osakeste eemaldamise teel. Lisaks suhteliselt väikestele investeeringutele on dokumenteeritud energiatarbimine alla 2 kWh toodetud kala kilogrammi kohta.

Joonis 8.6. FREA Solutionsi kalakasvandus toodab 25 miljonit vikerforelli aastas, mida müüakse suuruses 4–400 g edasikasvatamiseks või töötlemiseks



Süsteemis kasutatav värske vesi ehk lisavesi pumbatakse allolevast liivase pinnase drenaažist ning heitveel lastakse imbuda samasse kohta. Kasvandusel puudub otseühendus jõgedega. Allikas: FREA Solutions.

Vee korduskasutusega süsteem ja taasasustamine

Puhtad jõed, järved ja looduslikud kalavarud on muutunud paljudes riikides tähtsaks keskkonnahoiu eesmärgiks. Looduslike elupaikade taastamine ja ohustatud kalaliikide taasasustamine on üks paljudest algatustest.

Meriforell on populaarne spordikala, kes elab paljudes Taani jõgedes, kus peaaegu igal jõel on oma populatsioon. Teadlased on meriforelli geneetiliselt kirjeldanud, mistõttu on võimalik populatsioonide liine eristada. Kui meriforell saab suguküpseks, rändab ta merest kodujõkke kudema. Taanis Funeni piirkonnas on jõed taastatud ja allesjäänud looduslikud kalaliinid on päästetud vee korduskasutusega süsteemidel põhineva taasasustamise programmiga. Suguküpsed kalad püütakse elektri abil, mari lüpstakse ja inkubeeritakse vastsed, keda kasvatatakse vee korduskasutusega süsteemis. Umbes aasta hiljem asustatakse kalad samasse kohta, kust püüti nende vanemad.

Nõnda päästetakse erinevaid kalaliine ning piisava aja möödudes on meriforell loodetavasti võimeline oma elukeskkonnas iseseisvalt püsima jääma.

Ja mis kõige olulisem – programmi tulemusena on märgatavalt paranenud meriforelli püügivõimalused Taani rannikul. Tänu sellele on kalaturism muutunud heaks teenimisvõimaluseks kohalikele ettevõtetele – hotellidele, kämpingutele ja restoranidele. Kokkuvõttes on võitnud nii loodus kui ka kohalikud kaubandushuvid.

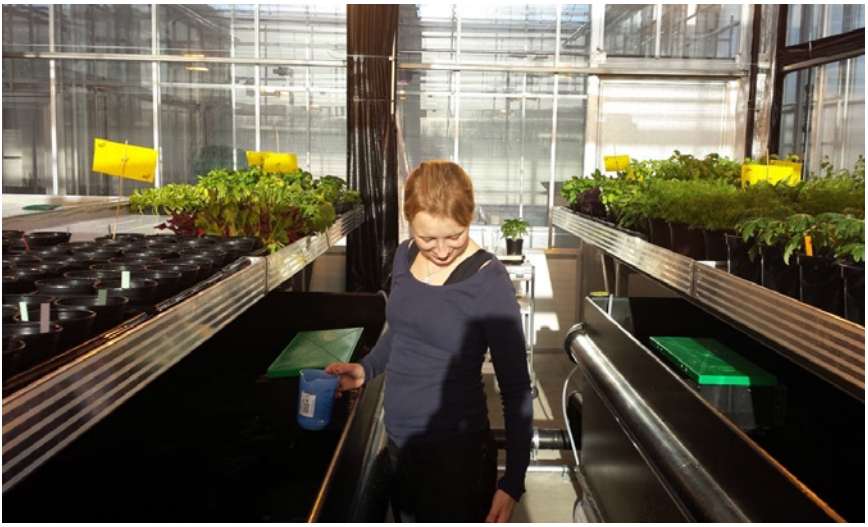
Joonis 8.7. Suguküps meriforell, kes on kudemiseks jões ülesvoolu rännanud, püütakse elektriga ja transporditakse vee korduskasutusega rajatisse, kus mari viljastatakse. Aasta hiljem asustatakse noorkalad samasse kohta, kust püüti nende vanemad

Allikas: Linda Bollerup, FGU Fyns Laksefisk, Taani.

Akvapoonika

Kalu ja taimi kasvatati koos juba tuhat aastat tagasi Vana-Hiinas. Taimed kasutavad kasvuks kalade eritatud toitained ning nii kalu kui ka taimi saab kasutada söögiks. Moodsas vesiviljeluses nimetakse vee korduskasutusega süsteemis kalade ning kasvuhoonetaimede kombineeritud kasvatamist hüdropoonika põhimõttel (st toitaineterikka vee kasutamist ilma mullata) akvapoonikaks. Tehnoloogiat on edukalt turustatud näiteks Ameerika Ühendriikides, kuid see ei ole majanduslikult tasuv külmemates piirkondades, nagu Põhja-Euroopa.

Joonis 8.8. Institute of Global Food and Farmingu (IGFF) akvapoonika uuringud Kopenhaageni lähedal Taanis



Süsteem on rajatud varasemasse kasvuhoonesse ning hõlmab kalakasvatusbasseine ja taimede kasvulavasid ning kahe erineva veeringega vee korduskasutuse süsteemi. Üks ringe läbib vee filtreerimise süsteemi ja selle võib suunata taimede kasvulavale või tagasi kalabasseinidesse. Teine ringe varustab veega otse taimede kasvulava, kus kasvavad salat ja maitsetaimed, nagu salvei, basiilik ja tüümian. Allikas: Paul Rye Kledal, Institute of Global Food and Farming.

Maismaa lõhekasvatus

Kalakasvandused kasvavad pidevalt, nagu ka maailma kalakasvatuse toodang. Keskmine meresumbakasvandus Norra meres toodab praegu 5000 tonni lõhet aastas. Sellise mahuga maismaakasvandused jõuavad merekasvandustele järele ning uued sarnase mahuga vee korduskasutusega projektid on juba valmimas.

Maismaakasvanduste kombineerimine sumbakasvandustega on väga tõhus tootmismeetod ja tänapäeval tõenäoliselt kõige konkurentsivõimelisem korraldus lõheliikide jaoks. Väikeseid kalu toodetakse maismaal tõhusates ja kontrollitud tingimustega süsteemides ning lastakse seejärel meres asuvatesse võrksumpadesse kuni täissuuruse saavutamiseni. Osades piirkondades ei ole sumbakasvandused populaarsed ning vee korduskasutusega maismaakasvandusi nähakse

Joonis 8.9. Ettevõte Danish Salmon oli üks esimesi teerajajaid maismaal asuva kaubandusliku lõhekasvatuse vallas

2000-tonnise aastatoodanguga lõhekasvandus Taanis Hirtshalsis ehitati 2013. aastal. Süsteem põhineb vee korduskasutusel ja selle peale ehitatakse hoone, mis võimaldab temperatuuri reguleerida ning tagab suure bioturvalisuse. Lõhesid kasvatatakse kaks aastat suurtes kuni 1000 m³ suurustes basseinides marjast kuni 4–5 kg suuruseni. Esiplaanil olevad valged kotid on täidetud biokilekandjaga, mis on valmis paigaldamiseks biofiltri kambritesse. Allikas: Axel Søgaard/AKVA kontsern.

ühe tehistingimustes peetava kala kasvatamise võimalusena tulevikus. Selleks kulub vähe maad ja vähe vett. Isegi kui tootmiskulud on endiselt suuremad kui sumpade puhul, on toiduohutus nende süsteemide puhul kõrgel tasemel ja kontroll kõigi parameetrite (hapniku, ammooniumi, nitriti, süsinikdioksiidi kontsentratsioon, heljum, veetemperatuur, pH, soolsus jne) üle täielik, samuti valmib toodang püsiva kiirusega ja planeeritult. Lisaks saab need kasvandused ehitada suurte linnade lähedusse kohaliku tootmise ja tarnimise eesmärgil, säästes transpordikulusid ja vähendades CO_2 heitkoguseid.

Vee korduskasutuse tulevik

Mitme kalaliigi noorkalade tootmiseks mõeldud vee korduskasutusega süsteemide arv kasvab jätkuvalt, sest vajadus aasta ringi pakutavate tervete ja tugevate järglaste järele on kalakasvatuse tõhususe parandamise alus. Tööndusp üügist saadav varu on saavutanud oma piiri ja nüüd saadakse rohkem kui pool inimeste tarbitavatest kaladest ja mereandidest vesiviljelusest. Kala- ja mereanniturul esinevat tarnepuudujääki saab täita üksnes vesiviljeluses toodetud toodetega.

Lõhesektoris näeme märkimisväärset kasvu suurte laskujate rajatistes, mis viivad sumbakasvatuse perioodi esimese osa maismaale, et kasvatada kalu kiiremini turvalisemas keskkonnas. Lisaks tekivad üle kogu maailma suured maismaa lõhekasvandused lõhe kasvatamiseks müügisuuruseni.

Joonis 8.10. Kogu maailmas kasvab suundumus ehitada suure vee korduskasutusega süsteemid suuremate linnade lähedusse, mis tagab tarbijatele värske kala ja parandab asjaomaste riikide omavarustatust

Allikas: Nordic Aqua Ningbo.

Kalade tootmine vee korduskasutusega süsteemis otse tarbijate lähedal suurtes linnades tagab kvaliteetse värske kala, säästab CO_2 heitkoguseid, kuna kaotab pikad veomarsruudid ja parandab asjaomaste riikide omavarustatust. Selliste projektide aastamahud ulatuvad 5000 tonnini ja rohkem ning mitte kõik neist pole lõhe. Järgmisena tuleb hiidseriool ja eeldatavasti ühinevad selle suundumusega muud liigid, sh krevetid.

Tulevikuprojektid saavad kasu ka suuremast automatiseeritusest, näiteks biofiltrite pesemine ning pumpade ja muude seadmete pidev kontrollimine energia säästmiseks. Suureneb digitaliseerimise, arvutinägemise (piltide ja videote põhjal sisulise teabe eraldamine) ja masinõppe kasutamine ning tehisintellekt on osa tulemuslikkuse parandamisest, näiteks ujumiskäitumise seire varajase hoiatamise eesmärgil või kalade söögiisu prognoosimine.

Kasutatud kirjandus

Aquaetreat, 2007. Manual on Effluent Treatment in Aquaculture: Science and Practise (aruanne). Outcome of the EU supported Aquatreat.org project

Avault J. W. Jr., 1996. Fundamentals of Aquaculture, A Step-by-Step Guide to Commercial Aquaculture, Baton Rouge, USA, AVA Publishing Company Inc., 1996, ISBN 0-9649549-0-7

Barnabé, G., toim., 1990. Aquaculture, kd 1 ja 2, Chichester, Inglismaa, Ellis Horwood Limited, ISBN 0-13-044108-2

Brock, T., D., Smith, D., W. ja Madigan M., T., 1984. Biology of Microorganisms, USA, Prentice-Hall International, ISBN 0-13-078338-2

Brown, L., 1993. Aquaculture for Veterinarians: Fish Husbandry and Medicine, Oxford, Ühendkuningriik, Pergamon Press Ltd., ISBN 008-040835

FAO. 2020. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action. Rooma. FAO. https://doi.org/10.4060/ca9229en

Jokumsen, A. ja Svendsen, L. M., 2010. Farming of Freshwater Rainbow Trout in Denmark, DTU Aqua, National Institute of Aquatic Resources. DTU aruande nr 219-2010. ISBN 978-87-7481-114-5

Lekang, O., 2020. Aquaculture Engineering, Norwegian University of Life Sciences, Drobakveien, Norra. 3. väljaanne, John Wiley & Sons Ltd, 2020, ISBN 9781119489016

Remmerswaal, R. A. M., 1997. Recirculating Aquaculture Systems, INFOFISH Technical Handbook 8, ISBN 983-9816-10-1

Timmons, M. B. ja Ebeling, J. M., 2002. Recirculation Aquaculture, NRAC Publication No. 01-007, USA, Cayuga Aqua Ventures, ISBN 978-0-9712646-2-5

Wheaton, F. W., 1993. Aquacultural Engineering, Malabar, Florida, USA, Krieger Publishing Company, 1993, ISBN 0-89464-786-5

Lisa

Kontrollnimekiri vee korduskasutusega süsteemi rajamisel

1.0	**Projektiteave**	
1.01	Projekti sihi, otstarbe ja eesmärgi kirjeldus	
1.02	Kasvatatavad liigid	
1.03	Aastane tootmismaht tonnides ja arvudes	
1.04	Asustatava ja turustatava kala suurus – tootmisplaan	
1.05	Kalapartiide arv aastas	
1.06	Söödavääringuse kalkulatsioon	
1.07	Olemasolevad joonised või muu teave	
1.08	Kas on olemas vajalikud load heitvee väljutamiseks? Piirangud, kokkulepitud tasemed jms	
1.09	Kas on olemas tegevjuhataja või kalandusspetsialist?	
1.10	Muu oluline teave, eriprobleemid jne	
2.0	**Rajatise andmed**	
2.01	Mere- või magevesi? Merevee puhul soolsus	
2.02	Olemasolev veeallikas. Merevesi, jõevesi, kaevuvesi, põhjavesi, puurkaevuvesi	
2.03	Kui palju vett on võimalik kasutada? Liitrit sekundis	
2.04	Veetemperatuur. Suvel/talvel. Päevased ja öised kõikumised	
2.05	Veeanalüüs. Tulemused. pH	
2.06	Ilmastikutingimused, maksimaalne/minimaalne õhutemperatuur. Külmad talved, äärmuslikult kuumad suved jne	
2.07	Rajatisealuse maapinna tingimused	
2.08	Maapinna temperatuur, maksimaalne/minimaalne	
2.09	Kasutada olev maa-ala. Hoonestusala kuju	
2.10	Reovee käitlemiseks vaba ala Settetiigid, imbumisala jne	
2.11	Krundi kõrgus merepinnast	
2.12	Elektriühendus, täpsustada	

3.0	Kasvanduse osad	
3.01	Haudemaja	
3.02	Eelvastsed / esimene söömine	
3.03	Eelkasvatus/vastsed	
3.04	Kaubakala kasvatamine	
3.05	Sugukari	
3.06	Elussööda tootmine	
3.07	Tühjendamisüksus	
3.08	Karantiiniüksus – sissetulevad Aklimatiseerumisüksus – väljaminevad	
3.09	Sissevõetava vee töötlemine	
3.10	Reovee käitlemine	
3.11	Sorteerimine / väljapüük / eluskala tarne	
3.12	Töötlemine/pakendamine Külmhoone/jäämasin	
3.13	Laboratoorium/töökoda Kontor/söökla	
3.14	Varugeneraator	
3.15	Hapnikugeneraator / hädaolukorra hapnikupaak	
3.16	Veesoojendus- ja jahutussüsteem	
3.17	Ehitusnõuded, isolatsioon	
3.18	Arhitektuur, ümbrus	

Põhipunktid:

- Abistab kalakasvatajaid üleminekul vee korduskasutusega vesiviljelusele
- Tutvustab vastavaid tehnoloogiaid ja süsteemi haldamist
- Annab nõu vee korduskasutusega vesiviljelusele ülemineku heade tavade kohta
- Täpsustab vee korduskasutusega süsteemi tööshoidmist, personali väljaõpet ja koolitusi
- Pakub mitmeid vee korduskasutusega projektide näiteid

Juhendi autor Jacob Bregnballe (AKVA kontsern) on üle 40 aasta tegelenud vee korduskasutusega vesiviljeluse alaste teadusuuringute ja praktilise tööga kogu maailmas. Ta on 25 aastat pidanud kalakasvandust Taanis ja olnud seotud paljude tehniliste uuendustega, mille eesmärk on muuta vee korduskasutusega vesiviljeluse süsteem sobivaks paljudele vesiviljeluses kasvatatavatele liikidele.

Selle juhendi on ühiselt välja andnud ÜRO Toidu- ja Põllumajandusorganisatsioon (FAO) ning Ida- ja Kesk-Euroopa Kalanduse Arendamise Rahvusvaheline Organisatsioon (EUROFISH).

EUROFISH
H.C. Andersens Boulevard 44-46
DK-1553 Copenhagen V
Taani

Tel: (+45) 3337 7755
info@eurofish.dk
www.eurofish.dk

FAO Euroopa ja Kesk-Aasia
piirkondlik büroo
20 Kalman Imre utca
H-1054 Budapest / Ungari

Tel: (+36) 1461 2000
FAO-RO-Europe@fao.org
www.fao.org/europe

ISBN 978-9949-7483-9-6

Kalanduse teabekeskus
EMKF RAKENDUSKAVA 2014-2020
Euroopa Liit
Euroopa Merendus- ja Kalandusfond