

# Vee korduvkasutusega vesiviljeluse juhend

Uue keskkonnahoidliku ja suure tootlikkusega suletud vesiviljellussüsteemi tutvustus

Jacob Bregnballe

## Võtmeteemad

- Abistab kalakasvatajaid üleminekul vee korduvkasutusega vesiviljelusele
- Teeb sissejuhatuse vee korduvkasutuse tehnoloogiasse ja juhtimismeetoditesse
- Soovitab häid viise vee korduvkasutusega vesiviljelusele üleminekuks
- Kirjeldab vee korduvkasutusega süsteemi ja reovee käitlemist
- Tutvustab vee korduvkasutusega vesiviljeluse reaalseid projektide näiteid

Autor, Jacob Bregnballe AKVA kontsernist, on töötanud nii teadlase kui ka praktikuna paljudes paikades üle maailma vee korduvkasutusega vesiviljeluse valdkonnas juba üle 30 aasta. Ta on selle ala juhtivaid asjatundjaid, kellel on Kopenhaageni Ülikooli magistrakraad ja oma kalakasvandus.

Käsiraamatu originaali on ÜRO Toidu- ja Põllumajandusorganisatsiooni Kesk- ja Ida-Euroopa piirkondliku büroo toel välja andnud rahvusvaheline organisatsioon Eurofish.

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

Tel +45 3337 7755  
Faks +45 3337 7756  
info@eurofish.dk  
www.eurofish.dk

The FAO Sub-regional Office for  
Central and Eastern Europe  
Benczúr utca 34  
H-1068 Budapest, Ungari

Tel +36 1461 2000  
Faks +36 1351 7029  
fao-seur@fao.org  
www.fao.org/regional/seur



# **Vee korduvkasutusega vesiviljeluse juhend**

Uue keskkonnahoidliku ja suure tootlikkusega suletud  
vesiviljelussüsteemi tutvustus

Jacob Bregnballe

Kalanduse teabekeskus

Pärnu 2012

Trükise Eestis väljaandmist on toetanud kalanduse teabekeskus.

Kalanduse teabekeskuse tegevus toimub „Euroopa Kalandusfondi 2007–2013 rakenduskava“ meetme 3.1 „Ühistegevused“ tegevuse „Muud ühistegevused“ raames. Toetuse kasutamise kava kehtestas põllumajandusminister 14. juulil 2010 käskkirjaga nr 94.

Kalanduse teabekeskuse eesmärk on luua ühtne võrgustik, mis võimaldab kalandussektoril (kalapüük, vesiviljelus, kala töötlemine ja turustamine) ning kala- ja kalatoodete tarbijatel saada nüüdisaegset oskusteavet, koolitust ja nõuandeid. Teadus- ja seadusinfo, kogemuste ja hea tava levitamise kaudu soovib teabekeskus soodustada elukestvat õpet kalandussektoris ning suurendada tarbijate teadlikkust.

Teabekeskus alustas tegevust aprillis 2011 Tartu Ülikooli Eesti mereinstituudi kalabioloogia ja kalanduse osakonna juures. Teabekeskuse tööd koordineerib nõukogu, mis koosneb järgmiste organisatsioonide esindajatest: Põllumajandusministerium, Keskkonnaministerium, Haridus- ja Teadusministerium, Majandus- ja Kommunikatsiooniministerium, Tartu Ülikool, Eesti Maaülikool, Eesti Mereakadeemia, Maamajanduse Infokeskus, Eesti Kalurite Liit, Eesti Kalaliit ja Eesti Kalakasvatajate Liit.

Toomas Armulik,  
teabekeskuse juhataja

**Originaali tiitel:**

Jacob Bregnballe. A Guide to Recirculation Aquaculture: An introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems. Copenhagen, 2010

Tõlge eesti keelde: Eesti Maaülikooli veterinaarmeditsiini ja loomakasvatuse instituudi kalakasvatuse osakond

Keeletoimetajad: Airi Männik, Kristel Ress (Päevakera)

Väljaandja: Kalanduse teabekeskus 2012  
ISBN 978-9985-4-0706-6



## Saateks eestikeelsele tõlkele

Eesti kliima ei ole kalakasvatuseks eriti soodus. Soojaveeliste kalade jaoks on meie veed pikalt külmad, külmaveeliste jaoks aga suvel liiga soojad.

Euroopa Liidu toel on rajatud uusi kalakasvandusi, mis kasutavad kõige tänapäevasemat, tõhusat ja keskkonnasäästlikku tehnoloogiat. Kalakasvatustehnoloogia areneb väga kiiresti. Paljud Eesti kalakasvatajad on tõsiselt ette võtnud vee korduvkasutusega kalakasvatuse rajatiste ehitamise. Sellises süsteemis ringleb vesi kalabasseinide ja puhastusseadmete vahel. Vee korduvkasutuse süsteemil on looduslike veekogude ees mitu eelist: sõltumatus välistemperatuurist, mis võimaldab kalu kasvatada aasta läbi sobivaimal temperatuuril, väike veevajadus ja väiksem keskkonnamuutus, mis on Eesti keskkonnasaaste maksustamise poliitikat arvestades väga tähtis.

Kasvanduse planeerimiseks ja edasiseks edukaks majandamiseks on omanikul vaja tunda vee korduvkasutuse süsteemil põhineva kasvanduse tööpõhimõtteid. Taanis koostatud selle valdkonna käsiraamat on talle kindlasti abiks. Trükis annab hea ülevaate tänapäevasest vee korduvkasutusega kalakasvatussüsteemist. Käsitletakse selliseid teemasid nagu süsteemi komponendid, kalaliigid, projekti kavandamine ja teostamine, süsteemi töökorras hoidmine, reovee käitlemine, kalade haigused ning varasemate kogemuste näited.

Eesti Maaülikooli veterinaarmeditsiini ja loomakasvatuse instituudi kalakasvatuse osakond on Eestis praegu ainus koht, kus tegeldakse kalakasvatuse õpetamise ja teadusuuringutega. Alates 2002. aastast koolitatakse ka kalakasvatuse magistrante. Kalakasvatuse osakond püüab katta võimalikult paljusid erialaseid teemasid, nagu kalade geneetika ja tõuaretus, kalade tervishoid ning kalavarude taastootmine. Kõige jaoks aga osakonna 14 teadlasest, spetsialistist ja doktorandist, kellest paljud töötavad osakoormusega, ei jätku – tarvis on ka õpikuid, mis annaksid algteadmised ja hoiaksid eestikeelset terminoloogiat.

Üliõpilastele on sissejuhatav vee korduvkasutusega kalakasvatuse käsiraamat väga vajalik, see pärast algataski kalakasvatuse osakond Eurofishi lahkel loal käesoleva juhendmaterjali tõlkimise eesti keelde. Sellesse töösse on andnud oma panuse paljud osakonna töötajad ja üliõpilased.

Tiit Paaver,  
Eesti Maaülikooli kalakasvatuse professor

## Eessõna

Ranged keskkonnakaitsepiirangud, mille eesmärk on vähendada haudejaamadest ja kalakasvandustest tulenevat saastet Põhja-Euroopa maades, on käivitanud vee korduvkasutusega vesiviljeluse kiire tehnoloogilise arengu. Selline vesiviljelus tagab ka suurema ja stabiilsema toodangu, sest haiguspuhanguid on harvem ja kontroll haudejaamade kasvu mõjutavate näitajate üle parem. See suund on teretulnud ja igati kooskõlas ÜRO Toidu- ja Põllumajandusorganisatsiooni (FAO) kohuseteadliku kalanduse koodeksiga. Käesolev vee korduvkasutusega vesiviljeluse tutvustus täiendab FAO Kesk- ja Ida-Euroopa piirkondliku büroo tööd keskkonna seisukohalt jätkusuutliku vesiviljeluse valdkonnas.

Vee korduvkasutusega vesiviljeluse süsteem tähendab ühtlasi seda, et haudejaamad ei pea enam asuma hinnalistel jõeäärsetel aladel. Nüüd võib neid ehitada peaaegu igale poole ja nende vajadus puhta pisikutevaba vee järele on varasemast palju väiksem. Seepärast on FAO-l olnud hea meel toetada selle trükise väljaandmist. Loodetavasti innustab see vesiviljelusega tegelejaid ja aitab neil minna tulevikus üle vee korduvkasutusega vesiviljelusele.



Thomas Moth-Poulsen,  
FAO Kesk- ja Ida-Euroopa piirkondliku büroo  
kalandusametnik

Vesiviljelusel, mis on juba praegu maailma kiiremini kasvavaid põllumajandusharusid, on eeldusi kasvada ka edaspidi ning anda kvaliteetseid ja tervislikke kalasaadusi. Aastal 2006 püüti ligikaudu 90 miljonit tonni kala. Vesiviljeluse toodang on olnud püsivalt tõusuteel, suurenedes aastast keskmiselt 6 protsenti ja ulatudes kogutoodangult peaaegu 52 miljoni tonnini.

Et üha rohkem pööratakse tähelepanu jätkusuutlikkusele, tarbijate nõudmistele, toidu turvalisusele ja tasuvusele, arendatakse vesiviljeluse tehnoloogiat pidevalt. Üldiselt mõjutab vesiviljeluse toodang keskkonda, aga vee korduvkasutusega vesiviljeluse tiptasemel meetodid vähendavad seda mõju traditsiooniliste kalakasvatuse meetoditega võrreldes märkimisväärselt. Vee korduvkasutusega vesiviljelusel on seetõttu kaks kohesest eelist: tasuvus ja vähenenud keskkonnamõju.

Käesolevas trükises käsitletaksegi üleminekut traditsiooniliselt vesiviljeluselt vee korduvkasutusega vesiviljelusele ja antakse vesiviljelejale nõu eksimuste vältimiseks. Oma kogemusi jagab selle ala tuntumaid asjatundjaid, AKVA kontsernis töötav Jacob Bregnballe. Loodetavasti on see juhend vee korduvkasutusega vesiviljelusele üleminevatele kalakasvatajatele kasulik abivahend.

See väljaanne on Eurofishi, FAO Kesk- ja Ida-Euroopa piirkondliku büroo ja AKVA kontserni ühistöö tulemus.



Aina Afanasjeva,  
Eurofishi direktor

### Autori ja AKVAGroupi ühenduse tutvustus

Jacob Bregnballe AKVA kontsernist on töötanud vee korduvkasutusega vesiviljeluse valdkonnas üle 30 aasta. Tal on Taanis kalakasvandus Asnæs Fiskeopdræt A/S ja ta on olnud seotud paljude tehniliste uuendustega, mille eesmärk on muuta vee korduvkasutusega vesiviljeluse süsteem sobivaks laiale valikule vesiviljeluses kasvatatavatele liikidele. Ta on töötanud ka rahvusvahelise vesiviljeluse nõustajana ja omandanud Kopenhaageni Ülikoolis magistriraadi.

Praegu on ta maismaavesiviljeluse müügidirektor AKVA kontsernis, mis on maailma suurim vesiviljeluse tehnoloogia ettevõtte, hõlmates kõiki vesiviljeluse aspekte nii maismaal kui ka merel. Ettevõttel on üle 25-aastane kogemus teras- ja plastvannide, tööpaatide, toitmissüsteemide ja -parvede, sensorsüsteemide ja vesiviljeluse tarkvara väljatöötamises ja tootmises. Ettevõtte pakub lahendusi ja tuge vee korduvkasutusega vesiviljeluse vallas.



AKVA group Denmark A/S  
Teknikervej 14  
DK-7000 Fredericia  
Denmark  
[www.akvagroup.com](http://www.akvagroup.com)

## Sisukord

1. Sissejuhatus vee korduvkasutusega vesiviljelusse . . . . .	8
2. Vee korduvkasutusega süsteemi üksikasjalik ülevaade . . . . .	11
Vee korduvkasutusega süsteemi komponendid . . . . .	13
– Kalabasseinid . . . . .	13
– Mehaaniline filtratsioon . . . . .	16
– Bioloogiline käitlemine . . . . .	17
– Degaseerimine, aereerimine ja gaaside eraldamine . . . . .	22
– Hapnikuga rikastamine . . . . .	23
– Ultraviolettkiirgus . . . . .	24
– Osoon . . . . .	25
– pH reguleerimine . . . . .	25
– Soojusvahetus . . . . .	25
– Pumbad . . . . .	26
– Jälgimine, kontroll ja häiresüsteemid . . . . .	27
– Rikkesüsteem . . . . .	28
– Lisatav vesi . . . . .	28
3. Kalaliigid vee korduvkasutusega süsteemis . . . . .	29
4. Projekti kavandamine ja teostus . . . . .	34
5. Vee korduvkasutusega süsteemi töökorras hoidmine . . . . .	39
6. Reovee käitlemine . . . . .	43
7. Haigused . . . . .	48
8. Kogemuste näited . . . . .	53
Noorlõhede tootmine Tšiilis . . . . .	53
Kammeljakasvatus Hiinas . . . . .	53
Forellikasvatus Taanis . . . . .	54
Vee korduvkasutusega süsteem ja taasisustamine . . . . .	55
Suured kasvandused . . . . .	56
Lisa . . . . .	58
Kasutatud kirjandus . . . . .	60

## 1. Sissejuhatus vee korduvkasutusega vesiviljelusse

Vee korduvkasutusega 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, limused ja krevetid. Vee korduvkasutust rakendatakse eeskätt kalade kasvatamisel, mistõttu on käesolev käsiraamat mõeldud peamiselt kalakasvatusega tegelevatele inimestele.

Vee korduv kasutamine kasvab kiiresti mitmes kalakasvatavaldkonnas. Neid süsteeme saab paigaldada mitmesugustesse tootmisüksustesse alates suurtest kasvandustest,

mille eesmärk on toota palju tonne kaubakala aastas, kuni väikeste keeruliste süsteemideni, kus kasvatatakse ohustatud liike taasasustamise eesmärgil.

Vee korduvkasutusega süsteem võib olla erineva intensiivsusega sõltuvalt taaskasutatava vee kogusest. Hoonetes paiknevad, väliskeskonnast isoleeritud kasvandused korduvkasutavad vett eriti intensiivselt, tarbides päevas ainult 200 liitrit värsket vett ühe kilogrammi kala tootmiseks. Välistingimustes asuvad kasvandused, mis on ehitatud ümber vee korduvkasutusel põhinevateks, kasutavad ühe kilogrammi kala tootmiseks ligikaudu 3 m<sup>3</sup> värsket vett, traditsiooniline läbivoolu-



Joonis 1.1. Vee korduvkasutusega süsteem sisetingsimustes

süsteemiga forellikasvandus aga tavaliselt 30 m<sup>3</sup> vett.

Paljudes piiratud veeressursiga piirkondades on vee korduv kasutamine keskkonnasäästlik. Peale selle muudab piiratud veekasutus toitainete eemaldamise veest palju lihtsamaks ja odavamaks, sest kasutatava vee kogus on palju väiksem kui läbivoolukasvanduses. Vee korduvkasutusega kalakasvatust võib pidada kõige keskkonnasäästlikumaks kala tootmise viisiks, mis on samal ajal majanduslikult tasuv.

Piiratud veekasutus annab tootmises suure eelise. Traditsiooniline kalakasvatus sõltub täielikult väliskeskonna tingimustest, nagu vee temperatuur, vee puhtus, hapnikusisaldus või vetikate ja lehtede põhjustatud ummistused sissevooluvõres. Vee korduvkasutuse

puhul puuduvad välised keskkonnategurid täielikult või osaliselt sõltuvalt kasvanduse ehitusest ja vee korduvkasutusega süsteemist.

Vee korduvkasutus võimaldab kalakasvataval hoida kõik tootmise parameetrid kontrolli all. Tema oskus vee korduvkasutusega süsteemi käitada muutub seega sama oluliseks kui oskus hoolitseda kalade eest. Kontrollitavad parameetrid, nagu vee temperatuur, hapnikusisaldus või päevavalgus, loovad kaladele stabiilsed ja optimaalsed tingimused, mis omakorda tekitavad vähem stressi ja tagavad parema kasvu. Sellistes tingimustes kasvab kala püsivalt ja prognoositavalt, nii et kalakasvataja teab, millal kala jõuab teatavasse staadiumi või suurusse. Selle peamine eelis on võimalus koostada täpne tootmisplaan ja prognoosida, millal on kalad suuruselt



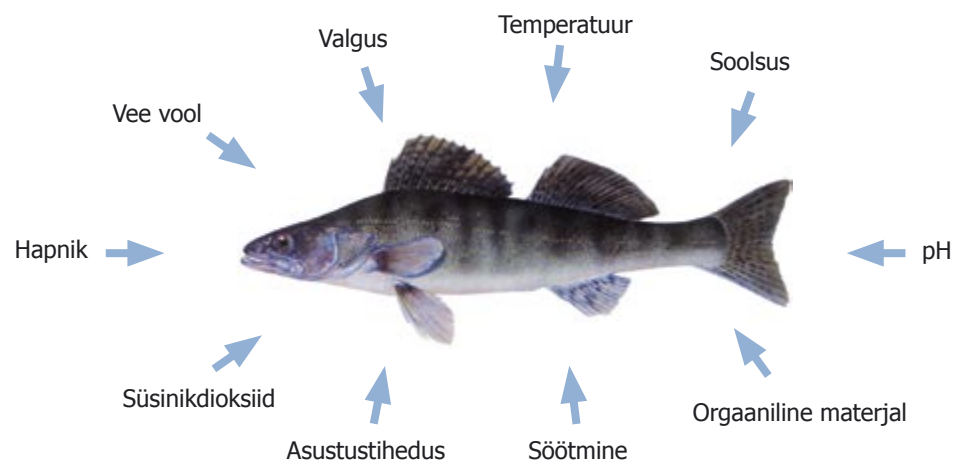
Joonis 1.2. Vee korduvkasutusega süsteem välistingimustes

müügiks sobivad. See soodustab kasvanduse üldist juhtimist ja võimaldab müüa toodangut turul konkurentsivõimelisemalt.

Vee korduvkasutuse tehnoloogial on kalakasvatustes palju eeliseid, millest tuleb juttu järgmistes peatükkides. Muude süsteemidega võrreldes on vee korduvkasutusega süsteemi tähtsamaid omadusi tunduvalt harvem haiguste esinemine, sest väliskeskkonnast võetava vee vähene kogus piirab haiguste levikut. Tavaliselt on kasvanduste vesi pärit jõest, järvest või merest ning see suurendab haiguste leviku ohtu. Vee korduvkasutusega süsteemis kasutatakse aga peamiselt puurkaevu-, dreni- või allikavett, mille puhul on

haiguste leviku oht väike. Enamikus neis süsteemides ei ole haigustega probleeme, mistõttu on toodangu kvaliteedi parandamise ja keskkonnanahoiu eesmärgil ravimite kasutamist märgatavalt vähendatud.

Vesiviljelus ei sobi kõigile. Selleks on vaja teadmisi, järjekindlust ja mõnikord ka tugevat närvi. Üleminek traditsiooniliselt kalakasvatusele vee korduvkasutusele teeb nii mõnegi asja lihtsamaks, aga nõuab ka uusi ja paremaid oskusi. Vee korduvkasutuse tehnoloogial põhinevas kasvanduses on edu saavutamiseks vaja eelkõige erialast väljaõpet ja haridust, mille andmiseks ongi see käsiraamat koostatud.



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

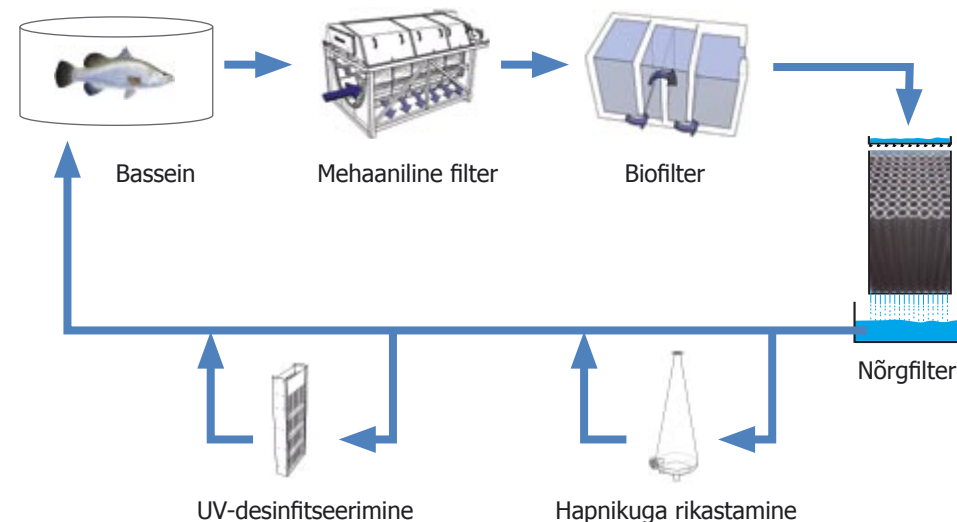
## 2. Vee korduvkasutusega süsteemi üksikasjalik ülevaade

Vee korduvkasutusega süsteemis on vaja pidevat veekäitlust, et eemaldada kalade eritavad jääained ja lisada hapnikku, hoidmaks kalad elus ja terved. Süsteemi põhimõte on tegelikult päris lihtne. Kasvubasseinist välja voolav vesi juhitakse kõigepealt mehaanilisse filtrisse ja seejärel biofiltrisse. Biofiltrist väljuv vesi aereeritakse ja sellest eraldatakse süsinikdioksiid, misjärel juhitakse puhas vesi tagasi kalabasseini.

Vajadust mööda saab lisaks kasutada vee puhta hapnikuga rikastamist, ultraviolettkiir-

guse ja osooniga desinfitseerimist, automaatset pH reguleerimist, soojuse reguleerimist, lämmastiku eraldamist jmt.

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 hapnik ( $O_2$ ) on vajalik energia tootmiseks ja proteiinide lõhustamiseks, kusjuures süsinikdioksiid ( $CO_2$ ) ja ammoniaak ( $NH_3$ ) väljutatakse jääainetena. Seedimata sööt väljutatakse vette orgaanilise



Joonis 2.1. Vee korduvkasutusega süsteemi põhimõte. Veepuhastussüsteem koosneb põhiliselt mehaanilisest filtreerimisest, bioloogilisest töötlemisest ning aereerimisest ja  $CO_2$  eraldamisest. Vajaduse korral saab lisada hapnikku või kasutada UV-desinfitseerimist.



Joonis 2.2. Kala kasvu ja jääkainete eritumist mõjutavad tarbitud sööt ja hapnik



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 korduvkasutusega süsteemis on soovitatav kasutada ainult graanulsööta. Kindlasti

peaks vältima prügikalaga söötmist, sest see saastab süsteemi ja levitab suure tõenäosusega haigusi. Kuivsööt on ohutu ja valmistatud kala bioloogilisi vajadusi arvestades. Graanuleid valmistatakse kala kasvu järgi eri suuruses ning on võimalik valida vastsetele, suurematele kaladele või sugukarjale sobiva koostisega sööt.

Joonis 2.3. Koostisained ja nende sisaldus forellisöödas, mida sobib tarvitada vee korduvkasutusega süsteemis. Allikas: BioMar.

Graanuli suurus mm	Kala suurus g	Proteiin %	Rasv %
3	40–125	44	26
4,5	100–500	43	27
6,5	400–1200	42	28

Koostisosad %	3,0 mm	4,5 mm	6,5 mm
Kalajahu	35	34	32
Kalaõli	21	22	23
Verejahu	10	10	10
Hernes	10	10	10
Soja	9	8	10
Nisu	14	15	14
Vitamiinid, mineraalid jm	1	1	1

Vee korduvkasutusega süsteemis toob tulu võimalikult tõhus söödakasutus, sest siis tekib vähem jääkprodukte ja vee puhastamine muutub lihtsamaks. Õigesti majandatud süsteemis söövad kalad kogu sööda ära, viies söömata jäänud sööda osakaalu miinimumini. Söödakoeffitsient näitab, mitu kilogrammi sööta kulub ühe kilogrammi kala juurdekasvuks. Söödakoeffitsiendi kasutamine tagab kasvatajale suurema toodangu ja vähendab vee töötlemise vajadust. Söömata jäänud sööt on raha raiskamine ja koormab mõttetult filtrisüsteemi. Saadaval on spetsiaalselt vee korduvkasutusega süsteemile mõeldud graanulsöödad, mille puhul kasutab kala ära kogu söödas sisalduva proteiini ning tänu sellele väheneb ammoniaagi eritumine.

## VEE KORDUVKASUTUSEGA SÜSTEEMI KOMPONENDID

### Kalabasseinid

Kalakasvatusbasseini keskkond peab vastama kala vajadustele nii vee puhtuse kui ka basseini kuju poolest. Kasvatatava kalaliigi




tootlikkust mõjutavad suurel määral basseini suurus, kuju ja sügavus, aga ka selle puhastamise võimalus. Seega tuleks basseini konstruktsiooni hoolikalt valida.

Kui kala on põhjaeluviisiga (kammeljas, merikeel või muu lestaline), on kõige tähtsam piisav põhja pindala ning võimalus alandada vee sügavust ja voolukiirust. Kogu veekihti kasutavad liigid, nagu lõhelised, vajavad aga suuremaid veemahtusid ja voolukiirusi.

Ümmarguses või lõigatud nurkadega ruudukujulises basseinis viibivad orgaanilised osakesed suhteliselt lühikest aega (mõne minuti) sõltuvalt basseini suuruselt, hüdraulikast ja gravitatsioonijõust. Kogu veesammas liigub basseini keskpunkti ümber, kust vesi ära voolab. Kui lisada vertikaalsele sissevoolutorustikule muudetava kaldega, põlve otsas olev horisontaalne toru, saab vee läbivoolu paremini reguleerida.

Kiirvoolukanalites puudub gravitatsioonijõu mõjul osakeste eemaldamise hüdrauliline efekt. Kalade piisavalt suure asustustiheduse

Joonis 2.4. Basseinitüüpide omadused ja eelised

Basseini omadused	Ümmargune bassein	D-lõpuline kiirvoolukanal	Kiirvoolukanal
			
Isepuhastusefekt	5	4	3
Osakeste lühike viibeaeg	5	4	3
Hapnikukontroll ja reguleerimine	5	5	4
Ruumi kasutamine	2	4	5



puhul sõltub basseini isepuhastusvõime pigem kalade aktiivsusest kui basseini kujust. Kõikide basseinitüüpide puhul ei ole põhja kalle basseini isepuhastuvuse seisukohalt oluline, kuid see lihtsustab basseini tühendamist.

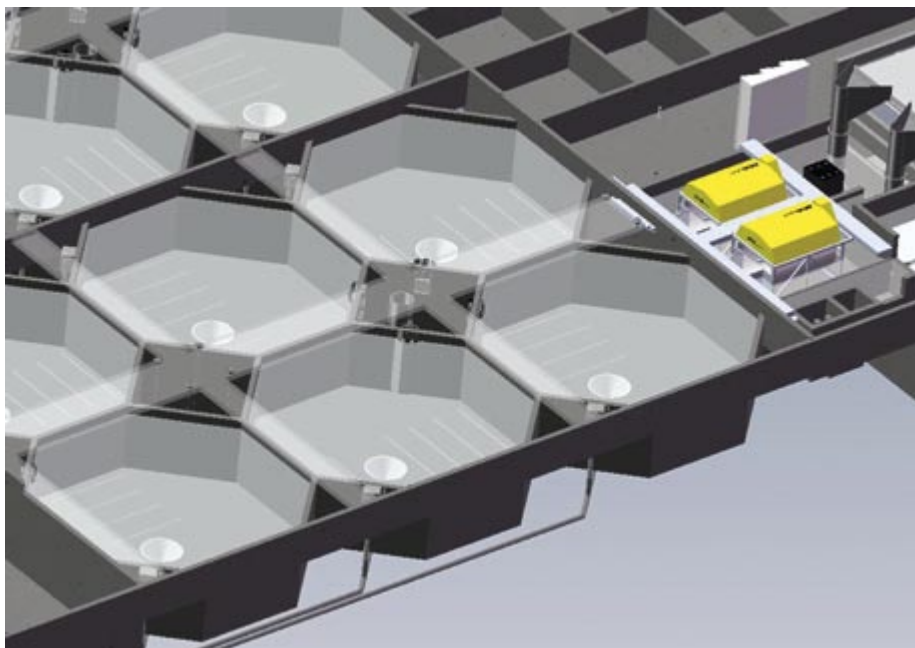
Kiirvoolukanalitega võrreldes võtavad ümmargused basseinid palju ruumi, mistõttu suurenevad hoone ehituskulud. Kui lõigata nelinurkselt basseinilt nurgad ära, saadakse kaheksanurkne bassein, mille ruumikasutus on parem kui ümmargusel ja millega saavutatakse samasugune hüdrauliline efekt. Suurte basseinide puhul tuleks eelistada ümmargusi,

sest need on tugevama konstruktsiooniga ja odavamad paigaldada.

Ümmarguse basseini ja kiirvoolukanali hüriidi nimetatakse D-lõpuliseks kiirvoolukanaliks. See ühendab endas ümmarguse basseini isepuhastuseefekti ja kiirvoolukanali efektiivse ruumikasutuse. Sellist tüüpi basseine on praktikas harva kasutatud, tõenäoliselt sellepärast, et nende paigaldamine nõuab lisatööd ja uusi juhtimistavasid.

Ümmarguses või sellesarnases basseinis on hapnikutaset kontrollida ja reguleerida üsna

Joonis 2.5. Vee korduvkasutusega süsteemis tarvitatava kaheksanurkse basseini näide. See säästab ruumi ja sellel on sama hea hüdrauliline efekt nagu ümmargusel basseinil. Allikas: AKVA kontsern.

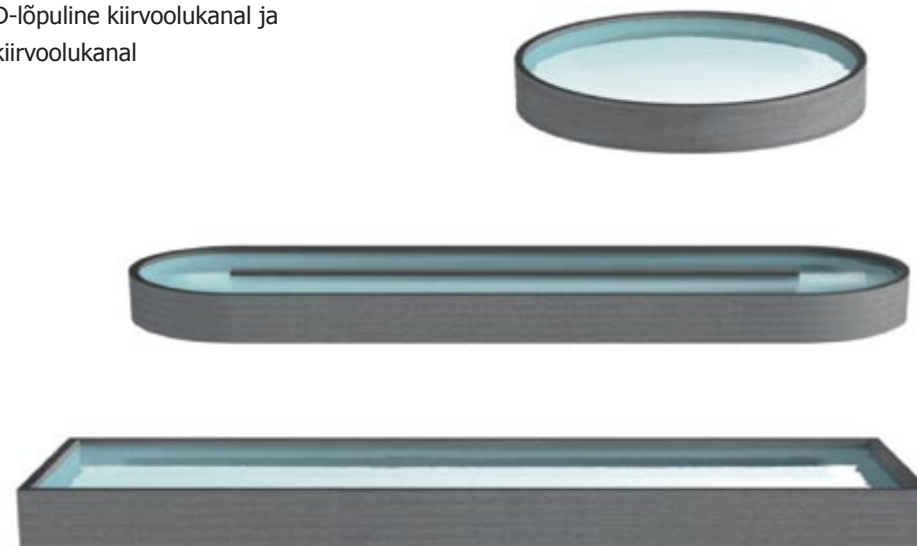


lihtne, sest veesammas on pidevalt segatud ja hapnikutase kogu basseinis sama. Et lisatava hapniku mõju basseinis saab hapnikuanduriga kohe mõõta, on küllalt hõlbus hapnikutaset vajadust mööda üles- või allapoole reguleerida. Kiirvoolukanali sissevoolus on hapnikutase alati kõrgem kui väljavoolus, mistõttu muutub kalade keskkond sõltuvalt nende liikumise trajektooriga. Hapnikutaset peaks alati mõõtma sealt, kus see on kõige madalam – kiirvoolukanali puhul väljavoolu lähedalt. Hapnikugradient (vähenemine allavoolu suunas) teeb hapniku reguleerimise keeruliseks, sest kui reguleerida sissevoolu juures hapnikku üles- või allapoole,

muutub näitaja väljavoolu juures kuni tunni aja pärast. See asjaolu võib põhjustada hapniku pideva üles-alla kõikumise, mitte soovitud tasemel püsimise.

Väljavoolu ehitus peab tagama jäätmeosakeste optimaalse eemalduse ja sellel peab olema sobiv avasuurune võre. Samuti peaks olema kergendatud igapäevase rutiinse tööna surnud kalade väljakorjamine. Basseinil võiks olla veetaseme muutumise häiresüsteem, hapnikumõõturid hapnikusalduse kontrolliks ja häireks ning häireolukorras kasutatavad hapnikudifuusorid.

Joonis 2.6. Ümmargune bassein, D-lõpuline kiirvoolukanal ja kiirvoolukanal



### Mehaaniline filtratsioon

Mehaaniline filtratsioon basseini väljavoolus on osutunud ainsaks praktiliseks lahenduseks orgaaniliste jäätmete eemaldamisel. Tänapäeval kasutavad peaaegu kõik vee korduvkasutuse süsteemiga kalakasvandused basseinist välja voolava vee filtreerimiseks 40–100-mikronilise filterkangaga mikrovrõret. Trummelfilter on seni kõige laialdasemalt kasutusel olev mikrovrõre ja selle disain aitab osakeste kergele eemaldamisele kaasa.

Trummelfiltri tööpõhimõte

1. Filtreeritav vesi siseneb trumlisse.
2. Vesi filtreeritakse läbi trummelfiltri elementide, mis on võimalik tänu trumli seesmise ja välmise veetaseme erinevusele.

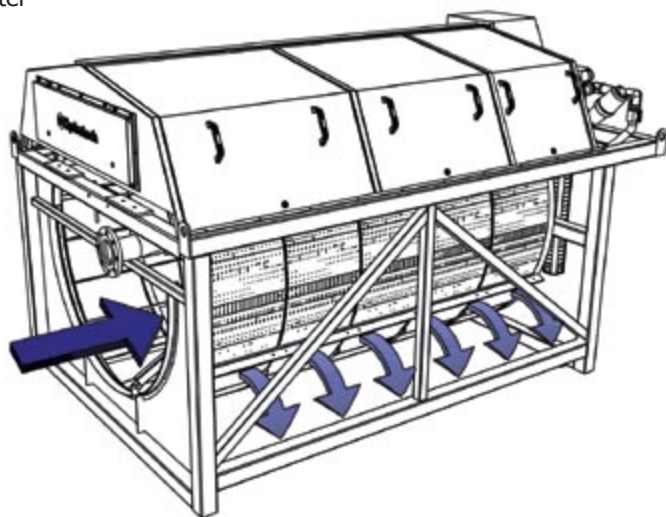
3. Tahked osakesed jäävad filtrielemendile kinni ja pöörlev trummel suunab need loputusallasse.
4. Loputamine toimub loputuspihustite abil, mis asuvad väljaspool filtrielemente. Eemaldatud orgaaniline materjal pestakse filtrielementidest välja setistisse.
5. Muda voolab koos veega raskusjõu mõjul filtrist ja kalakasvandusest edasi välisesse reoveepuhastisse.

Mikrovrõrefiltratsioonil on järgmised eelised:

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

Joonis 2.7. Trummelfilter

Allikas: Hydrotech.



### Bioloogiline käitlemine

Mehaaniline filter ei eemalda kogu orgaanilist ainet. Kõige peenemad osakesed läbivad filtri koos lahustunud ühenditega, nagu fosfaat ja lämmastik. Fosfaat on toksilise toimetega inertne aine, lämmastik aga vaba ammoniaagi vormina ( $\text{NH}_3$ ) toksiline ja tuleb biofiltris muuta ohutuks nitraadiks. Orgaanilise aine ja ammoniaagi eraldamine on bioloogiline protsess, mille viivad läbi biofiltris elavad bakterid. Orgaanilise aine tarbimisega oksüdeerivad heterotroofsed bakterid hapnikku ning toodavad süsinikdioksiidi, ammoniaaki ja muda. Nitrifitseerivad bakterid muudavad ammoniaagi nitritiks ja lõpuks nitraadiks.

Biofiltri efektiivsus sõltub eelkõige süsteemi

- veetemperatuurist,
- pH-tasemest.

Et jõuda aktsepteeritavale nitrifikatsioonitasemele, tuleb veetemperatuur hoida 10–35 °C piires (optimaalne umbes 30 °C) ning pH 7 ja 8 vahel. Veetemperatuur sõltub kasvatatavast kalaliigist. Temperatuuri ei reguleerita mitte optimaalseima nitrifikatsioonitaseme saavutamiseks, vaid kalade kasvuks sobiva tempera-

tuuri tagamiseks. Seevastu on pH-d vaja reguleerida sõltuvalt biofiltri efektiivsusest, sest madalam pH vähendab biofiltri töö tõhusust. Kõrge bakteriaalse nitrifikatsiooni taseme tagamiseks tuleb pH-d hoida üle 7. Teisest küljest kasvab pH väärtuse suurenemise korral vaba ammoniaagi ( $\text{NH}_3$ ) hulk, mis suurendab toksilist toimet. Seetõttu tuleb leida pH reguleerimisel tasakaal. Soovituslik pH vahemik on 7 kuni 7,5.

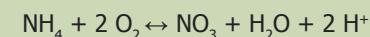
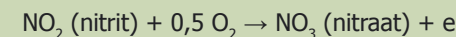
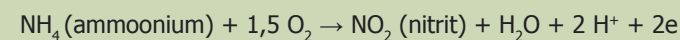
Kaks peamist tegurit, mis mõjutavad pH-d vee korduvkasutusega süsteemis:

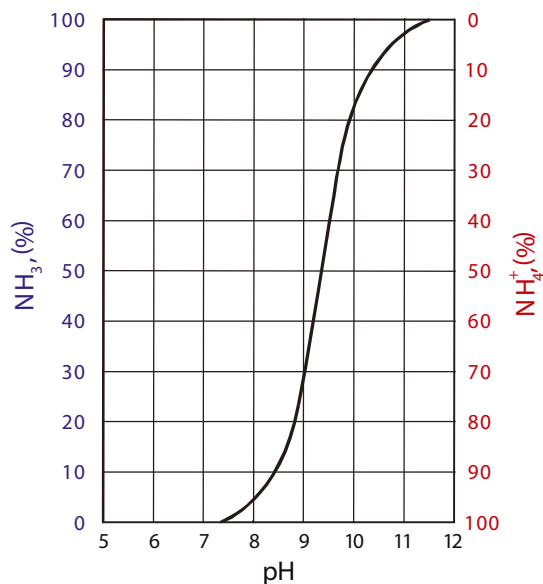
- $\text{CO}_2$  tootmine kaladelt ja biofiltri bioloogiline aktiivsus;
- nitrifikatsiooni käigus toodetud hape.

$\text{CO}_2$  eemaldatakse veest aereerimisega, mille abil toimub degaseerimine. Protsess on saavutatav mitmel viisil, mida selles peatükis ka hiljem kirjeldatakse.

Nitrifikatsiooni käigus tekib happeline keskkond (suureneb vesinikioonide  $\text{H}^+$  sisaldus) ja pH-tase langeb. pH-taseme stabiliseerimiseks tuleb lisada alust, milleks võib olla kas lubi, naatriumhüdroksiid või muu aluseline aine.

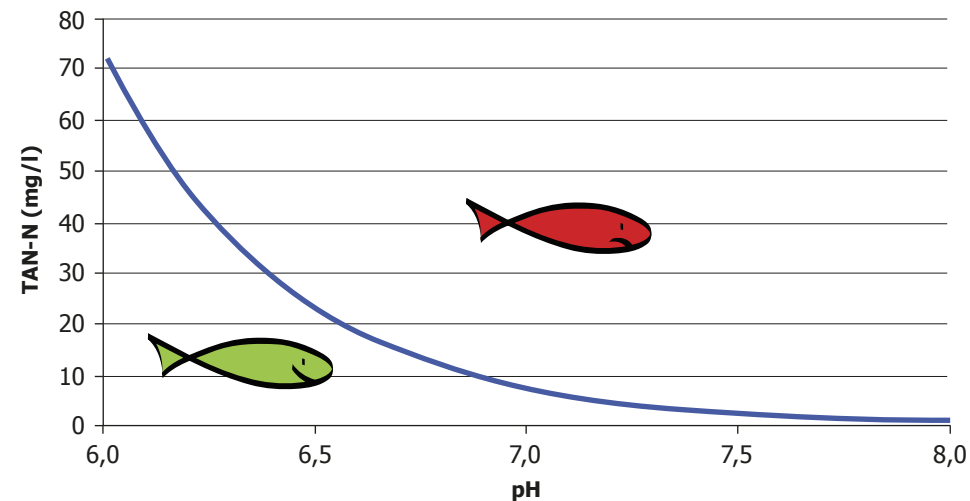
#### Nitrifikatsiooni tulemus





Joonis 2.8. Tasakaal ammoniaagi (NH<sub>3</sub>) ja ammooniumi (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) vahel 20 °C juures. Toksiline ammoniaak puudub, kui pH on alla 7, kuid kasvab pH väärtuse suurenedes kiiresti.

Joonis 2.9. Seos pH ja kogu ammooniumlämmastiku sisalduse (TAN-N) vahel, mis näitab kaladele toksilist ammooniumi kontsentratsiooni (0,02 mg/l), mis võib tekkida biofiltri töö seiskumise korral. ▶



Kala väljutab ammoniaagi ja ammooniumi segu (kogu ammooniumnitraat (TAN, ingl *total ammonia nitrate*) = ammoonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) + ammoniaak (NH<sub>3</sub>)), kus ammoniaak moodustab eritise peamise osa. Ammoniaagi kogus vees sõltub pH-tasemest, nagu on näha joonisel 2.8, mis näitab ammoniaagi (NH<sub>3</sub>) ja ammooniumi (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) vahelist tasakaalu.

Üldiselt on ammoniaak kala jaoks toksiline tasemel üle 0,02 mg/l. Joonis 2.9 näitab maksimaalset lubatavat TANi kontsentratsiooni, kus tuleb tagada, et ammoniaagi tase jääks alla 0,02 mg/l. Kuigi madalam pH-tase vähendab riski, et ammoniaagitase tõuseb üle 0,02 mg/l, soovitatakse kalakasvataval hoida pH tasemel 7, et suurendada biofiltri tõhusust. Nagu joonisel 2.9 näha, saab sellega TANi üldkontsentratsiooni märkimisväärselt alandada.

Nitrit (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) on nitrifikatsiooniprotsessi vaheetapp ja on kaladele mürgine, kui selle sisaldus vees on üle 2 mg/l. Kui vee korduvkasutusega süsteemis ahmivad kalad õhku olenemata piisavast hapnikusisaldusest, võib põhjuseks olla nitritite kõrge tase. Kõrge kontsentratsiooni juures transporditakse nitritid läbi lõpuste kala verre, kus need takistavad hapniku omastamist. Nitritite omastamine on takistatud, kui lisada vette soola tasemeni 0,3‰.

Nitraat on nitrifikatsiooni lõpp-produkt ja kuigi seda peetakse kahjutuks, on täheldatud selle kõrge taseme (üle 100 mg/l) ebasoodsat mõju kala kasvule ja söödakoeftsiendile. Kui värske vee vahetus hoitakse süsteemis minimaalsel tasemel, siis nitraadid kuhjuvad ja tagajärjeks on nende lubamatult kõrge tase. Nitraatide kuhjumist saab vältida süsteemi

värske vee lisamisega, mille tulemusel kõrge kontsentratsioon lahjeneb madalama ja ohutuma tasemeni.

Teisest küljest on korduvkasutusega süsteemi mõte säästa vett ja mõnikord on vee kokkuvõtte isegi äärmiselt oluline. Sellisel juhul saab nitraatide kontsentratsiooni vähendada ka denitrifikatsiooniga. Normaalingimustes piisab üle 300 l veest kilogrammi sööda kohta, et lahjendada nitraatide kontsentratsiooni. Kui kasutatakse vähem kui 300 l vett kilogrammi sööda kohta, tasub kaaluda denitrifikatsiooni kasutamist.

Kõige domineerivam denitrifitseeriv bakter on *Pseudomonas*, mis muudab anaeroobsetes tingimustes (hapnikuta keskkond) nitraadi õhulämmastikuks. Selle protsessiga

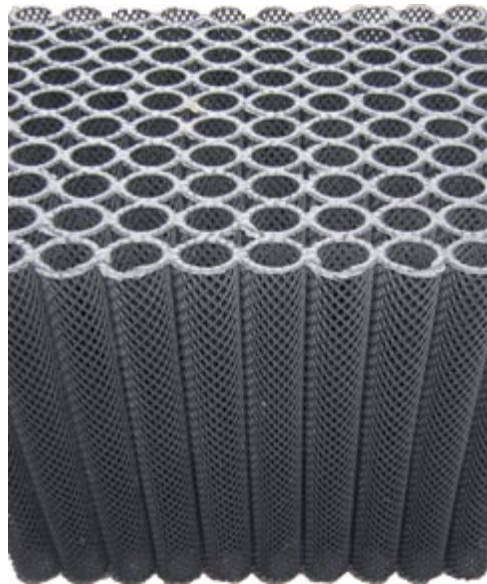
eemaldatakse lämmastik veest õhku, mille abil väheneb lämmastiku koormus ümbritsevale keskkonnale. Protsess vajab orgaanilist allikat (süsinikku), näiteks puupiiritust (metanool), mida saab lisada denitrifikatsioonikambri. Praktikas kulub 1 kg nitraadi (NO<sub>3</sub>-N) denitrifitseerimiseks 2,5 kg metanooli.

Enamasti on denitrifikatsioonikamber täidetud filtrielementidega ja vee planeeritud viibeaeg on 2–4 tundi. Veevoolu peab kontrollima, et tagada väljavoolava vee hapnikutase üle 1 mg/l. Hapniku täieliku ammendumise korral tekib palju vesiniksulfidi (H<sub>2</sub>S), mis on kaladele äärmiselt mürgine ja halva lõhnaga (mädamuna lõhn). Üsna palju tekib settivat muda, mistõttu tuleks denitrifikatsioonikamber vähemalt korra nädalas läbi pesta.

Biofiltris kasutatakse tavaliselt plastist filtri-elemente, millel on biofiltri kuupmeetri kohta suur pindala. Bakterid kasvavad filtri-elementide õhukese kihina, hõivates äärmiselt suure pindala. Hästi projekteeritud biofiltri eesmärk on saavutada võimalikult suur pindala kuupmeetri kohta, kuid samal ajal peab seal olema piisavalt liikumisruumi, et ei tekiks orgaanilise aine ummistust. Seetõttu on oluline, et vee jaoks jääks piisavalt palju vaba ruumi, et oleks võimalik teha biofiltri läbipesu. Sõltuvalt biofiltri koormusest peaks seda läbi pesema kas kord nädalas või kord kuus. Biofiltris kasutatakse turbulentsi loomiseks suruõhku, mille abil pestakse orgaaniline aine välja. Läbipesu ajaks peatatakse biofiltri töö. Kui must vesi on filtrist välja voolanud ja filter uue veega täidetud, ühendatakse biofilter taas süsteemi.



Joonis 2.10. Liikuva elemendiga biofiltri filtri-element (ülal) ja liikumatu elemendiga biofiltri plokk (paremal)

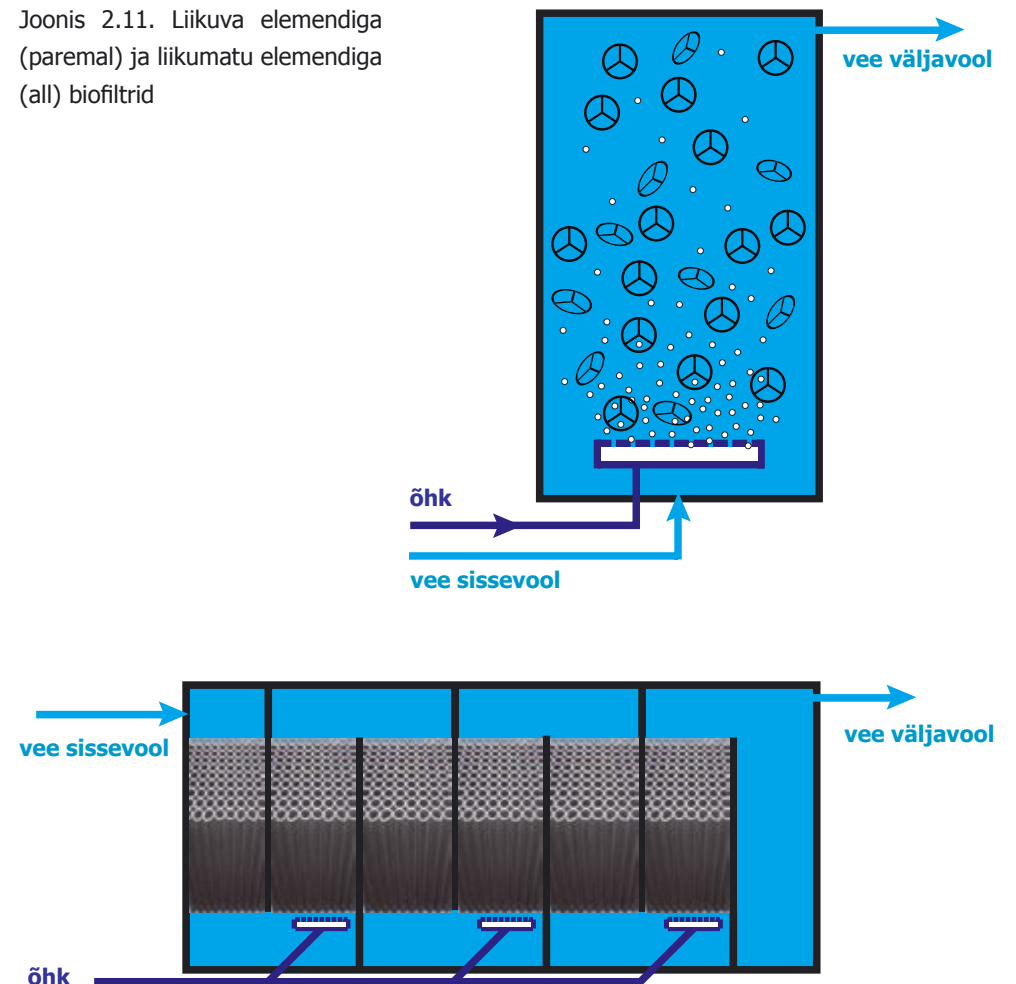


Vee korduvkasutusega süsteemides kasutatakse nii liikumatu kui ka liikuva elemendiga veealuseid biofiltreid. Liikumatu biofiltri puhul on plastist filtri-element fikseeritud ega liigu. Vesi liigub läbi liikumatu filtri-elementide laminaarvooluna, et puutuda kokku bakterikihtiga. Liikuva elemendiga filtris liigub plastist filtri-element vees ringi filtrisse pumbatava õhu abil. Kuna filtri-elementid on pidevas liikumises, saab neid panna tihedamalt kui liikumatu elemendiga filtreid, saavutades sellega suurema läbilaskevõime biofiltri kuupmeetri kohta. Siiski pole läbilaskevõimel ruutmeetri kohta (filtri pindala) suurt erinevust, sest bakterikiht on mõlema filtritüübi puhul enam-vähem sama tõhus. Samuti eemaldatakse liikumatu elemendiga filtris orgaanilised osakesed juhul, kui need jäävad bakterikihi külge.

Niisiis töötab liikumatu elemendiga filter ka mehaanilise filtrina, muutes tänu mikroskoopilise orgaanilise aine eemaldamisele vee väga puhtaks. Liikuva elemendiga filtri puhul sellist efekti ei ole, sest pidev liikumine teeb orgaaniliste osakeste kinnijäämise võimatuks.

Mõlemat filtrit saab kasutada samas süsteemis ja neid on võimalik kombineerida. Liikuva elemendiga filter on ruumisäästlik ja liikumatu elemendiga filtri puhul saab kasutada kinnitumiseefekti. Sõltuvalt kasvanduse suurusest, kasvatatavatest liikidest, kalade suurusest jne võib kasutada eri lahendusega biofiltrite süsteeme.

Joonis 2.11. Liikuva elemendiga (paremal) ja liikumatu elemendiga (all) biofiltrid





### Degaseerimine, aereerimine ja gaaside eraldamine

Enne vee kalabasseini tagasi juhtimist tuleb sellest kõrvaldada vette kogunenud gaasid. Degaseerimine toimub vee aereerimise teel, mida on sageli nimetatud ka eraldamiseks. Vesi sisaldab kalade hingamise tulemusena ja biofiltri bakterite kõrgeima kontsentratsiooni tõttu süsihappegaasi ja ka vaba lämmastikku ( $N_2$ ). Vette kogunenud süsihappegaas ja lämmastik



Joonis 2.12. Õhktõstukiga aereerimissüsteem.

Joonis 2.13. Nõrgfilter mässituna sinisesse kilesse, et vältida vee pritsimist põrandale (Billund Akvakultusservice, Taani). Nõrgfiltri elemendina kasutatakse sama tüüpi biofiltrielementi nagu seisva elemendiga biofiltris. Vt joonis 2.10.



võivad kahjustada kalade heaolu ja pidurdada kasvu. Anaeroobsetes tingimustes toodetakse vesiniksulfiidi, eriti soolase veega süsteemides. Vesiniksulfiid on isegi madala kontsentratsiooni korral kaladele äärmiselt mürgine.

Vett on võimalik aereerida, kui sinna pumbata õhku. Õhumullide ja vee segunemisel surutakse gaasid välja. Taoline veealune aereerimine võimaldab samal ajal ka vett teiselada, kui kasutada näiteks õhktõstukit.

Selline õhutusüsteem pole aga gaaside eemaldamiseks nii tõhus kui nõrgfilter. Läbi-voolusüsteemis eralduvad gaasid vee ja sambana asetseva plastist filtrielemendi füüsilisel kokkupuutel. Vesi juhitakse filtri ülemisest osast sisse läbi aukudega jaotusplaadi, kust see nõrgub alla läbi plastist filtrielemendi ning seguneb täielikult kokkupuutel, mis ongi nn



gaaside eraldamise protsess. Nõrgfiltrit nimetatakse sageli ka  $CO_2$ -eraldajaks.

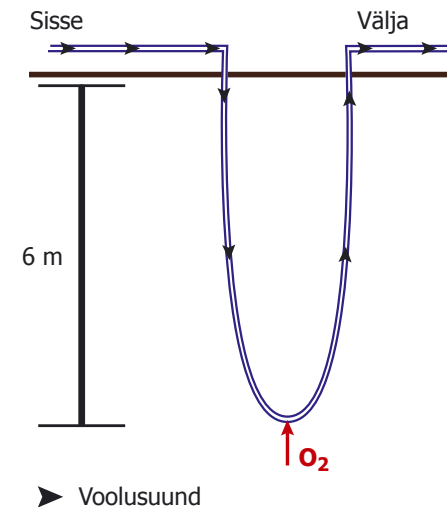
### Hapnikuga rikastamine

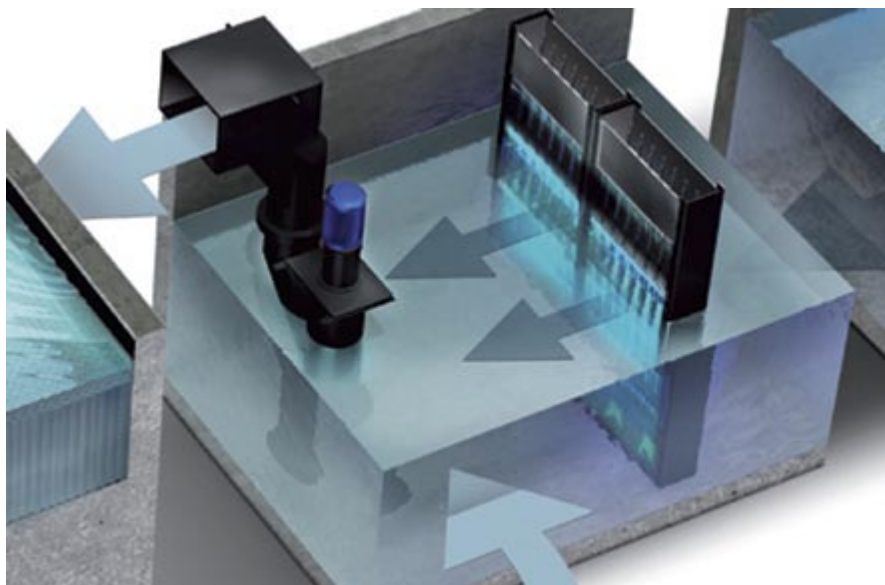
Sõltuvalt hapnikuküllastusest vees lisatakse õhutusprotsessi käigus vette hapnikku, et vahetuksid õhus ja vees olevad gaasid. 100% küllastuse juures on vee hapnikusisaldus tasakaalus. Kui vesi on läbinud kalabasseinid, on selle hapnikusisaldus väiksem. Küllastus on tavaliselt alla 70% ja biofiltris väheneb selle sisaldus veelgi. Vee õhustamine võib suurendada hapnikuküllastuse 90%ni, mõnes süsteemis ka 100%ni. Sageli eelistatakse sissevoolavas vees suuremat hapnikuküllastust kui 100%, et tagada piisav hapnikusisaldus kalade kiireks ja stabiilseks kasvuks. Kõrgema küllastustaseme saavutamiseks on vaja kasutada puhta hapnikuga rikastamise süsteemi.

Puhast hapnikku tarnitakse tavaliselt vedela hapniku mahutis. Kasvanduses on seda võimalik toota ka hapnikugeneraatoriga.

Hapnikuga üleküllastatud vee (hapnikuküllastus 200–300%) saamiseks on mitu viisi. Tavaliselt kasutatakse hapnikukoonuseid või sügavaid kaevusid. Tööpõhimõte on mõlemal sama. Vesi ja puhas hapnik segatakse rõhu all, mistõttu hapnik lahustub vees. Hapnikukoonustes on pumba tekitatud rõhk tavaliselt ligikaudu 1,4 bar. Et pumbata vett rõhu all hapnikukoonustesse, kulub palju elektrit. Sügavas kaevus saavutatakse rõhk toru kaevamisega näiteks 6 m sügavusele ja hapnikku lisatakse toru põhjast. Veesamba rõhk, praegusel juhul 0,6 bar, surub hapniku vette. Sügava šahti eelis on see, et pumpamisele kulub vähe energiat, kuid selle rajamine on raske ja hapnikukoonustest hulga kallim.

Joonis 2.14. Hapnikukoonus ja sügav šaht





Joonis 2.15. UV-töötlemise süsteem. Allikas: AKVA kontsern.

### Ultraviolettkiirgus

Ultraviolettkiirgusega desinfitseerimisel hävitab valguse lainepikkus bioloogiliste organismide DNA. Kalakasvatuses on eesmärk hävitada haigust tekitavad bakterid ja üherakulised organismid. Tehnoloogia on juba aastakümneid kasutusel meditsiinis ning kalu see ei kahjusta, sest UV-töötlust kasutatakse ka väljaspool kalakasvatuse valdkonda. Bakterid kasvavad orgaanilises aines väga kiiresti, nii et nende kontrollimine traditsiooniliste meetoditega ei ole kuigi tulemuslik. Parimad tulemused saavutatakse tõhusa mehaanilise filtri kombineerimisel biofiltriga, kus orgaaniline aine eemaldatakse töödeldavast veest, lastes UV-kiirgusel efektiivsemalt töötada.

„UV-kiirguse doosi saab mõõta mitme ühikuga. Laialdaselt kasutatakse mikrovattsekundit ruutsentimeetri kohta ( $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$ ). Mõju sõltub eelkõige hävitatava organismi suurusest ja liigist ning töödeldava vee läbi paistvusest. Et baktereid ja viirusi ohjeldada, on vaja vett töödelda  $2000\text{--}10\,000\ \mu\text{Ws}/\text{cm}^2$ , mis tapab 90% organismidest. Seentele on vaja  $10\,000\text{--}100\,000$  ja väikestele parasiitidele  $50\,000\text{--}200\,000\ \mu\text{Ws}/\text{cm}^2$ .”

Et UV-lambi mõju oleks maksimaalne, peab lamp asuma vees. Veepinna kohale asetatud lamp ei ole kuigi tõhus, sest veepind peegeldab valgust tagasi.



Joonis 2.16. pH reguleerimiseks kasutatav doseerimispump, mis viib NaOH süsteemi. Pump võib olla ühendatud pH-sensoriga, mis tagab täisautomaatse pH reguleerimise.

### pH reguleerimine

Biofiltris toimuv nitrifitseerimine toodab hapet ja vee pH väärtus võib väheneda. Selle püsivana hoidmiseks tuleb vette lisada alust. Mõnes süsteemis on installitud lubja segamise seade, mis lisab pH stabiliseerimiseks süsteemi tilkhaaval lubjavett. Teine võimalus on kasutada automaatset dosaatorit, mille pH-mõõdik annab tagasisideimpulsi doseerimispumbale. Sellises süsteemis on soovitatav kasutada naatriumhüdroksiidi (NaOH), sest selle käsitlemise lihtsus muudab süsteemi hooldamise hõlpsamaks. Hapete või alustega töötavad inimesed peavad olema ettevaatlikud, sest need võivad peavaldada silmi ja nahka raskelt põletada. Kemikaalide turvaliseks käsitsemiseks tuleb ettevaatusabinõuna kanda prille ja kindaid.

### Osoon

Osooni ( $\text{O}_3$ ) üledoseerimine võib põhjustada kaladele ränki kahjustusi, mistõttu kasutatakse seda tänapäeva kalakasvatuses harva. Hoones asuvas kalakasvatuses võib osoon olla kahjulik seal töötavatele inimestele, kes seda sisse hingavad. Siiski on osooniga vee töötlemine väga tõhus soovimatute organismide hävitamise viis, mis saavutatakse orgaanilise aine ja bioloogiliste organismide intensiivse oksüdatsiooniga. Osooniga töötlemist on soovitatav kasutada, kui korduva veekasutusega süsteemi lisatav värske vesi vajab desinfitseerimist. Mitmel juhul on UV-töötlemine siiski parem ja turvalisem alternatiiv.

### Soojusvahetus

Kõige tähtsam on tagada kasvukeskkonnas optimaalne veetemperatuur, sest sellel on otsene seos kala kasvukiirusega. Lihtsaim viis temperatuuri reguleerida on lisada uut vett. Soojustatud hoones asuvas suletud veekasutusega süsteemis soojeneb vesi aeglaselt, sest energia vabaneb soojusena kalade ainevahetuse ja bakterite elutegevuse tulemusena biofiltris. Samuti koguneb seal pumpade ja teiste seadmete tööst vabanev soojus, mille tõttu ongi intensiivselt töötava vee korduvkasutusega süsteemi probleemiks enamasti kõrge veetemperatuur. Temperatuuri reguleerimiseks on lihtsaim viis lisada süsteemi jahe- või värsket vett.

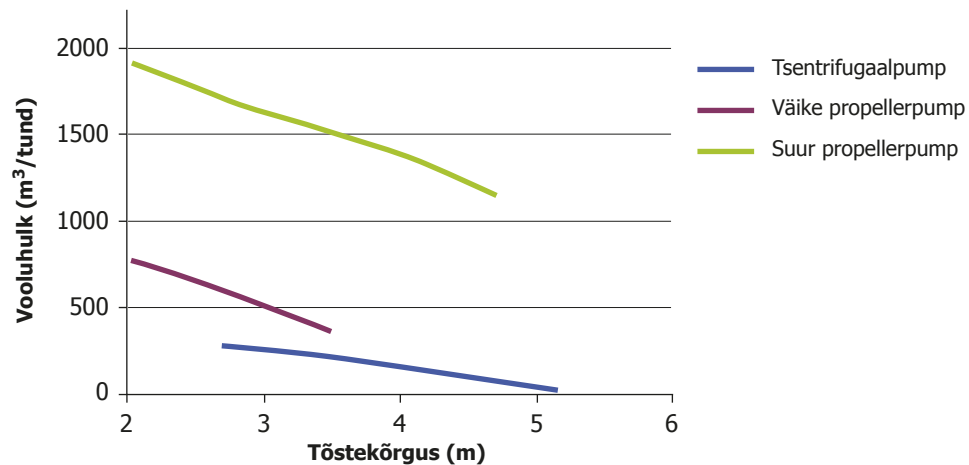
Talvel, külmemas kliimas piisab enamasti õliküttekatlast, mis soojendab korduvkasutatavat vett läbi soojusvaheti. Enamik kütteks kuluvast energiast kulub sissevõetava vee soojendamiseks, osa soojust kaotab ka hoone ise. Mõnel juhul võib paigaldada veel soojuse taaskasutuse süsteemi, mis sisaldab titaanist plaatsoojusvahetit. Vee korduvkasutusega süsteemist väljuvat vett kasutatakse sissevõetava vee soojendamiseks (või jahutamiseks), juhtides seda läbi plaatsoojusvaheti. Süsteemi juhib temperatuuri juhtseadmega ühendatud temperatuuriandur, mis reguleerib titaanist plaatsoojusvaheti tööd.

### Pumbad

Vee ringlemapanemiseks süsteemis kasutatakse eri tüüpi pumпасid. Pumpamine nõuab

elektrienergiat, mistõttu on jooksvate kulude võimalikult väikesena hoidmiseks tähtis madal tõstekõrgus, tootlikkus ja õige paigaldamine.

Vee ülespumpamine peaks toimuma vaid ühes kohas vee korduvkasutuse tsükli jooksul, pärast seda voolab vesi gravitatsioonijõu mõjul ise pumpadeni tagasi. Kõige sagedamini on pumbad paigutatud biofiltrisüsteemi ette, kust algab degaseerimine, st vee ettevalmistusprotsess. Igal juhul peavad pumbad asuma mehaanilise filtri järel, sest nii hoitakse ära kalabasseinidest tuleva kalasõnniku peenestamine. Pumpamise kogutõstekõrguse arvutamisel tuleb arvesse võtta tegelikku tõstekõrgust, torude voolutakistusest tingitud rõhukaotust, torustiku kuju ja teisi tegureid. Seda nimetatakse ka dünaamiliseks juhtimi-



Joonis 2.17. Eri tüüpi pumpade kasutamist kirjeldav näide. Suure survega pumпасid (tsentrifugaalpumbad) kasutatakse väiksema veehulga ja suure tõstekõrguse korral. Väikese survega pumпасid (propellerpumbad) kasutatakse suure veehulga ja väikese tõstekõrguse korral.

seks. Kui vesi pumbatakse enne langemist läbi biofiltri degaseerijasse, tuleb arvestada veel biofiltris olevat rõhku. Hüdromehaanika ja pumpade üksikasjad ei mahu aga käesolevasse käsiraamatusse.

Tänapäeval on enamiku süsteemide kogutõstekõrgus alla kahe meetri, mistõttu on väikese tõstekõrgusega pumpade kasutamine kõige ratsionaalsem. Seevastu puhta hapniku lisamise protsessis on vaja tsentrifugaalpumpasid, sest need suudavad tekitada koonustes kõrge rõhu.

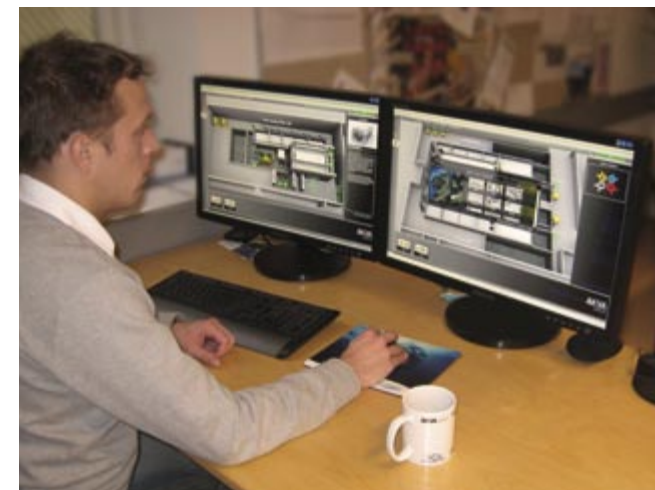
Mõnes süsteemis rakendatakse vee liigutamiseks ja aereerimiseks õhktõstukeid. Neis süsteemides on degaseerimine ja vee liigutamine liidetud üheks protsessiks, mis teeb võimalikuks väikese tõstekõrguse. Selline vee

edasiliigutamine ja degaseerimine ei pruugi olla kõige mõjusam, sest ka õhktõstuki energia ja degaseerimise efektiivsus on väiksem kui süsteemis, kus kasutatakse veetaseme tõstmiseks pumпасid ja gaaside eraldamiseks nõrgfiltrit.

### Jälgimine, kontroll ja häiresüsteemid

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

Paljudes moodsates kasvandustes seirab ja kontrollib hapnikutaset, temperatuuri, pH-d, veetaset ja pumpade tööd juhtimiskeskus.



Joonis 2.18. Hapnikuandur (Oxyguard) kalibreeritakse enne vettelaskmist õhu käes, et mõõta vee hapnikusaldust. Jälgimine võib olla arvutipõhine paljude mõõtepunktide ja häirekontrolliga.



Kui mõni parameeter väljub määratud piiridest, püüab sisse-/väljalülitusprotsess probleemi lahendada. Kui probleemi ei õnnestu lahendada automaatselt, käivitub alarm. Ka automaatne söötmine võib olla juhtimissüsteemi osa. See võimaldab ajastada söötmist kooskõlas hapniku doseerimisega, sest hapnikutarve kasvab söötmise ajal. Lihtsamates süsteemides ei ole seire ja kontroll 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 teavitab töötajaid suurematest rikestest. Soovitav on vähem kui 20-minutilise reageerimisaeg isegi siis, kui on paigaldatud varusüsteem.

### Rikkesüsteem

Kõige esimene ettevaatusabinõu on puhta hapniku varusüsteem. Seda on lihtne paigaldada ning see koosneb puhta hapniku paagist ja igasse basseini paigaldatud jaotussüsteemi difuuserist. Kui elektrivarustus katkeb, tõmbuvad magnetklapid tagasi ja rõhu all olev hapnik voolab igasse basseini, hoides kalad elus.

Elektrivarustuse tagamiseks on hädavajalik generaator. Veeringluse peatumise korral tõuseb süsteemis mürgise ammoniaagi tase – see on järgmine probleem, mis tuleb lahendada pärast seda, kui varusüsteem tagab hapniku kättesaadavuse. Veevool tuleb taastada tunni aja jooksul.

### Lisatav vesi

Vee korduvkasutusega süsteemi lisatav vesi peaks kas pärinema haigustekitajavabast allikast või olema enne süsteemi laskmist steriliseeritud. Enamikul juhtudel on parem võtta vett puurkaevust või kaevust kui kasutada vett, mis tuleb otse jõest, järvest või merest. Kui sissevoolavale veele on vaja paigaldada puhastussüsteem, siis tavaliselt koosneb see peenfiltriteerimiseks mõeldud liivafiltrist ja desinfitseerimiseks mõeldud ultraviolettkiirguse või osooniga töötlemise süsteemist.



Joonis 2.19. Hapnikupaak ja varuelektrogenaator

## 3. Kalaliigid vee korduvkasutusega süsteemis

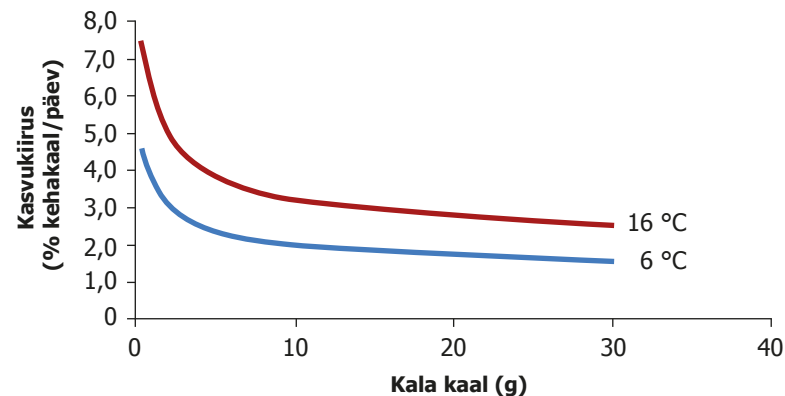
Vee korduvkasutusega süsteemi on kallid ehitada ja hooldada. Kasumi teenimiseks peab tootmine olema efektiivne. Väga oluline on valida tootmiseks õiged kalaliigid ja rajada hästi toimiv süsteem. Tootmise eesmärk on müüa kala kõrge hinnaga ja hoida samal ajal toote omahind võimalikult madalal.

Kalakasvatuses on üks tähtsamaid parameetreid veetemperatuur, sest kalad on kõigusoojased. Kalade kehatemperatuur ja ümbritseva vee temperatuur on ühesugused. Nad ei saa reguleerida oma kehatemperatuuri nii nagu sead, lehmad ja teised põllumajandusloomad, mistõttu on veetemperatuur kalakasvatuses väga tähtis. Kala ei kasva, kui vesi on külm. Kasv on parem soojemas vees. Eri kala-

liikidel on sõltuvalt veetemperatuurist erinev kasvukiirus ja erinev temperatuurioptimum. Kalakasvataja peab jälgima, et kalu kasvatataks neile sobivas temperatuurivahemikus, vastasel juhul kalad surevad.

Teine oluline aspekt on kasvanduses kasvatatava kala suurus. Sõltumata veetemperatuurist kasvavad väiksemad kalad kiiremini kui suuremad, see tähendab, et sama ajavahe miku jooksul võtavad väikesed kalad kaalus kiiremini juurde kui suured (joonis 3.1).

Väiksemad kalad omastavad ka sööta paremini kui suuremad (joonis 3.2). Kiirem kasv ja parem sööda omastamine mõjuvad küll soodsalt tootmiskuludele, alandades kala



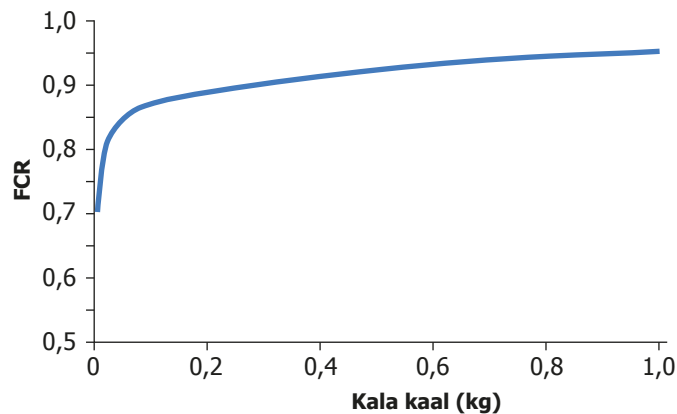
Joonis 3.1. Vikerforelli kasvukiirus 6- ja 16-kraadises vees

omahinda, kuid väikese kala kasvatamine on ainult üks etapp kogu kalakasvatuse tsüklist enne turustatava kalani jõudmist. Loomulikult on väikese kala pakkumise potentsiaal piiratud, kuna kasvandus ei saa toota ainult neid. Siiski tasuks vee korduvkasutusega süsteemi puhul kaaluda esmalt väikese kala kasvatamist. Kõigepealt võiks investeerida vastsete tootmisse, sest väikeste kalade kasvatamise tasuvusaeg on lühem.

Veetemperatuuri aasta läbi optimaalsel tasemel hoidmiseks kulutatud raha on seda väärt. Optimaalsetes kasvutingimustes kasvavad kalad kiiremini kui looduses. Lisaks temperatuurile on vee korduvkasutusega süsteemis olulised näitajad näiteks puhas vesi ja piisav hapnikusisaldus, mis avaldavad soodsat mõju kala tervisele ja ellujäävusele ning tagavad seega hea kvaliteediga toodangu.

Võrreldes põllumajandusloomadega on kala liike palju ja suur hulk neist on võetud tootmisse. Kalaturgu ei saa võrrelda sea-, lehma- ega kanaturuga, kus tarbijad ei otsi mitte kindlat tõugu, vaid valivad lihatüki suuruse järgi. Kalaliike on aga rohkesti ja tarbija on harjunud nende vahel valima – see muudab paljud liigid kasvatajate silmis huvitavaks kasvatusobjektiks. Viimase aastakümne jooksul on vesiviljelusse võetud mitusada veeorganismi liiki, mille n-ö kodustamise kiirus on sada korda suurem kui taimedel või maismaaloomadel.

Maailma kalakasvatuse toodang on mitmekesisem, kui see esialgu tundub. Karpkalalased on viie liigiga toodangu poolest maailmas esikohal, järgnevad lõhe ja forell. Ülejäänud liike on kümnekond. Kuigi kasvatatavaid liike on palju, saavutatakse maailma mastaabis tõe-



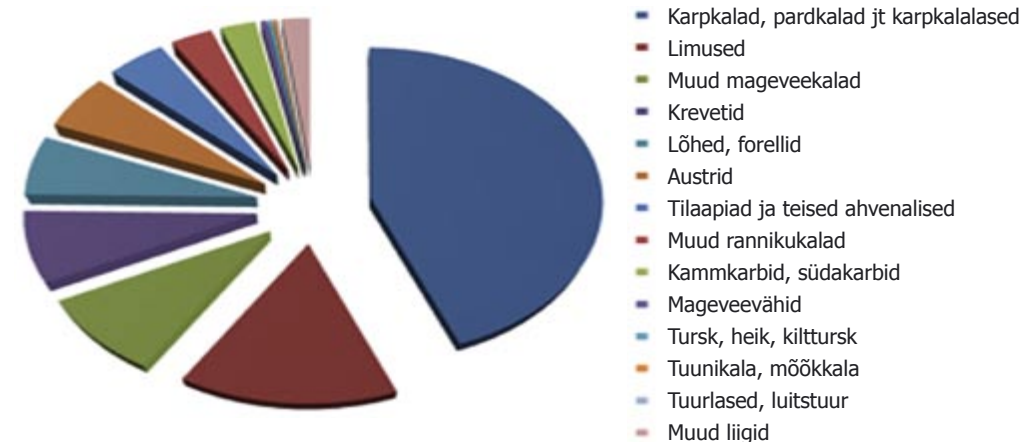
Joonis 3.2. Vikerforelli söödakoeffitsient (FCR) vee korduvkasutusega süsteemis, seotud kala kaaluga 15–18 °C juures.

line edu üksnes väheste liikidega, mis aga ei tähenda, et uute liikide kasvatamine oleks läibikumine. Tuleb mõista, et uute liikide tootmise maht maailmas on piiratud ja edu sõltub paljuski turu nõudlusest. Vääriskala tootmine väikeses mahus võib kõrge hinna tõttu olla väga tulus. Vääriskala turu on siiski küllaltki piiratud, sest hinnad võivad toodangu kasvades kiiresti alaneda. Esimesele ja ainukesele tootjale turul võib see olla kõigest hoolimata väga tulus. Teisest küljest on uue liigi kasvatamine nii tootmise kui ka arengu seisukohast ebakindel ettevõtmine.

Keeruline on soovitada, milliseid kalu tuleks vee korduvkasutusega süsteemis kasvatada. Kalakasvatuse edu sõltub mitmest tegurist, nagu ehituskulud, elektrikulud ja oskuslik tööjõud. Esmalt tuleks leida vastused kahele küsimusele: kas soovitatavat liiki saab vee korduvkasutusega

süsteemis kasvatada ning kas selle liigi jaoks on olemas piisav turg, kuhu toodangut plaanitud mahus ja tasuva hinnaga turustada.

Esimesele küsimusele on lihtsam vastata, sest bioloogiliselt on vee korduvkasutusega süsteemis võimalik kasvatada kõiki neid liike, mida kasvatatakse traditsioonilises kasvanduses. Vee korduvkasutusega süsteemis saab keskkonnatingimusi reguleerida kasvatatava kalaliigi järgi ning see ei ole takistuseks ka uute liikide puhul. Vee korduvkasutusega süsteemis kasvab kala sama hästi ja sageli isegi paremini kui traditsioonilises kasvanduses. Majanduslik efektiivsus sõltub aga turu olukorrast, rahastamisest, toote omahinnast ja kala kasvukiirusest. Väikese kasvukiirusega kalade, näiteks ekstreemselt külmaveeliste liikide kasvatamine aeglustab tulu saamist investimiskulude katmiseks.







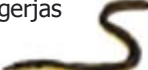






Joonis 3.3. Maailma kalakasvatuse toodang. Allikas: FAO.

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

Vee korduvkasutusega süsteemis soovitatakse kasvatada eelkõige vääriskalaliike, sest kõrge müügihind jätab ruumi suurematele tootmiskuludele. Hea näide on angerjas, mille kõrge müügihind lubab teha võrdlemisi suuri tootmiskulusid. Teisest küljest on üha suurem tendents kasvatada vee korduvkasutusega süsteemis vähem väärtuslikke kalu, nagu lõhe ja forell.

Taani näidiskalakasvanduse idee on hea näide, kuidas kasvatada vee korduvkasutusega süsteemis madala hinnaga portsjon-suuruses forelli. Tootmise tasuvuse eeldus on suur tootmismah. Konkurentsivõimeline tootmine algab 1000 tonnist. Võimalik, et edaspidi tuleb keskkonnakaitse põhjustel hakata ka lõhet kasvatama meresumpade asemel vee korduvkasutusega süsteemis. Tõenäoliselt hakatakse ka vähem väärtuslikke kalu, näiteks tilaapiat, üha enam kasvatama vee korduvkasutusega süsteemis, sest maa ja vee ressurss on piiratud. Teatavate kalaliikide sobivus kasvatamiseks vee korduvkasutusega süsteemis sõltub paljudest teguritest, milleks on teiste seas tasuvus, keskkonningimused ja bioloogiline sobivus (joonis 3.4).

Joonis 3.4. Vee korduvkasutusega süsteemis kasvatatavad kalaliigid kommentaaride ja praeguse olukorra kirjeldusega

Liik	Praegune seisund vee korduvkasutusega ehk suletud süsteemis	Turg
Atlandi lõhe 	Lihtne kasvatada. Noori kasvatatakse edukalt suletud süsteemis. Suure lõhe kasvatamine seal võiks olla tulevikus edukas	Maailmas on esikohal Norra
Vikerforell 	Lihtne kasvatada. Suletud süsteemis laialt kasvatatav liik alates maimudest kuni portsjonforellini	Tihe konkurents põhineb sageli kohaliku turu tingimustel
Koha 	Keeruline kasvatada. Vastse etapp on probleemne. Edasikasvatus lihtsam	Head hinnad. Looduslik varu väheneb, nõudlus kasvab
Tuurlased 	Lihtne kasvatada. Vajab oskusi vastsete kasvatamisel ja marjavõtmisel	Hea liha ja marja turg
Angerjas 	Kasvab suletud süsteemis edukalt. Paljundada ei ole võimalik. Vastsed on vaja püüda loodusest	Piiratud turg ja ebastabiilsed hinnad
Barramunda 	Vastsete kasvatamisel on vaja teadmisi. Edasikasvatamine on lihtne	Müüakse tavaliselt kohalikul turul hea hinnaga
Grouper 	Vastsete kasvatamisel on vaja teadmisi. Edasikasvatamine on lihtne	Müüakse tavaliselt kohalikul turul hea hinnaga
Huntahven ja kuldmerikoger 	Vastsete kasvatamisel on vaja teadmisi. Kasvab suletud süsteemis hästi	Keeruline turustada
Kammeljäs 	Vastsete kasvatamisel on vaja teadmisi. Kasvab suletud süsteemis hästi	Hea turuhind, aga sõltub turust
Merikeel 	Uus, arendamist vajav liik kalakasvatuses. Mitmesugused probleemid	Kõrge hind
Tursk 	Vastsete kasvatamine on suletud süsteemis edukas. Suuremate kalade edasikasvatus vajab arendamist	Hind on ebastabiilne ja sõltub looduslikust püügist

## 4. Projekti kavandamine ja teostus

Vee korduvkasutusega kalakasvanduse rajamist kavandades on igaühel oma arusaam, mis on oluline ja mis huvitav. Kiputakse keskenduma juba tuttavatele või kasvatajat rohkem huvitavatele aspektidele ning seetõttu jäävad projekti muud küljed tähelepanuta.

Enne projektiga alustamist tuleks tähelepanu pöörata neljale aspektile:

- planeeritava kala hind ja turg;
- koht ja tootmistehnoloogia;
- tööjõud, sh pühendunud juhataja;
- projekti rahastamine kuni käivitunud äritegevuseni.

Nagu eespool mainitud, on esmalt vaja selgeks teha, kas kasvatatavat kala on võimalik müüa vastuvõetava hinnaga ja piisavas koguses. Seetõttu on tähtis enne järgmisi samme teha põhjalik turu-uuring. Samuti tuleb enne tootmise alustamist välja selgitada tootmistehnoloogia eelistus ja sobiv asukoht. Ehitusloa, veekasutusloa jms taotlemiseks on vaja eelprojekti.

Kalakasvanduse igapäevase töökorralduse sujumiseks on äärmiselt tähtis palgata oskustöötajad. Veelgi tähtsam on leida juhataja, kes on täiel määral pühendunud tööle ja – nagu omanikudki – suunatud edule.

Sageli ei pöörata rahastamisele piisavalt tähelepanu. Nullist alustades on kulud suured ja investorid kipuvad unustama, et kala tootmine võtab aega. Ehitustegevuse algusest kuni esimese toodangu turustamiseni kulub enamasti üks kuni kaks aastat. Läbimõeldult koostatud eelarve on seega määrava tähtsusega.

Projektist täieliku ülevaate saamiseks tuleb koostada üksikasjalik äriplaani. Selle ja ka turu-uuringu koostamise juhend jääb käesolevast käsiraamatust välja ning nende teemade põhjalikumat käsitlust tuleb otsida mujalt. Siiski on alljärgnevalt esitatud äriplaani kavand ning eelarve ja finantskalkulatsioonide näited, et anda lugejale juhtnööre ja teadmisi uue kalakasvanduse rajamise probleemkohtadest.

Joonis 4.1. Projekti etapid ideest teostuseni



### 1. Lühikokkuvõte

- Eesmärk, ülesanne ja edu võti

### 2. Ettevõtte andmed

- Ettevõtte omanikud ja partnerid

### 3. Tooted

- Tooteanalüüs

### 4. Turuanalüüsi kokkuvõte

- Turu jagunemine
- Planeeritav sihtturg
- Turu vajadused
- Konkurents

### 5. Strategia ja teostuse kokkuvõte

- Konkurentsieelis
- Müügistrateegia
- Müügiprognoos

### 6. Juhtimistegevuse kokkuvõte

- Personali planeerimine ja ettevõtte töökorraldus

### 7. Finantsprognoos

- Olulised eeldused
- Tulude ja kulude analüüs
- Kasumi ja kahjumi prognoos
- Käive ja bilansileht

Joonis 4.2. Äriplaani peamised aspektid  
Allikas: muudetult, Palo Alto Software Ltd.

Hea sissejuhatus ettevõttega alustamisse ja äriplaani näited on toodud veebiaadressil

<http://www.eas.ee/et/alustavale-ettevotjale>.

Samuti on tähtis koostada kalatootmise üksikasjalik plaan ja arvestada seda juba eelarve koostamisel. Tootmisprotsessi lõpptulemuse edukuse või ebaedu aluseks on tootmisplaani. Seda tuleks järjepidevalt muuta ja täiendada, sest kalakasvatuse on ettearvamatu ning võib nii halvas kui ka heas mõttes erineda planeeritust. Tootmisplaani väljatöötamine on põhimõtteliselt igakuine kala kasvu kalkuleerimine. Arvutamiseks ja toodangu planeerimiseks on saadaval programme, mis põhinevad kalade päevase kasvukiiruse protsendi arvutamisel. Kasvukiirus sõltub kalaliigist, kala suurusest ja veetemperatuurist. Eri kalaliigid vajavad kasvamiseks eri temperatuuri, mis on tingitud nende looduslikust elupaigast. Arvestada tuleb, et väiksematel kaladel on kiirem kasvutempo kui suurematel.

Söödakulu ja -koefitsiendi arvutamine on üks osa kavandamisest. Üks tootmisplaani koostamise viise on kasutada kasvatatava kala

söötmissabelit, mida saab söödatootjatelt. Söötmissabelid arvestavad kalaliiki, suurust ja veetemperatuuri (vt joonis 4.3).

Söödanormi jagamine söödakoeffitsiendiga annab kalade kasvukiiruse. Järgmiste päevade kaalutõusu saab seega arvutada järgmiselt:

$$K_n = K_0(1 + r)^n$$

Valemis tähistab  $n$  päevade arvu,  $K$  on kala kaal 0-päeval ja  $K_n$  on kala kaal  $n$ -ndal päeval. 100-grammine kala, mis kasvab 1,2% päevas, kaalu 28 päeva pärast saab seega arvutada nii:

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

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

Kala suurus 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

Joonis 4.3. Näide soovitatavast söödanormist protsentides eri suurusega tuuradel sõltuvalt kaalust ja veetemperatuurist. Söötmine tuleks kohandada ja söödatüüp valida tootmisstrateegiast ja kasvatingimustest lähtuvalt. Soovitusi järgiv söötmine annab parima söödakoeffitsiendi, aidates säästa söodakulusid ja vähendades väljaheidete hulka. Kui tõsta söödanorm kõrgeimale võimalikule tasemele, suureneb söödakoeffitsient kasvu arvelt. Allikas: BioMar.

Seda valemit saab kasutada kalavarude kasvu arvutamiseks ükskõik kui suurte kalade või suure kalavaru 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. Soovitatav on arvutada kuuajase intervalliga ja sõltuvalt kogemustest arvestada 1% suremusega kuus. Ühte kuud ei peaks arvestama kui 30 päeva, sest tavaliselt jääb selle sisse ka päevi, mil tehakse hooldustöid ja kalu ei söödeta. Sellepärast on ka eelnevas näites arvestatud 28 päevaga.

Kokkuvõtteks vajab äriplaan järgmisi eelarveid:

- investeeringueelarve (kogukulud),
- tegevuskulude eelarve (stardikapital),

- sularaha (käibevahendite) eelarve (käivitatud ja toimiv äritegevus).

Põhjalikku eelarvet tehes on soovitatav pidada nõu professionaalse raamatupidajaga. Hästi dokumenteeritud eelarvet on vaja ka investorite veenmiseks, pangalaenu taotlemiseks ja toetusprogrammides osalemiseks. Uute ELi riikide puhul on toetusprogramme, mis katavad kuni 70% vajalikust investeeringust.

Investeeringueelarve sõltub suurel määral tootmishoone ehitusest, mis omakorda sõltub asukohamaast ja sealtsetest ehitustingimustest. Joonisel 4.4 on esitatud investeeringueelarve hinnanguline näidis protsentides. Sinna hulka ei ole arvatud maa ostu.

Ehitusmaksumus ei sõltu mitte ainult kohalike ehitushindadest, vaid ka kalaliikidest ja kasvanduse suurusest. Kui arvestada kokku kõik investeerimiskulud ja käibevahendid, mis kuluvad marja inkubeerimisest kaubakala kasvatamiseni, saadakse 100-tonnise tootmismahu juures investeerimiskulude kogusummaks tavaliselt 10 €/kg. Odavamate kasvatussüsteemide puhul, kus toimub ainult kalade järelkasvatus välistingimustes, moodustavad kogukulud 1000-tonnise tootmismahu juures kõigest 2,5 €/kg. Lääne-Euroopa riikide näitel maksab välistingimustes vee korduvkasutusega kasvanduse rajamine 1000-tonnise aastase tootmismahu juures ligikaudu 3 miljonit eurot (aastal 2009). Kogukulude eelarve maht sõltub suurel määral kalade kasvatusstrateegiast (kas kasvatatav kala läbib kasvanduses kõik etapid alates marja

Investeeringu eelarve (kapitalikulud)	100%
Ehitamine	36%
Varustus	26%
Veerajatise betoonitööd	12%
Kalabasseinid	12%
Torustik	3%
Paigaldamine	2%
Transport	2%
Soojustus- ja jahutussüsteem	2%
Söötmiss- ja valgustussüsteem	2%
Elektritööd	1%
Mööteriistad	1%
Liikumisteed	1%

Joonis 4.4. Vee korduvkasutusega süsteemi investeeringueelarve näidis

hautamisest kuni kaubakalani või osa neist) ning sellest, kas kasvandus paikneb sise- või välistingimustes. Konkreetset otsused sõltuvad kliimatingimustest, kalaliikidest ja bioloogilistest iseärasustest. Mida paremal tasemel on vee korduvkasutusega süsteem, seda tõenäolisemalt asub see sisetingsimustes.

Vee korduvkasutuse süsteemiga tootmishoone suurus sõltub kalaliigist ja tootmismahust. Üldiselt peaks arvestama 1000 ruutmeetrit 100 tonni kala kohta (pelaagilised liigid). Mida suurem on tootmismahut, seda väiksemat pinda läheb vaja 100 tonni kala kasvatamiseks.



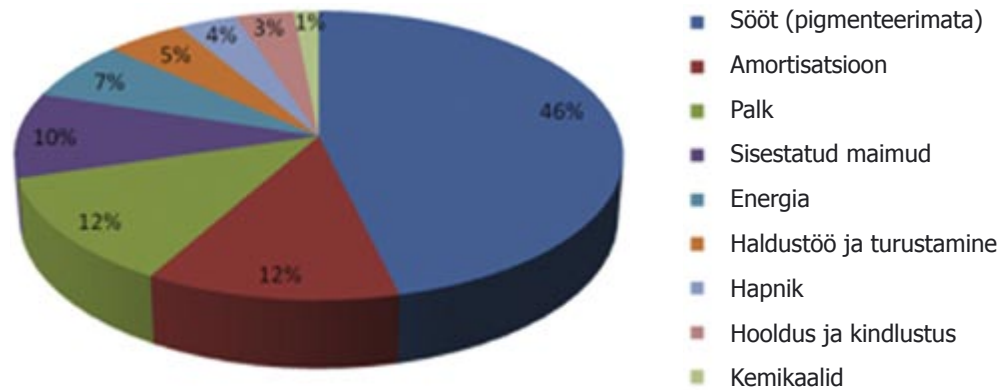
Jooniselt 4.5 on näha, et elektri tarbimine moodustab kogukuludest ainult 7%. Elektri-kasutus on muidugi suur, kuid kindlasti mitte peamine kulu, ehkki traditsioonilises kasvan-duses moodustab elektrikulu üsna mahuka osa kogukuludest seepärast, et seadmed, näi-teks pumbad ja hapnikukoonused, kasutavad palju energiat.

Peamine kulu on sööt, mis tähendab, et pea-mine tegur on õige majandamine. Tootmise tõhusust mõjutab tunduvalt söödakoeffitsiendi parandamine.

Mida mahukam on tootmine, seda väiksemad on kulud ühe tootmisühiku kohta. See reegel kehtib ka kalakasvatustes täpselt samamoodi

nagu teistes toiduainetetööstuse sektorites. Kui toodangu maht on üle 2000 tonni aas-tas, ei teki siiski otsest kulude kokkuhoidu. Tootmismahu kasvatamine paarisajalt ton-nilt tuhande tonnini aastas vähendab kulusid märkimisväärselt. Tootmise laiendamise ots-tarbekus sõltub suuresti kasvatatavast liigist ning viis, kuidas seda teha, tuleks hoolikalt läbi mõelda. Arukas planeerimine aitab säästa nii tööjõudu kui ka raha.

Lisas on toodud tabel bioloogiliste ja tehni-liste küsimustega, millele tuleks enne vee kor-duvkasutusega süsteemi rajamist vastused otsida. Nimekirjas olevad küsimused aitavad leida võimalikud probleemid juba enne pro-jekti käivitumist.



Joonis 4.5. Näide kulude jaotumise kohta suures portsjonforellikasvanduses (2000 tonni aastas), kus maimudest kasvatatakse 300–500-grammised portsjonsuuruses forellid. Kogutoodangu kulu 1 kg eluskala kohta on alla 2 €. Sisetingimustes moodustavad vee korduvkasutuse süsteemiga kasvanduse investeerimiskulud umbes 4 €/kg (kogukulud 8 miljonit eurot).

## 5. Vee korduvkasutusega süsteemi töökorras hoidmine

Üleminek traditsiooniliselt kalakasvatusest vee korduvkasutusega süsteemile muudab tunduvalt kalakasvatuse igapäevaseid ülesandeid ja eeldab uusi oskusi. Kalakasvataja peab nüüd tegelema nii kala kui ka veega ning vee kvaliteetsena hoidmine muutub vähemalt sama tähtsaks kui kalade eest hoolitsemine. Vee korduvkasutusega süsteemis tuleb hoida pidevalt töökorras ööpäev läbi töötavaid seadmeid. Jälgimisseadmed annavad kalakasvatajale jooksvalt teavet süsteemi seisukorra kohta ja automaatne signalisatsioon teavitab kohe häireolukorrast.

Igapäevased rutiinsed tegevused ja tööprotseduurid on kirjas allpool. Osa vajalikke tegevusi ilmneb alles praktika käigus, kuid üldine tegevuskava peaks olema selline, nagu allpool kirjeldatud. Tuleks koostada nimekiri nii igapäevastest tegevustest kui ka harvemini vajalikest töödest.



Joonis 5.1. Veekvaliteeti ja veevoolu filtrites ja basseinides tuleb sageli jälgida. Pildil on nõrgifilter.

Iga päev või kord nädalas tuleb

- jälgida kalade käitumist;
- jälgida veekvaliteeti (läbipaistvus/hägusus);
- kontrollida hüdrodünaamikat (veevoolu) basseinides;
- kontrollida söödajaotureid;
- eemaldada surnud kalad ja registreerida nende arv;
- loputada läbi basseinide väljalasketorud;
- hoida hapnikusondid puhtana;
- registreerida tegelik hapnikusisaldus basseinides;
- kontrollida veetaset pumbakaevudes;
- kontrollida mehaaniliste filtrite pihustusotsikuid;
- registreerida temperatuur;
- testida ammoniaagi, nitritite ja nitraadi sisaldust ning pH-taset;
- registreerida süsteemi lisatud värske vee maht;
- kontrollida rõhku hapnikukoonustes;
- kontrollida NaOH lisamist või lupjamist pH reguleerimiseks;
- kontrollida UV-lampide töökorras olekut;
- registreerida elektrikulu (kWh);
- lugeda teateid, mille on teadetetahvlile jätnud teised töötajad;
- kasvandusest lahkudes lülitada sisse häiresüsteem.

Igal nädalal või kord kuus tuleb

- puhastada biofiltrid vastavalt juhendile;
- kuivatada kompressori kondensvesi;
- kontrollida puhverpaagi veetaset;
- kontrollida hapniku hulka hapnikupaagis;
- kalibreerida pH-mõõdikut;
- kalibreerida sötjaid;
- kalibreerida hapnikusonde basseinides ja süsteemis;
- kontrollida ja katsetada häiresüsteeme;
- kontrollida, kas hapnikualarm töötab igas basseinis;
- kontrollida kõikide pumpade ja mootorite töökindlust;
- kontrollida ja katsetada generaatoreid;
- kontrollida, kas nõrgfiltrite ventilaatorid töötavad;
- õlitada hõõrdepindu ja mehaaniliste filtrite laagreid;
- otsida süsteemist üles seisva veega tsoonid ning võtta tarvitusele ettevaatusabinõud;
- kontrollida, ega filtrikambrite põhjas ei ole muda.



Joonis 5.2. Hapnikugeneraatori peab paigaldama ja seda peab jälgima spetsialist

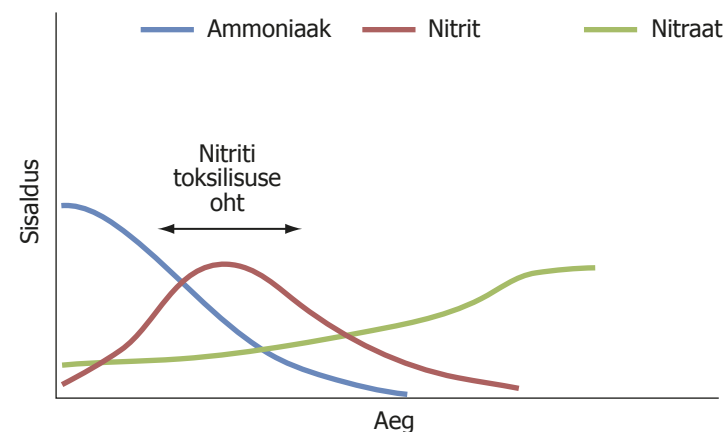
Kuue kuni kaheteistkümne kuu tagant tuleb

- puhastada UV-sterilisaator (vt kasutusjuhendit), vahetada igal aastal lampe;
- vahetada kompressori õli, õlifiltrid ja õhufilter;
- kontrollida jaheda reservvee mahuti puhustust seestpoolt;
- vajaduse korral pesta biofilter läbi;
- uuendada elektrolüüdid, tsink ja hapnikusondide membraan;
- loputada trummelfiltri düüsid.

Kaladele ideaalse kasvukeskkonna loomiseks tuleb vee korduvkasutusega süsteemi pidevalt vajadust mööda jälgida ja häälestada. Iga parameetri jaoks on kaladele bioloogiliselt vastuvõetavad piirid. Tootmistsükli jooksul tuleb kasvanduse iga sektsioon eraldi sulgeda ja taaskäivitada enne uute kaladega asustamist. Need muudatused mõjutavad süsteemi

kui tervikut, mille suhtes on eriti tundlik biofilter. Joonisel 5.3 on näha äsja tööd alustanud biofiltri lämmastikuühendite muutused. Kõikumisi esineb ka paljude teiste parameetrite puhul, neist põhilisemad on näidatud joonisel 5.4. Teatud olukorras võivad parameetrite näidud tõusta tasemeni, mis kaladele ei sobi või on nende jaoks isegi toksilised. Siiski ei ole võimalik anda nende tasemete kohta täpseid andmeid, sest toksilisus oleneb paljudest teguritest, nt kala liigist, temperatuurist ja pH-st. Toksilisus mõjutab kala kohanemist süsteemi keskkonnatingimustega.

Toksiliste nitritite kontsentratsiooni suurenemise saab peatada süsteemile soola lisamisega (vt peatükk 2). Joonisel 5.4 on toodud vee korduvkasutusega süsteemi veekvaliteedi füüsikaliste ja keemiliste parameetrite soovituslikud vahemikud.



Joonis 5.3. Lämmastikuühendite sisalduse kõikumised biofiltri käivitamisel



Joonis 5.4. Füüsiliste ja keemiliste veekvaliteedi parameetrite soovituslikud vahemikud vee korduvkasutusega süsteemis

Parameeter	Valem	Ühik	Normaalne	Ebasoodne tase
Temperatuur		°C	Sõltub liigist	
Hapnik	O <sub>2</sub>	%	70–100	< 40 ja > 250
Lämmastik	N <sub>2</sub>	% küllastusest	80–100	> 101
Süsinikdioksiid	CO <sub>2</sub>	mg/l	10–15	> 15
Ammoonium	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/l	0–2,5 (pH mõju)	> 2,5
Ammoniaak	NH <sub>3</sub>	mg/l	< 0,01 (pH mõju)	> 0,025
Nitrit	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/l	0–0,5	> 0,5
Nitraat	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	100–200	> 300
pH			6,5–7,5	< 6,2 ja > 8,0
Aluselisus		mmol/l	1–5	< 1
Fosfor	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	mg/l	1–20	
Hõljuained	SS	mg/l	25	> 100
Keemiline hapnikutarve	KHT	mg/l	25–100	
Bioloogiline hapnikutarve	BHT	mg/l	5–20	> 20
Huumus			98–100	
Kaltsium	Ca <sup>++</sup>	mg/l	5–50	

## 6. Reovee käitlemine

Kala kasvatamisel vee korduvkasutusega süsteemis, kus vesi on pidevas taaskasutuses, ei kao kalade tekitatavad jäätmed iseenesest. Mustus ja kalade väljaheidet tuleb kuidagi eemaldada. Bioloogilised protsessid, nagu bioloogiline lagunemine või mineralisatsioon, vähendavad teataval määral orgaaniliste ühendite hulka. Sellest hoolimata tekib kalakasvanduses märkimisväärne kogus orgaanilist muda, mida tuleb käidelda.

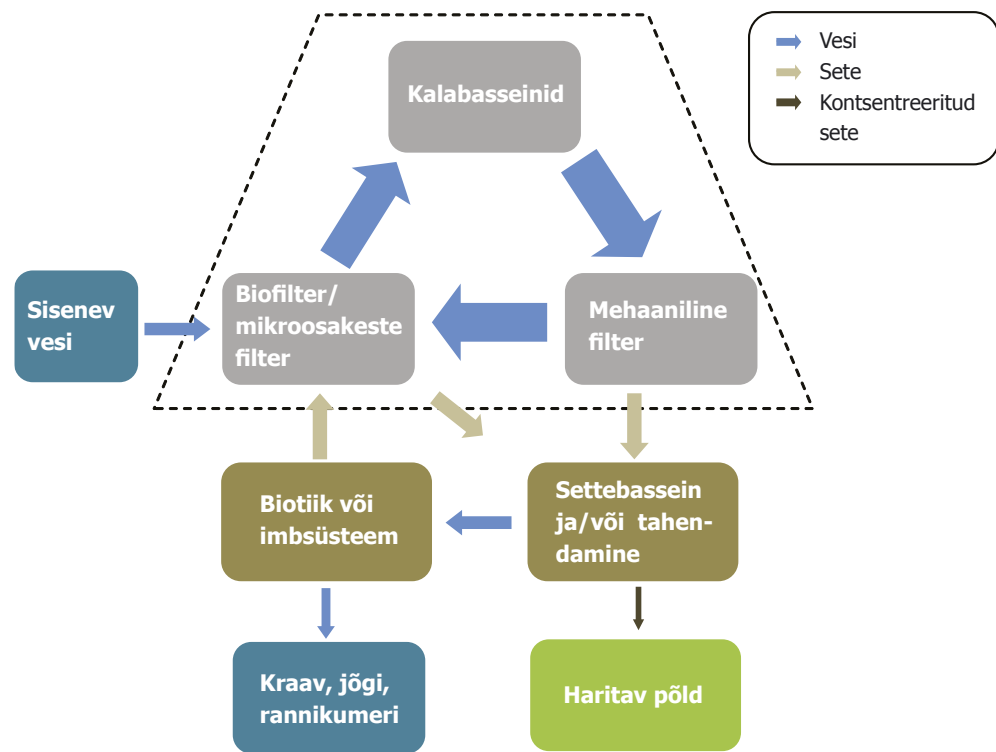
Vee korduvkasutusega süsteemis tekkinud jäätmed eraldatakse mehaaniliste filtrite abil, kus sõnnik ja muud tahked orgaanilised jäätmed kogutakse setteeraldusfiltrisse. Biofiltrite puhastamine ja loputamine suurendab samuti väljavoolava vee hulka.

Vee korduvkasutusega süsteemis saab jäätmeid käidelda mitmel viisil. Üsna sageli kasutatakse teise veepuhastussüsteemina mehaanilist filtrit, et koondada reovee setet. Fraktsioon juhitakse seadmisele või edasi mehaanilisele veetustamisele enne, kui see laotatakse põllule või kasutatakse väetisena. Mehaaniline veetustamine teeb muda käitlemise lihtsamaks ja vähendab muda mahtu, mistõttu selle edasine kõrvaldamine muutub odavamaks. Mehaanilise veetustamise investeerimis- ja tööshoidmise kulud on aga suured.

Pärast teist puhastamist sisaldab puhastatud heitvesi tavaliselt kõrgema kontsentratsiooniga

lämmastikku ja fosforit. Niinimetatud üle- või tagasivoolavat vett võib lasta näiteks ümbruskonda või jõkke või juhtida tagasi korduvkasutussüsteemi. Toitaineid võib ülevoovast veest eemaldada vee juhtimisega bioloogilise taimejuurtele või imbsüsteemi, kus imenduvad fosfori- ja lämmastikuühendid. Ülevoolava vee lämmastikusisaldust võib vähendada ka denitrifikatsiooniga. Nagu teises peatükis kirjeldatud, on metanool anaeroobsetes protsessides kõige tavalisem süsinikuallikas. Denitrifikatsiooni tarvitatakse vee korduvkasutusega süsteemis selleks, et vähendada süsteemis nitraatide kogust ja värske vee vajadust. Denitrifikatsiooni kasutamise eesmärk väljaspool süsteemi on vähendada lämmastiku sattumist keskkonda. Metanooli alternatiivina võib süsinikuallikana kasutada näiteks mehaanilises filtris kogutud sõnnikut. Sõnniku kasutamine denitrifikatsioonikambri kasutamisele võib viia lämmastikusisalduse väljavoolus miinimumini.

Võrreldes näiteks sigade ja lehmadega väljutavad kalad jääkaineid teisiti. Lämmastik eritatakse lõpuste kaudu, väiksem osa eritub väljaheidena pärakust. Fosfor väljutatakse ainult sõnnikuga. Seetõttu on peamine osa lämmastikust täielikult vees lahustunud ning seda ei saa mehaanilise filtriga eemaldada. Mehaaniline filter püüab kinni väikse osa lämmastikust ja suure osa fosforist. Ülejäänud



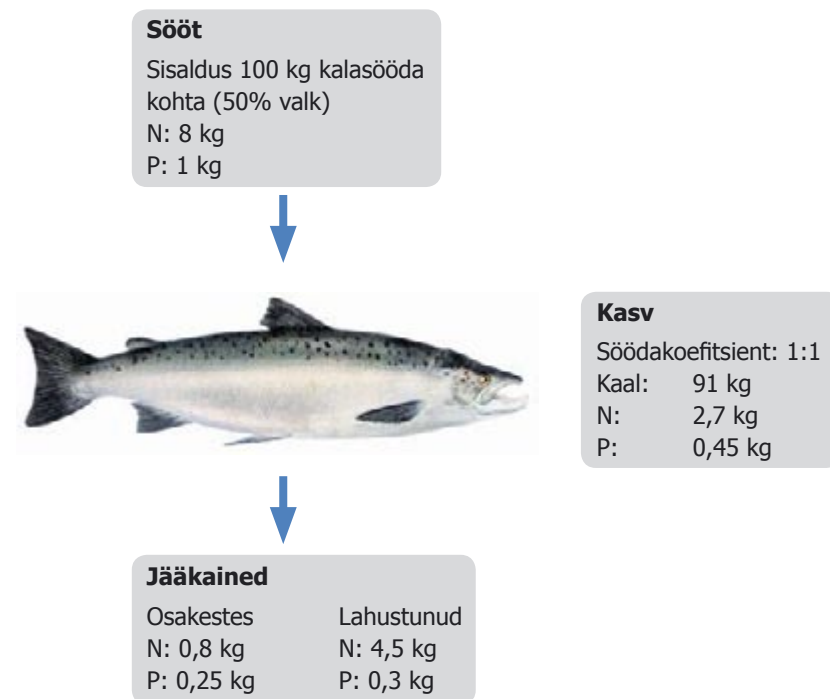
Joonis 6.1. Setete liikumine vee korduvkasutusega süsteemi sees ja sellest väljas. Mida tõhusam on vee korduvkasutusega süsteem, seda vähem vett lastakse süsteemist välja ja seda väiksem kogus heitvett tuleb käidelda.



Joonis 6.2. Hydrotechi lintfilter muda veetustamiseks. Allikas: Hydrotech.



Joonis 6.3. Taimelaguun Taani forellikasvatuses enne ja pärast kinnikasvamist. Allikas: Per Bovbjerg, DTU Aqua.



Joonis 6.4. Kasvatatud kalade eritatud lämmastiku (N) ja fosfori (P) kogused. Pöörake tähelepanu lämmastiku kogusele lahustunud kujul. Allikas: Taani Keskkonnakaitse Agentuur.

vees lahustunud lämmastik muudetakse biofiltris põhiliselt nitraadiks. Sellisel kujul on lämmastik taimedele kergesti omastatav ning seda saab põllumajanduses väetisena kasutada või seotakse see biolodus taimejuurtes.

Oluline on kalasõnnik suunata basseinidest otse mehaanilisse filtrisse, ilma et see vahepeal laguneks. Mida tervemad ja tahkemaad on väljaheited, seda suurem on eemaldatud tahkete ja muude ühendite kogus. Joonis 6.5 näitab eeldatavat lämmastiku, fosfori ja hõl-

juvaine koguse eemaldamist 50-mikronilise mehaanilise filtriga. Mida paremal tasemel on vee korduvkasutusega süsteem, seda vähem uut vett kasutatakse ja seda vähem on vaja vett käidelda. Üha vähem juhitakse vett tagasi otse ümbritsevasse keskkonda, nt lähedal asuvatesse jõgedesse. Pärast esimest reoveepuhastuse etappi jääb alles väike kogus vett, mille võib lasta valguda lähedal asuvasse pinnasesse. Igal juhul võib vooluhulk olla palju väiksem kui traditsioonilises kalakasvatuse süsteemis (vt joonis 6.6).

Joonis 6.5. Lämmastiku, fosfori ja tahkete osakeste eemaldamine mehaanilise filtriga. Allikas: kalanduse uurimisjaam Baden-Württembergis Saksamaal.

Parameeter	Kiirvoolukanal			Isepuhastuv bassein		
	40 µ	60 µ	90 µ	40 µ	60 µ	90 µ
	Efektiivsus %					
Kogu fosfor	50–75	40–70	35–65	65–84	50–80	45–75
Kogu lämmastik	20–25	15–25	10–20	25–32	20–27	15–22
Tahked osakesed	50–80	45–75	35–70	60–91	55–85	50–80

Joonis 6.6. Saastekoormus traditsioonilises läbivoolusüsteemis, vee osalise korduvkasutusega süsteemis ja vee täieliku korduvkasutusega süsteemis. Allikas: Danish Aquaculture.

Kasvandussüsteemi heide 1000 tonni toodangu kohta aastas	Lämmastikueraldus kg/a	Veetarve m <sup>3</sup> päevas
Traditsiooniline läbivoolusüsteem	38 000	250 000
Vee osaline korduvkasutus	2000	10 000
Vee täielik korduvkasutus	250	1500

Vee korduvkasutusega süsteem on tõhus viis vähendada kalakasvatuse mõju ümbritsevale keskkonnale, aga efektiivne reovee käitlemine vajab ka sagedast ja igapäevast hoold. Intensiivse kalakasvatuse (kas korduvkasutusel põhineva või traditsioonilise) kombineerimine ekstensiivse kasvatuses, näiteks karpkalakasvatusega, hõlbustab bioloogiliste jäätmete käitlemist. Intensiivsest süsteemist pärit üleliigne vesi juhitakse suurtesse karpkalatiikidesse, kus vees sisalduvad toitained kasutatakse ära väetisena. Intensiivkasvatusest 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. Intensiivse süsteemi tõhusad ja keskkonda säästvad kasvatustingimused on saadud selle kombineerimisel ekstensiivse kalakasvatusega. Uuenduslikul ettevõtjal on mitu võimalust sellist korduvkasutussüsteemi vesiviljeluses rakendada. Näiteks eri kasvatussüsteeme kombineerides saab arendada ka turismiäri, kus sportlik karpkala püük või ettekasvatatud forelli õngitsemine tigest võib olla osa suuremast turismiattraksioonist koos hotellide, kalarestoranide ja muude võimalustega.



Joonis 6.7. Kombineeritud intensiivse ja ekstensiivse kalakasvatuse süsteem Ungaris. Võimalusi on palju. Allikas: Lazlo Varadi, kalanduse, vesiviljeluse ja niisutuse uurimisinstituut (HAKI), Szarvas, Ungari.

## 7. Haigused

On hulk vee korduvkasutuse süsteemiga kalakasvandusi, kus ei esine kunagi haiguspuhangutega probleeme. Praktikaks on võimalik hoida vee korduvkasutusega süsteem soovimatutest haigustekitajatest täiesti vaba. Kõige tähtsam on selle juures jälgida ja olla kindel, et kasvandusse toodav mari ja kalad on haigusvabad, st pärinevad sertifitseeritud karjast. Enne süsteemi veega täitmist tuleb veenduda, et sissetulevas vees ei oleks patogeene, vastasel juhul tuleb see enne steriliseerida. Parim soovitus on võtta vett tava- või puurkaevust, mitte looduslikust veekogust, nagu jõgi, järv või meri. Samuti peab olema kindel, et ükski kasvandusse siseneja, ei küllaline ega töötaja, ei tooks endaga juhuslikult kaasa kaladele ohtlikke haigustekitajaid.



Joonis 7.1. Jalanõude desinfitseerimiseks mõeldud 2% joodilahusega vann

Tuleks luua võimalus kogu kalakasvandust hoolikalt desinfitseerida. See peab hõlmama ka uusi, alles kasutusele võetavaid hooneid, kuid eelkõige kaladest tühjendatud ja uueks tootmistsükliks ettevalmistatavaid rajatisi. Seejuures tuleb meeles pidada, et haigus, mis on vee korduvkasutusega süsteemi ühes basseinis, levib kindlasti ka teistesse basseinidesse, mistõttu pole liiast ükski ennetusmeede, mis hoiab kasvanduse haigusvabana.

Kui taastootmise eesmärgil inkubeeritakse vee korduvkasutusega süsteemis loodusest püütud kalade marja, ei saa sellest kasvatatud järglaste nakkusohutuses kindel olla. Alati jääb risk, et mari on saastunud selle pinnal või sees elavate viiruste või bakteritega, mida desinfitseerimisvahendid ei hävita. Tuntumad sellisel viisil levivad ohtlikud haigused on nakkuslik pankrease nekroos (IPN, ingl *infectious pancreas necrosis*) ja bakteriaalne neeruhaigus (BKD, ingl *bacterial kidney disease*) ning võimalik, et ka mõni herpesviirus. Haiguste ennetamise lühikava on toodud tabelis 7.2.

Kogu vee korduvkasutusega süsteemi saastumist aitab kõige paremini vältida töötappide füüsiline eraldamine üksteisest. Haudemaja ning maimu- ja kaubakalaüksused peaksid seetõttu kõik töötama isoleeritud süsteemidena. Samuti peab eraldi asuma sugukari. Eraldi tehnoloogilistest süsteemidest on haigusi ka tegelikult võimalik eemal hoida.

Mõni kalakasvandus on rajatud põhimõttel „kõik sisse, kõik välja“. See tähendab, et kõik haudekastid, basseinid ja kiirvoolukanalid tühjendatakse täielikult, puhastatakse ja desinfitseeritakse enne igat uue marja või kalade toomist olenemata sellest, kui kaua enne seda süsteemis marja hoiti või kalu peeti.

Kalahaiguste ravimine vee korduvkasutusega süsteemis erineb tõrjemeetmetest, mida kasutatakse traditsioonilistes, pideva veevahetusega kalakasvandustes. Vee korduvkasutusega süsteemis puhastavad pidevalt ringlevat vett biofiltrid, mis nõuavadki teistsugust lähenemist.

Tuleb teada, et ravimite vette lisamine mõjutab peale kalade kogu süsteemi, sealhulgas biofiltri aktiivsust. Eelkõige seetõttu tuleb ravimite kasutamisel olla väga ettevaatlik. Täpseid juhtnõore 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 ainult väga ettevaatlikult, et vältida kalade hukku või biofiltri häireid. Tegutseda tuleb põhimõttel „parem karta kui kahetseda“. Haiguspuhangu korral peab sobiva ravimi retsepti koos kasutusjuhendi

Joonis 7.2. Haiguste tõkestamise juhendi näide

Olulised aspektid	Kuidas seda teha?
Puhas keskkond	Eelista põhjavett. Desinfitseeri UV-kiirgusega. Vajaduse korral kasuta liivafiltreid ja osooni
Süsteemi desinfitseerimine	Täida süsteem veega ja sõltuvalt puhverduisvõimest tõsta pH tasemele 11–12, kasutades seebikivi (NaOH) umbes 1 kg/m <sup>3</sup> kohta
Seadmete ja pindade desinfitseerimine	Kasta sisse või pihusta pinnale 1,5% joodilahust lähtuvalt juhendist. Jäta 20 minutiks seisma, seejärel loputa puhta veega
Marja desinfitseerimine	Jäta mari 10 minutiks lahusesse (3 dl joodi 50 l vees). Vaheta lahust pärast iga 50 kg marja desinfitseerimist
Personal	Vaheta rõivad ja jalatsid enne kalakasvandusse sisenemist. Pese ja desinfitseeri käed
Külastajad	Kanna vahetusjalatseid või astu jalanõudega korraks vanni, milles on 2% joodilahus. Pese ja desinfitseeri käed. Siseruumides ja territooriumil järgi silte „Palun mitte puutuda!“



ja soovustega andma kohalik veterinaar või ihtüopatoloog. Enne preparaadi kasutamist tuleks hoolikalt tutvuda ohutusnõuetega, sest paljud kaladele mõeldud ravimid võivad vale kasutamise korral põhjustada nendega töötaval inimestel tõsiseid tervisekahjustusi.

Ektoparasiitide (kala kehapinnal ja lõpustel elavad välisparasiidid) tõrje vahend lisatakse vette. Sama moodi toimitakse ka seennakkuste korral. Magedaveelistes süsteemides on enamiku välisparasiitide tõrjes ja bakteriaalse lõpusehaiguse puhul osutunud mõjuks tavalise soola (NaCl) lahus. Kui sellest ei ole abi, võib kasutada formaliini (HCHO) või vesinikperoksiidi (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Kalade vannitamine prasikvanteeli ja flubendasooli lahuses on andnud ektoparasiitide tõrjes samuti väga

häid tulemusi. Vee mehaaniline filtreerimine 70-mikronilise filterkanga abil aitab eemaldada süsteemist teatavas arengustaadiumis gürodaktülusi ja 40-mikroniline filter parasiidimune.

Kui kalu on vähe, on lihtsaim parasiitidest vabanemise viis vannitada kalu lühikest aega preparaadilahuses. Kui selliselt on vaja töödelda suurt hulka kalu, tehakse seda kalabasseinis. Selleks tuleb ravimise ajaks katkestada vee juurdevool ja vett difuursorite abil aereerida. Basseinivette lisatakse kemikaalilahust ja kaladel lastakse selles vees soovitava ekspositsiooniaja ujuda. Seejärel avatakse vee sisse- ja väljavool ning lastakse basseiniveel täielikult vahetuda. Basseinist väljavoolava ravimilahuse kontsentratsioon lahjeneb üle-



Joonis 7.3. Ebaloomulikult suure ujupõiega vikerforell

jäänud süsteemi vees nii, et kahjustava preparaadi sisaldus on biofiltrisse jõudmise ajaks märkimisväärselt madalam kui basseinis, kus kalu raviti. Sel moel on võimalik saavutada kemikaali suhteliselt kõrge kontsentratsioon basseinis, kus on vaja parasiidid hävitada, ning ühtlasi vähendada kemikaali negatiivset mõju biofiltrile. Nii kalad kui ka biofiltrid kohanevad järjestikuste ravivannide tegemise tulemusel soola, formaliini või vesinikperoksiidi aeglaselt kasvavate kontsentratsioonidega. Kui basseinitäis kalu on ravitud, võib selle vee taaskasutuse asemel ka eraldi välja pumbata.

Soovitav ja teostatav on ka miljonite marjaterade lühiajaline joodiga töötlemine/desinfitseerimine haudeparaadis. Sama meetodit on võimalik kasutada seentega (*Saprolegnia* sp.) nakatunud marja töötlemiseks. Selleks tuleb marja hoida 20 minutit soola 7‰ lahuses.

Haudemajas, kust ise sööma õppinud vastsed viiakse kiiresti edasi maimubasseinidesse, on biofiltri osa väiksema tähtsusega, kuna marjast ja maimudelt eralduva lämmastiku kogus on üsna väike. Seetõttu on haudemajas ravida kergem, kuna saab keskenduda vaid marja ja kalade ravile. Samuti on haudemajas kasutatava vee maht väike, mis võimaldab seda kiiremini vahetada. Seega saab haudemaja süsteemis marja töödelda ühtaegu nii ohutult kui ka edukalt.

Ravimine vee korduvkasutusega täiesüsteemses kasvanduses on palju tundlikum töö. Peamine reegel on hoida ravimi kontsentratsioon madal ja teha ravi pikema aja jooksul,

mis aga nõuab nii hoolt kui ka kogemust. Iga järgneva preparaadi lisamise korral tuleb kontsentratsiooni aeglaselt tõsta, jättes vahele mitu ravivaba päeva, 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 suurendada ning samal ajal suureneb parasiitide hävimise tõenäosus. Pikema raviperioodi vältel sobib väga hästi kasutada soola, aga ka formaliini kasutamine 4–6-tunniste intervallidega on olnud edukas. Biofilter kohaneb lisatud formaliiniga ja lagundab selle nagu iga teiseigi süsteemist pärit süsinikuühendi.

Nagu varem mainitud, ei ole võimalik anda täpseid kontsentratsioone ja soovitusi kemikaalide kasutamiseks vee korduvkasutusega süsteemis. Arvestada tuleb näiteks kalaliigi, kalade suuruse ja vanuse, veetemperatuuri, vee kareduse, orgaanilise aine koguse ja biofiltri kohandumisega. Seetõttu on ka alltoodud juhised ligikaudsed.

**Sool (NaCl).** Suhteliselt ohutu ja võib kasutada magedas vees sellise haiguse raviks nagu ihtüoftirioos. Samuti saab soolaga ravida saprolegnioosi. Ihtüoftiirioosi vees ujuvaid hulkurakke saab hävitada 10‰ soolalahusega. Uued tulemused soovivad entsüsteerunud ja põhjalangenud parasiite hävitades kasutada 15‰ soolalahust. Kala kehavedelikes sisaldub soola 8‰ ning enamik mageveekalu suudab sellise soolsusega vees elada mitu nädalat. Haudemajas hoiab marja seentega nakatamast 3–5‰ NaCl lahusega töötlemine.

**Formaliin (HCHO).** Formaliini madal 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, temperatuuril 15 °C umbes 8 mg/h/m<sup>2</sup>, kuid samal ajal häirib lämmastiku ringlust biofiltris.

**Vesinikperoksiid (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>).** 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.

Kemikaale, nagu vasksulfaat või kloramiin-T, ei soovitata kasutada. Need on tõhusad bakteriaalse lõpuste haiguse ravil, kuid võivad kahjustada biofiltri tööd ja vee korduvkasutust nii, et tootmine on tõsiselt häiritud.

Bakteriaalseid nakkusi, nagu furunkuloos, vibriosis või bakteriaalne neeruhaigus (BKD), saab tõhusalt ravida vaid antibiootikumidega. Need on osutunud efektiivseks ka mõne kala siseparasiidi tõrjel.

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 tähtaega, võib haiguspuhang uuesti vallanduda.

Vee korduvkasutusega süsteemis on antibiootikumide mõju biofiltri bakteritele küllaltki väike. Võrreldes söödas sisalduva antibiootikumi kontsentratsiooniga on sellest vees kumuleeruda võiv antibiootikumikogus suhteliselt väike ning seetõttu on väike ka selle toime biofiltri nitrifitseerivatele bakteritele. Igal juhul tasub hoolikalt jälgida muutusi vee parameetrites, sest need näitavad ravimi otsest mõju biofiltrile. Söödaratsiooni muutmise korral võib osutuda vajalikuks lisada uut vett või muuta veevoolu hulka süsteemis.

Kalahaiguste raviks võib kasutada paljusid antibiootikume, nagu sulfadiasiini, trimetoprimi või oksoliinhapet, kuid seda võib teha ainult kohaliku veterinaari range kontrolli all.

Selliste viirushaiguste vastu nagu nakkuslik pankrease nekroos (IPN) ja viiruslik hemorraagiline septitseemia (VHS, ingl *viral hemorrhagic septicemia*) ei ole ravi. Ainus võimalus haigusest vabaneda on tühendada kasvandus täielikult, desinfitseerida kogu süsteem ja alustada otsast peale.

## 8. Kogemuste näited

### Noorlõhede tootmine Tšiilis

Tšiili lõhetoodangu kasv 1990ndatel suurendas nõudlust magevee noorlõhede järele, keda meresumpades edasi kasvatada. Noorlõhesid kasvatati jõgedes või järvedes, kus vesi oli liiga külm ja keskkonningimused sobimatud. Vee korduvkasutusega süsteemi kasutuselevõtt aitas kalakasvatajatel toota noorlõhesid senisest rohkem, märksa väiksemate kuludega ja keskkonnasäästlikumalt. Samuti tagas see optimaalsed kasvutingimused, mistõttu oli

võimalik toota aastas neli lõhepartiid varasema ühe partii asemel. Vee korduvkasutusega süsteem tegi kogu tootmisahela palju sujuvamaks, lõhed kasvasid ühtlaselt ja olid turustamiseks õige suurusega.

### Kammeljakasvatus Hiinas

Üha populaarsemaks muutub vee korduvkasutusega süsteem mereveeliste kalaliikide kasvatamisel, nagu kivikoha, barramunda, huntahven, paltus ja lest. Kammeljat on vee



Joonis 8.1. Vee korduvkasutusega süsteem Tšiili lõhekasvanduses. Allikas: Bent Hojgaard.

korduvkasutusega süsteemis kerge kasvatada, selle on avastanud ka Hiina tootjad. Tootmise tulemused on näidanud, et kammeljas kasvab sellises keskkonnas väga hästi. Optimaalne temperatuur oleneb kammelja suurusest ja nad on kasvutingimuste suhtes tundlikud. Sobivas kasvukeskkonnas võib kammeljas kasvada 2 kg suuruseks kahe aastaga, looduses aga alles nelja aastaga.

### Forellikasvatus Taanis

Taani on üks keskkonnasäästliku forellikasvatuse teerajajaid. Ranged keskkonnakaitsenõu-

ded on sundinud forellikasvatajaid kasutusele võtma uusi tehnoloogiaid, et vähendada eelkõige saastekoormust. Vee korduvkasutusega süsteemi esitleti kui näidet areneva kalakasvatuse kohta, kus tootmise suurendamisel väheneb keskkonnamõju. Selle asemel et kasutada suures koguses jõevett, pumbatakse kasvanudusse piiratud koguses ülemiste kihtide põhjavett. Mõju on märgatav – tänu moodsatele rajatistele aasta läbi püsiv veetemperatuur tagab kalade kiirema kasvu ja sellest tulenevalt tõhusama tootmise väiksemate kuludega. Keskkonnamõju positiivne efekt on toodud esile kuuendas peatükis joonisel 6.6.



Joonis 8.2. Kammeljakasvatus Hiinas. Allikas: AKVA kontsern.

### Vee korduvkasutusega süsteem ja taasasustamine

Puhtad jõed ja järved kui looduslikud varud on muutunud paljudes riikides tähtsaks keskkonnamärgiks. Looduse hoidmine looduslike elupaikade taastamise ja ohustatud kalaliikide taasasustamise teel on üks paljudest võimalustest.

Meriforell on populaarne spordikala, kes elab paljudes Taani jõgedes, kus peaaegu igal jõel on oma populatsioon. Teadlased on meriforelli geneetiliselt kaardistanud, mistõttu on

võimalik neid liine eristada. Kui meriforell saab suguküpseks, rändab ta merest kodujõkke kudema. Taanis Funenis on jõed taastatud ja allesjäänud looduslikud populatsioonid on päästetud taasasustamisprogrammiga. Suguküpsed kalad püütakse elektriga, mari lüpstakse ja inkubeeritakse vastsed, keda kasvatatakse vee korduvkasutusega süsteemis. Umbes aasta hiljem asustatakse maimud samasse kohta, kust püüti nende vanemad.

Populatsioonid on päästetud õigel ajal ja loodetavasti on meriforell võimeline sellises kasvukohas ellu jääma. Programmi tulemusena



Joonis 8.3. Taani näidiskalakasvatus. Allikas: Kaare Michelsen, Danish Aquaculture.



on märgatavalt paranenud meriforelli sportliku püügi võimalused looduses. Tänu sellele on kalaturism muutunud heaks teenimisvõimaluseks kohalikele ettevõtetele – hotellidele, kämpingutele ja restoranidele. Kokkuvõttes on võitnud nii loodus kui ka kohalikud kaubandushuvivid.

### Suured kasvandused

Kalakasvandused kasvavad pidevalt, nagu ka maailma kalakasvatuse toodang. Keskmise meresumbakasvandus Norras toodab praegu 5000 tonni lõhet aastas. Ka magevee vesivil-

jeluskasvandused kasvavad ning konkurentsi ruumi ja vee pärast muutub üha tihedamaks paljudes riikides, eriti Aasias. Samuti tekitab üha rohkem muret vesiviljeluse keskkonnamõju. Vesiviljeluses on vee korduvkasutusega süsteemil mitu eelist, mis võivad tuua kasu suuremahulises kalakasvatuses. Mõnes piirkonnas ei ole merekasvandused populaarsed, mistõttu peetakse tulevikus üha enam võimalikuks toota kalu maismaal asuvates vee korduvkasutusel põhinevates kasvandustes. Nende puhul on väike nii ökoloogiline jalajälg kui ka vajaminev veekogus. Toiduohutus ja -kontroll on ranged ning tootmine prognoo-



Joonis 8.4. Bosanska Krupa foto Bosniast ja Hertsegoviinast, kus taasasustamise projekt on sarnane Funeni omaga. Muret tekitavad liigid on jõeforell, harjus ja Doonau lõhe. Allikas: ÜRO Toidu- ja Põllumajandusorganisatsiooni (FAO) Euroopa ja Kesk-Aasia piirkondlik büroo (REU).

sitav ja pidev. Turul püsimiseks ehitatakse tulevikus suured kalakasvandused tõenäoliselt selliselt, et aastaringse tootmise kulud ja keskkonnamõju oleksid viidud miinimumini.

Sellised kasvandused võivad asuda suurte linnade läheduses või suure rahvaarvuga piirkondades, kus on vaja, et värske kala oleks tarbijatele kergesti kättesaadav.



Joonis 8.5. Kolmemõõtmeline joonis suurest kasvandusest, kus iga 15-meetrise läbimõõduga basseini mahutab üle 500 m<sup>3</sup> vett. Allikas: AKVA kontsern.

# Lisa

## Tegevused ja küsimused enne vee korduvkasutusega süsteemi rajamist

1.0	Projektiteave	
1.01	Projekti eesmärk	
1.02	Kasvatatavad liigid	
1.03	Aastane tootmiskaht tonnides ja arvudes	
1.04	Asustatava ja turustatava kala suurus – tootmisplaan	
1.05	Kalapartiide arv aastas	
1.06	Söödakoefitsiendi kalkulatsioon	
1.07	Olemasolevad joonised või muu teave	
1.08	Kas on olemas vajalikud load? Piirangud, kooskõlastused jm	
1.09	Kas on olemas tegevjuhataja või kalandusspetsialist?	
1.10	Muu oluline teave, eriprobleemid	
2.0	Andmebaasi teave	
2.01	Mere- või magevesi Merevee soolasus	
2.02	Kasutatav veeallikas Merevesi, jõvesi, kaevuvesi, põhjavesi, puurkaevuvesi	
2.03	Veekasutus l/s	
2.04	Veetemperatuur Suvel/talvel Päevased ja öised kõikumised	
2.05	Veeanalüüs Tulemused pH	
2.06	Ilmastikuolud Max/min õhutemperatuurid Külmad talved, äärmuslikult kuumad suved jne	
2.07	Hoonealuse maa tingimused	
2.08	Pinnatemperatuur Max/min	
2.09	Kasutada olev maa-ala Hoonestusala kuju	
2.10	Vaba ala jäätmekäitluseks Settetiigid, imbumisala jne	
2.11	Krundi kõrgus merepinnast	
2.12	Elektriühendus. Täpsustada	

3.0	Kasvanduse osad	
3.01	Haudemaja	
3.02	Eelkasvatus/vastsed	
3.03	Maimukasvatus (sööma õpetamine)	
3.04	Edasikasvatus	
3.05	Sugukari	
3.06	Elussööda tootmine	
3.07	Esmatöötlemise ruum	
3.08	Karantiiniüksus Aklimatiseerimisüksus	
3.09	Sissevooluvee käitlemine	
3.10	Reovee käitlemine	
3.11	Sorteerimine, väljapüük, eluskala transport	
3.12	Töötlemine/pakendamine Külmoone/jäämasin	
3.13	Labor/õpperuum Kontor/puhkeruum	
3.14	Varugeneraator	
3.15	Hapnikugeneraator Tagavarahapniku paak	
3.16	Vee soojendus- ja jahutussüsteem	
3.17	Nõuded hoonele Isolatsioon	
3.18	Arhitektuur Ümbrus	

## Kasutatud kirjandus

Fundamentals of Aquaculture, A Step-by-Step Guide to Commercial Aquaculture by James W. Avault Jr., AVA Publishing Company Inc., Baton Rouge, Louisiana 70884-4060 USA, 1996, ISBN 0-9649549-0-7.

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

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

Aquaculture, Volume 1 ja 2, Edited by Gilbert Barnabé, Ellis Horwood Limited, Chichester, West Sussex, PO19 IEB, England, 1990, ISBN 0-13-044108-2.

Aquacultural Engineering by Fredrick W. Wheaton, Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, 32950 USA, 1993, ISBN 0-89464-786-5.

Biology of Microorganisms by Thomas D. Brock, David W. Smith and Michael T. Madigan, Prentice-Hall International, USA, 1984, ISBN 0-13-078338-2.

Aquaculture for Veterinarians: Fish Husbandry and Medicine, Edited by Lydia Brown, Pergamon Press Ltd., Oxford, UK, 1993. ISBN 008-040835.

Manual on Effluent Treatment in Aquaculture: Science and Practice. Outcome of the EU supported Aquatreat project, 2007: [www.aquamedia.org](http://www.aquamedia.org).

The State of World Fisheries and Aquaculture 2006, FAO Fisheries and Aquaculture Department, Viale delle Terme de Caracalla, 00153 Rome, Italy, 2007, ISBN 978-92-5-105568-7.