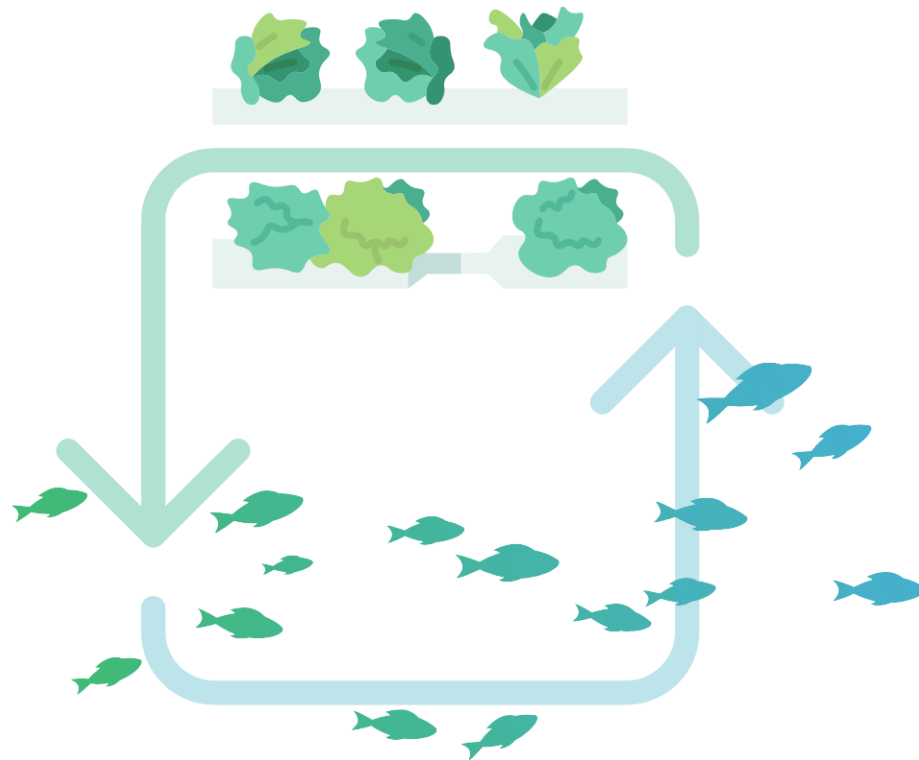


# KALAT AKVAPONISESSA VESIVILJELYSSÄ – VALINTA, VAATIMUKSET JA RAJOITUKSET



## Sisältö

Abstrakti .....	3
1. Johdanto.....	4
1.1. TransFarm projekti .....	4
1.2. Kala akvaponisessa viljelyssä .....	5
2. Kalojen vaatimukset veden laadulle .....	6
2.1. Lämpötila .....	6
2.2. Happi .....	7
2.3. pH .....	9
2.4. Muut vaatimukset .....	11
3. Kalanviljely akvaponisessa vesiviljelyssä .....	12
3.1. Kala-altaiden eri tyypit ja valinta .....	12
3.2. Lietteen poisto, mekaaniset suodattimet .....	17
3.3. Veden desinfiointi ja ilmastus .....	19
4. Kalalajin valinta .....	25
4.1. Lohikalat.....	26
4.2. Percidaet (ahven ja kuha) .....	28
4.3. Siperian sampi ( <i>Acipenser baeri</i> ).....	30
4.4. Jättikonnamonni ( <i>Clarias gariepinus</i> ) .....	32
4.5. Tilapia ( <i>Oreochromis sp.</i> ) .....	33
4.6. Karppi ( <i>Cyprinidae spp.</i> ).....	34
4.7. Äyriäiset .....	36
5. Kalanrehu/ravitseminen .....	37
5.1. kalanrehun eri tyypit .....	38
5.2. Kalanrehun koostumus .....	42
5.3. Ruokintanopeus .....	46
6. Kalojen terveys ja hyvinvointi .....	48
6.1. Loiset ja taudit.....	48
6.2. Kalojen tiheys.....	52
Lähteet .....	55

## Abstrakti

Akvaponinen vesiviljely on viljelymenetelmä, joka yhdistää kasvien vesiviljelyn (hydroponinen viljely) kalojen kasvatukseen suljetussa kiertojärjestelmässä. Kalojen ulostejätteet toimivat ravinteiden lähteenä kasveille, jotka puolestaan puhdistavat vettä kaloille. Tämä lähestymistapa lieventää perinteisen viljelyn ympäristövaikutuksia ja tarjoaa ratkaisun elintarviketeollisuuden kohtaamiin ympäristöllisiin ja sosiaalisiin haasteisiin. Sopivien kalalajien valinta akvaponiseen systeemiin on olennaista, mikä riippuu esimerkiksi sellaisista tekijöistä kuin markkinoiden kysyntä ja veden lämpötila. Kirjolohi, monni tai tilapia ovat yleisimmin akvaponisiin järjestelmiin valittuja lajeja. Jokaisella kalalajilla on omat vaatimuksensa ympäristöparametreille, ravitsemuksellisuudelle ja kalojen tiheydelle. Jotta akvaponinen viljely onnistuisi optimaalisesti, on välttämätöntä hallita veden laatua, sillä lämpötila, happi, veden pH ja sen virtausnopeus vaikuttavat merkittävästi sekä kaloihin että kasveihin. Kalojen ulosteet kasviravinteiksi muuntava biosuodatin ja kalojen selviytyminen ovat riippuvaisia asianmukaisten happitasojen ylläpidosta. Ilmastusmenetelmät takaavat riittävät happipitoisuudet, kun taas desinfiointimenetelmät, kuten UV-sterilointi ja otsonointi, auttavat taudinaiheuttajien hallinnassa. Kalojen terveys akvaponisessa järjestelmässä on äärimmäisen tärkeää, ja kalataudit, kuten valkotäplätauti, maksamadot ja Columnaris-tauti voivat lisääntyä nopeasti suljetuissa järjestelmissä. Tautien ehkäisemiseksi on välttämätöntä ylläpitää optimaalista veden laatua, asettaa aina uudet kalat karanteeniin ja tarjota tasapainoinen ruokavalio. Terveysriskien ehkäisemiseksi eläintiheys tulee valita siten, että pystytään ylläpitämään hyvää veden laatua ja tasapainottamaan kalan biomassaa ravinteiden tuotantoa varten. Kalanrehun optimaalisen koostumuksen tulisi sisältää proteiineja, hiilihydraatteja, lipidejä, vitamiineja ja kivennäisaineita hyvän kasvun edistämiseksi. Akvaponisen vesiviljelyn harjoittajat voivat luoda kestävän ja tuottavan ekosysteemin, joka tuottaa korkealaatuista kalaa ja tuoretuotteita tasapainottamalla kalojen tiheyttä, ruokintatasoa, veden laatua ja kalojen terveydestä huolehtimista.

**Avainsanat:** kala, vaatimukset, lajit, TransFarm, Interreg, Akvaponinen vesiviljely, resilience, sustainability

Tämän raportin tiedot on kerätty kokoelmasta erilaisia artikkeleita ja kirjoja, joiden lähdeviitteet löytyvät raportin lopusta kohdasta "Lähteet". Alkuperäisteoksen "FISH IN AQUAPONICS – SELECTION, REQUIREMENTS AND LIMITATIONS" käännös on toteutettu osin tekoälykääntäjän avulla ja siten tekstissä voi olla käännösvirheitä.

Tämän raportin laatimista on tukenut Interreg Central Baltic ohjelman rahoittama hanke CB0100007 "TRANSborder cooperation for circular soil-less FARMing systems - TransFarm".

## 1. Johdanto

### 1.1. TransFarm projekti

Elintarvikealan on kohdattava useita ympäristöön liittyviä ja sosiaalisia haasteita: maatalous on ala, johon ilmastonmuutos vaikuttaa erityisen paljon, meremme ovat liikakalastettuja, ja maailman väestön arvioidaan jatkavan kasvuaan ja olevan noin 9,7 miljardia ihmistä vuoteen 2050 mennessä<sup>1</sup>. Itämeren alue on voimakkaasti riippuvainen elintarvikkeiden tuonnista, erityisesti vihannesten, hedelmien ja kalan osalta; Viime vuosina pandemiat ja Ukrainan sota ovat paljastaneet tarpeen luoda omavaraisempia elintarvikejärjestelmiä. Lisäksi maatalous ja kalan avovesiviljely ovat tärkeimpiä Itämeren rehevöitymisen tekijöitä. (UL)

Vastatakseen näihin haasteisiin TransFarm-projekti haluaa tuoda elintarviketuotannon lähemmäs kuluttajia edistämällä viljelymenetelmiä, joita voidaan toteuttaa myös sisätiloissa ja jotka mahdollistavat kasvukauden ympäri vuoden. Esimerkkejä näistä menetelmistä ovat hydroponinen viljely, jossa kasveja kasvatetaan vedessä, ja akvaponinen viljely, jossa hydroponinen viljely yhdistetään kalojen kasvatukseen.

Akvaponinen vesiviljely on suljetun kierron järjestelmä, jossa kalaviljelmän vettä käytetään kasvien kasvattamiseen hydroponisessa viljelyssä. Vedessä olevat kalojen ulostejätteet muunnetaan mikrobiologisesti biosuodattimen avulla ravinteiksi, joita kasvit voivat hyödyntää, jonka jälkeen vesi taas palautetaan puhdistettuna kaloille. Järjestelmässä on täysin suljettu vesivirtaus, joka mahdollistaa ravinteiden uudelleenkäytön ilman ravinteiden päästöjä ympäristöön. Koska akvaponisen viljelyjärjestelmän kalat, kasvit ja mikro-organismit toimivat läheisessä symbioottisessa suhteessa, antibiootteja tai torjunta-aineita ei käytetä, mikä puolestaan tuottaa puhtaampia ja terveellisempiä tuotteita.

TransFarm esittelee akvaponista viljelyä Ruotsissa, Virossa ja Latviassa sekä testaa vaihtoehtoisia vesilähteitä, kuten sadevettä ja regeneroitua harmaavettä: Näistä maista tulevat kumppanit rakentavat akvaponisia demonstraatiolaitteistoja erilaisilla ominaisuuksilla ja tavoitteilla. Eri demoista vaihdetut kokemukset edistävät tiedon yhteisluomista ja tilat tarjoavat mahdollisuuden innostaa ja kouluttaa tulevia akvaponisia viljelijöitä. Demojen rakentamisesta ja seurannasta kerätty tieto tuottaa koulutusmateriaalia kaikille akvaponisesta viljelystä kiinnostuneille toimijoille.

Hankkeessa tutkitaan myös mahdollisia liiketoimintamalleja ja toteutetaan toimintoja, joilla tiedotetaan kuluttajille akvaponisesti tuotettujen tuotteiden laadusta. Lisäksi koulutetaan yrittäjiä, jotka haluavat perustaa akvaponisen viljelyjärjestelmän, sekä tiedotetaan virkamiehille ja poliittisille päättäjille akvaponisen viljelyn ympäristövaikutusten vähenemisestä toteutetuilla menetelmillä.

---

TransFarm-projektia koordinoi Turun yliopiston kauppakorkeakoulu ja sen Tulevaisuuden tutkimuskeskus. Hankkeen kumppaneita ovat Viron luonnontieteiden yliopisto (Tartu, Viro), Latvian yliopisto (Riika, Latvia), Norrtälje Vatten och Avfall AB ja Coompanion Roslagen & Norrort (Norrtälje, Ruotsi).

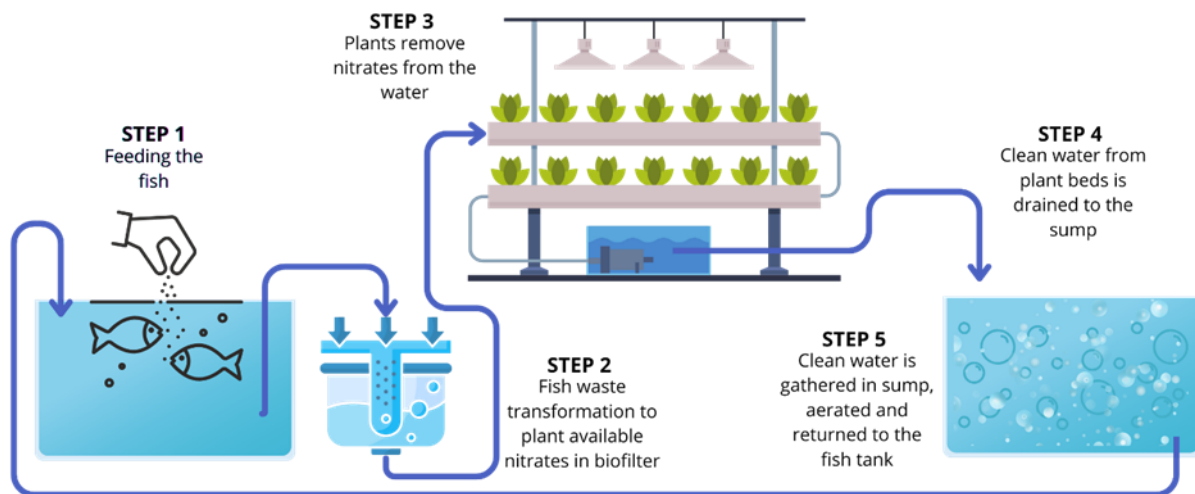
TransFarm-projektin kesto on kolme vuotta (2023-2026) ja sitä rahoittaa EU:n Interreg Central Baltic -ohjelma. Hankkeen kokonaisbudjetti on 1,87 miljoonaa euroa, josta EU-rahoituksen osuus on 1,5 miljoonaa euroa.

---

<sup>1</sup> UN DESA publications – World population prospects 2022

## 1.2. Kala akvaponisessa viljelyssä

Akvaponinen vesiviljely on viljelymenetelmä, jossa yhdistyvät kalojen kasvatusta ja kasvien vesiviljelyä (hydroponinen viljely). Akvaponisessa viljelyjärjestelmässä kiistatta tärkein osa on kalat – ne ovat organismeja, jotka tarjoavat koko järjestelmälle ravinteita – ne ovat tämän symbioottisen ekosysteemin ytimessä. Kalat edistävät kalanrehun hyödyntämistä aineenvaihdunnan kautta ja auttavat järjestelmän ravinteiden kierron tasapainottamista. Kalojen ulostejätettä ei pidetä akvaponisena viljelyjätteenä; pikemminkin sitä pidetään arvokkaana resurssina. Ammoniakki typpirikkaana yhdisteenä vapautuu veteen kaloista, kun ne metaboloivat saamaansa ruokaa eli kalanrehua. Hyödylliset mikro-organismit muuttavat ammoniakkinitriiteiksi ja nitraateiksi järjestelmän biosuodattimessa. Nämä kemikaalit imeytyvät helposti kasveihin välttämättöminä ravintoaineina. Tämä luonnollinen ravinteiden kierto prosessi eliminoi synteettisten lannoitteiden tarpeen, mikä vähentää ympäristövaikutuksia ja muodostaa suljetun kierron järjestelmän, jossa jätteet muunnetaan arvokkaaksi syötteeksi (kuvio 1).



Kuvio 1. Yleistetty kaavio Akvaponisesta vesiviljelyjärjestelmästä ravinnekalvokasvien kasvukanavin kanssa.

Tämä raportti keskittyy kalojen eri puoliin akvaponisessa vesiviljelyjärjestelmässä. Ensinnäkin käsitellään kaloille ominaisia vedenlaatuvaatimuksia. Lisäksi kuviotaan eri vaihtoehtoja, joita voidaan käyttää kalojen ”asuintilana” eli tarkastellaan erilaisia kasvatusaltaita – niiden hyviä ja huonoja puolia. Koska kalanrehu on ensisijainen ja ainoa ravintoaineiden syöttö akvaponiseen järjestelmään, kaloille annettavaa ruuan laatua on harkittava huolellisesti. Tärkeimmät ravintoaineryhmät on kuvioitu yksityiskohtaisesti. Mahdolliset kalalajit ja niiden kasvuolosuhteet on myös koottu yhteen. Koska akvaponinen vesiviljely on yleensä rajoitetun kokoista toimintaa ja kalojen istutustiheys pidetään maksimissaan lajista riippuen, on tärkeää olla tietoinen erilaisista tuholaisista ja taudeista, jotka voivat vaikuttaa haitallisesti akvaponisen vesiviljelyjärjestelmän toimintaan.

Onnistunut akvaponinen vesiviljelyjärjestelmä ei johdu pelkästään kalojen läsnäolosta; se on myös sen takana oleva työntövoima. Ne ovat ravinteiden kierto liikkeen liikkeellepaneva voima ja tarjoavat kasvien kasvu välttämättömiä perusrakennusaineita. Kukoistava ja kestävä akvaponinen vesiviljely ekosysteemi edellyttää sopivien kalalajien valintaa, niiden ympäristön optimointia ja niiden terveyden hallintaa.

Tämä raportti on osa Interreg Central Baltic -ohjelman rahoittaman TransFarm hankkeen (TRANSborder Cooperation for Circular soil-less FARMing systems, nro CB0100007) laatimaa koulutusmateriaalia. Tämä raportti on suorite (D3.4.1) työpaketista 3 ja sen toiminnosta 3.4, ja sitä tulee käyttää yhdessä suoritteiden D.3.3.1 (Akvaponisen vesiviljelyn kasveja koskeva koulutusmateriaali) ja D3.2.1 (Vedenlaatua akvaponisessa vesiviljelyssä käsittelevä koulutusmateriaali).

## 2. Kalojen vaatimukset veden laadulle

### 2.1. Lämpötila

Lämpötila vaikuttaa akvaponisen vesiviljelyjärjestelmän ekosysteemiin merkittävästi. Tiedetyt kasvit kukoistavat kylmissä ympäristöissä säilyttäen terveytensä, voimansa ja nopean kasvunsa. Sillä välin järjestelmässä olevien kalojen on täytettävä tietyt kriteerit, koska niiden ravinnepitoisuudet ovat ratkaisevan tärkeitä kasvien kasvuun. Akvaponisen vesiviljelyn toimijoiden tulee olla valmiita mittaamaan järjestelmä astepäivinä, yksikkönä, joka ottaa huomioon lämpötilan kertymisen ajan myötä.

Aluksi biosuodatin on aktivoitava, jotta kasvit saavat tarvittavat nitraatit ja hiilidioksidi. Kätevä tapa on asettaa biosuodatin aluksi 20-22°C lämpötilaan ja sen jälkeen alentaa sitä, kun nitraatteja alkaa kertyä järjestelmään. Lopuksi on välttämätöntä sisällyttää kalat järjestelmään, jotta varmistetaan, että ravinteet kerääntyvät kasvien kasvun kannalta edullisella nopeudella.

On myös olemassa vaihtoehtoinen lähestymistapa: kalojen käyttöönotto heti alusta alkaen. Tämä menetelmä edellyttää ammoniakkitasojen (NH<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub>) ja nitrifikaatioprosessien tarkkaa seuranta järjestelmässä olevan veden myrkyllisyyden estämiseksi, ennen kuin se voi saavuttaa haitallisia tasoja. Makeaa vettä voidaan lisätä laimentamaan ja vähentämään myrkyllisiä pitoisuuksia ratkaisemaan tämä ongelma. Pohjoismaisessa ilmastossa makean veden lisäaineet ovat hyödyllisiä myös järjestelmän jäädyttämisessä kuumina kesinä; ne voivat kuitenkin johtaa liialliseen jäähtymiseen kylmempien kausien aikana. Kaikki nämä muutokset vaikuttavat akvaponisen vesiviljelyjärjestelmän pääkomponentteihin: biosuodattimeen, kala-altaaseen ja kasvihuoneeseen. Lämpötilan seuranta on välttämätöntä, sillä se vaikuttaa kaikkiin järjestelmän biologisiin prosesseihin. Tavallinen lämpömittari tulee säilyttää varalla digitaalisen valvontajärjestelmän lisäksi. Virheelliset lukemat digitaalisessa mittarissa voivat vaarantaa koko järjestelmän kunnon, mikä voidaan välttää digitaalisten antureiden johdonmukaisella kalibroinnilla niiden tarkkuuden takaamiseksi.

On harvinaista löytää tilaa, joka olisi täysin vakaa ja säilyttäisi optimaaliset lämpötilat sekä kaloille että kasvillisuudelle. Ilman ja veden lämpötiloihin vaikuttavat usein vuodenaikojen vaihtelut, mikä edellyttää käytettävissä olevien tilojen optimointia. Lämpötilan säätelyyn on olemassa lukuisia menetelmiä, esimerkiksi ilmanvaihtoon perustuva lämpötilansäätö. Tietyissä kokoonpanoissa keskusilmastointijärjestelmä sisältää joko ilmalämpöpumpun tai ilmavesilämpöpumpun ilman lämpötilan säätämiseksi. Kosteuden säätö on myös mahdollista tällä kokoonpanolla. Vesipohjainen lämpötilansäätö on lisävaihtoehto, joka lämmittää veden suoraan. Tämä menetelmä voi kuitenkin nostaa ilmankosteutta jopa 85 prosenttia, mikä voi aiheuttaa kondensaatiota pinnoille. Vaikka jotkut kasvit voivat hyötyä tästä lisääntyneestä kosteudesta, se voi myös edistää homeen ja levien kasvua, varsinkin kun käytetään keinovaloa. Kosteuden kerääntymisen estämiseksi sähköjärjestelmät on eristettävä riittävästi ja niille on tehtävä rutiinitarkastuksia.

Pohjoismaisessa ilmastossa tietyt maatilat käyttävät lämmitykseen geotermistä energiaa tai viereisiä vesilähteitä, mikä usein edellyttää lämmönvaihtimien tai lattialämmityksen käyttöä. Tämä menetelmä voi johtaa kosteustason laskuun (25-35 %), mikä voi edellyttää lisäkostuttimien asentamista. Kylmemmässä ilmastossa 16-17°C lämpötilapari sopii akvaponiselle vesiviljelylle, joka voi ylläpitää kirjolohia ja viljelykasveja, kuten pinaattia ja salaattia. Leudoissa ilmastoissa 22-26 °C:ssa pidetty järjestelmä on tehokas yhdistettynä esimerkiksi monniin ja viljelykasveihin, kuten basilikaan ja tomaatteihin. Kosteutta on tarkkailtava, ja sumuttimia voidaan käyttää tarvittaessa.

## 2.2. Happi

Akvaponisessa ja muissa vesiviljelyjärjestelmissä happi on välttämätön järjestelmän ”asukkaiden”, kuten kalojen, äyriäisten, simpukoiden, etanoiden ja kilpikonnien selviytymiselle. Vaikka kalat elävät vedessä (H<sub>2</sub>O), ne eivät pysty suoraan hyödyntämään vetymolekyyleihin sitoutunutta happea. Kalat, kuten ihmiset, tarvitsevat rajoittamattoman liuenneen hapen (DO) hengittämiseen, jonka tulee jakautua tasaisesti koko veteen. Vesiviljelyssä lämpötila ja happitasot liittyvät erottamattomasti toisiinsa. Lämpötilan ja liuenneen hapen kapasiteetin välinen käänteinen suhde johtaa liuenneen hapen määrän vähenemiseen veden lämpötilan noustessa. Hapen määrä, jonka vesi voi luonnollisesti sisältää kulloinkin, määräytyy olennaisesti lämpötilan perusteella. Happi on välttämätöntä kaikille akvaponisten vesiviljelyjärjestelmien osille, mukaan lukien kalat, biosuodattimet ja kasvillisuus. Se määritetään tyypillisesti pitoisuutena (ppm tai mg/l) ja kyllästymisenä (%). Terveen ympäristön säilyttämiseksi akvaponisen vesiviljelyn tuottajien on seurattava ja ymmärrettävä erilaisia happiriippuvaisia prosesseja, kuten biokemiallinen hapenkulutus (BOD), nitrifikaatio, fotosynteesi ja kasvien hengitys, jotka kaikki vaikuttavat happitasoihin.

Liennutta happea kuluttavat järjestelmän asukkaat, kuten kalat ja hajottavat bakteerit. Tämä hapenkulutus, jota kutsutaan biologiseksi hapenkulutukseksi (BOD), on erittäin tärkeää seurata, etenkin koska biosuodattimissa olevat mikro-organismit ja kalat alentavat happitasoja kierrätetyssä vedessä. Säännöllinen puhdistus ja huolto ovat välttämättömiä, jotta estetään ylimääräisen biofilmin, joka on biosuodattimissa kehittyvä bakteerikerros, kerääntyminen. Tämä estää biokalvoa leviämästä kasvien juurille ja altaan seinämille. Biofilmi voi häiritä veden virtausta ja vähentää hapen saatavuutta ilman tätä huoltoa.

Veden happipitoisuus voi vaihdella nopeasti, joskus muutamassa minuutissa, mikä voi johtaa kaloille mahdollisesti tappaviin olosuhteisiin. Akvaponisen viljelijän on seurattava kalojen käyttäytymistä, koska alhainen happitaso ei ole helposti havaittavissa. Kalat, jotka uivat veden pinnalla ja huohottavat kuin ”purevat” ilmaa, ovat varhaisia merkkejä hapen puutteesta. Tämä käyttäytyminen havaitaan usein, kun happitasot laskevat 4-3 ppm:iin. Kaloissa saattaa esiintyä merkkejä ahdingosta, kuten kuumeinen yritys paeta tai hypätä ulos altaasta, tai ne jäävät makaamaan hiljaa joko pohjalla tai veden tulo- ja poistoaukkojen lähellä, jos happitasot laskevat edelleen 1-3 ppm:iin. Pitkät jaksot alhaisella happitasolla voivat estää veden kulkeutumisen ja aiheuttaa vaarallisia ylivuotoja. Tietyt kalalajit, kuten afrikkalainen kissakala, voivat sopeutua alentuneisiin happitasoihin nousemalla pintaan hengittämään, kun taas toiset, kuten nokkakala, voivat alkaa hyödyntää ilmakehän happea. Nämä mukautukset voivat kuitenkin tapahtua vasta pitkän altistuksen jälkeen joko alhaisille tai subletaalisille DO-tasoille. Nämä olosuhteet voivat johtaa useiden vesieliöiden kuolemaan, koska ne eivät pysty sopeutumaan.



Kuvio 2. Linde Gas – hapen virtaus- tai annostelukaappi ja hätähapen kaappi.



## TransFarm

Kun happitaso on alhainen, on suositeltavaa lopettaa kalojen ruokinta väliaikaisesti ja jos mahdollista, lisätä kylmää makeaa vettä järjestelmän rauhoittamiseksi. Hapen tarvetta vähentää se, että kalat ovat vähemmän aktiivisia ja viileämpi vesi pidättää paremmin liuenneen hapen. Kalojen terveyden ja taloudellisen tuottavuuden varmistamiseksi suositellaan, että liuenneen hapen määrä pidetään välillä 7,5-9,5 ppm (kuvio 2). Tämä helpottaa proteiinien tehokasta aineenvaihduntaa ja edistää kalojen kasvua. Akvaponisissa vesiviljelyjärjestelmissä mikro-organismien aiheuttama orgaanisen aineen hajottaminen biosuodattimessa edellyttää liuenutta happea (DO), joka puolestaan tuottaa kasveille välttämättömiä ravinteita. Bakteerit käyttävät lisääntyntä määrää liuenutta happea ylläpitämään hajoamisprosessia, kun orgaanista ainetta kertyy liikaa. Tästä syystä on välttämätöntä seurata ja säädellä biofilmin, lietteen ja jätteen kertymistä. Jos kierrätettävää järjestelmää ei suodateta lietteen tai suspendoituneiden hiukkasten poistamiseksi, hapentarve voi nousta, mikä taas voi johtaa hapen puutteeseen. Akvaponisen vesiviljelyn happihuoltoa ohjataan kolmen järjestelmän kautta: biologinen tarve, ravinnon tarve ja "häätähuolto" optimaalisen happitason ylläpitämiseksi. Biologinen tarve on suhteellisen vakio ja kasvaa suhteessa järjestelmän kokonaisbiomassaan. Se symboloi happea, joka tarvitaan bakteerien, kasvillisuuden ja kalojen päivittäiseen hengitykseen ja aineenvaihduntaan. Ruokintatarve taas perustuu kalojen metaboliseen aktiivisuuteen, mikä kohoaa tilapäisesti ruokinnan aikana ja välittömästi sen jälkeen, mikä taas johtaa tilapäiseen hapentarpeen lisääntymiseen. Tasapainon säilyttämiseksi on jokaisessa kala-altaassa oltava happianturit, jotka suuressa mittakaavassa tarkkailevat tasoja ja ilmoittavat ensisijaiselle ohjausjärjestelmälle, joka taas avaa hapensyöttöventtiilit tilapäisesti. Hätäsyöttöä tarvitaan silloin kun varahappea joudutaan syöttämään laitteiden rikkoutumisen tai sähkökatkojen aikana hätäjärjestelmistä. Varageneraattorit ovat välttämättömiä suurille akvaponisille järjestelmille, jotta taataan keskeytymätön hapen syöttö. Jopa pienimuotoiset ja harrastustoimintana rakennetut järjestelmät voivat hyötyä luotettavasta toissijaisesta virtalähteestä, joka suojaa kaloja odottamattomien katkosten aikana.

Järjestelmän laajuudesta ja happitarpeesta riippuen käytettävissä on useita menetelmiä hapen lisäämiseksi akvaponisiin vesiviljelyjärjestelmiin. Alkeellinen ilmastuspumppu, jossa on ilmastusletku tai keraamiset kivet, tuottaa tyypillisesti riittävästi happea pienikokoisissa järjestelmissä. Keskikokoisissa järjestelmissä, joissa on korkeampi hapenkulutus, käytetään usein hienoja rei'itetyjä diffuusoreita ilmanvaihdon parantamiseksi happigeneraattorin tai paineistettujen happikanisterien lisäksi tasaisen syötön varmistamiseksi. Laajemmat järjestelmät edellyttävät kehittyneitä hapetuskonfiguraatioita, jotka voidaan saavuttaa käyttämällä nestemäisen hapen painejärjestelmiä tai happigeneraattoreita. Happigeneraattorit tuottavat tarvittaessa happea, kun taas paineistetut järjestelmät tarjoavat suuren kapasiteetin, konservoitua happea välitöntä käyttöä varten. Jokaisella menetelmällä on etunsa. Siitä huolimatta nestemäiset happijärjestelmät edellyttävät tyypillisesti monimutkaisempaa ja turvallisempaa käsittelyä.



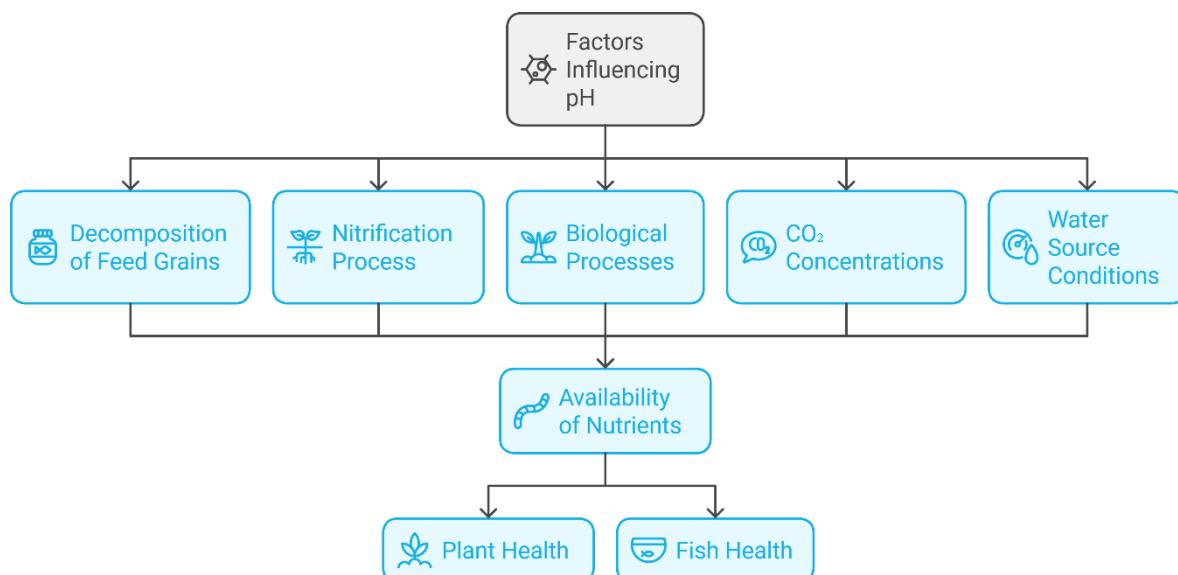
Kuvio 3. Atlas Scientific monitorointijärjestelmä ja Handy happivahtisensori.



Happitasojen tarkkailu on välttämätöntä järjestelmän tehokkuuden ja terveyden varmistamiseksi (kuvio 3). Happianturien päivittäinen huolto on välttämätöntä biofilmin kertymisen estämiseksi erityisesti lämpimän veden järjestelmissä, joissa monitorointiin käytetään sekä manuaalisia että kiinteitä antureita. Esimerkiksi anodi-katodikoettimet voivat edellyttää useampaa puhdistusta kuin optiset anturit, koska biofilmi voi vaikuttaa niiden lukemiin. On myös välttämätöntä suorittaa säännöllinen kalibrointi valmistajan ohjeiden mukaan. Viallisten antureiden nopea huolto on välttämätöntä, mikä voi sisältää kalvojen vaihtamisen, anturin nesteiden täyttööä tai anturin sisäosien puhdistamista. Akvaponisilla vesiviljelyjärjestelmillä voidaan hyödyntää luonnollisia happilähteitä happilisyksen välttämiseksi. Liunneen hapen tasojen luonnollista nousua helpottaa levän, merilevän ja muiden vesikasvien hapentuotanto fotosynteesin sivutuotteena. Lämpötilan hallinta on välttämätöntä tämän prosessin optimoimiseksi, koska se vaikuttaa kasvien hengityksen nopeuteen ja hapentuotantoon. Veden pitäminen sopivassa lämpötilassa voi parantaa fotosynteesin tehokkuutta ja varmistaa näin tasaisen hapen saannin koko järjestelmälle. Pidä liunneen hapen taso välillä 7,5-9,5 ppm edistääksesi terveiden kalojen kasvua ja tehokasta proteiinien aineenvaihduntaa. Tämä valikoima edistää kalojen terveyttä ja kehitystä, mikä mahdollistaa taloudellisesti kestäväen akvaponisen vesiviljelyn tuotannon.

### 2.3. pH

pH-asteikko on logaritminen mitta, jota käytetään kuvioimaan vesiliuosten happamuutta tai emäksisyyttä. Happamilla liuksilla on alhaisemmat pH-arvot suurempien vetyionipitoisuuksien (H<sup>+</sup>) vuoksi, kun taas emäksisten tai emäksisten liuosten pH-arvot ovat korkeammat, koska vetyioneja on vähemmän. Jokainen pH-yksikkö edustaa kymmenkertaista eroa vetyionipitoisuudessa, koska asteikko toimii logaritmisella 10 perusjärjestelmällä. Liukset, joiden pH on alle 7, luokitellaan happamiksi 25 °C:n standardilämpötilassa, kun taas liukset, joiden pH on yli 7, luokitellaan emäksisiksi (kuvio 4).



Kuvio 4. Yhteenveto Akvaponisen vesiviljelyjärjestelmän pH-arvoon vaikuttavista tekijöistä.

pH on akvaponisessa vesiviljelyssä kriittinen parametri, sillä se vaikuttaa systeemin eheyteen, mikrobien toimintaan ja ravinteiden saatavuuteen. Tärkeimpien ravinteiden liukoisuuteen vaikuttaa suoraan pH-arvo, mikä puolestaan vaikuttaa näiden ravinteiden saatavuuteen kasvien imeytymiseen. Tämä vaikuttaa kasvien terveyteen ja kasvuun. Lisäksi pH on kriittinen tekijä määritettäessä tiettyjen

## TransFarm

yhdisteiden myrkyllisyyttä, mukaan lukien ammoniakki, joka tulee vaarallisemmaksi vesieliöille pH-tason noustessa. Näistä syistä on tärkeää ylläpitää vakaa pH, jotta akvaponinen vesiviljelyjärjestelmä pysyy terveenä ja tasapainossa. Akvaponisten vesiviljelyjärjestelmissä pH-arvoon vaikuttavat monet tekijät. Vaihtelut voivat johtua esimerkiksi allasssa olevien rehujuvien hajoamisesta. Kun nämä pelletit hajoavat, niistä vapautuu ammoniakkia, joka voi vähitellen muuttaa pH:ta. Nitrifikaatioprosessi muuttaa ammoniakkin, biosuodattimen hyödyllisten mikrobien ravintolähteen, tuottamaan lisää happamuutta veteen. Tämä happamuus voi lisätä nitriittejä, mikä voi johtaa myrkyllisyshuippuihin, jos sitä ei valvota. Oikeat ruokintakäytännöt, jotka sopivat ihanteellisesti kalan lajiin ja kokoon, voivat auttaa lieventämään näitä vaikutuksia, sillä rehu voi vaihdella 0,3–6 % akvaarion kalan biomassasta.

pH-tasoihin vaikuttavat edelleen biologiset prosessit, kun orgaanista materiaalia ja ammoniakkia joutuu veteen rehujätteiden, kalan ulosteiden tai jopa hajoavien kalojen mukana. Nämä aineet edistävät hyödyllisten bakteeripesäkkeiden kasvua, jotka aluksi nostavat pH:ta ja alentavat sitä myöhemmin jatkuvion hajoamisen myötä. Nitrifikaatio, prosessi, joka lisää jatkuvuisti veden happamuutta, tuottaa nitriittejä ja nitraatteja. Lisäksi ympäristön pH-arvoon vaikuttaa kasvien ravinteiden imeytyminen ja sitä seuraava ionien, mukaan lukien nitraattien ja karbonaattien, vapautuminen. pH:ta voidaan joko nostaa tai laskea riippuen kyseessä olevista erityisistä ioneista.

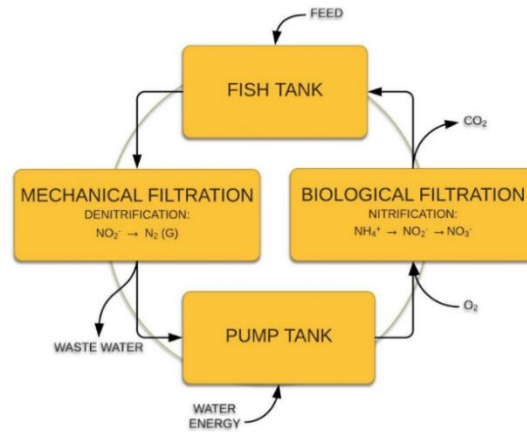
Hiilidioksidipitoisuudet ovat myös merkittävä tekijä pH:n stabiilisuudessa. Korkeat hiilidioksidipitoisuudet vedessä johtavat hiilihapon muodostumiseen, mikä laskee pH:ta. Toisaalta pienemmät CO<sub>2</sub>-tasot voivat vähentää happamuutta. Lopuksi veden pH-arvoon vaikuttaa merkittävästi vesilähteen tila, sillä makean veden puskurointikykyyn vaikuttavat sen pH ja kovuus. Suurempi puskurointikapasiteetti edellyttää suurempien määrien pH:ta sääteleviä yhdisteitä, kuten suolahappoa (HCl) lisäämään happamuutta tai natriumhydroksidia (NaOH) ja kalsiumhydroksidia (sammutettua kalkkia, Ca(OH)<sub>2</sub>) pH:n nostamiseen. Epäjohdonmukaiset pH-tasot voivat haitata kasvien kehitystä ja vähentää sadon satoa. Ravinteiden imeytyminen kasveissa on erittäin herkkä pH:lle, ja kun se poikkeaa optimaalisesta alueesta, välttämättömät ravinteet heikkenevät, mikä vaarantaa kasvien terveyden ja kasvun. Heikentyneet fysiologiset prosessit, mukaan lukien fotosynteesi, voivat myös johtaa ravinteiden epätasapainoon ja heikentää kasvin kykyä kestää stressitekijöitä. Vaikka manuaalisia säätöjä voidaan tehdä tarpeen mukaan pH-valvonnassa, automatisoidut kiinteät järjestelmät tarjoavat paremman vakauden ja tehokkuuden helpottamalla reaaliaikaista säätöä.

Pitkäaikainen altistuminen pH-tasolle, jotka eivät ole sopivia kaloille, voi johtaa stressiin, heikentyneeseen vastustuskykyyn ja lisääntyneeseen alttiuteen sairastua. Fysiologiset toiminnot voivat häiriintyä, ruokahalu voi heikentyä, kasvu voi hidastua ja kalat voivat olla alttiimpia veden kemian vaihteluille, kun ne altistuvat pH:n epävakaudelle. Kalojen terveyteen kohdistuvien haitallisten vaikutusten vähentämiseksi pH-vaihtelut eivät saa ylittää 0,5 yksikköä 24 tunnin sisällä. Johdonmukainen seuranta ja tarkat säädöt ovat välttämättömiä tasapainoisen akvaponisen vesiviljely-ympäristön ylläpitämiseksi, vaikka manuaaliset pH-säädöt saattavat tarvita hieman suurempia määriä säätöaineita stabiilisuuden varmistamiseksi.

## 2.4. Muut vaatimukset

### *Veden virtaus ja kierto*

Suljetun kierron vesiviljelyjärjestelmän eräs keskeisimpiä osia on pumppu. Taajuusmodulaattoreita suositellaan asennettavaksi pumppuihin niiden ominaisuuksien ja kapasiteettien mukaan. Pumput kuluttavat paljon energiaa; siksi on energiatehokkaampaa käyttää vain yhtä pumppua koko vesimäärän kierrättämiseen akvaponisessa järjestelmässä. Jotta vesi virtaisi jatkuviesti, on suositeltavaa asentaa toisiopumppu samaan paikkaan ja käyttää molempia pumppuja säännöllisesti, jotta estetään sedimenttien kerääntyminen tai pumppupesän tukkeutuminen. On myös mahdollista, että ajoittain yksi pumppuista on vaihdettava tai poistettava järjestelmästä huoltoa varten. Käytä tätä tarkoitusta varten pumppua kahdella venttiilillä, joista toinen on tuloaukon edessä ja toinen sulkee poistoaukon. Järjestelmää suunniteltaessa on tärkeää minimoida veden nostokorkeuksia käyttökustannusten vähentämiseksi. Vettä nostetaan vain kerran jokaisen kierron aikana. Pumppu sijoitetaan ensisijaisesti biosuodattimen tuloaukon sekä hapetusyksiköiden ja kalaaltaiden eteen, jotta varmistetaan, että järjestelmä on asianmukaisesti paineistettu (kuvio 5).



Kuvio 5. Akvaponisen vesiviljelyjärjestelmän vesikierron tulot ja lähdöt.

Taajuusmodulaattori auttaa myös veden virtausnopeuden säätelyssä. Se on tarpeen, koska tietyt kalalajit tarvitsevat korkeamman vesimäärän ylläpitääkseen niille sopivaa ympäristöä. Toisinaan lisääntyneellä virtausnopeudella voi olla muita myönteisiä vaikutuksia, kuten kalojen kannibalismien ja altaan pohjassa olevan roskan väheneminen.

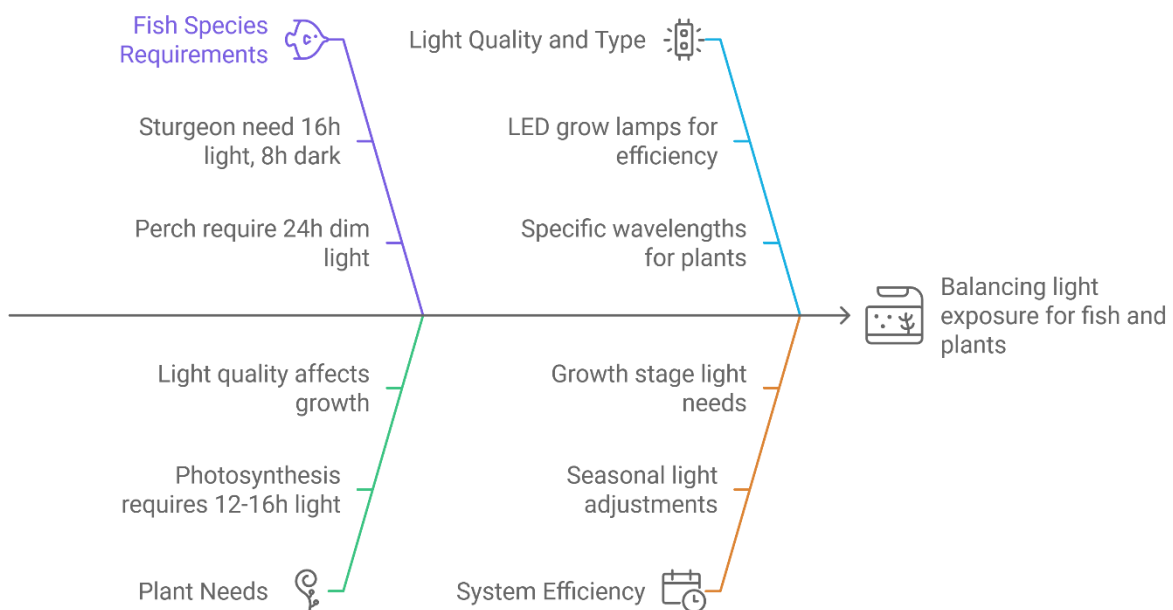
### *Päivänvalon ajastus*

Hallitussa, suljetun kierron vesiviljelyjärjestelmässä kalojen ja kasvien terveys ja kasvu ovat molemmat riippuvaisia niiden valolle altistuksen hallinnasta. Kalojen saaman valon järjestelyt on räätälöity kunkin lajin ainutlaatuisien vaatimusten mukaan. Esimerkiksi sammot kukoistavat 16 tunnin päivänvalossa ja 8 tunnin yöajan syklissä, mikä jäljittelee niiden luonnollista ympäristöä ja optimoi kasvun. Toisaalta ahvenlajit edellyttävät jatkuvaa himmeää valaistusta (24 tuntia vuorokaudessa) stressin estämiseksi, koska kaikki valon muutokset voivat häiritä niiden ruokinta- ja lepomalleja. Jotta lohilajit eivät hätkähtäisi, ne edellyttävät asteittaista siirtymistä päivän ja yön välillä, koska ne ovat alttiimpia äkillisille valon muutoksille. Tällainen äkillinen muutos voi aiheuttaa kaloille stressireaktioita, kuten "aaltoilmiön", jossa kalat voivat yhtäkkiä yrittää nousta vedestä aiheuttaen itselleen vahinkoa. Sitä vastoin Afrikan kissakalat ovat yöaktiivisia ja niitä kasvatetaan tehokkaimmin lähes täydellisen pimeyden olosuhteissa, jolloin myös henkilöstön toimintaan tarvitaan vain minimaalisesti valoa, jotta kissakalojen luonnollinen käyttäytyminen ei häiriinny (kuvio 6).

Valon käyttö akvaponisissa vesiviljelyjärjestelmissä ei rajoitu vain kaloihin; se vaikuttaa myös kasveihin, jotka tarvitsevat valoa fotosynteesiin. Fotosynteesi on prosessi, jossa kasvit muuttavat valon energiaa kemialliseksi energiaksi, jolloin syntyy kalojen tarvitsemää happea ja poistetaan vedestä ravinteita, jotka muuten kerääntyisivät kala-altaan pohjalle karikkeena. Jaetussa akvaponisessa vesiviljely-ympäristössä kalojen valaistusvaatimukset voivat olla ristiriidassa kasvien optimaalisen kasvun tarpeiden kanssa. Kasvit vaativat tyypillisesti 12-16 tuntia valoa vuorokaudessa. Valon altistuksen hallitsemiseksi tehokkaasti on viljelijöiden ehkä käytettävä kalaallasille varjostusta tai jopa laitoksesta

eristetyille alueille. Tämä auttaa tasapainottamaan näitä valoon liittyviä vaatimuksia. Kala-akvaarioiden varjostaminen tai fyysisten esteiden luominen kasvien ja kalojen välille voi tarjota kaloille tarvittavan pimeyden ja varmistaa samalla, että kasvit saavat riittävästi valoa.

Käytetyn valon laatu ja tyyli ovat lisätekijöitä, jotka on otettava huomioon valaistusaikatauluja suunniteltaessa akvaponisessa vesiviljelyssä. Sisälle rakennetuissa järjestelmissä on usein tarpeen käyttää keinotekoisista valaistusta täydentämään tai korvaamaan luonnollista auringonvaloa. LED-kasvatuslamppuja käytetään usein niiden energiatehokkuuden, joustavuuden vuoksi värispektrien säätämässä kasvien fotosynteesivaatimukseen ja minimaalisen lämpöpäästön vuoksi. Esimerkiksi sinisen ja punaisen aallonpituudet ovat erityisen edullisia kasvien kasvulle, koska ne stimuloivat fotosynteesiä. Valaistusaikataulujen ja intensiteettitasojen laatimisen tarpeellisuutta korostaa kuitenkin entisestään se, että pitkäaikainen altistuminen näille tietyille aallonpituuksille ei välttämättä sovi tietyille kalalajeille.



Kuvio 6. Akvaponisen vesiviljelyjärjestelmän valaistusolosuhteet ja valon kiertoön vaikuttavat näkökohdat.

Järjestelmän tehokkuutta voidaan parantaa huomattavasti valvomalla valolle altistusta ja säätämällä sitä vuodenajan tai kasvien ja kalojen kasvuvaiheiden mukaan. Aluksi nuoret kasvit voivat tarvita enemmän valoa vankan juurijärjestelmän muodostamiseksi, kun taas kypsät kasvit voivat sietää valon voimakkuuden vähäistä vähenemistä. Samalla tavalla kalojen tarvitsema valon voimakkuus voi vaihdella niiden kasvuvaiheiden ja ympäristötekijöiden, mukaan lukien veden lämpötilan ja ruokinta-aikataulujen, mukaan. Akvaponisen vesiviljelyn tuottajat voivat optimoida tuottavuuden ja taata molempien eliöiden hyvinvoinnin järjestelmässä rakentamalla ympäristön, joka vastaa sekä kalojen että kasvien erityistarpeisiin valaistusaikatauluja tarkkailemalla ja säätämällä.

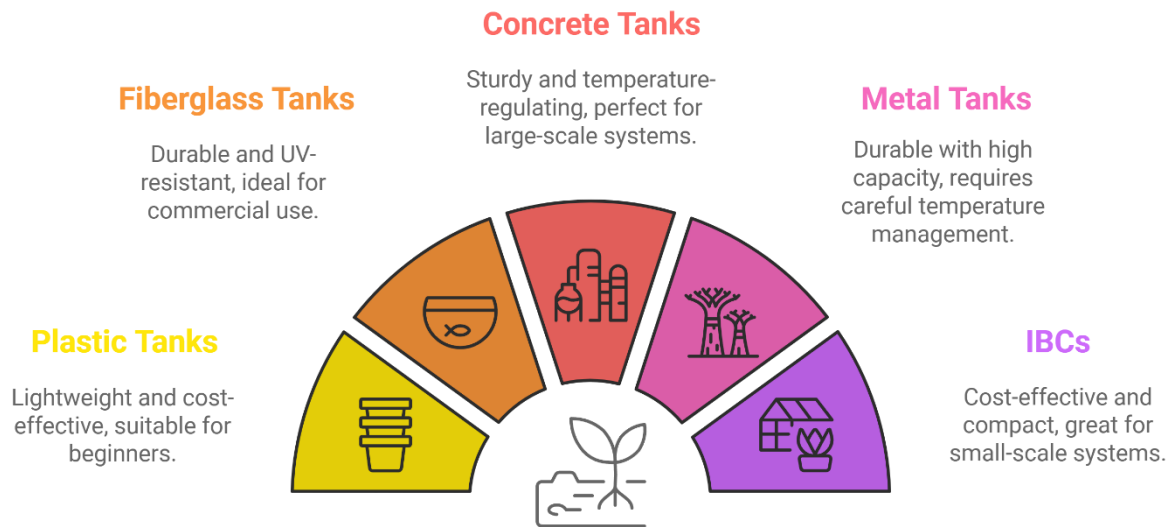
### 3. Kalanviljely akvaponisessa vesiviljelyssä

#### 3.1. Kala-altaiden eri tyypit ja valinta

Akvaponisen vesiviljelyn olennainen osa on kala-allas, sillä se toimii kotina kaloille, joiden ulosteet antavat kasveille niiden menestymiseen tarvittavat ravinteet. Valittu altaatyyppi vaikuttaa olennaisesti järjestelmän tehokkuuteen, kalojen terveyteen ja yleiseen toimintaan. Altaatyyppit vaihtelevat takapihan harrastejärjestelmistä suuriin kaupallisiin toimintoihin, jotka voidaan sovittaa erilaisiin altaisiin, joista jokainen on suunniteltu vastaamaan kalojen erityistarpeita. Kun tehdään perusteltuja

## TransFarm

arvioita siitä, millaisia kaloja järjestelmässä kannattaa kasvattaa ja kuinka maksimoida järjestelmän suorituskyky, on hyvä ymmärtää jokaisen altaatyyppin eduista ja haitoista (kuvio 7).



Kuvio 7. Akvaponisessa vesiviljelyjärjestelmässä käytettävät allas- ja altaatyyppit.

### Muoviset tai polyeteeniä olevat altaat

Akvaponisissa vesiviljelyjärjestelmissä yleisimpiä ratkaisuja ovat muovi- tai polyeteenialtaat, erityisesti pienemmissä ja keskikokoisissa kokoonpanoissa (Kuvio 8). Näitä altaita suositellaan, koska ne ovat kevyitä, kestäviä ja kustannustehokkaita. Ne on valmistettu korkeatiheyspolyeteenistä (HDPE) tai muista elintarvikekäyttöön soveltuvista muoveista. Näitä altaita on saatavana useissa eri muodoissa, mukaan lukien pyöreät, suorakaiteen muotoiset ja soikeat. Koska ne ovat keveitä, niitä on helppo käsitellä, kuljettaa ja asentaa, mikä tekee niistä erinomaisen vaihtoehdon vasta aloittavalle akvaponisen vesiviljelyn harrastajalle. Ne on valmistettu syövyttämättömästä materiaalista, mikä varmistaa, että ne eivät saastuta vettä. Lisäksi niiden erinomainen lämmöneristys auttaa pitämään veden lämpötilan tasaisena, mikä on erittäin tärkeää kalojen terveyden kannalta. Siitä huolimatta muovialtaat ovat herkkiä naarmuille, joihin voi ajan myötä kehittyä bakteerikasvustoa. Lisäksi ne eivät ole yhtä kestäviä kuin muut materiaalit, kuten betoni tai lasikuitu, etenkin silloin, kun ne altistetaan ulkona ultraviolettivalon säteilylle pidemmän ajan kuluessa. Tämän vuoksi muovialtaille kehoitetaan rakentamaan suojaus suoralta auringonvalolta, erityisesti ulkotiloissa. Muovialtaat ovat erinomainen valinta kalojen, kuten tilapian, monnin ja taimenen säilyttämiseen, koska nämä kalat ovat kestäviä ja voivat mukautua monenlaisiin vesiympäristön olosuhteisiin.





Kuvio 8. Muovialtaat ja -astiat, joita käytetään kalanviljelyyn Akvaponisessa vesiviljelyjärjestelmässä.

### Lasikuitualtaat

Erinomaisen kestäväytensä ja käyttöikänsä ansiosta lasikuitualtaat ovat suosittu valinta sekä kaupallisiin että huippuluokan akvaponisiin vesiviljelyjärjestelmiin (Kuvio 9). Tämä johtuu siitä, että lasikuituvahvistettu muovi, jota käytetään näissä altaissa, toteuttaa kompromissin kevyen ja erittäin tukevan rakenteen välillä. Lasikuitualtaita voidaan valmistaa asiakkaan toiveiden mukaan monenlaisia muotoja ja kokoja, mikä mahdollistaa erilaisten akvaponisten järjestelmien kokoonpanojen ja kalan istutusmäärien mukauttamisen. Sileän pintansa ansiosta ne on helppo puhdistaa, mikä vähentää roskien muodostumisen tai biofilmin kertymisen todennäköisyyttä, jotka molemmat voivat vaikuttaa haitallisesti veden laatuun. Tämä tarkoittaa, että lasikuitualtaat kestävät ultraviolettivalon aiheuttamia vaurioita ja korroosiota, mikä tarkoittaa, että niitä voidaan käyttää sekä sisällä että ulkona ilman, että ne huononevat ajan myötä. Näistä eduista huolimatta lasikuitualtaat ovat tyypillisesti kalliimpia kuin muovi- tai IBC-altaat, mikä saattaa muodostua ongelmaksi yrityksille, joilla on heikko taloudellinen tilanne. Lisäksi vaikka lasikuitu on pitkäikäinen, se voi lohjeta tai halkeilla, jos sitä käsitellään väärin tai jos siihen kohdistuu voimakkaita iskuja; siksi sitä siirrettäessä tai puhdistaessa on noudatettava varovaisuutta. Useita kalalajeja voidaan kasvatella lasikuitualtaissa. Tällaisia kalalajeja ovat esimerkiksi tilapia, ahven ja barramundi, jotka kaikki viihtyvät olosuhteissa, joissa veden laatu on tasainen ja lämpötilat vakaat.

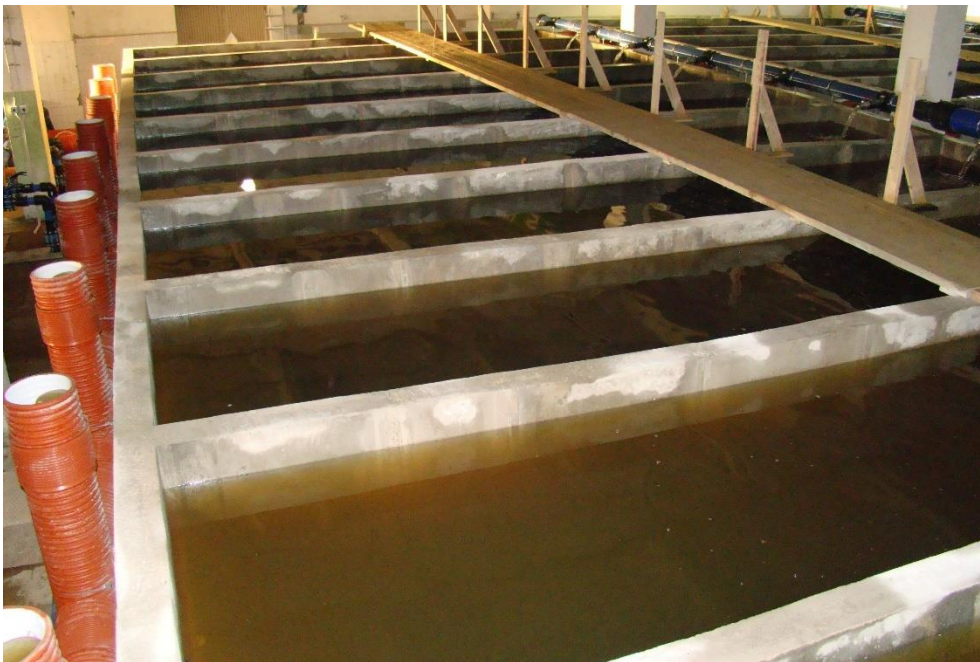


Kuvio 9. Lasikuituiset kalankasvatusaltaat akvaponisessa vesiviljelyjärjestelmässä.

### Betonialtaat

**TransFarm**

Suurissa kaupallisissa akvaponisissa vesiviljelyjärjestelmissä betonialtaat ovat välttämätön komponentti. Tämä pätee erityisesti lämpimissä tai trooppisissa paikoissa, joissa näiden altaiden kyvystä säädellä lämpötilaa on etua (kuvio 10). Teräsbetonin käyttö näiden altaiden rakentamisessa antaa niille poikkeuksellisen lujan ja pitkäikäisen rakenteen, joka voi usein kestää vuosikymmeniä, jos niitä huolletaan oikein. Verrattuna muihin allastyyppihin betonialtaat valmistetaan usein mittatilaustyönä järjestelmän vaatimusten mukaisesti. Tämä mahdollistaa suuremmat vesimäärät ja suuremman kalan istutustiheyden kuin muut allastyytit. Se on hyödyllinen myös ulkoalueilla, joilla lämpötilan vaihtelut voivat rasittaa kaloja, koska niiden paksut seinät tarjoavat suuren lämpömassan, joka auttaa tasaamaan veden lämpötiloja imemällä lämpöä päivällä ja vapauttamalla sitä yöllä. Tämä on erityisen tehokasta olosuhteissa, joissa veden lämpötila vaihtelee. Betonialtasiin liittyy kuitenkin muutamia merkittäviä haittoja. Näiden järjestelmien rakentaminen on työlästä ja kallista sekä käytettyjen materiaalien että työvoiman kannalta, mikä tekee niistä vähemmän sopivia järjestelmiin, jotka ovat joko pienempiä tai kustannustehokkaampia. Juuri rakennetuista betonialtaista saattaa myös vuotaa kalkkia veteen, mikä voi nostaa veden pH-arvoa. Tämä voi vaatia asianmukaista kuivaamista ja sulkemista ennen altaiden käyttöönottoa. Tämä alustava huoltoprosessi on välttämätön kalojen vahingoittumisen estämiseksi. Kun betonialtaat on luotu, ne sopivat erinomaisesti suurten, kestävien kalalajien, kuten tilapian ja karpin, viljelyyn, jotka voivat kukoistaa vakaassa elinympäristössä, suurella kapasiteetilla ja joiden vesiparametrit ovat hallinnassa.



Kuvio 10. Kala-altaat latvialaisessa kalankasvattamossa.<sup>2</sup>

**Metalliset altaat (elintarvikekelpoisella pinnoitteella)**

Metallialtaat, jotka valmistetaan usein galvanoidusta teräksestä tai alumiinista, ovat edelleen varteenotettava vaihtoehto akvaponisille vesiviljelyjärjestelmille, etenkin kun ne on vuorattu elintarvikekelpoisilla pinnoitteilla. Metallialtaita käytetään harvemmin kuin muun tyyppiset altaat. Metallialtaiden luontainen kestävyys tekee niistä erittäin kestäviä ympäristön haittoja vastaan. Lisäksi näiden altaiden valtavat kapasiteetit tekevät niistä soveltuvia kaupallisiin toimintoihin tai suurempiin järjestelmiin, jotka vaativat enemmän vettä. Kun tilaa on rajoitetusti, mutta suuri kasvatustiheys on välttämätön, metallialtaat ovat erityisen tehokkaita, koska niihin mahtuu paljon kaloja. Toisaalta, koska

<sup>2</sup> <https://bior.lv/en/node/738>

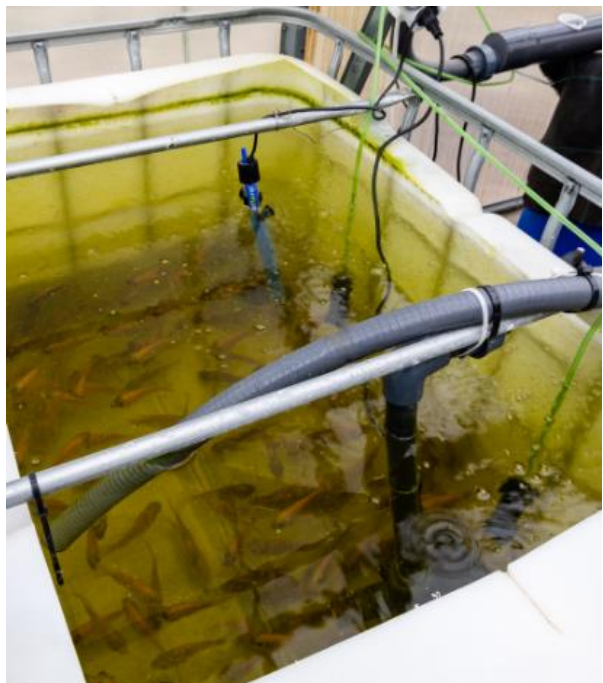


## TransFarm

metalli on altis syöpymiselle, erityisesti kun se on alttiina vedelle ja vaihteleville lämpötiloille, nämä altaat on vuorattava myrkyttömällä, elintarvikekelpoisella materiaalilla, kuten muovilla tai kumilla, jotta vaarallisia yhdisteitä ei pääse tunkeutumaan sisään. vettä. Metallialtaat aiheuttavat asianmukaisten vuorausten puuttuessa huomattavia vaaroja kalojen terveydelle ja veden puhtaudelle. Metallialtaissa on yleisesti huono lämmöneristys, mikä on yksi niiden negatiivisista puolista. Metallia on materiaali, joka siirtää helposti lämpöä, mikä tarkoittaa, että veden lämpötila voi muuttua helpommin. Tämä pätee erityisesti elinympäristöihin, jotka ovat alttiina elementeille, mikä voi olla stressaavaa lämpötilaherkille kalalajeille. Lisäksi sekä metallialtaiden että niiden vuorausten alkuperäiset kustannukset voivat olla melko huomattavia, mikä tekee niistä vähemmän houkuttelevia budjettiystävällisille akvaponisille järjestelmille. Näistä esteistä huolimatta on mahdollista kasvattaa kalalajeja, kuten tilapiaa ja taimenta, onnistuneesti myös metallialtaissa, mikäli veden lämpötilaa hallitaan asianmukaisesti.

### IBC-kontit

Pienemmässä mittakaavassa toteutetuissa tee-se-itse-akvaponisissa vesiviljelyjärjestelmissä eniten käytettyjä altaita ovat keskikokoiset bulkkikontit, jotka tunnetaan myös IBC-kontteina (Kuvio 11). Monet akvaponisesta vesiviljelystä kiinnostuneet huomaavat, että nämä alun perin nesteiden kuljettamiseen kehitetyt altaat on valmistettu elintarvikemuovista, koteloitu metallirunkoon ja niissä on kuormalava alla. Tämä tekee niistä edullisen ja helposti saatavilla olevan vaihtoehdon. IBC-kontit ovat riittävän kompakteja, jotta ne mahtuvat takapihoille tai kaupunkiympäristöön, mutta silti ne tarjoavat riittävästi tilaa useille kalalajeille. Niiden tavallinen tilavuus on noin tuhat litraa, joten ne sopivat ihanteellisesti kalan kuljetukseen. Sen lisäksi, että IBC-kontit ovat edullisia, niitä on myös erittäin helppo muokata, mikä on yksi sen merkittävimmistä eduista. Koska niitä voidaan leikata, porata ja varustaa putkilla, ne voidaan integroida mihin tahansa järjestelmäsuunnitteluun ilman hankaluuksia. Toisaalta niiden muoviset seinät voivat heikentyä ajan myötä, jos ne altistuvat suoralle auringonvalolle; siksi on tärkeää tarjota varjoa tai peittää ne heijastavalla materiaalilla niiden käyttöön pidentämiseksi. IBC-konttien tilavuus on rajoitettu, mikä tekee niistä vähemmän sopivia suurempiin kaupallisiin järjestelmiin tai kaloille, jotka vaativat enemmän tilaa. Tämä on toinen haitta, jonka aiheuttaa IBC-pakkausten rajoitettu määrä. IBC-altaiden kapeat aukot voivat vaikeuttaa pääsyä kaikille altaan sisäalueille, mikä on toinen syy, miksi näiden altaiden puhdistaminen voi olla vaikeaa. IBC:t ovat hyvä vaihtoehto kestävien kalalajien, kuten tilapian, monni ja koi, jalostukseen, jotka sopeutuvat pieneen vesimäärään ja erilaisiin olosuhteisiin. Näistä rajoituksista huolimatta IBC:t ovat ihanteellinen valinta näiden kalalajien kasvattamiseen.



Kuvio 11. IBC-kontti (ns. Euro-kuutio) kala-altaana Akvaponisessa vesiviljelyjärjestelmässä.

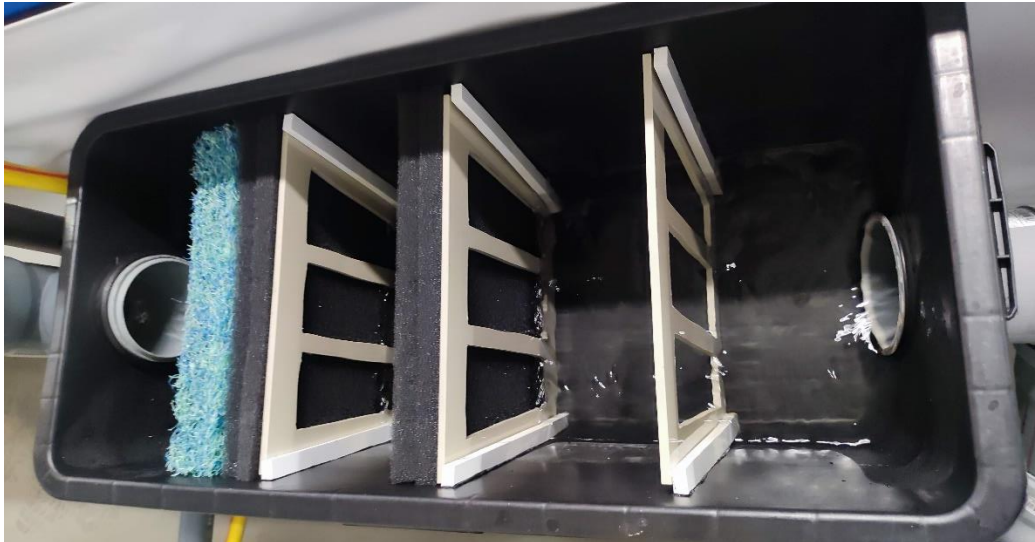
## Uudelleen käytetyt akvaariot

Uudelleen käytettyjä akvaarioita voidaan käyttää yleisesti pienissä akvaponisissa vesiviljelyjärjestelmissä, jotka sijaitsevat sisätiloissa. Nämä järjestelmät ovat usein joko opetuskäytössä tai sisustuselementtinä. Näiden altaiden rakentamisessa käytetään yleisesti sekä lasia että akryyliä. Molemmat materiaalit tarjoavat erinomaisen näkyvyyden, mikä helpottaa kalojen terveyden ja veden kirkkauden tarkistamista. Akvaarioiden esteettinen vetovoima tekee niistä erinomaisia esittelyprojekteihin tai kotijärjestelmiin, joissa kalat ja kasvit on tarkoitettu esille. Muita sovelluksia ovat esittelyhankkeet. Vaikka akvaarioita on saatavana monenlaisia kokoja, niiden kapasiteetti on tyypillisesti rajoitettu verrattuna muiden tyyppisten altaiden kapasiteettiin. Tämän seurauksena akvaariot eivät ole ihanteellisia suurempien tai suurempien kalojen viljelyyn. Lisäksi lasiakvaariot ovat herkkiä ja alttiita halkeilemaan tai särkymään, jos niitä ei käsitellä varovasti. Vaikka akryyliakvaariot ovat kestävämpiä, ne ovat herkkiä naarmuuntumaan ajan myötä, mikä voi heikentää niiden esteettistä vetovoimaa. Lisäksi akvaariot ovat melko kalliita, varsinkin kun altaan koko kasvaa. Tämä saattaa olla rajoittava ongelma henkilöille, jotka ovat kiinnostuneita järjestelmiensä laajentamisesta. Näistä rajoituksista huolimatta akvaariot ovat erinomainen ympäristö pienempien ja koristeellisten kalalajien, kuten kultakalojen tai koristekarppeiden pitämiseen. Suurempia kalalajeja, kuten tilapiaa, voidaan kuitenkin pitää myös suuremmissa akvaarioissa, mikäli veden laatua säännellään huolellisesti.

Sopivan akvaariotyyppin valinta akvaponiseen vesiviljelyjärjestelmään on äärimmäisen tärkeää toiminnan kokonaisuuden takaamiseksi. Jokaisella allastyypillä on omat etunsa ja haittapuolensa, joilla voi olla vaikutusta veden laatuun, kalojen terveyteen ja järjestelmän ylläpitoon. Muovi- ja IBC-altaat ovat ihanteellisia pienempiin järjestelmiin ja tarjoavat kustannustehokkuutta, kun taas lasikuitu- ja betonialtaat tarjoavat kestävyttä ja skaalautuvuutta suurempiin toimintoihin. Muovialtaat ovat myös hyväksyttäviä käytettäväksi pienissä järjestelmissä. Vaikka metallialtaat ovat tukevia, ne on vuorattava ja eristettävä. Uudelleen käytettävät akvaariot sopivat erinomaisesti koulutus- tai koristetarkoituksiin monipuolisuutensa ansiosta. Kala-altaan valinnan tulee olla järjestelmän erityisvaatimusten mukainen. Näitä vaatimuksia ovat muun muassa viljellyt kalalajit, järjestelmän laajuus, järjestelmän joustavuus laajentamista varten ja käytettävissä oleva budjetti.

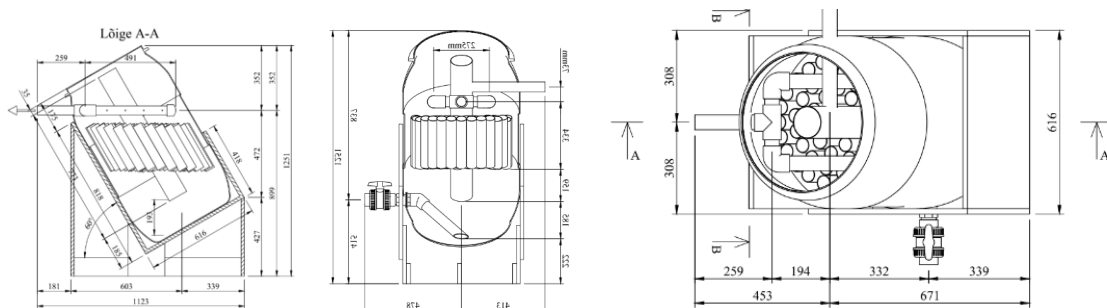
### 3.2. Lietteen poisto, mekaaniset suodattimet

Akvaponisissa vesiviljelyjärjestelmissä orgaanisten jätteiden, kuten rehujätteiden, kuolleiden kalojen ja ulosteiden, käsittely on välttämätöntä järjestelmän terveyden ja veden laadun varmistamiseksi. Ulostulon astia, jota toisinaan kutsutaan myös altaanpuhdistimeksi, on yksi tärkeimmistä välineistä kala-altaiden jätteiden käsittelyssä. Tämä laite kerää ja poistaa kiinteät jätteet vähentäen siten orgaanisten aineiden kertymistä altaaseen, mikä voi heikentää veden laatua ja varmistaa, että vesi pysyy puhtaampana. Vaikka tietyt järjestelmät on alun perin suunniteltu ulostulon laatikoilla, näiden laitteiden tarve voi syntyä muutosten, kuten kalalajien vaihtamisen seurauksena, koska tietyt lajit voivat tuottaa enemmän jätettä tai niillä voi olla selkeät ympäristövaatimukset. Ulostulon astiat toimivat myös kalanrehun tehokkuuden ja kalojen hyvinvoinnin indikaattoreina. Jos ylimääräistä kalanrehua tai kuolleita kaloja alkaa kertyä laatikkoon paljon, niin tämä voi viitata joko ylikuormitukseen, liian suureen eläintiheyteen, ympäristön aiheuttamaan stressiin tai kalapopulaatiossa ilmeneviin terveysongelmiin (kuvio 12).



Kuvio 12. Mekaaninen suodatin lietteenpoistoon Akvaponisessa vesiviljelyjärjestelmässä.

Sedimentin poisto on ensisijainen prioriteetti sen jälkeen, kun jäte on poistunut altaasta, ja se suoritetaan usein rumpusuodattimilla tai lamelliselkeyttimellä (kuvio 13). Lamelliselkeyttimet ovat erityisen hyödyllisiä järjestelmissä, joissa veden vaihtonopeus on alhainen ja veden nopeus on hidastunut, koska ne on suunniteltu hidastamaan veden virtausta, mikä helpottaa kiinteiden aineiden tehokasta sedimentaatiota. Näissä kokoonpanoissa sedimentin poisto on tehokkaampaa, mikä johtaa puhtaampaan ympäristöön ja pienentää myöhemmän biosuodatuksen taakkaa. Lamelliselkeyttimen vinot levyt edistävät sedimentaatiota, mikä edistää kiinteän jätteen poistumista ja ylläpitää järjestelmän veden ravinnetasapainoa ja kirkkautta.



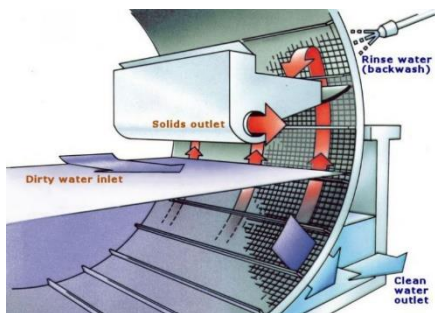
Kuvio 13. EULS:n (Estonian Life Science) kokeellisessa Akvaponisessa vesiviljelyyksikössä käytetty lamellikirkastin.

Toinen arvokas vaihtoehto kompaktimpaan ja autonomisempaan suodatukseen ovat yhdistelmäsuodattimet (Kuvio 14), jotka on suunniteltu ylläpitämään veden puhtautta poistamalla orgaaniset hiukkaset pienemmässä tilassa. Yhdistelmäsuodattimen kapasiteetti ja koko määräytyvät kalan biomassan ja vesiviljelyjärjestelmän tilavuuden mukaan. Tämä on välttämätöntä, koska suodattimen sisällä olevan biofilmin kantajan on mahdollista maksimaalinen päivittäinen syöttökuorma. Tämä tekee yhdistelmäsuodattimista optimaalisen valinnan keskikokoisiin järjestelmiin, jotka vaativat tehokkaan suodatuksen ylläpitääkseen terveellistä vedenlaatua käytettävissä olevan tilan rajallisuudesta huolimatta.



Kuvio 14. mekaaniset suodattimet ja biosuodattimet lietteen mekaaniseen poistoon kala-altaista.

Rumpusuodattimet ovat yksi kehittyneimmistä ja tehokkaimmista suodatusjärjestelmistä, joita kaupallisessa akvaponisessa vesiviljelyssä on saatavilla laajemmassa mittakaavassa (Kuvio 15). Rumpusuodattimet ovat välttämättömiä vesiviljelyjärjestelmän orgaanisen jätetuorman vähentämiseksi, sillä ne suodattavat mekaanisesti kala-altaasta poistuvan veden. Mikroseulasuodattimia, joissa tyypillisesti on 20 - 100 mikronin verkko, käytetään lähes kaikilla nykyaikaisilla suljetun kierron kalanviljelylaitoksilla pienimpienkin orgaanisten hiukkasten poistamiseksi. Rumpusuodatin, joka kuuluu yleisiin mikroseulojen valikoimaan, on suunniteltu poistamaan jätehiukkaset hellävaraisesti ja tehokkaasti pyörimällä jatkuvasti. Vesi kulkee mikroseulan läpi, kun se tulee rumpuun, johtuen rummun sisällä ja ulkopuolella olevien vesitasojen välisistä eroista. Orgaaniset hiukkaset jäävät seulaan ja ne kuljetetaan takaisinhuhtelualueelle rummun pyöriessä. Korkeapaineiset vesisuihkut suihkuttavat ulkopuolelta ja siirtävät hiukkaset edelleen lietteenkeräysastiaan. Tämä tiivistettyä orgaanista materiaalia sisältävä liete voidaan joko hyödyntää akvaponisessa vesiviljelyjärjestelmässä ravinnerikkaana lisäravinteena kasveille tai ohjata ulos kierrätetystä vesiviljelyjärjestelmästä jatkokäsittelyyn.



Kuvio 15. Rumpusuodatin lietteen poistoon.

Mikroseulasuodatus tarjoaa lukuisia etuja, jotka edistävät akvaponisen vesiviljelyjärjestelmien vakautta ja tehokkuutta. Nämä suodattimet estävät tukkeutumista ja lisäävät biosuodatusprosessien tehokkuutta ja käyttöikää vähentämällä biosuodattimien orgaanista kuormitusta. Lisäksi veden puhdistaminen poistamalla orgaanisia hiukkasia lisää sen kirkkautta, mikä puolestaan parantaa olosuhteita nitrifikaatiolle, kriittiselle prosessille, joka muuttaa ammoniakkin nitraateiksi, joita kasvit hyödyntävät ravintoaineina. Kasvien kasvuun ja kalojen terveyteen vaikuttaa suoraan tehokkaan

mikroseulasuodatuksen tarjoama vakaus, sillä akvaponisten vesiviljelyjärjestelmien kokonaisekosysteemiä tukee tasapainoinen vedenlaatu, mikä taas lisää akvaponisen järjestelmän tuottavuutta ja kestävyttä.

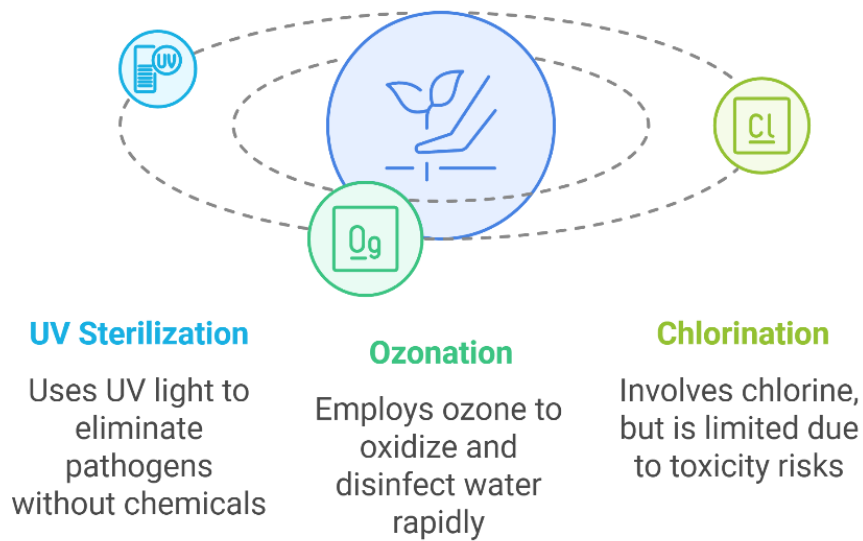
### 3.3. Veden desinfiointi ja ilmastus

Vedenlaadun pitäminen hyvässä kunnossa akvaponisessa järjestelmässä on äärimmäisen tärkeää, koska sekä kalojen että kasvien elämä riippuu suuresti puhtaasta, happirikkaasta vedestä. Ilmastus ja desinfiointi ovat kaksi äärimmäisen tärkeää vesihuoltokäytäntöä. Desinfiointiprosessi auttaa estämään haitallisia infektioita ja myrkyjä vahingoittamasta järjestelmää, kun taas ilmastus varmistaa, että kalat saavat riittävästi happea kasvaakseen. Kun kyse on tasapainoisen ja terveellisen ympäristön edistämisestä järjestelmässä, molemmat strategiat ovat välttämättömiä. Vaihtoehtoisia

tapoja voidaan kuitenkin hyödyntää Akvaponinen vesiviljely -asetelman koosta, monimutkaisuudesta ja tavoitteista riippuen.

*Veden desinfiointimenetelmät akvaponisessa vesiviljelyssä*

Akvaponisessa vesiviljelyssä käytettävän veden desinfiointi pyritään estämään vaarallisten taudinaiheuttajien, bakteerien ja muiden sekä kaloille että kasveille mahdollisesti haitallisten epäpuhtauksien kerääntyminen. Vaikka akvaponinen vesiviljely on enimmäkseen itsesääätelykykyinen järjestelmä, jossa hyödylliset bakteerit pilkkovat kalajätteitä kasviraivanteiksi, on silti välttämätöntä varautua kasveille myrkyllisten mikro-organismien aiheuttamiin vaaroihin. On normaalia käyttää useita erilaisia menetelmiä veden desinfiointiin, joista jokaisella on sekä positiivisia että negatiivisia puolia (Kuvio 16).



Kuvio 16. Yhteenveto veden sterilointiin käytetyistä menetelmistä.

**Ultravioletilla valolla sterilisointi**

Akvaponinen vesiviljelyn alalla ultravioletti (UV) sterilointia pidetään yhtenä tehokkaimmista menetelmistä veden desinfiointissa ja sitä käytetään myös yleisesti. UV-sterilointilaitteet ovat laitteita, jotka toimivat altistamalla bakteereja, viruksia ja loisia ultraviolettisäteilylle tappaakseen tai neutraloimalla ne vahingoittamalla niiden DNA:ta, mikä estää niitä lisääntymästä. Tämä menetelmä ei vaadi kemikaalien käyttöä, joten se on erinomainen valinta akvaponisiin vesiviljelyjärjestelmiin. Se ei tuo veteen vaarallisia aineita, jotka voisivat vaikuttaa kaloihin tai kasveihin. Koska se ei muuta veden pH:ta, happitasoja tai muita kemiallisia ominaisuuksia, UV-sterilointia pidetään myös ei-invasiivisena.

UV-sterilointi on edullinen useista syistä, joista tärkein on, että se poistaa tehokkaasti monenlaisia taudinaiheuttajia. Tämä pätee erityisesti kierrätysjärjestelmiin, joissa vettä suodatetaan jatkuvasti sterilointilaitteen läpi. Tämä auttaa ehkäisemään tautien, kuten pylväsmätä ja evämätä, puhkeamista, jotka molemmat voivat levitä nopeasti kalojen keskuudessa. Veden laatu on kriittinen tekijä määrittäessä kuinka tehokkaita UV-sterilointilaitteet ovat. Samea tai epäpuhdas vesi voi estää ultraviolettisäteilyä, mikä puolestaan heikentää sterilointilaitteen tehoa. Lisäksi UV-sterilointilaitteisiin on suoritettava rutiinihuolto, joka sisältää yleensä polttimoiden vaihdon, jotta varmistutaan laitteiston tasaisesta suorituskvyyvystä. Huolimatta siitä, että se vaatii huoltoa, ultravioletti (UV) sterilointi on erityisen hyödyllinen suuremmissa järjestelmissä, joissa tautien leviämällä voi olla tuhoisia seurauksia.



## Otsonointi

Otsonointi on toinen desinfiointitapa, joka sopii erityisen hyvin kaupallisiin tai suuriin akvaponisiin vesiviljelyjärjestelmiin. Tässä tekniikassa bakteerien, virusten ja sienten poistamiseksi vedestä siihen ruiskutetaan otsonia (O<sub>3</sub>), joka on erittäin reaktiivinen happityyppi ja desinfioi veden. Tehtävänsä suorittamiseksi otsoni hapettaa orgaanisia materiaaleja ja muuttaa siten virukset ja saasteet vähemmän vaarallisiksi kemikaaleiksi. Otsonointi on hyvä valinta järjestelmiin, joissa on suuri kalan istutustiheys tai joissa veden laadun ylläpitäminen on vaikeaa, koska se on erittäin tehokas ja sen vaikutus alkaa nopeasti.

Yksi otsonoinnin eduista on, että se voi puhdistaa järjestelmän veden täysin jättämättä jälkeensä jäämiä, jotka voisivat muuten olla vaarallisia. Reaktion jälkeen otsoni hajoaa myös tavalliseksi hapeksi, mikä saattaa hieman lisätä vedessä olevan hapen määrää. Toisaalta otsonointijärjestelmien asennus- ja ylläpitokustannukset ovat melko korkeat. Otsonin tuotanto vaatii erikoiskoneiden käyttöä, ja otsonikaasun epäasianmukainen käsittely voi olla varsin vaarallista. Tämä johtuu siitä, että liialliset otsonipitoisuudet voivat olla myrkyllisiä kaloille ja ihmisille. Tästä johtuen otsonointi on usein varattu korkealuokkaisiin kaupallisiin akvaponisiin vesiviljelyratkaisuihin. Tämä johtuu siitä, että nopean ja täydellisen desinfiointin edut ylittävät järjestelmän kustannukset ja monimutkaisuuden.

## Klooraus

Huolimatta siitä, että klooraus on yleinen käytäntö monissa vedenkäsittelymenetelmissä, sitä ei tyypillisesti hyödynnetä akvaponisissa vesiviljelyjärjestelmissä, koska kloorilla on kielteisiä vaikutuksia sekä kaloihin että kasveihin. Pienetkin määrät klooria voivat aiheuttaa stressiä tai jopa kuoleman vesieliöissä, mukaan lukien kalat ja kasvit. Kloori on siis erittäin vaarallista vesieliöille. Tietyissä olosuhteissa voidaan kuitenkin käyttää kloorattua vettä altaiden tai laitteiden puhdistusprosessin alkuvaiheissa; mutta siitä on kuitenkin poistettava kloori kokonaan ennen kuin se viedään järjestelmään. Kemiallisten neutralointiaineiden, kuten natriumtiosulfaatin, käyttö tai veden antaminen seistä pitkän aikaa kloorin haihtumiseksi ovat myös menetelmiä, joita voidaan käyttää kloorin poistoon.

Kloorauksen monista haitoista merkittävin on sen aiheuttama uhka akvaponisen vesiviljelyjärjestelmän ekologiselle tasapainolle. Hyödylliset bakteerit, jotka muuttavat ammoniakkin nitriiteiksi ja nitraateiksi, ovat erittäin herkkiä kloorille, ja on mahdollista, että lyhytkin altistuminen kloorille voi häiritä tyypin kiertoa. Tästä syystä klooraus ei ole suositeltu desinfiointitekniikka akvaponisessa vesiviljelyssä, lukuun ottamatta äärimmäisen harvinaisia ja kontrolloituja skenaarioita, joissa vesi käsitellään järjestelmästä riippumatta ja sen jälkeen, kun se on täysin dekloorattu ennen käyttöä.

### *Ilmastusmenetelmät akvaponisessa vesiviljelyssä*

Akvaponiset vesiviljelyjärjestelmät tarvitsevat sopivan määrän happea tukemaan kalojen terveyttä ja järjestelmän ylläpitämisestä vastaavia biologisia prosesseja. Happea tarvitaan sen lisäksi, että veden laatua on myös ylläpidettävä desinfiomalla. Kalat, kasvit ja hyödylliset mikro-organismit tarvitsevat happea toimiakseen kunnolla, mikä tekee veden ilmastamisesta erittäin tärkeän prosessin. Riittämätön happipitoisuus vedessä voi johtaa kalojen tukehtumiseen, kasvien kuihtumiseen ja tyypin kiertohäiriöihin, mikä voi johtaa ammoniakkin kerääntymiseen, mikä voi olla haitallista kaloille. Järjestelmän koosta ja monimutkaisuudesta riippuen on olemassa muutamia erilaisia ilmastustekniikoita, joita käytetään usein akvaponisessa vesiviljelyjärjestelmissä. Jokainen näistä tekniikoista on suunniteltu ylläpitämään ihanteelliset happitasot järjestelmän kanssa (Kuvio 17).

### Which aeration method to choose for an aquaponics system?



Kuvio 17. Yhteenveto kalanviljelyssä yleisesti käytetyistä veden ilmastustekniikoista.

#### Ilmakivet ja diffuusorit

Ilmakivet ja ilman hajottimet eli diffuusorit ovat akvaponisen vesiviljelyn kaksi yleisintä ja kustannustehokkainta ilmastustapaa (Kuvio 18). Ne ovat myös yksi yleisimmistä menetelmistä. Ilmakivinä tunnetaan huokoisia kiviä, joita käytetään luomaan pieniä kuplia veteen pumpatusta ilmasta. Näiden kuplien läsnäolo lisää hapelle altistetun veden pinta-alaa, mikä puolestaan helpottaa hapen liukenemistä kokonaan veteen. Taatakseen hapen tasaisen jakautumisen koko järjestelmään, ilmakivet liitetään usein ilmapumppuihin letkujen kautta ja sijoitetaan joko kala-altaiden tai sumpun pohjalle.

Yksi ilmakivien merkittävimmistä eduista on, että niitä on helppo käyttää ja ne ovat edullisia. Koska ne on helppo asentaa, huoltaa ja vaihtaa, ne soveltuvat käytettäväksi järjestelmissä, jotka ovat joko pieniä tai keskikokoisia. Matalissa altaissa tai järjestelmissä, joissa veden virtaus on rajoitettu ja joissa happitasot voivat normaalisti kulua loppuun, ilmakivet ovat erityisen hyödyllisiä, koska ne pystyvät täydentämään happitasoja. Näiden kivien tehokkuus voi kuitenkin muuttua ilmakiven koon ja kiteen laadun mukaan. Riittävän ilmanvaihdon takaamiseksi suuremmissa järjestelmissä voidaan käyttää useita ilmakiviä tai tehokkaampia diffuusoreita. Ajan kuluessa ilmakivet voivat tukkeutua levistä tai lietteestä, mikä edellyttää säännöllistä puhdistusta tai vaihtoa, jotta niiden suorituskyky pysyy tyydyttävällä tasolla.





Kuvio 18. Ilmakivet veden hapettamiseksi.

### Venturi-suuttimet

Eräs yleisempi ilmastustyyppi on venturi-suuttimien käyttö, jotka ovat erityisen hyödyllisiä suuremmissa tai monimutkaisemmissa akvaponisissa vesiviljelyjärjestelmissä. Venturi-ilmiö on periaate, jossa vettä pakotetaan kavennetun putken läpi, jolloin syntyy tyhjiö, joka pakottaa ilman pääsemään vesivirtaan. Tämän toimenpiteen ansiosta syntyy ohut ilmakuplien sumu, joka on erittäin tehokas menetelmä vedessä olevan hapen määrän lisäämiseksi. Venturi-suuttimia on mahdollista sisällyttää järjestelmän vesivirtaan. Nämä injektorit asennetaan usein paikkoihin, joissa vettä pumpataan altaiden välillä tai suodattimien läpi<sup>3</sup>.

Venturi-suuttimien kyky ilmastaa vettä ilman ylimääräisiä pumppuja tai laitteita on yksi näiden suuttimien käytön eduista. Venturi-suuttimet pystyvät tarjoamaan jatkuvan ilmastuksen minimaalisella huollolla, koska ne hyödyntävät järjestelmässä jo olevaa vesivirtausta. Lisäksi, koska ne muodostavat hyvin pieniä kuplia, ne tarjoavat suuren pinta-alan hapen vaihtoon, mikä tekee niistä tehokkaampia kuin perinteiset ilmakivet. Kuitenkin, jotta Venturi-suuttimet toimisivat hyvin, ne saattavat vaatia asianmukaisen kalibroinnin ja säännöllistä huoltoa. Lisäksi nämä suuttimet soveltuvat parhaiten käytettäväksi järjestelmissä, joissa on tehokkaat vesipumput. On mahdollista, että tämä strategia ei ole yhtä hyödyllinen järjestelmille, joissa on alhainen veden virtaus tai paine. Venturi-suuttimien tekemiseen on saatavilla ohjeet tai niitä voi ostaa käyttövalmiina ratkaisuin<sup>4</sup>.

### Vesiputous tai roiskeilmastus

Vesiputouksessa tai roiskeilmastuksessa veden annetaan pudota korkealta tai roiskua pinnan yli, mikä aiheuttaa turbulenssia ja altistaa suuremman osan vedestä ilmalle (kuvio 19). Tämän tyyppinen ilmastus on ilmastusmenetelmänä passiivisempi. Mitä tulee akvaponisiin vesiviljelyjärjestelmiin, tämä tekniikka liitetään usein orgaanisesti järjestelmiin, joissa on vesiputouksia tai joissa vettä työnnetään eri tasojen välillä. Hyvä esimerkki tästä on prosessi, jossa vesi roiskuu akvaariosta sumppuun tai kasvatuspetiin, jolloin vesi ilmastuu ja tarjoaa kasveille happea.

<sup>3</sup> <https://hydrobuilder.com/learn/air-diffusion-vs-air-stones-for-hydroponics/>

<sup>4</sup> <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=OZMjDgM3LaU>

## TransFarm

Vesiputousilmastus on sekä edullinen että vähän huoltoa vaativa ratkaisu, ja se on erittäin tehokas järjestelmissä, joissa on jo pystysuoraa veden liikettä. Lisäksi se toimii tehokkaimmin järjestelmissä, joissa veden virtausnopeus on suurempi ja joissa ilmastettava vesimäärä riittää tyydyttämään kalojen ja kasvien happitarpeen. On kuitenkin mahdollista, että se ei yksinään riitä tiheästi asutetulle järjestelmille, koska lisäilmastus saattaa olla tarpeen happipitoisuuden pitämiseksi riittävällä tasolla. Lisäksi suurilta korkeuksilta tippuva vesi voi ajoittain aiheuttaa liiallisia roiskeita, mikä voi johtaa vesihukkaan ja vaatia huolellista suunnittelua hukan minimoimiseksi<sup>5</sup>.



Kuvio 19. Esimerkki kelluvasta roiske-/vesiputousilmastuslaitteesta.

### Siipirasilmastin

Varsinkin ulko- tai lampipohjaisissa akvaponisissa vesiviljelyjärjestelmissä siipirasilmastimia käytetään usein laajamittaisissa kaupallisissa akvaponisissa vesiviljelyjärjestelmissä (Kuvio 20). Nämä ilmastimet käyttävät mekaanisia siipiä veden pinnan sekoittamiseen, mikä lisää veden ja ilman välistä kosketusta, mikä taas lisää veteen imeytyneen hapen määrää. Useimmissa tapauksissa siipipyörät toimivat joko sähköllä tai aurinkoenergialla, ja ne voivat tehokkaasti ilmastaa valtavia määriä vettä.

Yksi siipirasilmastimien merkittävimmistä eduista on niiden kyky hapettaa suuria pinta-aloja. Tämän seurauksena nämä ilmastimet soveltuvat erittäin hyvin käytettäväksi järjestelmissä, joissa on laajoja vesistöjä, kuten kalalammikoissa tai suurissa altaissa. Ne voivat tarjota johdonmukaista ja luotettavaa ilmastusta, mikä on erityisen tärkeää järjestelmissä, joissa kaloilla on suuri istutustiheys. Sen sijaan siipirasilmastimet ovat suhteellisen kalliita ostaa ja huoltaa, ja näiden koneiden mekaaniset osat saattavat joutua huollattamaan säännöllisesti niiden käyttöiän maksimoimiseksi. Nämä järjestelmät soveltuvat paremmin myös ulkokäyttöön, kun käytettävissä oleva tila ja vesimäärä riittävät oikeuttamaan niiden käytön.



Kuvio 20. Siipirasilmastuslaitteet suurissa vesiviljely-yksiköissä.

<sup>5</sup> <https://www.agriexpo.online/prod/emygaqua/product-185779-107079.html>

Mitä tulee Akvaponisen vesiviljelyjärjestelmän tehokkuuteen, veden desinfiointi ja veden hapetus ovat molemmat ehdottoman välttämättömiä komponentteja, jotka edistävät järjestelmän kokonaisuuden menestystä. Otsoni ja ultravioletti (UV) sterilointi ovat kaksi esimerkkiä desinfiointiprosesseista, jotka auttavat pitämään mikro-organismit loitolla häiritsemättä järjestelmän herkkää tasapainoa. Ilmastustekniikat puolestaan takaavat, että happea on riittävästi kalojen, kasvien ja ympäristön kannalta hyödyllisten mikrobien kasvuun. Ilmastointia tulee aina ylläpitää riittävällä tasolla riippumatta siitä, käytetäänkö ilmakiviä, Venturi-suuttimia tai kehittyneempiä järjestelmiä, kuten siipirasilastimia.

#### 4. Kalalajin valinta

Alla esittelemme joidenkin valittujen kalalajien tärkeimmät ominaisuudet opastamaan lajien valinnassa akvaponiseen vesiviljelyyn. Kalalajin valinta korreloi ympäristöolosuhteiden kanssa ja riippuu taloudellisista näkökohdista sekä kulloisestakin markkinatutkimuksesta.

Käytetyt termit ja parametrit ovat seuraavat:

➤ **SGR, Eriyinen kasvukerroin**

on parametri, joka edustaa prosentteina kalojen painon nousua päivässä. Se lasketaan seuraavasti:

$$SGR = (\ln(W_t) - \ln(W_0)) * 100 / t(d)$$

missä:

- $W_0$ [g] = paino grammoina periodin alussa;
- $W_t$  [g] = paino grammoina periodin lopussa;
- $t$ [d] = periodin pituus, ilmaistuna päivien määrällä;
- $\ln$  = luonnollinen logaritmi.

➤ **TGC, Lämpöyksikön kasvukerroin**

Mitataan päiväkohtaisena kasvuna jokaisella periodilla huomioiden veden lämpötila. Se lasketaan seuraavasti:

$$GF3 = [(W_2^{1/3} - W_1^{1/3}) / \Delta D] \times 1000$$

missä:

- $W_2$  = paino (g) periodin ( $t_2$ ) lopussa;
- $W_1$  = paino (g) periodin ( $t_1$ ) alussa;
- $\Delta D$  = Aste-päivät, päiväkohtaisten lämpötilojen summa Celsius-asteina ajan hetkien  $t_1$  ja  $t_2$  (kesto päivinä x lämpötilan keskiarvo periodilla).

➤ **FCR, Kalanrehun muuntoaste**

edustaa rehun määrää kalan yksikköpainon tuottamiseen. Se lasketaan seuraavasti:

$$FCR = \frac{W_t \text{ of feed given}}{W_t \text{ of animal produced}}$$

missä:

$W_t$  = tarkoittaa painoa tietyssä periodina.

#### 4.1. Lohikalat

##### *Kirjolohi (Oncorhynchus mykiss)*

Kirjolohi on lohikala, joka on kotoisin Pohjois-Amerikan länsirannikolta. Sitä on helppo viljellä ja sillä on hyvä maku. Kuten kaikki lohikalat, kirjolohi on herkkä alhaisille happitasoille ja kohonneille lämpötiloille. Vakaa pH-arvo, korkea happipitoisuus ja jatkuva veden kierto takaavat tämän tarkoituksen. Kirjolohi teurastetaan 10–12 kuukauden kuluttua optimaalisissa kasvuolosuhteissa. Kirjolohi muuttaa kalanrehun lihaksi (kalanrehun muuntoaste) tehokkaasti ja sitä on helppo saada poikasena/smolttina eli vaelluspoikasena tai jopa mätinä. Hieman yli 2 kiloa painavan kirjoloihen teurastaminen on melko yleistä, mutta nykyään sitä kasvatetaan usein 800–1500 grammaan. Tämä mahdollistaa tuotantoajan lyhentämisen ennen teurastusta ja vähentää kilpailua suurten merilohen kanssa. Akvaponisessa vesiviljelyssä kasvatetut kalat kilpailevat markkinoilla merihäkkiviljeltyjen lohien kanssa. Siksi on tärkeää tehdä tarkat ja realistiset taloudelliset laskelmat, jotta myynti voi tukea RAS:n ja akvaponisen vesiviljelyn korkeampia kustannuksia.



Kuvio 21. Kirjolohi (*Oncorhynchus mykiss*).

Taulukko 1. Optimaaliset kasvuolosuhteet ja muut parametrit akvaponisessa vesiviljelyjärjestelmässä kasvatetulle kirjolohelle.

<b>Viljelyn lämpötila:</b>	10 – 20 °C
<b>Optimaalinen lämpötila:</b>	16 °C
<b>pH:</b>	6.5 – 8.5
<b>Happipitoisuus:</b>	DO > 6.5 mg/L; 100% saturaatio
<b>Kierrätysaste:</b>	2 – 3 krt/h
<b>Munien/poikasten saatavuus:</b>	Kyllä
<b>Ruokavalio ja kalanrehu:</b>	Lihansyöjalaji. Erikoisrehu on saatavilla kirjolohelle ja siitä on helppoa löytää tietoa.
<b>SGR (Erityinen kasvukerroin):</b>	1.2 – 3.0
<b>TGC (lämpöyksikön kasvukerroin):</b>	2.5 – 3.0
<b>FCR (kalanrehun muuntoaste):</b>	0.9 – 1.1
<b>Tiheys:</b>	30 – 60 kg/m <sup>3</sup>
<b>Aika teuraspainon saavuttamiseen:</b>	10 – 12 kuukautta riippuen lämpötilasta, alkupainosta ja halutusta teuraspainosta.
<b>Teuraspaino:</b>	800 – 1500 g
<b>Vedenkulutus päivässä ja kalakiloa kohden 2 prosenttia täyttö ja tiheys 50 kg/m<sup>3</sup>:</b>	0.4 L



*Atlantinlohi (Salmo salar)*

Atlantin lohi on myös erittäin herkullinen viljeltävä kala ja sillä on hyvät kasvuluvut. Jos kuitenkin haluat kasvattaa tämän kalan täysikokoiseksi, tarvitset suuren kala-altaan, jotta nämä menestyvät.

Lohen saavuttaminen teuraskokoon kestää noin kaksi vuotta. Veden lämpötila on pidettävä 12 °C ja 16 °C välillä ja veden on jatkuvasti kierrätettävä.



Kuvio 22. Atlantin lohi (*Salmo salar*).

Taulukko 2. Optimaaliset kasvuolosuhteet ja muut parametrit akvaponisessa vesiviljelyjärjestelmässä kasvatetulle Atlantin lohelle.

<b>Viljelyn lämpötila:</b>	7 – 20 °C
<b>Optimaalinen lämpötila:</b>	12 – 16 °C
<b>Munien/poikasten saatavuus:</b>	Kyllä
<b>Ruokavalio ja kalanrehu:</b>	Kyllä
<b>SGR (Erityinen kasvunopeus):</b>	1.25 – 1.35
<b>TGC (lämpöyksikön kasvukerroin):</b>	2.0 – 3.0
<b>FCR (kalanrehun muuntoaste):</b>	1.0 – 1.3
<b>Tiheys:</b>	30 – 60 kg/m <sup>3</sup>
<b>Teuraspaino:</b>	4000 – 5000 g

*Nieriä (Salvelinus alpinus)*



Kuvio 23. Nieriä (*Salvelinus alpinus*).

Taulukko 3. Optimaaliset kasvuolosuhteet ja muut parametrit akvaponisessa vesiviljelyjärjestelmässä kasvatetulle nieriälle.

<b>Viljelyn lämpötila:</b>	12 – 14 °C
----------------------------	------------

<b>TGC (lämpöyksikön kasvukerroin):</b>	1.65 – 3.0
<b>FCR (kalanrehun muuntoaste):</b>	1.0 – 1.4
<b>Tiheys:</b>	30 – 80 kg/ m <sup>3</sup>
<b>Teuraspaino:</b>	1000 – 1500 g

#### 4.2. Percidaet (ahven ja kuha)

##### *Ahven (Perca fluviatilis)*

Ahvanta pidetään lämpimän veden kalalajina, koska optimaalinen kasvun lämpötila on yli 20°C, mutta lajille erikoista on se, että se kestää myös kylmiä lämpötiloja, alimmillaan hieman yli 0 astetta. Laji on erittäin sopeutuvainen ja siksi sillä katsotaan olevan hyvät viljelymahdollisuudet. Ahvenen kasvatus RAS:ssa tapahtuu tällä hetkellä vain pienessä mittakaavassa Ruotsissa, mutta hieman suuremmassa mittakaavassa ulkomailla mm. Irlannissa, Belgiassa, Ranskassa ja Sveitsissä. "Keltaista ahventa" viljellään myös suurissa tuotantolaitoksissa Yhdysvalloissa. Ahven, kuten edellä käsitellyt lohikalat, on petokala ja tarvitsee rehussaan paljon proteiinia. Proteiinin tarve pienenee kalojen koon mukaan, mutta se tulee silti mainita, kun puhutaan kestävästä vesiviljelystä. Kalanrehuteollisuudessa tehdään kuitenkin enemmän tutkimusta ja kehitystä, kalanrehuissa käytetäänkin nykyään enemmän kasviproteiinia. Myös muita proteiinilähteitä käytetään, kuten esim. simpukoita, hiivaa, mikro-organismeja, hyönteisiä tai muun elintarviketeollisuuden jätelmiä luonnonvaraisten kalojen käytön vähentämiseksi rehussa. Haittana, joka usein mainitaan ahvenen ja kaikkien lämpimän veden lajien kasvatuksessa pohjoisemmilla leveysasteilla, on veden lämmittäminen kalojen kasvun kannalta optimaaliseen lämpötilaan. Tämä kustannus on sitä pienempi, mitä korkeampi kiertonopeus järjestelmässä on. Pumput, koneet, sisäilmastointi ja suuri määrä lämmitettyä vettä vapauttavat lämpöä viljely-ympäristöön, mikä auttaa hillitsemään lämmityskustannuksia. Toinen huomioon otettava ratkaisu on teollinen symbioosi, erityisesti mahdollisuus käyttää muiden teollisuudenalojen hukkalämpöä akvaponisten vesiviljelylaitoksen lämmittämiseen.



Kuvio 24. Ahven (*Perca fluviatilis*)

Joissakin tiloissa jäädyttäminen synnyttää enemmän kustannuksia kuin veden lämmittäminen, varsinkin lohikalalojen osalta. Kaikki nämä seikat tekevät ahvenesta erinomaisen ja mielenkiintoisen lajin RAS:lle, erityisesti ahvenen hyvän lämpötilansietokykyä ansiosta. Esimerkiksi Ruotsin kuluttajamarkkinoilla halutaan ostaa ahvenfileitä, mikä antaa kalanviljelijälle korkeamman arvonlisäyksen. Ahvenesta saadaan noin 35-40 % fileen tuotto, jolloin hävikki on jopa 60-65 % kalan painosta, mutta tämä hävikki sisältyy kalan hintaan. Hyvälaatuisia ahvenfileitä voidaan myydä korkeaan hintaan, joka kattaa entistä paremmin lisäkustannukset ja hävikin. Ahvenen hinta voi vaihdella markkinoilla myös luonnonvaraisesti pyydetyn kalamäärän mukaan. Eräs RAS:n etu on

kuitenkin se, että viljelijä voi ajoittaa kalojen teurastuksen ja suunnitella liiketoimintansa niin, ettei se tapahdu alhaisen markkinahinnan aikana.

Taulukko 4. Optimaaliset kasvuolosuhteet ja muut parametrit akvaponisessa vesiviljelyjärjestelmässä kasvatetulle ahvenelle.

<b>Viljelyn lämpötila:</b>	16 – 28 °C
<b>Optimaalinen lämpötila:</b>	23 – 26 °C
<b>pH:</b>	6.5 – 8.5
<b>Happipitoisuus:</b>	4.0 – 10.0 mg/l
<b>Kierrätysaste:</b>	1 – 3 krt/h
<b>Munien/poikasten saatavuus:</b>	Ei – kerää mätä luonnonkaloista.
<b>Ruokavalio ja kalanrehu:</b>	Lihansyöjälaaji. Erikoisrehu on saatavilla.
<b>TGC (lämpöyksikön kasvukerroin):</b>	0.6 – 1.6
<b>FCR (kalanrehun muuntoaste):</b>	1.1 – 1.4
<b>Tiheys:</b>	40 – 70 kg/m <sup>3</sup>
<b>Aika teuraspainon saavuttamiseen:</b>	Noin 12 kuukautta.
<b>Teuraspaino:</b>	300 – 400 g
<b>Veden käyttö päivässä ja per kalakiloa kohden 2 prosentissa</b>	0.33 l
<b>Täyttö ja tiheys 50 kg/m<sup>3</sup>:</b>	

#### *Kuha (Sander lucioperca)*

Kuhan luonnonkantoja on lähes koko Euroopassa ja Etelä-Norrlantiin asti Ruotsissa. Kuha on makean veden ja murtoveden petokala, joka alkaa melko nopeasti kuoriutumisen jälkeen syödä muita kaloja. Sitä voidaan pitää viljelykontekstissa haittana, koska kuha on kannibaali. Maalle sijoitetussa kalanviljelyssä, jossa kasvuolosuhteet ovat hallittuja, on mahdollista ryhtyä erityisiin toimenpiteisiin kannibalismien vaikutusten vähentämiseksi. Kalojen voidaan lajitella niiden koon mukaan, jolla pyritään säilyttämään tasainen koko yksilöiden välillä. Tiheästi kasvatettu tasakokoinen kuha käyttäytyy kuin kalaparvi, mikä yhdessä hyvän ravinnonsaannin kanssa minimoi kannibalismia. Kuha tuottaa paljon mätä, mutta aivan kuten ahvenen kohdalla, nykypäivän viljelyssä käytetty mätä saadaan luonnonvaraisesta kalakannasta. Jalostustyön kautta on kuitenkin hyvät mahdollisuudet muuttaa kalojen käyttäytymistä ja/tai lisätä samankokoisten yksilöiden määrää.

Euroopassa (esim. Tanskassa ja Hollannissa) RAS:ssa on tehty suuria investointeja kuhanviljelyyn. Koska kiinnostus kuhaa kohtaan näyttää kasvavan, on työskennelty paljon jalostetun kuhan kehittämiseksi, joka soveltuu paremmin viljelyyn, jossa yksilöiden välinen kasvu on nopeampaa ja tasaisempaa ja kannibalismi vähenee. Kuha, joka kasvaa usein 1-1,5 kiloiseksi, voidaan myydä puhdistettuna kalana ilman, että sitä tarvitsee jatkojalostaa fileiksi. Tämä tarkoittaa, että tuotto on jopa 85-90 % kalan kokonaispainosta ja hyvällä ruokakaupan hinnalla tämä voi tarjota hyvää tulosta liiketoiminnalle. Kuha voidaan teurastaa 15-18 kuukauden kuluttua riippuen muun muassa veden lämpötilasta ja teurastuksen kokotavoitteesta. Teurastukseen saavuttaminen kestää hieman kauemmin kuin ahven, mutta se myös kasvaa nopeammin ja lopulta isommaksi. Tämä tekee kuhasta myös mielenkiintoisen kalalajin RAS:ssa, jonka viljelyaikaa voidaan todennäköisimmin lyhentää, kun opimme lisää kuhan käyttäytymisestä viljelyolosuhteissa.





Kuvio 25. Kuha (*Sander lucioperca*).

Taulukko 5. Optimaaliset kasvuolosuhteet ja muut parametrit akvaponisessa vesiviljelyjärjestelmässä kasvatetulle kuhalle.

<b>Viljelyn lämpötila:</b>	16 – 28 °C
<b>Optimaalinen lämpötila:</b>	23 – 28 °C
<b>pH:</b>	6.5 – 8.5
<b>Happipitoisuus:</b>	4 – 10 mg/L
<b>Kierrätysaste:</b>	1 – 3 times/h
<b>Munien/poikasten saatavuus:</b>	Ei – kerää mätää luonnonkaloista.
<b>Ruokavalio ja kalanrehu:</b>	Lihansyöjälaaji. Erikoisrehu on saatavilla.
<b>TGC (lämpöyksikön kasvukerroin):</b>	0.8 – 1.7
<b>FCR (kalanrehun muuntoaste):</b>	1.1– 1.5
<b>Tiheys:</b>	40 – 80 kg/m <sup>3</sup>
<b>Aika teuraspainon saavuttamiseen:</b>	About 6-12 kuukautta 100 g:sta 600 g:an (16-22 °C)
<b>Teuraspaino:</b>	600 – 1500 g
<b>Veden käyttö päivässä ja per kalakiloa kohden 2 prosentissa täyttö ja tiheys 50 kg/m<sup>3</sup>:</b>	0.33 l

#### 4.3. Siperian sampi (*Acipenser baeri*)

Siperian sampi on ikivanha kalalaji, joka on pysynyt lähes muuttumattomana siitä lähtien, kun se ilmestyi fossiileihin noin 250 miljoonaa vuotta sitten. Acipenseridae-heimoon kuuluu 27 sammen lajia, jotka ovat levinneet Pohjois-Amerikan ja Euraasian subtrooppisille, lauhkeille ja subarktisille alueille. Useimmat sammen lajeista ovat anadromisia ja viettävät suurimman osan aikuisiästään suistoissa, mutta uivat jokea pitkin paritellakseen ja kuteutuakseen, mikä tapahtuu vain oikeissa olosuhteissa, ei joka vuosi murrosiän jälkeen. Luonnonvaraisissa populaatioissa sukukypsyyden saavuttaminen voi kestää uroksilla 11–24 vuotta ja naarailla 20–28 vuotta. Siperian sammet, joka on viljellyin sammen laji, tuottaa kaviaaria kuitenkin varhaisemmassa iässä. Siperian sampi tulee sukukypsäksi 5–8 vuoden iässä optimaalisissa viljelyolosuhteissa. Kiinnostus sammen viljelyyn RAS:ssa on lisääntynyt viime vuosina. Suomessa on vuodesta 2005 lähtien toiminut sammen RAS-viljelmä, joka käyttää hyödyksi paperitehtaan hukkalämpöä ja jonka veden kierrätysaste on yli 99 prosenttia. Siellä tuotetaan sekä kaviaaria että sammen lihaa Siperian sammista ja maitovalaasta. Siperian sampea tuotetaan Suomen lisäksi muun muassa Venäjällä, Kiinassa, Puolassa, Espanjassa, Saksassa, Italiassa, Yhdysvalloissa, Belgiassa ja Unkarissa. Ruotsiin on perustettu viime vuosina kaksi sammen RAS-viljelylaitosta. Molemmat valmistavat sammen lihaa ja ennen kaikkea haluttua luksustuotekaviaaria myyntiin Ruotsissa, Venäjällä ja muualla maailmassa. Sammen muokattavuus erilaisiin ympäristöihin tekee siitä kestävästä lajikkeen jalostukseen RAS:ssa. Sammet tarvitsevat kirkasta ja happipitoista vettä, mutta

### TransFarm

voivat myös käsitellä alhaisempia happipitoisuuksia lyhyempiä aikoja. Sitä voidaan kasvattaa korkeissa tiheyksissä (jopa 80–90 kg/m<sup>2</sup>), jos pystyt ylläpitämään riittävän hyvän vedenlaadun. Sampi viihtyy ja kasvaa parhaiten pienissä tiheyksissä (noin 15–25 kg/m<sup>2</sup>). Koska sammesta tuotetaan sekä lihaa että kaviaaria, on tärkeää tietää kalan sukupuoli. Ulkonäön perusteella on vaikeaa nähdä eroa kahden eri sukupuolen välillä, ja siksi sukupuolen selvitys on tehtävä ultraäänellä tai biopsialla. Urokset ja naaraat erotetaan yleensä toisistaan, sillä urokset kasvatetaan lihaa varten aikaisemmalla teurastusiällä, kun taas naaraat käytetään kaviaarin tuotantoon pidemmän ajan kuluessa. Jotkut kalanviljelytilat käyttävät naaraat kaviaarin tuotantoon useita kertoja, kun taas toisilla tiloilla naaraat teurastetaan lihaksi sen jälkeen, kun ne ovat tuottaneet kaviaaria kerran. Naaraat eivät tuota mätää joka vuosi, eivätkä niiden mädin tuotanto ole synkronoitu kalaparven sisällä. Naaraiden osuus, jotka tuottavat mätää ryhmässä, voi vaihdella 35-63 prosentin välillä vuosittain ja tuottaa epätsaista tuotantoa, joka kannattaa huomioida viljelyn suunnittelussa. Geosmiini, biosuodattimen bakteereista peräisin oleva haju, joka voi antaa jälkimakua akvaponisessa vesiviljelyssä kasvatetuille kaloille, voi olla ongelmallinen myös sammenlihalle ja ennen kaikkea kaviaarille. Sammet syövät mielellään altaan pohjalta, joten altaiden ei tarvitse olla syviä, 1-1,5 m syvyys riittää. Sammet tarvitsevat kuitenkin pohjatilaa löytääkseen ravinnon, ja siksi sampien tiheys lasketaan usein neliometriä kohden kuutiometrin sijaan. Käytännössä metrin syvyisillä altailla on silti sama tiheys, mutta jos käytettävissä on hieman syvämmät altaat, voi olla hyödyllistä miettiä, mikä on pohjan tila neliometrinä, jotta sammet saavat ruokaa ja kasvavat normaalisti. Sammelle on olemassa pellettimuotoisia erikoisrehuja, jotka ravintokoostumukseltaan ovat samanlaisia kuin mitä käytetään esimerkiksi kirjolohen ruokinnassa. Toisaalta, sammen pellettien tulisi olla yhtä vakaita ja uppoavan nopeammin, jotta ne eivät liukene niin nopeasti, jolloin nämä hampaattomat eläimet löytävät ja poimivat ne pohjasta. Sammet tuottavat erittäin arvokasta tuotetta, kaviaaria, joka voi olla viljelijälle erittäin kannattavaa. Mutta se on vaivalloista, vie aikaa ja vaatii siksi suuria rahallisia investointeja. Jotkut yritykset välttävät pitkän odotusajan alussa ostamalla jo useita vuosia vanhoja sampia, mutta sekin vaatii suuria investointeja, koska kala kallistuu mitä lähempänä sukukypsyyttä se on. Sammen lihalle on markkinoita ennen kaikkea Itä-Euroopassa ja Venäjällä, mutta sitä voisi markkinoida myös Ruotsissa.



Kuvio 26. Siperian sampi (*Acipenser baeri*).

Taulukko 6. Optimaaliset kasvuolosuhteet ja muut parametrit akvaponisessa vesiviljelyjärjestelmässä kasvatetulle sammelle.

<b>Viljelyn lämpötila:</b>	14 – 24 °C
<b>Optimaalinen lämpötila:</b>	17 - 20 °C
<b>pH:</b>	6.5 – 7.5
<b>Happipitoisuus:</b>	4 - 6mg/L
<b>Kierrätysaste:</b>	1 – 2 krt/h
<b>Munien/poikasten saatavuus:</b>	Kyllä
<b>Ruokavalio ja kalanrehu:</b>	Erikoisrehu on saatavilla sammelle

TransFarm

<b>SGR (Erityinen kasvunopeus):</b>	1.2 – 1.6
<b>FCR (kalanrehun muuntoaste):</b>	1.5 – 1.8
<b>Tiheys:</b>	15 – 25 kg/m <sup>3</sup>
<b>Aika teuraspainon saavuttamiseen:</b>	Noin vuosi 10 g lähtöpainosta
<b>Teuraspaino:</b>	1300 – 1500 g
<b>Veden käyttö päivässä ja per kalakiloa kohden 2 prosentissa Täyttö ja tiheys 50 kg/m<sup>3</sup>:</b>	1 L

#### 4.4. Jättikonnamonni (*Clarias gariepinus*)

Monni on yleisesti kalalaji, joka kasvaa nopeasti, ei vähiten Afrikan mantereella. Vuonna 2014 Nigeriassa kasvatettiin yhteensä 237 tuhatta tonnia monnia, mutta monnia kasvatettiin myös Hollannissa, Unkarissa, Keniassa, Brasiliassa, Etelä-Afrikassa ja Kamerunissa (FAO, FishStat). Monnisuvun kalalajeja on paljon sekä Afrikassa että Aasiassa, ja useita niistä käytetään kalanviljelytiloilla. Monnille sopivia kalanrehuja on monia erilaisia. Kun kalanviljely aloitettiin intensiivisellä tasolla 70- ja 80-luvuilla, tilapiaa ja monnia kasvatettiin usein samoilla tiloilla tropiikissa. Tämä tarkoitti, että monneja ruokittiin tilapian sisäosilla, mutta nykyään tämä lienee laitonta esimerkiksi Ruotsissa.

Toistaiseksi monnia on kasvatettu RAS:ssa vain Ruotsissa. Tämä johtuu tietysti siitä, että kalat tarvitsevat lämmintä vettä ja siksi niitä on kasvatettava sisätiloissa. Monni on erittäin kestävä kala, joka kestää monia yleisiä sairauksia, alhaisia happipitoisuuksia ja se voi kasvaa erittäin suurilla tiheyksillä. Kuten monet muutkin koristekarpit, se pystyy myös pysymään maassa pidempään ja käyttää suuta eräänlaisena keuhkona hengittääkseen ilmaa. Monnin tieteellinen nimi tulee kreikan sanasta "chlaros", joka tarkoittaa "eloisaa" ja on hyvä kuvaus siitä, kuinka sitkeä kala monni on. Monni on kaikkiruokainen, mikä tarkoittaa, että se voi elää enimmäkseen rehussa olevalla kasviproteiinilla. Monni kasvaa erittäin hyvin ja voi saavuttaa jopa 1,5-2 kg:n painon 6 kuukaudessa ja vuoden jälkeen se painaa noin 3,5 kg. Monnin kalanrehun muuntoaste on hieman korkeampi kuin esimerkiksi lohikaloilla, mutta tämä selittyy osittain sillä, että kalanrehusta huomattava osa on kasviksia. Tilapian ja muiden kaikkiruokaisten tai kasvinsyöjäkalojen tavoin kasvisrehu mahdollistaa rehun valmistamisen esimerkiksi maatalouden jäännöstuotteista. Epätasainen kasvu, etenkin poikasten kohdalla, voi olla huolestuttavaa, jos et lajittele kaloja usein, sillä kannibalismi on yleistä monneilla. Kuitenkin, kun kala on noin 12 viikon ikäinen, se kasvaa paljon tasaisemmin yksilöiden välillä ja säännöllinen lajittelu vähenee mitä suuremmaksi se kasvaa. Kuolleisuus ja sairaudet eivät myöskään ole suuri ongelma tälle kalalajille.



Kuvio 27. Jättikonnamonni (*Clarias gariepinus*).

TransFarm

Taulukko 7. Optimaaliset kasvuolosuhteet ja muut parametrit akvaponisessa vesiviljelyjärjestelmässä kasvatetulle Afrikan kissakalalle.

<b>Viljelyn lämpötila:</b>	21 – 34 °C
<b>Optimaalinen lämpötila:</b>	26 - 30 °C
<b>pH:</b>	6.0 – 8.5
<b>Happipitoisuus:</b>	3.5 – 6 mg/L
<b>Kierrätysaste:</b>	1 – 2 times/h
<b>Munien/poikasten saatavuus:</b>	Kyllä
<b>Ruokavalio ja kalanrehu:</b>	Erikoisrehu on saatavilla.
<b>SGR (Erityinen kasvunopeus):</b>	2.5–3.5
<b>FCR (kalanrehun muuntoaste):</b>	1.2–1.6
<b>Tiheys:</b>	60–200 kg/m <sup>3</sup>
<b>Aika teuraspainon saavuttamiseen:</b>	8 – 12 kuukautta
<b>Teuraspaino:</b>	1500 – 3500 g
<b>Veden käyttö päivässä ja per kalakiloa kohden 2 prosentissa Täyttö ja tiheys 50 kg/m<sup>3</sup>:</b>	0.15 L

4.5. Tilapia (*Oreochromis sp.*)

Tilapia eli afrikkalainen kirjoahven on maailman toiseksi viljeltyin kala, jonka tuotanto oli noin 3,6 miljoonaa tonnia vuonna 2014 (FAO FishStat). Se on nopeasti kuromassa kiinni viljelykalana ensimmäisellä sijalla olevaan karppiin. Tilapia on itse asiassa yhteisnimi useille kalasuvuille (*Oreochromis sp.*, *Tilapia sp.*, *Sarotherodon sp.* ja *Alcolapia sp.*).

Nämä ovat luultavasti vaihtuvia nimiä, joten Tilapia on kasvualustalle kuteva kala, toisin kuin *Oreochromis.sp*, joka on suussa hautova kala. Toisin kuin *Oreochromis.sp*, *Tilapia.sp* suvun kalat ovat erittäin aggressiivisia ja vaativat paljon pinta-alaa kala-altaassa. *Sarotherodon sp.* ja *Alcolapia sp* siirretään todennäköisesti siklidien (*Oreochromis.sp*) kirjoahventen sukuun. Sitä kasvatetaan monissa osissa maailmaa (>100 maata), erityisesti lämpimillä alueilla, kuten Kiinassa ja muualla Aasiassa, monissa Afrikan maissa, Keski- ja Etelä-Amerikassa sekä Yhdysvalloissa. Yhdysvallat on suurin tilapian maahantuojia (pääasiassa Kiinasta), mutta siellä tuotetaan paljon myös itse.



Kuvio 28. Tilapia (*Oreochromis sp.*).

Yleisimmin viljelty "Tilapia-laji" on Niilintilapia (*Oreochromis niloticus*), mutta kuten edellä mainittiin, on monia erilaisia kirjoahvenen lajeja, joita viljellään kaikkialla maailmassa. Tilapia on yksi helpoimmin kasvatettavista kaloista ja sopii hyvin akvaponiseen vesiviljelyyn. Se on sitkeä kala, joka kestää suuria

### TransFarm

tiheyksiä ja kasvaa erittäin nopeasti markkinakokoon, joka on Ruotsin markkinoilla noin 400 g–1000 g. Kuten edellä mainittiin, Niilintilapia on kaikkiruokainen, joten toisin kuin lohikalat, se selviytyy ja kasvaa täydellisesti 100-prosenttisella kasvispitoisella rehulla. Riippumattomuus luonnonvaraisista kaloista valmistetusta kalanrehusta (joka sisältää kalajauhoa) on tietysti suuri etu, kun puhutaan kestävästä tuotannosta. Melkein kaikki tilapialle tarjottava kalanrehu sisältää kuitenkin jonkin verran kalajauhoa ja kalaöljyä, jotka sekä lisäävät kasvunopeutta että mahdollistavat fileiden sisältämän ihmisille hyödyllisiä omega-3-tyydyttymättömiä kalarasvoja EPA- ja DHA-rasvoja. Kuten edellä on kirjoitettu, myös rehuteollisuus on pyrkinyt kestävämpään ratkaisuun myös petokaloille ja sielläkin tutkitaan uusia proteiinilähteitä, jotka eivät ole liiallisesti riippuvaisia luonnonvaraisista kaloista. Niilin tilapian kasvu- ja lisääntymisominaisuuksien vuoksi se voi olla erittäin menestyvä invasiivinen laji. Sitä ei kuitenkaan pidetä ongelmana pohjoisilla leveysasteilla eikä varsinkaan akvaponisissa järjestelmissä, koska kaloja pidetään sisätiloissa kasvatusaltaissa ja vaikka ne pääsisivät pakoon laitoksesta, ne eivät pystyisi selviytymään ja lisääntymään pohjoisen suhteellisen kylmässä vedessä. Nopean 4-6 viikon kutemissyklinsä ansiosta tilapia soveltuu hyvin ns. porrastettuun tuotantoon. Tämä tarkoittaa, että sinulla on eri ikäisiä kaloja eri altaissa. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että lisäät toiseen altaaseen saman määrän poikasia kuin toisesta altaasta lähtee kaloja teuraaksi. Siten yhdessä altaassa kasvaa sama kalapopulaation koko elämänsä ajan. Näin vältät kalojen liiallisen siirtämisen ja saat tasaisen ja ennustettavan tuotannon sekä kalasta että vihreästä biomassasta.

Taulukko 8. Optimaaliset kasvuolosuhteet ja muut parametrit Akvaponisessa vesiviljelyjärjestelmässä kasvatetulle tilapialle.

<b>Viljelyn lämpötila:</b>	21 - 36 °C
<b>Optimaalinen lämpötila:</b>	26 - 32 °C
<b>pH:</b>	6.0 – 8.5
<b>Happipitoisuus:</b>	3.5 – 6.0 mg/L
<b>Kierrätysaste:</b>	1 – 2 times/h
<b>Munien/poikasten saatavuus:</b>	Kyllä
<b>Ruokavalio ja kalanrehu:</b>	Erikoisrehu on saatavilla tilapialle
<b>SGR (Eriytynen kasvunopeus):</b>	2.0 – 3.0
<b>FCR (kalanrehun muuntoaste):</b>	1.1 – 1.6
<b>Tiheys:</b>	60 – 160 kg/m <sup>3</sup>
<b>Aika teuraspainon saavuttamiseen:</b>	6 – 7 kuukautta
<b>Teuraspaino:</b>	400 – 800 g
<b>Veden käyttö päivässä ja per kalakiloa kohden 2 prosentissa</b>	0.2 L
<b>Täyttö ja tiheys 50 kg/m<sup>3</sup>:</b>	

#### 4.6. Karppi (*Cyprinidae spp.*)

Yleinen karppi (*Cyprinus carpio*) ja muut karppi lajit joita voidaan viljellä [(Hopeakarppi (*Hypophthalmichthys molitrix*) ja Ruohokarppi (*Ctenopharyngodon idella*)].

Karpit tulevat Itä-Euroopasta ja Aasiasta, jossa ne ovat tällä hetkellä eniten viljelty kalalaji maailmanlaajuisesti. Karppikalat sietävät suhteellisen alhaista happipitoisuutta ja huonoa veden laatua, ja niiden veden lämpötilan sietoalue on paljon suurempi. Karppi selviytyy jopa 4°C ja jopa 34°C lämpötiloissa, joten se on ihanteellinen valinta akvaponiseen vesiviljelyyn sekä lauhkeilla että trooppisilla alueilla. Paras kasvunopeus saavutetaan, kun lämpötila on 25–30 °C. Näissä olosuhteissa



### TransFarm

ne voivat kasvaa poikasista teuraskokoon (500–600 g) alle vuodessa (10 kuukaudessa). Kasvunopeus hidastuu dramaattisesti alle 12 °C:n lämpötiloissa. Uroskarpi on pienempi kuin naaras, mutta voivat silti kasvaa luonnossa jopa 40 kg:n painoisiksi ja 1–1,2 m pitkiksi vonkaleiksi. Luonnossa karpi on pohjaruokinnassa kaikkiruokaisia, jotka syövät monenlaista ruokaa. Ne syövät mieluummin selkärangattomia, kuten vesihyönteisiä, hyönteisten toukkia, matoja, nilviäisiä ja eläinplanktonia. Jotkut kasvissyöjäkarppilajit syövät myös vesi- ja maakasvien varsia, lehtiä ja siemeniä sekä lahoavaa kasvillisuutta. Viljelty karppi voidaan helposti kouluttaa syömään nestemäistä pellettirehua. Karpin munat saadaan parhaiten hautomoista ja erityisistä kasvatuslaitoksista. Karpin poikasten tuottaminen on tilapiaa monimutkaisempi prosessi, koska naaraskarpin kutu saadaan aikaan hormoniruiskeella, joka vaatii lisätietoa kalan fysiologiasta ja kokemusta tästä toiminnosta. Karppia voidaan helposti kasvattaa muiden kalojen kanssa, ja näin on tehty vuosisatoja. Tämä käytäntö koostuu pääasiassa kasvissyöjäkalojen (ruohokarppi), planktonia syövien kalojen (hopeakarppi) ja kaikkiruokaisten kalojen/jätettä syövien kalojen (tavallinen karppi) kasvattamisesta yhdessä kaikkien ravintolaisen kattamiseksi. Akvaponisessa vesiviljelyssä näiden kolmen lajin yhdistäminen tai ainakin heinäkarpin yleiseen karppiin johtaisi ravinnon parempaan käyttöön, koska ensimmäinen ruokittaisiin sekä pelleillä että satojätteillä, kun taas jälkimmäinen etsii myös jätettä, joka kerääntyy altaan pohjalle. Kuten mainittiin, karppia voidaan kasvattaa myös laitoksessa muiden kalalajien kanssa kuluttajien tarjonnan laajentamiseksi, tai koska se on suhteellisen helppo kasvattaa, "ravintolähteenä" vesiviljelyssä, jossa päätuote sen sijaan on yleensä kasvit. Juurien, muiden viljelyjäämien, saaminen olisi myös erittäin hyödyllistä akvaponiikkajärjestelmien ravinnevarastolle, koska niiden pilkkominen kalojen toimesta ja peräkkäinen jätteen mineralisaatio palauttaisi suurimman osan hivenravinteista takaisin kasveille. Muut karppilajit (koristekalat) Kulta- tai koristekarppia tuotetaan pääasiassa koristekalateollisuudelle ravintokalojen sijaan. Nämä kalat sietävät myös hyvin erilaisia vesiolosuhteita ja ovat siksi hyviä ehdokkaita akvaponiseen järjestelmään. Niitä myydään myös yksityishenkilöille ja akvaarioliikkeille koristekalana (*Cyprinus carpio*) huomattavasti paremmalla hinnalla verrattuna ruokakaloihin. Koristekarppi ja muut koristekalat ovat suosittu valinta kasvissyöjille. Akvaponisessa vesiviljelyssä kasvatettavan karppilajin valinnassa tulee ilmastollisten ominaisuuksien ja kalanhoitoon liittyvien kysymysten lisäksi soveltaa myös kustannus-hyötyanalyysiä, jossa huomioidaan luisen ja yleisesti halvemman markkinahinnan kalan arvo suhteessa muihin lajeihin.



Kuvio 29. Karppi (*Cyprinus carpio*).

Taulukko 9. Optimaaliset kasvuolosuhteet ja muut parametrit Akvaponisessa vesiviljelyjärjestelmässä kasvatetuille karpeille.

<b>Viljelyn lämpötila:</b>	15 – 32 °C
<b>Optimaalinen lämpötila:</b>	26 - 30 °C

TransFarm

<b>pH:</b>	6.5 – 8.5
<b>Happipitoisuus:</b>	3.5 – 6.0 mg/L
<b>Kierrätysaste:</b>	1 – 2 times/h
<b>Munien/poikasten saatavuus:</b>	Kyllä
<b>Ruokavalio ja kalanrehu:</b>	Erikoisrehu on saatavilla.
<b>SGR (Erityinen kasvunopeus):</b>	1.2–1.4
<b>FCR (kalanrehun muuntoaste):</b>	1.5–2.8
<b>Tiheys:</b>	40–80 kg/m <sup>3</sup>
<b>Aika teuraspainon saavuttamiseen:</b>	12 – 14 kuukautta
<b>Teuraspaino:</b>	400 – 2000 g

#### 4.7. Äyriäiset

Äyriäiset tarjoavat etuja akvaponiselle vesiviljelyjärjestelmälle. Niitä voidaan lisätä akvaponiseen vesiviljelyjärjestelmään yhdessä joidenkin kalalajien kanssa tai vielä paremmin erillisessä altaassa, yleensä pohja-altaassa. Syynä tähän on tietysti se, että altaassa olevat kalat ovat alttiita syömään äyriäisiä. Äyriäisiä voidaan kasvattaa myös ravinnoksi kaloille. Äyriäiset syövät kuollutta orgaanista kasvimateriaalia kala-altaan pohjalla, joten näin ne auttavat pitämään altaan puhtaana ylimääräisestä materiaalista. Katkarapuja ja rapuja voidaan pitää myös syvän veden kasvatusaltaan lauttojen alla, missä ne pitävät myös kasvin juuret puhtaina. Makean veden katkarapujen (*Macrobrachium rosenbergii*), rapujen (*Cherax*-lajit) ja katkarapujen lisäämisellä akvaponisiin järjestelmiin on sekä toiminnallisia että taloudellisia etuja, mutta ne edellyttävät tarkkaa ympäristön valvontaa. Monet äyriäiset syövät yli jäänyttä kalaruokaa, biofilmejä ja roskia, mikä vähentää jätettä ja toimii myös toissijaisena viljelyn kohteena. Äyriäisten ravinnekiertotoiminto vähentää biosuodattimen kuormitusta syömällä orgaanista jätettä, mikä parantaa sekä kasvien että kalojen veden laatua. Äyriäiset ovat myös herkempiä ympäristön muutoksille kuin monet akvaponiset kalalajit, joten niiden biologisten tarpeiden ymmärtäminen on ratkaisevan tärkeää niiden viljelmään integroitumisen kannalta.

Äyriäiset ovat herkkiä ammoniakille, joka on niille haitallista pieninäkin määrinä, joten veden laadun hyvä hallinta on välttämätöntä. Äyriäisten fysiologisen stressin tai kuoleman estämiseksi ammoniakkipitoisuuksien tulee olla alle 0,5 mg/l ja nitriittipitoisuuksien alle 1 mg/l. Liuennut happi (DO) on erittäin tärkeä äyriäisten hengittämiseksi, kehitykselle ja kuoriutumiseksi, mikä on välttämätöntä äyriäisten kasvulle ja ulkokuoren uusiutumiseksi. Niiden aineenvaihdunnan tarpeiden täyttämiseksi happipitoisuuksien tulee olla yli 5 mg/l. Kuoriutumiseksi ja uuden ulkokuoren muodostumiseen vaikuttavat veden pH:n muutokset, joten pH:n tulisi olla välillä 7,0-8,0. Äyriäisten herkän ulkokuoren vuoksi äkilliset pH-muutokset voivat aiheuttaa ulkokuoreen poikkeavuuksia tai jopa niiden kuoleman.

Jokaisella lajilla on ihanteellinen lämpötila-alue, joka vaikuttaa kasvuun, lisääntymiseen ja immunologiseen vasteeseen. Makean veden katkaravut kehittyvät parhaiten 25–30 °C:ssa, kun taas *Cherax*-ravut noin 20–26 °C:ssa. Poikkeaminen näistä rajoista voi hidastaa kasvua, heikentää immuniteettia ja heikentää eloonjäämistä. Jos äyriäisiä pidetään kylmän veden kalojen, kuten taimenen, rinnalla, on segmentoinnin tai lämmönsäätimien käyttäminen tarpeen tämän rajoitetun lämpöalueen ylläpitämiseksi sekalajijärjestelmissä. Äyriäisten kehityslämpötilojen ylläpitäminen yli 20 °C kylmissä akvaponisissa vesiviljelyjärjestelmissä on vaikeaa, mutta välttämätöntä kasvun viivästyksen ja tuottavuuden alenemisen välttämiseksi.



## TransFarm

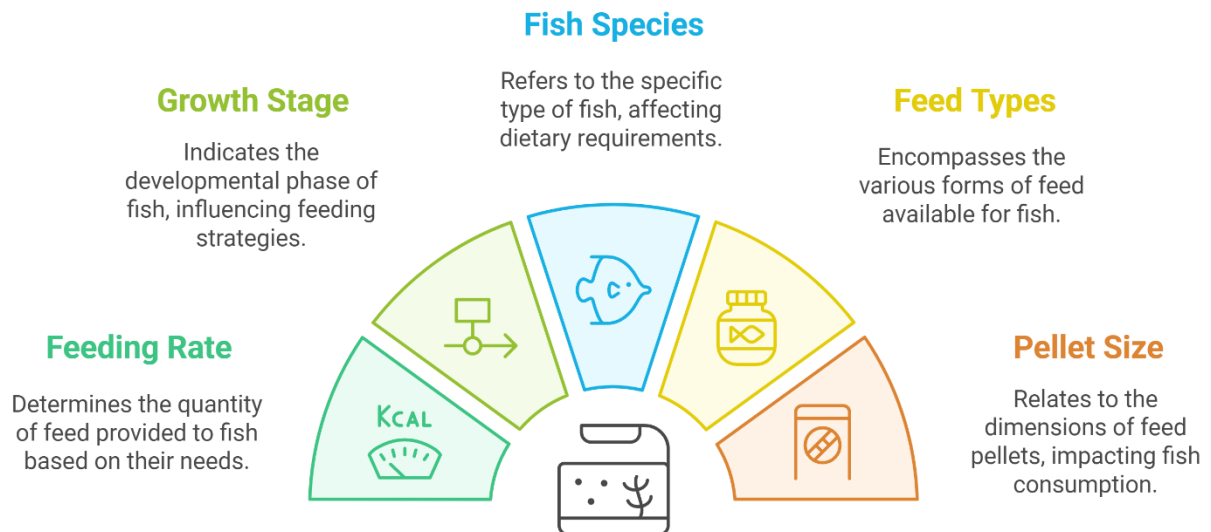
Koska äyriäiset, erityisesti ravut, elävät yöllä tai pitävät heikosta valosta, valaistus ja valojaksojen hallinta ovat ratkaisevan tärkeitä. Voimakas valaistus saattaa stressata ja estää äyriäisten syömistä ja kasvua. Kirkkaat valojen asetukset ilman sopivaa varjoa voivat tehdä äyriäisistä vähemmän aktiivisia ja alttiita sairauksille. Vuodat, putket ja varjostetut tilat ovat välttämättömiä äyriäisille, erityisesti kuoriutumisen aikana, jolloin ne ovat haavoittuvimpia. Koska muut lajit voivat kannibalisoita kuoriutuvia äyriäisiä, tällaiset suojat ovat tarpeen populaation vakauden kannalta.

Jotta akvaponisessa järjestelmässä saavutettaisiin riittävän voimakas kasvu, on äyriäisiä ruokittava tasapainossa luonnollisen puhdistuksen ja lisäravinteiden kanssa. Tuottavassa viljelyjärjestelmässä äyriäiset imevät itseensä syömätöntä kalanrehua ja biofilmiä, mutta nämä lähteet ovat harvoin riittäviä kattamaan niiden ravitsemukselliset tarpeet. Makean veden katkaravut tarvitsevat 35-40 prosenttia proteiinia kasvaakseen. Monipuolinen kasvi- ja eläinperäinen ruokavalio auttaa rapuja kasvamaan. Äyriäisille tarkoitettuja pellettejä, kuten kalajauhoa tai soijapapua, tarvitaan usein. Runsaat kalsiumia sisältävät ateriat, kuten murskatut kuoret tai kivennäisliäaineet, auttavat muodostamaan kuoriutumista varten tarvittavan uuden ulkokuoren. Yliruokinta voi taas aiheuttaa nopeaa ammoniakkin tuotantoa, joten kasvun ja jätteiden syntymisen ehkäisemiseksi tarvitaan asianmukaisia ruokintakäytäntöjä.

Äyriäisten ollessa läsnä akvaponisessa järjestelmässä on biofoulingia ja sedimentaatiota seurattava ja valvottava happihäviön ja infektioiden estämiseksi. Pidä niiden kertyminen loitolla säännöllisellä altaan puhdistamisella, sedimentin poistamisella ja suodattimen huollolla. Ravinnohakukäyttäytymisensä vuoksi äyriäiset tuottavat altaan pohjalle kiinteää jätettä, jota sedimenttiloukut ja pienet mekaaniset suodattimet voivat vähentää. Äyriäisillä on korkeampi aineenvaihdunta- ja jätetuotanto kuin kaloilla mikä lisää biosuodattimien tarvetta, joten järjestelmien tulisi sisältää säännölliset vedenvaihtotekniikat ihanteellisten vesiolosuhteiden ylläpitämiseksi.

### 5. Kalanrehu/ravitsemus

Akvaponisessa vesiviljelyssä tasapainoisen ekosysteemin ylläpito on riippuvainen kalanrehun ja muun ravinnon laadusta. Kalanrehu tukee epäsuorasti kasvien kasvua tarjoamalla välttämättömiä ravinteita kalajätteen kautta, minkä lisäksi se tukee kalojen kasvua ja terveyttä. Se, että kalat tuottavat riittävästi jätettä ravinteiden, kuten ammoniakkin, joka muuntuu kasveille nitraateiksi mikro-organismien toimesta, toimittamiseen on riippuvainen oikeasta ravinnosta. Kalan optimaalista kehitystä ja immuunitoimintaa edistää tasapainoinen ravitsemus, joka sisältää runsaasti proteiineja, lipidejä, vitamiineja ja kivennäisaineita. Veden puhtauden, kalojen ravinnon ja ruokintasuhdeiden säätely on välttämätöntä sekä kalojen että kasvien tuottavuuden optimoimiseksi ja järjestelmän vakauden säilyttämiseksi (Kuvio 30).



Kuvio 30. Yhteenveto tärkeimmistä kalanrehun valintaan liittyvistä seikoista.

### 5.1. kalanrehun eri tyypit

Sopivan kalanrehutyypin tai rehuyhdistelmän valinta on välttämätöntä tuottavan akvaponisen vesiviljelyjärjestelmän ylläpitämiseksi. Akvaponinen vesiviljely on pitkälti riippuvainen ravintoaineista, joita rehu tuo järjestelmään ja kalojen aineenvaihduntaan, joten kalan ruokavalion huolellinen optimointi on erittäin tärkeää. Kalanrehun valinta riippuu suurelta osin kasvatetusta kalalajista, kasvuvaiheesta (kalan koko) ja yleisistä tavoitteista (kala- tai kasvituoanto). Yleensä voidaan käyttää kolmea suurinta kalanrehuluokkaa – kaupallisia pellettejä (useita alakategorioita), luonnollista ja elävää rehua sekä kotitekoista lisärehua. Kaikkia kolmea mainittua luokkaa voidaan käyttää yhdessä toistensa kanssa tasapainoisen ruokavalion tarjoamiseksi kaloille.

#### Kaupalliset kalanrehun tyypit

Kaupallinen kalanrehu on yleensä räätälöity vastaamaan yksittäisten kalalajien tai niiden kasvuvaiheiden erityisruokavaliotarpeita, optimaaliset ruokintasuhteet takaavat terveen kehityksen ja ennustettavat tulokset. Alla on erittely kaupallisesti saatavilla olevista kalanrehutyypeistä ja niiden käyttötarkoituksista (Kuvio 31).



Kuvio 31. Pelletoitu kaupallinen kalanrehu.

## **Kelluvat pelletit**

Kelluvat pelletit ovat yksi yleisimmin käytetyistä kaupallisista rehutyypeistä, joita käytetään vesiviljelyssä ja akvaponisessa vesiviljelyssä. Kuten nimestä voi päätellä, pelletoitu kalanrehu kelluu veden päällä, jolloin kalat saavat ruokintansa veden pinnalla. Kalalajit, kuten tilapia ja taimen, pitävät tämän tyyppisestä rehusta, koska ne syövät veden keski- tai ylätasolla. Kelluvan rehun avulla käyttäjä voi tarkkailla, kuinka paljon rehua kuluu kullakin ruokintakerralla, jolloin ruokintanopeutta voidaan säätää siten, että ruokaa ei mene hukkaan. Kelluvat pelletit edistävät myös useiden kalalajien luonnollisia ruokintavaistoja ja niitä voidaan käyttää eri kasvuvaiheissa. Useat pohjasyöjiksi katsottavat lajit, esimerkiksi sampi, voivat rajallisessa tilassa kasvatettuna oppia nopeasti ruokailemaan pintavedessä, joten tämäntyyppistä rehua pidetään joissain käyttötapauksissa universaalina ratkaisuna.

## **Uppoavat pelletit**

Uppoavat pelletit ovat kalanrehun tyyppi, joka on suunniteltu uppoamaan altaan pohjaan ja jota suosivat kalanviljelijät, jotka kasvattavat pohjaravintolajeja, kuten monnia tai tiettyntyyppisiä karppeja. Järjestelmissä, joissa on useampi kuin yksi kalalaji, jotka käyttävät koko vesipatsaan elintilana, on tämän tyyppisen kalanrehun käyttäminen hyödyllistä, koska tämä rehu uppoaa pohjaan ja silloin pohjasyöjät eivät kilpaile ruoasta yläosassa viihtyvien kanssa. Kuten muutkin kaupalliset kalanrehun tyypit, nämä pelletit ovat erikokoisia ja omaavat erilaisen koostumuksen eri kasvuvaiheissa olevien kalojen tarpeiden täyttämiseksi. Uppoavia pellettejä käytettäessä on suositeltavaa seurata tarkasti ruokintamääriä, sillä ei ole selvää, milloin ylimääräinen ruoka jää syömättä ja voi siten aiheuttaa pohjalle ylimääräisen ruuan kertymistä ja myöhemmin veden laatuongelmia.

## **Hitaasti uppoavat pelletit**

Hitaasti uppoavat pelletit ovat edellisten hybridivaihtoehto, joka uppoaa vähitellen kala-altaassa ja soveltuu siten kaloille, jotka ruokailevat vesipatsaan eri tasoilla. Tämäntyyppinen rehu on universaali, kun viljellään sekoituksena eri kalalajeja tai kalalajeja, jotka suosivat ruokintaa vesipatsaan keskellä. Uppoaviin pelletteihin verrattuna nämä tarjoavat kaloille enemmän aikaa syödä tarjolla olevaa ruokaa ja auttavat siten välttämään ylimääräisen kalanrehun kertymistä altaan pohjalle. Mikäli kala-altaassa on paljon yläkeskisyöttölaitteita ja myös tyyppillisiä pohjasyöttölaitteita, on huolehdittava siitä, että pohjasyöttölaitteet ovat riittävästi täytettyjä ja että muut altaassa olevat kalat eivät syö kyseistä ruokaa.

## **Lajikohtaiset kalanrehut**

Joillakin kalalajeilla on erityisiä vaatimuksia ruokavaliolle ja ne tarvitsevat erityisiä rehukoostumuksia. Esimerkiksi lihansyöjäkalat, kuten meriahven (bassi) tai taimen, tarvitsevat enemmän rasvoja ja proteiinia kuin kasvinsyöjäkalat, kuten tilapia, jotka taas tarvitsevat vähemmän proteiinia, mutta enemmän kuitua. Lajikohtaiset rehut on optimoitu vastaamaan kalan luonnollista ruokavaliota, mikä tarjoaa optimaalisen tasapainon pääravintoaineista optimaalista tuotantoa varten. Jotkut rehut voivat sisältää myös eksoottisempia lisäaineita, kuten probiootteja tai ruoansulatusentsyymejä, jotka edistävät kalojen ruoansulatusta ja ravinteiden imeytymistä. Lajikohtaisessa kalanrehussa huomioidaan myös, millaista ruokintaa kyseinen kala tarvitsee ja siten pelletit ovat joko uppoavia tai kelluvia.

## **Kasvuvaiheen kalanrehut**

Kaupallista kalanrehua voidaan myös formuloida tietyn kalalajin tiettyjä kasvuvaiheita varten. Nuorten kalojen (poikasten) rehut ovat yleensä pienempiä ja sisältävät korkeampia proteiinipitoisuuksia nopean kasvun tukemiseksi. Kasvavan kalan (grow-out) rehut on suunniteltu siten, että

## TransFarm

proteiinipitoisuudet ovat 30-40 %. Jalostuskalojen (siitoskantojen) rehuja käytetään jalostukseen osallistuvien kypsien kalojen ruokkimiseen, tämäntyypiseen rehuun on yleensä lisätty ylimääräisiä vitamiineja, kivennäisaineita tai muita lisäaineita lisääntymiskyvyn parantamiseksi. Kasvuvaiheesta riippuen rehut ovat erikokoisia, jotta kalat voivat helposti niellä ruokaa.

### *Luonnolliset elävät rehut*

Luonnonrehut ovat erinomainen lisä kaupallisesti saataville kalanrehuille, erityisesti kalalajeille, jotka syövät luonnostaan hyönteisiä, toukkia tai muita vedessä eläviä selkärangattomia. Tämäntyypinen kalanrehu on ravinteikas ja sisältää runsaasti proteiinia, rasvoja, kivennäisaineita ja vitamiineja, jotka jäljittelevät ruokaa, jota ne kuluttaisivat luonnollisessa elinympäristössään. Elävän rehun tarjoaminen voi stimuloida kalojen luonnollista käyttäytymistä ja tarjota kestävä vaihtoehdon rehulle, jota voidaan kasvattaa suljetussa akvaponisessa vesiviljelyjärjestelmässä.

### **Hyönteiset ja toukat**

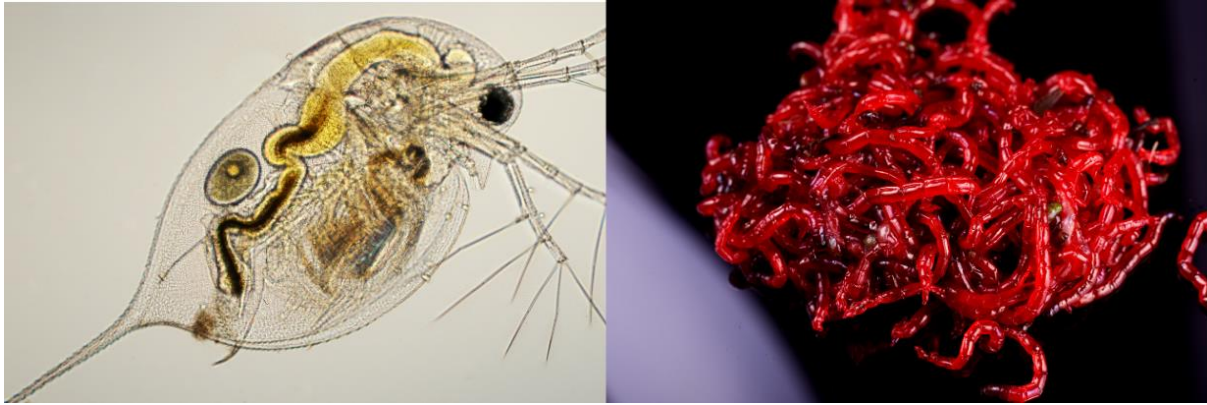
Hyönteiset ja toukat, esimerkiksi mustasotilaskärpäsen toukat, jauhomato (kuvio 32), sirkat ja muut ovat erinomaisia proteiinin ja rasvan lähteitä. Mustat sotilaskärpäsen toukat sisältävät runsaasti proteiinia (jopa 45 %) ja rasvaa jopa 35 %, mikä tekee niistä poikkeuksellisen runsaan ravintolähteen kaloille, kuten tilapialle tai monelle muulle. Mustasotilaskärpäsen toukkia voidaan helposti viljellä minkä tahansa akvaponisen vesiviljelyjärjestelmän toiminnasta syntyvän eloperäisen jätteen, ruokajätteen tai poisheitetyn sadon päällä. Kun viljelykasveista syntyvä jäte muunnetaan kalanrehuksi, muodostuu akvaponisesta vesiviljelyjärjestelmästä täydellinen suljetun kierron systeemi, josta ei synny mitään jätettä. Jauhomadot ja sirkat sisältävät erityisen runsaasti välttämättömiä rasvahappoja, vitamiineja ja proteiineja, jotka ovat myös loistava lisä kalojen ruokavalioon. Tarjoamalla kaloille hyönteisiä ja toukkia kannustat olennaisesti luonnollista ruokintakäyttäytymistä, lisäät kalojen aktiivisuutta ja vähennät niiden ikävystymistä, mikä on erityisen tärkeää ahtaissa elinympäristöissä.



*Kuvio 32. Mustasotilaskärpäsen (vasemmalla) ja jauhomadon toukat (oikealla).*

### **Vedessä elävät selkärangattomat**

Suolakatkarapuja, vesikirppuja, verimatoja (kuvio 33) ja muita vedessä eläviä selkärangattomia käytetään yleisesti akvaponisen vesiviljelyn kalanrehujen lisäaineina kaloille, kuten ahvenelle, tilapialle tai koristekalalajeille (koristekarppi, kultakala). Suolakatkaravut sisältävät runsaasti proteiinia ja rasvahappoja, ja ne sopivat nuorten kalojen tai pienempien kalalajien kulutukseen. Daphnia (vesikirput) ovat pieniä vedessä eläviä selkärangattomia, jotka ovat ravitsevia ja helppoja viljellä. Verimatoja (sääskien toukkia) syövät yleensä lihansyöjäkalat. Verimatoja voidaan viljellä erillisissä kalaltaissa tai lammikoissa jatkuvan elävän rehun saamiseksi, mikä stimuloi kalojen luonnollista ravinnonhakukäyttäytymistä.



Kuvio 33. daphnia (left) and bloodworms (right).

### Kastemadot

Kastemadoissa on runsaasti proteiinia (jopa 60 %) ja välttämättömiä aminohappoja. Kastematoja voidaan viljellä osana suljetun kierron akvaponista vesiviljelyjärjestelmää vermiviljelyn avulla. Vermiviljelyssä syntyneet sato- ja vihannesjätteet voidaan syöttää vermikompostiastiaan, jossa lierot syövät jätteet ja jolloin syntyy lisää kastematoja ja kompostia (ravinnerikas komposti), jota voidaan edelleen käyttää esimerkiksi siementaimien kasvattamiseen. Isommat kalat, kuten monni, karppi, ahven ja muut, voivat käyttää näitä matoja ruokavaliossaan – ne sisältävät myös runsaasti kivennäisaineita ja vitamiineja.

### Levä ja limaska

Kasvissyöjä- ja kaikkiruokaiset kalalajit, kuten tilapia, karppi ja muut, voivat käyttää tiettyjä levä- ja limaskalajeja osana ruokavaliotaan. Limaska on nopeasti kasvava pienikokoinen vesikasvi, joka voi sisältää jopa 40 % proteiinia ja sisältää runsaasti muita hyödyllisiä ravintoaineita, kuten vitamiineja ja kivennäisaineita (Kuvio 34). Limaskaa voidaan viljellä pienissä lammikoissa tai erillisenä kasvuympäristönä integroituna tuottavaan akvaponiseen vesiviljelyjärjestelmään. Kesäkaudella lammikoiden on taipumus kasvaa umpeen limaskasta, mutta ruokittaessa kaloja ulkopuolisista lähteistä tulevalla limaskalla on oltava varovainen, sillä ne voivat sisältää tuholaisia ja taudinaiheuttajia, jotka voivat vaikuttaa kalojen ja kasvien terveyteen. Kalojen ruokavaliota voidaan täydentää myös levillä – ne sisältävät mikroravinteita ja rasvahappoja, jotka ovat hyödyllisiä kalojen terveydelle ja immuunijärjestelmälle. Leviä voidaan ostaa kuivattuina jauheina, joiden käyttöaika on rajoitettu. Levät leviävät rehun kautta koko järjestelmään ja joskus voi tapahtua ei-toivottua levien lisääntymistä, varsinkin jos järjestelmän käyttäjä pyrkii kohti steriilimpää ympäristöä.

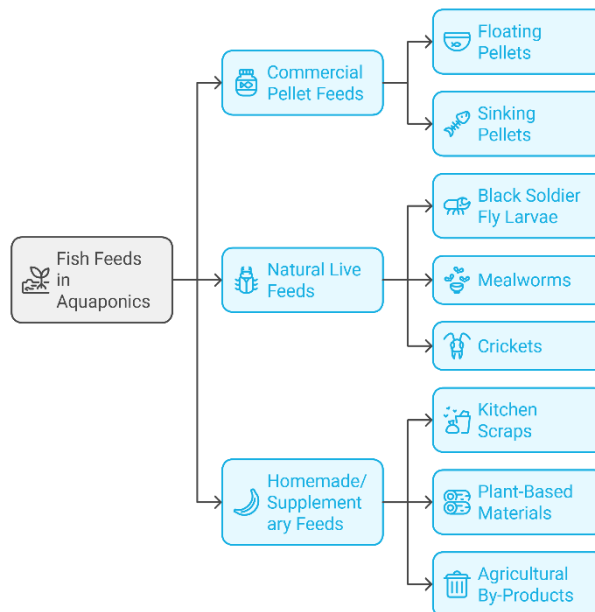


TransFarm



Kuvio 34. Limaskasta umpeenkasvanut lampi.

Mahdollisuus viljellä eläviä ravinnonlähteitä paikan päällä on yksi tärkeimmistä eduista niiden hyödyntämisessä akvaponisessa vesiviljelyssä. Esimerkiksi lierojen viljelylaitokset voivat kukoistaa kasvien leikkausjätteillä ja luomukompostilla, kun taas mustasotilaskärpäsen toukkia voidaan tuottaa ruokajätteillä. Daphniaa ja suolavedessä olevia äyriäisiä voidaan viljellä pienissä, erityisissä altaissa tai lammikoissa, mikä varmistaa tasaisen rehuraaka-aineen saannin. Rehukustannusten pienentämisen lisäksi elävän ravinnon viljely paikan päällä muodostaa myös osan suljetun kierron järjestelmästä, joka parantaa järjestelmän tehokkuutta ja vähentää syntyvää jätettä. Lisäksi se mahdollistaa paremman kalanrehun laadun hallinnan, mikä takaa, että kaloille tarjotaan ravitsevia, torjunta-ainevapaita rehulähteitä, jotka on erityisesti suunniteltu täyttämään niiden ainutlaatuiset vaatimukset (kuvio 35).



Kuvio 35. Types of fish feed that are commonly used in aquacultures.

## 5.2. Kalanrehun koostumus

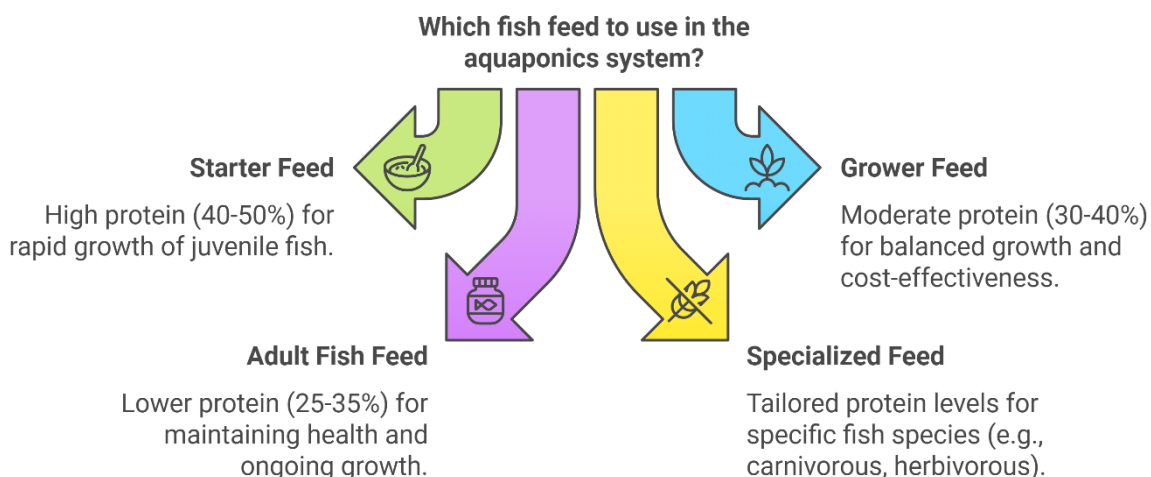
Kaupallisesti saatavilla oleva kalanrehu koostuu seoksesta tärkeimmistä ravintoaineista (proteiini ja hiilihydraatit), vitamiinit ja kivennäisaineet, jotka tarjoavat kalalle kestävän kasvun edellyttämät ainesosat. Kalat eivät eroa kovinkaan paljoa muista eläimistä ravintotarpeidensa perusteella. Kalanrehu koostuu pääasiassa proteiinista, rasvasta ja kivennäisaineista, joita saadaan viljasta, soijapavuista, maissista, riisistä, vehnästä jne. Kunkin ravintoaineryhmän määrä riippuu kasvatettavasta kalalajista – tietyn ruokavalion ruokavaliosta. kalojen on oltava ravitsemuksellisesti

## TransFarm

tasapainotettuja ja optimoituja maksimaalisen kasvupotentiaalin saavuttamiseksi, maukkaita, vedenkestäviä ja niiden pellettien kokoa on sovitettava kalan koon mukaan (kuvio 36).

Proteiinia pidetään yhtenä kalanviljelyn ja akvaponisen vesiviljelyn pääainesosista. Proteiini on tärkein makroravintoaine, joka on kalojen kasvun ja kehityksen rakennusaine. Proteiinit koostuvat aminohapoista, joita kaikki elävät organismit käyttävät uusien kudosten, entsyymien, hormonien ja muiden elintärkeiden yhdisteiden synteesiin. Akvaponisessa vesiviljelyjärjestelmässä kalanrehun proteiini vaikuttaa suoraan kalojen terveyteen ja kasvunopeuteen sekä siitä johtuvaan veden laatuun, joka on johdettu rehukoostumuksesta. Laadukkaat ja helposti sulavat proteiinilähteet varmistavat, että kalat pystyvät muuttamaan rehun tehokkaasti massakseen. Rehun proteiinipitoisuuksien tasapainottaminen voi tukea myös kalojen terveyttä – kunnollisella proteiinilisäyksellä parannetaan immuunijärjestelmää ja kykyä vastustaa sairauksia sekä kestää ympäristön stressiä. Proteiinia tarvitaan kalojen terveyden sekä akvaponisen vesiviljelyn kokonaistuottavuuden tukemiseen. Koska kalat eivät pysty tuottamaan tiettyjä aminohappoja, näitä välttämättömiä aminohappoja on täydennettävä kalanrehulla. Proteiinin sulamiskyky kalan aineenvaihdunnan kautta synnyttää kalojen ulostejätteitä, joita kasvit hyödyntävät edelleen nitraattien muodossa. Jos kalanrehussa ei ole riittävästi proteiinia, tämä voi johtaa kasvien kasvun hidastumiseen ja alttiuteen sairauksille. Järjestelmän tasapainottaminen säätämällä kalanrehun proteiinipitoisuutta, ruokintamääriä jne. on ratkaisevan tärkeää koko järjestelmän oikeanlaisen kierron saavuttamiseksi ja välttääkseen ravinteiden kerääntymisen, joista voi tulla myrkyllisiä molemmille järjestelmän pääeliöille.

Kalanrehun tyypilliset proteiinipitoisuudet riippuvat pitkälti kalalajista ja niiden kasvuvaiheesta systeemissä. Nuorten kalojen (poikasten) proteiinipitoisuus on tyypillisesti korkeampi kasvun nopeuttamiseksi, tyypillisesti 40-50 % proteiinia. Aikuisen kalan rehu sisältää yleensä 25-35 % proteiinia. Tämä proteiinipitoisuus mahdollistaa terveyden ylläpitämisen ja jatkuvan kasvun. Lihansyöjäkalat tarvitsevat korkeamman proteiinipitoisuuden kalanrehua (40-45 %), kun taas kasvinsyöjäkalat syövät mieluummin 25-30 % proteiinia. Kalojen rehua valittaessa kannattaa myös arvioida proteiinin lähde, onko kyseessä eläin- vai kasviperäinen proteiini. Proteiinin lähde määrää, kuinka sulavaa ja ravitsevaa proteiini on valitsemallesi kalalajille.

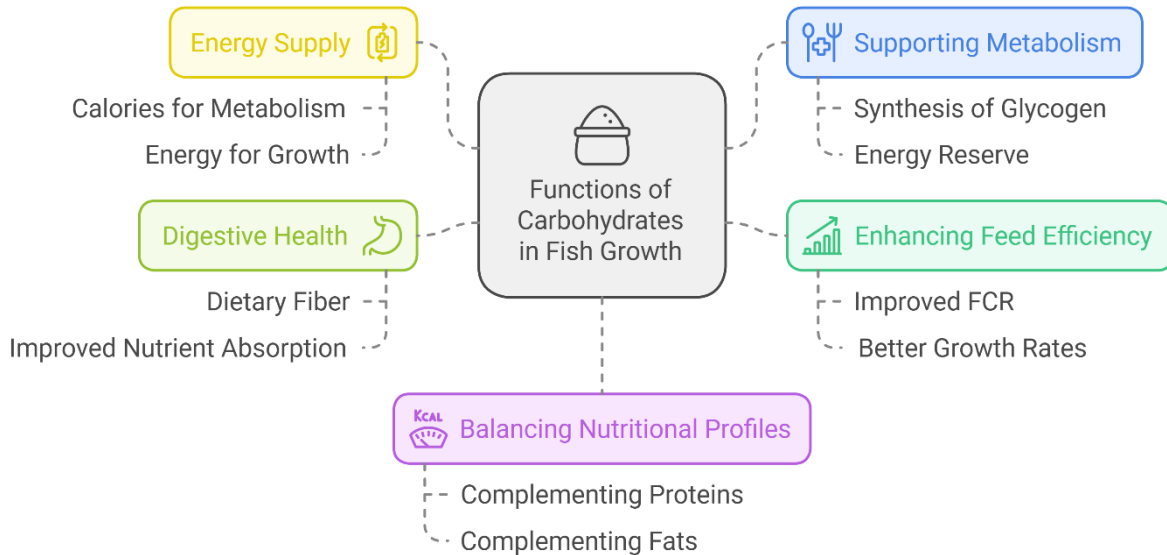


Kuvio 36. Kaupallisesti saatavilla olevat kalanrehutyypit.

Hiilihydraatteja lisätään kalanrehuun energianlähteenä, kasvun tukena ja yleisesti terveyttä tukevana ainesosana (Kuvio 37). Hiilihydraattina käytetään yleisimmin erilaisia viljalajeja, esimerkiksi maissia, vehnää, ohraa ja riisiä. Jyvät sisältävät runsaasti tärkkelystä, joka on tärkein energianlähde.

### TransFarm

Palkokasveja, erityisesti soijapavun jauhoa tai herneitä, sisältyy myös usein kalanrehuvalmisteisiin. Nämä lähteet sisältävät runsaasti sekä proteiinia että hiilihydraatteja, mikä edistää yleistä ravitsemuksen tasapainoa. Muita hiilihydraattilähteitä ovat juuret (perunat, bataatit), merilevät tai levät (sisältävät polysakkarideja) tai erilaiset muiden teollisuudenalojen sivutuotteet, kuten melassi, panimot tai tislaajien käytetty vilja jne.



Kuvio 37. Hiilihydraattien toiminnot kalanrehussa.

Kalojen ruokavalion hiilihydraatti-tasapaino edistää tasaista energian saantia (hiilihydraatit ovat ensisijaisesti käytetty energianlähde), aineenvaihdunnan tukemista, ruoansulatuksen terveyttä (ravintokuitu edistää suoliston terveyttä) ja rehun koostumuksen yleistä tasapainoa. Sopivien hiilihydraattilähteiden sisällyttäminen kalanrehuun on välttämätöntä energiantarpeen tukemiseksi, kasvun edistämiseksi ja kalojen yleisen terveyden varmistamiseksi. Aloitusrehu sisältää yleensä 25-30 % hiilihydraatteja, kun taas aikuisten ja viljelijöiden rehut sisältävät 30-40 % hiilihydraatteja. Lihansyöjälajeille tarkoitettu kalanrehu sisältää yleensä vähemmän hiilihydraatteja, tyypillisesti 15-25 %.

**Rasvat ja öljyt** ovat olennaisia kalanrehun komponentteja, jotka antavat kaloille energiaa ja edistävät yleistä terveyttä ja kasvua. Yleensä kalanrehuun lisättävät rasvat ovat peräisin kalajauhon käsittelystä. Kalanrehuun lisättävä kalaöljy (merestä peräisin oleva kalaöljy) sisältää runsaasti omega-3-rasvahappoja EPA (eikosapentaeenihappo) ja DHA (dokosaheksaeenihappo). Kalanrehussa voidaan käyttää myös siipikarjasta, naudanlihasta tai sianlihasta saatuja eläinrasvoja, mutta ne sisältävät vähemmän välttämättömiä omega-3-rasvahappoja. Levistä saadut öljyt sen sijaan sisältävät runsaasti EPA:ta ja DHA:ta, ja niitä ehdotetaan kestävämmiksi vaihtoehdoiksi kalaöljylle, mutta levien öljyn hinta on korkeampi. Myös kasviöljyjä voidaan käyttää, yleensä rypsi-, maissi-, soija- tai palmuöljyjä – yleensä näitä pidetään kestävämpinä ja niissä on myös runsaasti muita omega-rasvahappoja.

Lisättyjä rasvoja pidetään muita tiiviimpänä energiamuotona – yksi yksikkö öljyä antaa saman määrän energiaa kuin yksi yksikkö hiilihydraatteja tai proteiinia. Välttämättömät omega-3- ja omega-6-rasvahapot ovat elintärkeitä kalojen terveydelle – ne takaavat solukalvon eheyden, hormonien tuotannon, immuunijärjestelmän ja muut. Esimerkiksi DHA edistää tervettä aivojen kehitystä ja toimintaa sekä parantaa kalojen sydän- ja verisuoniterveyttä. Laadukkaiden rasvojen sisällyttäminen kalojen ruokavalioon voi tehostaa kalanrehun muuntumista kaloissa, mikä taas edistää niiden tehokasta kasvua ja painonnousua pienemmällä kalanrehun määrällä.

**TransFarm**

Aloitusrehut sisältävät normaalisti 10-15 prosenttia rasvoja, kun taas kasvatusrehut sisältävät 15-25 prosenttia. Lihansyöjäkalat tarvitsevat rasvaisempaa ruokavaliota, jossa kalanrehu sisältää 25-30 prosenttia rasvoja. Liiallinen rasvapitoisuus rehussa voi myös aiheuttaa haitallisia terveysvaikutuksia kaloille, joten on tärkeää tasapainottaa ruokavalio proteiiniin ja hiilihydraattien sekä kivennäisaineiden ja vitamiinien kanssa.

**Vitamiineja ja kivennäisaineita** lisätään kalanrehuun keinotekoisesti, koska niillä on olennainen rooli erilaisissa immuunivasteisiin, kasvuun ja lisääntymiseen liittyvissä fysiologisissa prosesseissa, eikä niitä löydy muista pääaineista riittävästi kalan tarpeiden turvaamiseksi. A-, D-, E-, K-vitamiinia ja B-ryhmän vitamiineja lisätään ravintoon tukemaan erilaisia toimintoja kalojen elimistön sisällä, samoin kivennäisravinteita Ca, P, Mg, Na, K sekä hivenaineita Fe, Zn, Cu, Mn, Se lisätään. Kalanrehua tehtäessä kivennäisaineita ja vitamiineja voidaan lisätä ruokaan pitoisuudessa 1-2 prosenttia loppuseoksesta, tällaisia valmiita tuotteita myydään kaupallisesti. Seokseen voidaan lisätä myös muita ainesosia, kuten aminohappoja, edistämään kalojen kasvua.

Käyttövalmis kalanrehu on kätevin kalojen ruokintamuoto. Laadunvarmistus ja tuotteen johdonmukaisuus ovat olennaisia pyrittäessä ylläpitämään tasapainoista akvaponista vesiviljelyjärjestelmää. Tietyn syötteen kustannukset on kuitenkin arvioitava järjestelmän täyden taloudellisen potentiaalinsa saavuttamiseksi. Tietyn kalanrehun kustannusten laskemiseksi voit ottaa ravintoarvon kilokaloreina ja jakaa sen hinnalla saadaksesi rehun kcal-hinnan. Vaikka halvempiakin vaihtoehtoja on olemassa, on myös rehun laatu huomioitava, sillä akvaponiset vesiviljelyjärjestelmät ovat erittäin herkkiä ulkoisille häiriöille. Säännöllinen kalanrehun vaihtaminen saattaa häiritä jatkuvaa ravinteiden virtausta koko järjestelmässä ja järkyttää vakiintuneen ekosysteemin osia. Vaihtoehtoisesti on myös mahdollista luoda itse kalanrehua, mikä edellyttää huolellista ainesosien hankintaa ja proteiini-hiilihydraatti-rasva-annoksen optimointia akvaponisen vesiviljelyjärjestelmän tarpeiden mukaan<sup>6</sup>. Rehu voidaan sitten pelletoida ja käyttää samalla tavalla kuin kaupallisesti saatavilla olevaa rehua. Kalanruoan luominen itse vaatii paljon kokeilua ja säätämistä kalojen täyden potentiaalinsa ja optimaalisen kasvun saavuttamiseksi, sekä kasvien hyvinvoinnin edistämiseksi akvaponisessa vesiviljelyjärjestelmässä<sup>7</sup>.

Kalanrehun ainesosien korvaamiseen joko täysin tai osittain on ehdotettu useita eri vaihtoehtoisia ainesosia<sup>8</sup>, esimerkiksi siemeniä, hedelmiä ja vihanneksia, viljaa, öljykasveja, eläimistä peräisin olevia rehuainesosia ja muita sekalaisia ainesosia (merilevää, melassia, käytettyä viljaa, hiivaa, lipidejä) jne.), jotka ovat muiden teollisuudenalojen sivutuotteita. Lisää tietoa kalajauhon valmistuksesta löydät täältä<sup>9</sup>.

Kalojen ravintoa voidaan kalanrehun lisäksi täydentää osittain myös hyönteisillä, toukilla tai muilla pienillä selkärangattomilla. Tämä on erityisen tärkeää kaikkiruokaisille ja lihansyöjäkaloille, jotka luonnollisesti kuluttavat tällaista ruokavaliota. Hyönteiset sisältävät runsaasti välttämättömiä ravintoaineita, kuten proteiineja, rasvoja ja aminohappoja, ja ne voivat edistää immuunitoimintoja ja lisääntymisterveyttä. Mustakräppäsohilastoukat sisältävät runsaasti proteiinia ja rasvoja, mikä on hyvä lisä kuivarehuun. Korkean proteiinipitoisuutensa lisäksi hyönteiset, kuten kärpäset ja hyönteiset, sisältävät myös runsaasti välttämättömiä rasvahappoja, vitamiineja (mukaan lukien B-vitamiinit) ja kivennäisaineita (kuten kalsiumia, fosforia ja rautaa). Nämä ravintoaineet ovat välttämättömiä kalojen yleiselle terveydelle, koska ne edistävät asianmukaista kasvua, tautien kestävyttä ja parantavat niiden

<sup>6</sup> <https://www.fao.org/4/x5738e/x5738e0g.htm>

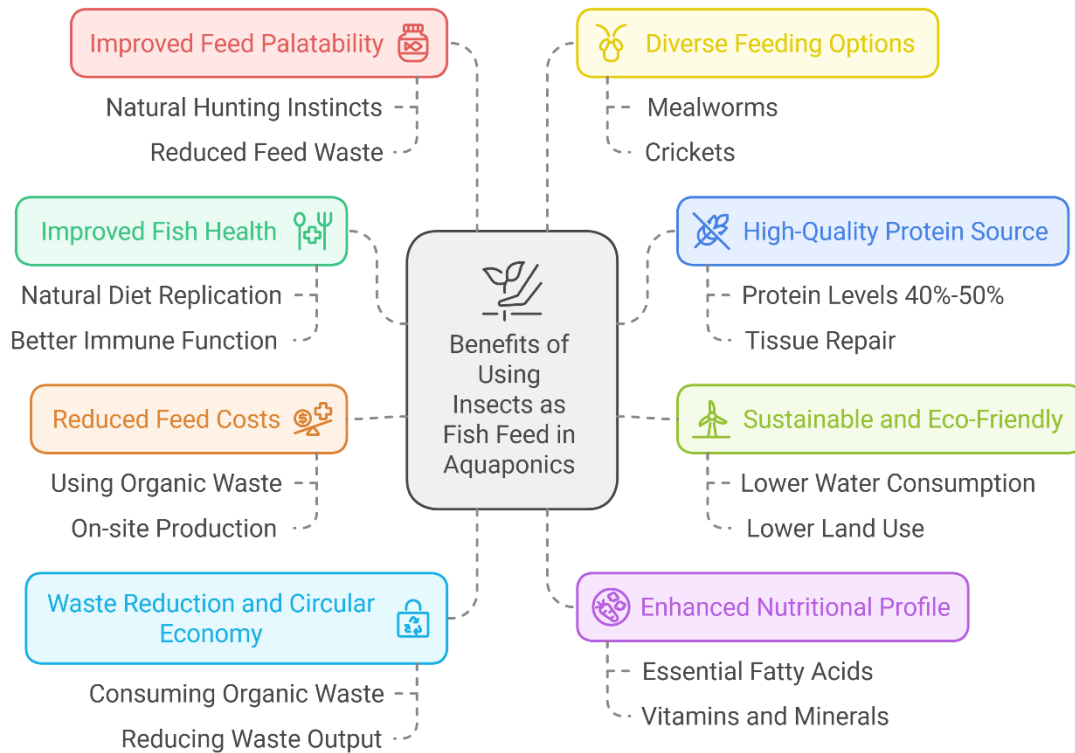
<sup>7</sup> <https://fishfeedmachinery.com/Solution/nutritional-fish-feed-formulation.html>

<sup>8</sup> <https://www.fao.org/4/s4314e/s4314e0k.htm>

<sup>9</sup> <https://www.pelletizermill.com/blog/fish-feed-formulation-ingredients/>

TransFarm

lihan laatua. Omega-3- ja omega-6-rasvahapot, joita esiintyy tietyissä organismeissa, ovat erityisen edullisia kaloille, koska ne edistävät lisääntymismenestystä ja edistävät sydämen terveyttä. Prosessoituihin hiukkasrehuihin verrattuna kalat houkuttelevat usein enemmän elävät tai luonnolliset rehut, kuten hyönteiset ja kovakuoriaiset. Tämä parannettu maku voi johtaa parempaan kalanrehun tehokkuuteen ja kasvunopeuteen sekä vähentää rehujätettä ja parantaa myös rehun kulutusta. Kalat pidetään aktiivisempina ja niiden luonnollinen käyttäytyminen aktivoituu elävällä rehulla, mikä stimuloi niiden luonnollisia metsästysvaistoja.



Kuvio 38. Luonnonrehukäytön edut Akvaponisten vesiviljelyjärjestelmissä ja vesiviljelyssä yleensä.

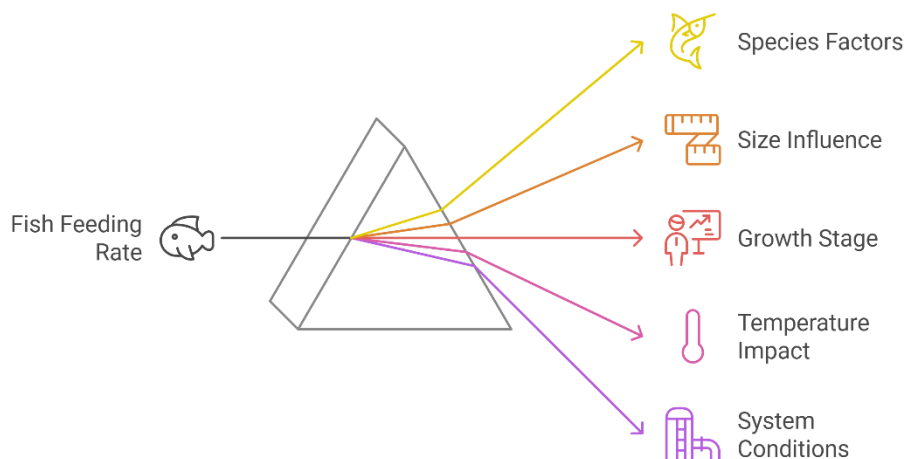
Erityisesti mustat sotilaskärpäsen toukat ovat taitavia kuluttamaan orgaanista jätettä, mukaan lukien ruokajäämät ja kasvimateriaalit. Akvaponisen vesiviljelyn toimijat voivat perustaa suljetun kierron järjestelmän, jossa orgaaninen jäte muunnetaan laadukkaaksi kalanrehuksi yhdistämällä nämä hyönteiset mukaan järjestelmään. Tämä edistää paremmin kiertävämpää ja kestävämpää ekosysteemiä, sekä vähentää kokonaisjätteen määrää kestävän viljelyn ja permakulttuurin periaatteiden mukaisesti (Kuvio 38).

5.3. Ruokintanopeus

Useat keskeiset tekijät voivat vaikuttaa koko akvaponisen vesiviljelyjärjestelmän ruokintamääriin ja sitä kautta järjestelmän tuottavuuteen. Tärkeimmät tekijät, jotka on otettava huomioon optimoitaessa kalojen ruokintanopeutta, ovat kyseessä oleva kalalaji, sen koko ja kasvuvaihe, veden lämpötila sekä muut järjestelmäolosuhteet, kuten nitraatti- ja ammoniumpitoisuudet (Kuvio 39).



TransFarm



Kuvio 39. Yhteenveto ruokintanopeuteen vaikuttavista tekijöistä.

Ruokintamäärät ilmaistaan yleensä prosentteina kalan ruumiinpainosta vuorokaudessa. Tyypillisesti ruokintamäärät vaihtelevat 1-5 prosentin tasolla kalan painosta. Esimerkki – 1 kg kalaa 1,5 prosentin ruokintasuhteella vaatisi 15 grammaa rehua (taulukko 10). Kaloja ruokitaan tyypillisesti yhdestä kolmeen kertaa vuorokaudessa kalalajista, veden lämpötilasta tai kasvuvaiheesta riippuen. Kalojen liiallinen ruokinta voi aiheuttaa ylimääräistä jätettä ja veden laatuongelmia, kun taas aliruokinta voi hidastaa kalojen kasvua ja rajoittaa kasvien optimaaliseen kasvuun tarvittavia ravinteita.

Taulukko 10. Lajista riippuen eri kalat tarvitsevat erilaisia ruokintamääriä.

Fish species	Feeding rate, %	The optimal temperature range for the indicated feeding rate, °C
Tilapia	1-3	26-30
Trout	1.5-2	10-18
Catfish	2-4	22-28
Barramundi	2-3	26-30
Goldfish	1-2	20-24
Koi	1-2	18-24
Perch	2-3	22-28
Carp	1-2	15-25
Bass	2-4	20-28
Cod	1-2	18-24
Pacu	2-3	24-28
Bluegill	2-3	20-27
Red claw crayfish	1-2	24-28
Sturgeon	1-2	14-20

Ruokintamäärä tulee säätää myös kala-altaan vesitulavuuden, kasvuvaiheen ja lämpötilan mukaan. Yleensä kun veden lämpötila on korkeampi, kalat kuluttavat yleensä enemmän rehua, ja päinvastoin, kun lämpötila on alhaisempi, kalojen aineenvaihdunta heikkenee, mikä vähentää niiden ravinnontarvetta. Nuoret kalat tarvitsevat suurempia ruokintamääriä (usein vuorokaudessa jopa 5 prosenttia kehon painosta) kasvun edistämiseksi, kun taas aikuiset kalat ja sikiöt tarvitsevat vähemmän ravintoa (1-3 %).

Rehumääriä voidaan myös säätää riippuen ehdotetusta muuttamisesta kalanrehun proteiinista nitraattipitoisuuksiin, mutta vaikka laskelmat ovat suuntaa antavia, ne ovat suurelta osin

epäluotettavia ja riippuvat tietyistä rehuista (proteiinin tyyppi ja määrä), kalan aineenvaihdunnasta (johon vaikuttaa kalalaji, veden lämpötila, kasvuvaihe jne.) ja muista tekijöistä. Järjestelmän tasapainottaminen on tarpeen, jotta löydetään oikea ruokintanopeus kaloille ja riittävästi kasveja, jotka voivat ottaa vastaan kalojen ulostejätteestä syntyvän nitraattimäärän. Oletetaan, että 25-30 prosenttia kalanrehun sisältämästä tyypestä (proteiinina) muuttuu kalan biomassaksi ja loput erittyvät ulosteeksi, joka myöhemmin nitrifioituu kasvien ravinteiksi. Näitä lukuja voidaan käyttää arvioimaan nitraattitarpeita 1 m<sup>2</sup> kasvibiomassaa kohden ja säätämään ruokintanopeutta/eläintiheyttä vastaavasti.

Ruokintamääriä säädettäessä saattaa ilmetä useita ongelmia. Yliruokinta voi aiheuttaa ylimääräisen ruoan hajoamista ja johtaa huonoon veden laatuun nostamalla ammoniakkin, nitraattien ja nitriittien määrää. Näiden liiallinen määrä voi aiheuttaa kaloille stressiä. Ratkaisu tämän tilanteen välttämiseksi on annostella kalanrehua pienempinä annoksina useita kertoja päivässä ja antaa vain sen verran ravintoa kuin kala pystyy syömään muutaman minuutin sisällä rehun lisäämisestä altaaseen. Säännöllinen ammoniakki- ja nitraattipitoisuuksien seuranta antaa arvion toimiiiko biosuodatin kunnolla eikä liiallinen tyyppipitoisten yhdisteiden taso rasita sitä. Toisaalta kalojen aliruokinta hidastaa niiden kasvua ja tuottaa vähemmän jätettä, mikä vähentää kasvien saatavilla olevia ravinteita. Kalojen punnitseminen voi auttaa laskemaan tarkat rehumäärät kalapopulaatiollesi. Kalojen ja niiden toiminnan seuranta voi myös auttaa määrittämään, eivätkö ne ole stressaantuneita.

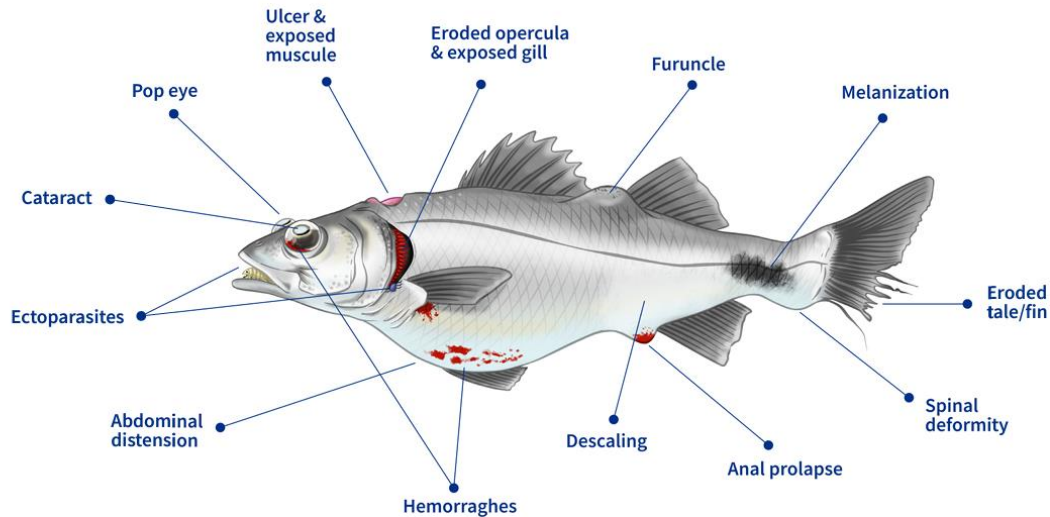
Syömättä jäänyt kalanrehu voi kertyä ajan myötä altaan pohjalle ja alkaa hajota, mikä johtaa veden laatuongelmiin – happipitoisuuden laskuun ja ammoniakkin lisääntymiseen. Yksi ratkaisu tähän voi olla käyttämäsi ruoan tyyppin vaihtaminen. Sen sijaan, että käytetään uppoavaa rehua, käytetään hitaasti uppoavia tai kelluvia pellettejä. Automaattiset syöttölaitteet voidaan säätää syöttämään rehumäärää tarkemmin – sen sijaan, että ruokit kaloja kerran päivässä suurissa annoksissa, käytä pienempiä annoksia 2-3 kertaa päivässä. Akvaponiseen viljelyjärjestelmään ei koskaan saa jäädä ruokajätettä, jota ei ole käytetty. Heterotrofiset mikro-organismit kuluttavat huomattavia määriä happea kun ne kuluttavat yliruokinnasta aiheutuvia rehujaamia. Lisäksi ammoniakkin ja nitriitin tasot voivat nousta myrkyllisille tasoille suhteellisen lyhyessä ajassa ruoan hajoamisen vuoksi. Lopuksi syömättömät rakeet voivat tukkia mekaanisia suodattimia, mikä johtaa veden virtauksen vähenemiseen ja hapettomiin alueisiin. Tyypillisesti kalat kuluttavat koko ruokavalionsa noin 30 minuutin kuluessa. Poista kaikki ravintoaineet tämän ajanjakson jälkeen. Vähennä jatkossa annettavan rehun määrää, jos syömättä jäänyttä ruokaa löytyy.

## 6. Kalojen terveys ja hyvinvointi

### 6.1. Loiset ja taudit

Kalojen ulko- ja sisäloisten tunnistaminen voidaan tehdä tehokkaasti paikan päällä vesiviljelyympäristöissä, kuten Riitta Rahkosen (2012) Terve Kala julkaisussa on kuvattu (Kuvio 40). Bakteerinfektiot voidaan diagnosoida paikan päällä; kalat, joilla on epätyypillisiä oireita, on kuitenkin lähetettävä laboratorioanalyysiin mahdollisten tautiepäilyjen varmistamiseksi. Loisten havaitseminen vaatii perustavanlaatuisia työkaluja, joihin kuuluvat pienet sakset, terävä leikkausveitsi, terävät pinsetit, leikkausneula, pienet petrimaljat sekä pohja- ja kansilasit mikroskopiaa varten. Käytetyt instrumentit on puhdistettava jokaisen käytön jälkeen näytteiden ristikontaminaation estämiseksi.

TransFarm



Kuvio 40. Tautien ja epämuodostumien yleiset ilmenemisalueet kaloissa.

Mikroskoopi, erityisesti valomikroskoopi tai stereomikroskoopi, on välttämätön loisten tutkimuksessa. Stereomikroskoopi, jonka suurennus on 10–40-kertainen, soveltuu isompien alkueläinten, kuten valkopilkkutautia aiheuttavan *Ichthyophthiriuksen*, *Trichodinan* ja useiden monisoluiden loisten tarkkailuun. Limanäytteitä kalan ihosta, kiduksista, eväistä tai muista ulkopinnoista voidaan ottaa skalpellilla rutiinitarkastuksen yhteydessä. Limaa kerätään yleensä alueilta, kuten rintaevien, sivujen tai häntäevien alta, koska näillä alueilla on runsaasti mahdollisia loisia. Pienten kalojen näytteenotto on haasteellista, sillä riittävän limamäärän saaminen edellyttää usein kalan koko sivupinnan kaapimista. Pieni määrä kerättyä limaa asetetaan lasilevyille, jossa on vesipisara akvaariosta, minkä jälkeen levitetään varovasti peitinlasi. Näyte on levitettävä tasaisesti kansilasin alle, koska paksu limakerros voi haitata loisten selkeää havaitsemista. Evänäytteitä saa poistamalla evät kalasta pinseteillä. Pienillä kaloilla on mahdollista poistaa koko evä yhdeltä puolelta. Suurempien kalojen evä leikataan saksilla, jotta veri leikatusta kudoksesta ei saastuta näytettä. Tämän jälkeen evä asetetaan vesipisaraan mikroskoopin objektilasille, jossa se levitetään varovasti neulalla, minkä jälkeen laitetaan peitinlasi. Kerätty lima tutkitaan mikroskoopilla mahdollisten loisten tunnistamiseksi. Suuremmat alkueläinloiset, kuten *Ichthyophthirius* ja *Trichodina*, ovat tyypillisesti havaittavissa stereomikroskoopilla, kun taas muut loiset, mukaan lukien monogeeniset, vaativat suuremman suurennuksen näkyvyyden vuoksi. Suuremmilla kaloilla liman kerääminen alueilta, kuten evät tai iho, voi johtaa loisten lisääntymiseen.

Useat kalataudit ovat melko yleisiä, erityisesti kala-altaissa, joissa säilytetään aina korkea eläintiheyttä. Valkotäplätauti (*Ich*) on yksi yleisimmistä alkueläintaukeista, joita kalat saavat akvaponisissa järjestelmissä (kuvio 41). Sairaiden kalojen iholle, eville ja kiduksiin ilmestyvät pienet valkoiset täplät (kystat) ovat tärkeimpiä merkkejä.



Kuvio 41. Syyhy tai valkotäplätauti kalassa.

Tartunnan saaneet kalat voivat

myös toimia oudolla tavalla, kuten hankaamalla itseään altaan reunoihin, liikuttamalla kiduksiaan nopeasti (haukkomalla ilmaa) tai pysymällä lähellä pintaa. Sairaus voi vaikeuttaa niiden hengitystä, ja

## TransFarm

jos siihen ei puututa, se voi tappaa monia kaloja. Valkotäplätauti leviää yleensä likaisen veden tai kalojen välityksellä. Sen pysäyttämiseksi pitää varmistaa, että uusia kaloja pidetään erillisissä altaissa vähintään kaksi viikkoa ennen kuin ne lisätään pääjärjestelmään. Veden pitäminen puhtaana (tarkistamalla lämpötila, pH ja liuennut happi) ja varmistamalla, että kalat eivät ole stressaantuneita, voi myös pienentää tätä riskiä. Epidemian puhkeamisessa veden pitäminen noin 28°C:ssa muutaman päivän ajan voi nopeuttaa loisen elinkaarta, jolloin levitettävät lääkkeet toimivat paremmin. Pahimmassa tapauksessa voidaan käyttää myös juuri valkotäplätaudille valmistettuja lääkkeitä, mutta on varottava, etteivät ne vahingoita akvaponisen järjestelmän kasveja tai kaloja alentuneen liuennon hapen tason takia<sup>10</sup>.

**Flukes** tai **monogeneans** ovat loismatoja, jotka elävät kaloissa ja liittyvät niiden kiduksiin, ihoon tai eviin. Tulehtuneet keuhkot, vaalea iho, liiallinen lima ja hengitysvaikeudet ovat merkkejä monogeenisestä infektiosta. Altistuneet kalat voivat myös näyttää väsyneiltä, hangata itseään tai uida lähellä pintaa saadakseen lisää happea. Suurimman osan ajasta loismadot leviävät kalasta tai vedestä, joka on jo saanut tartunnan. Ennen uusien kalojen lisäämistä järjestelmään ne tulee pitää karanteenialueella loistartuntojen estämiseksi. Kalat tulee tarkistaa usein mahdollisten haavaumien tai liman muodostumisen merkeistä, jotka eivät ole normaaleja. Veden pitäminen puhtaana, kalojen stressitilanteiden ja liiallisen tungoksen välttäminen voi auttaa vähentämään tätä riskiä. Kalat voidaan hoitaa formaliinikylvyllä tai pratsikvanteelilla (pyratsiini-isokinoliini johdannainen, jota käytetään laajan kirjon antihelminttisenä aineena), jos loismatoja löytyy, mutta näitä kemikaaleja tulee käyttää varoen, jotta ne eivät vahingoita kasveja ja hyödyllisiä akvaponisen järjestelmän mikro-organismeja.

**Columnaris-tauti** on *Flavobacterium columnare* -bakteerin aiheuttama sairaus, joka näkyy kalojen iholla, kiduksissa tai evissä haavaumina tai puuvillan kaltaisena kasvuna (kuvio 42). Tartunnan saaneet kalat voivat menettää ruokahalunsa, uida epävakaasti ja liikuttaa kiduksiaan nopeasti. Tämä tauti esiintyy useammin stressaantuneilla kaloilla, ja se tapahtuu yleensä huonossa vedenlaadussa. Columnaris-tauti voidaan välttää varmistamalla, että vesi on puhdasta ja sillä on hyvä suodatus, koska bakteerit pärjäävät parhaiten paikoissa, joissa on paljon orgaanista jätettä (jätteen sedimentaation merkitys, mekaaninen suodatus). Liikaa kaloja ei saa laittaa samaan altaaseen, veden pH ja lämpötila pidetään vakiona. Antibiootteja, kuten oksitetrazykliiniä tai kuparisulfaattia, voidaan käyttää Columnaris-taudin hoitoon, mutta ne voivat myöhemmin vahingoittaa kasveja akvaponisessa vesiviljelyjärjestelmässä. Bakteerien leviämisen estämiseksi kaikki tartunnan saaneet kalat on poistettava vedestä välittömästi.



Kuvio 42. *Columnaris* tauti kalassa <sup>11</sup>.

<sup>10</sup> <https://startlife.nl/bioventure-sundew-raises-1-4m-euro-in-seed-financing/>

<sup>11</sup> Declercq, A. M., Haesebrouck, F., Van den Broeck, W., Bossier, P., & Decostere, A. (2013). Columnaris disease in fish: a review with emphasis on bacterium-host interactions. *Veterinary research*, 44, 1-17.

## TransFarm



Kuvio 43. Turvotus kalassa.

Vesivatsaa (askites) sairastavalla kalalla on vatsa turvonnut liiallisesta veden pidättymisestä (Kuvio 43). Tartunnan saaneet kalat voivat näyttää lihavilta ja niissä on suomuja, jotka työntyvät ulos, mitä kutsutaan joskus myös "käpymäiseksi". Tämä ongelma ilmenee yleensä merkkinä syvemmästä infektiosta tai elinten vajaatoiminnasta, kuten munuaisen tai maksan sairauksista. Se voi johtua joko bakteereista tai viruksista. Huono vedenlaatu tai virusinfektiot ovat yleisiä syitä, joten on tärkeää pitää veden parametrit vakioina ja optimaalisina tietyille lajeille. Droppi voi levitä helposti, joten on tärkeää saada sairastuneet kalat pois järjestelmästä heti

tartunnan havaitsemisen jälkeen. Droppia ei voida parantaa suoraan, mutta terveiden kalojen immuunijärjestelmää tulisi tukea paremmalla vedenlaadulla, vähemmän stressillä ja tasapainoisella ravinnolla.

Evämätä on bakteeritauti, joka saa kalan evät ja hännän murtumaan (kuvio 44). Kuluvat tai murtuvat evät, punertavat evien tyvet ja yleinen rappeutuminen ovat merkkejä tästä taudista. Kalat, jotka sairastuvat, voivat myös näyttää väsyneiltä tai syödä vähemmän. Evämätä johtuu yleensä huonosta vedenlaadusta tai kalojen fyysisistä vaurioista. Se voidaan välttää pitämällä vesi puhtaana ja suodatettuna ja estämällä kalat loukkaantumiselta – ei teräviä kulmia tai esteitä akvaariossa. Evämädän saaneita kaloja voidaan hoitaa antibiooteilla tai antibakteerisilla hoidoilla, kuten suolakylvyillä<sup>12</sup>.



Kuvio 44. Evämätä taimenessa.



Kuvio 45. Kalatäi kalassa.

**Täit** (argulusoosi, kalatäi) ovat ulkoisia loisia, jotka tarttuvat kalan ihoon, eviin tai keuhkoihin ja ärsyttävät, tulehtuvat ja jättävät näkyviä jälkiä (kuvio 45). Tartunnan saaneet kalat voivat hieroa alaidensa sivuja tai uida hyvin nopeasti. Ne voivat myös menettää suomuja tai saada viiltoja kohtiin, joissa täit on kiinnitetty. Kalatäiden pitämiseksi loitolla on tärkeää pitää uudet kalat karanteenialueella ennen niiden lisäämistä järjestelmään ja tarkistaa kalat ulkoisten loisten varalta. Jos kalatäistä tulee ongelma, ne voidaan poistaa käsin tai käsitellä tietyillä lääkkeillä, jotka tappavat loisia. On tärkeää olla varovainen myrkkujen kanssa, koska ne voivat vahingoittaa akvaponisen järjestelmän kasveja tai kalojen yleistä laatua, jos ne kulutetaan ihmisravinnoksi<sup>13</sup>.

<sup>12</sup> Bruno, D. W., Noguera, P. A., & Poppe, T. T. (2013). A colour atlas of salmonid diseases (Vol. 91). Springer Science & Business Media.

<sup>13</sup> <https://fishfixsrilanka.lk/2023/02/12/argulus-infection-in-fish-symptoms-treatment-and-prevention/>



**TransFarm**

On tärkeää pitää silmällä ja säätää veden laatutekijöitä, kuten pH:ta, lämpötilaa, ammoniakkia, nitriittejä, nitraatteja ja liuennutta happea päivittäin, jotta ne pysyvät optimaalisilla alueilla vesiviljelyssä kasvatettavan lajin kannalta. Uudet kalat tulee olla karanteenissa vähintään kaksi viikkoa ennen kuin ne voidaan lisätä järjestelmään. Tämä auttaa pysäyttämään tautien leviämisen. Jotta kalat eivät tungeksi liikaa, mikä voi aiheuttaa niille stressiä ja helpottaa tautien leviämistä, on myös tärkeää valvoa tarkasti kalojen määrää jokaisessa 100 litrassa vettä. Yleinen peukalosääntö on 1-2 kg kalaa 100 litrassa vettä. Suodatusjärjestelmiä on ylläpidettävä asianmukaisesti jätteiden poistamiseksi ja vaarallisten bakteerien kertymisen estämiseksi. Kalojen immuunijärjestelmä tulee pitää vahvana välttämällä äkillisiä muutoksia veden laadussa tai ruokinta-ajoissa sekä vähentämällä stressiä. Kun kaloille annetaan lajilleen sopivaa tasapainoista ravintoa, se auttaa niitä myös kasvamaan hyvin ja vastustamaan sairauksia. Ravinto on kalojen ruokavalioiden tärkein ainesosien lähde, joka voi auttaa ylläpitämään asianmukaista antioksidanttitasoa ja vastustuskykyä.

## 6.2. Kalojen tiheys

Akvaponisessa vesiviljelyssä pidettyjen kalojen määrä vesitilavuusyksikköä kohti eli kalan istutustiheys on kriittinen tekijä terveen viljelyjärjestelmän ylläpitämisessä ja optimaalisen tuottavuuden saavuttamisessa (Kuvio 46). Akvaponisen järjestelmän kokonaistehokkuuteen vaikuttaa kalojen tiheys, joka vaikuttaa niiden kasvuun, terveyteen, rehun tehokkuuteen ja veden laatuun. Optimaalinen kalojen tiheys riippuu kalalajista, vesihuoltokäytännöistä ja järjestelmän suunnittelusta. Sopivan tasapainon saavuttaminen voi olla vaikeaa, sillä liian suuri tiheys voi aiheuttaa kaloille stressiä, kilpailua ja liiallisen ulostejätteen kertymistä, kun taas liian pieni tiheys voi edistää ravinteiden vajaakäyttöä ja tehdä kasvien kasvun tehottomaksi. Akvaponisen vesiviljelyjärjestelmän kalojen tiheyden määräävät useat tekijät, kuten suunniteltu kasvituotanto, altaan koko, kalalajit ja biosuodatusyksikön kokonaiskapasiteetti. Tavanomainen käytäntö on istuttaa kaloja nopeudella, joka on yhteensopiva biosuodattimen ja kasvien määrän kanssa. Tämä johtaa tavanomaiseen istutustiheyteen noin 20–40 kg kalaa vesikuutiometriä kohden. Tämä vaihtelun laajuus riippuu kuitenkin kalan kehitysvaiheesta ja kalalajista. Biosuodatusjärjestelmä, joka pystyy käsittelemään lisääntyneet kalojen ulostejätteet ja ylläpitämään veden laatuparametrit turvallisissa rajoissa, kuten ammoniakki, nitriitti ja nitraatti, on tarpeen suuremman tiheyden ottamiseksi.

Kalalajeittain istutustiheys voi vaihdella, alla on yleisimmät akvaponisessa vesiviljelyssä viljeltyt kalalajit ja niiden allastiheyteen liittyvät erityispiirteet.

### **Tilapia (*Oreochromis niloticus*)**

Tilapian kestävyys, vaihtelevien vesiolosuhteiden sietokyky ja nopea kasvu tekevät siitä yhden Akvaponisen vesiviljelyn suosituimmista kalalajeista. Tilapia voi kukoistaa suhteellisen korkealla eläintiheydellä pienissä ja keskisuurissa järjestelmissä ilman haitallisia terveysvaikutuksia. Tilapiaa säilytetään usein 20–30 kg/kuutiometrissä kierto-vesiviljelyjärjestelmissä (RAS). Tilapiaa voidaan kuitenkin istuttaa jopa 40–50 kg kuutiometriä kohden järjestelmissä, jotka ovat kunnossa, kun veden laatua tarkkaillaan säännöllisesti ja biosuodatetaan intensiivisesti. Esimerkiksi 1000 litraa vettä sisältävä järjestelmä voi tehokkaasti ylläpitää noin 20–30 aikuista tilapiaa, joiden keskipaino on 500 g, mikäli suodatus ja ilmastus ovat riittävät.

### Kirjolohti (*Oncorhynchus mykiss*)

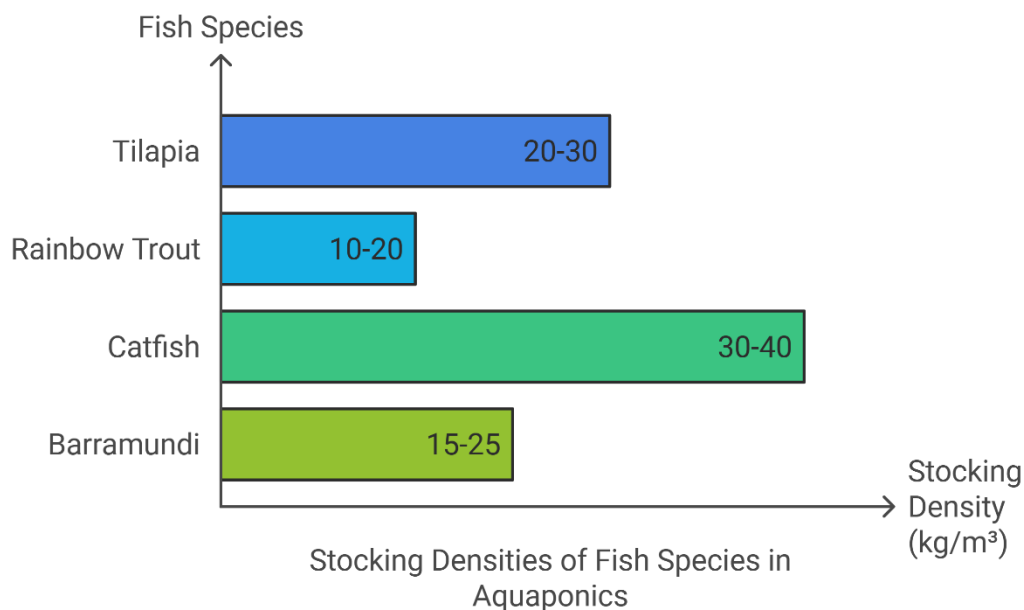
Kirjolohti on viileän veden laji, joka edellyttää tasaista veden laatua ja korkeaa happipitoisuutta, mikä tekee siitä hieman haastavan mutta palkitsevan kalan akvaponisissa vesiviljelyjärjestelmissä. Kirjolohta kasvatetaan tyypillisesti pienemmällä tiheydellä kuin tilapiaa, ja istutusmäärät vaihtelevat 10–20 kg kuutiometrissä, koska ne ovat herkkiä vesiolosuhteille. Taimen tunnetaan myös nopeasta kasvustaan, mutta ne tarvitsevat 10–18 °C:n lämpötilan varmistaakseen erinomaisen terveyden. Tasapainoinen, sekä kalojen terveyttä että kasvien kasvua tukeva kuormitus saadaan istuttamalla 15–20 kirjolohta, kukin noin 400 g painava, 1000 litran järjestelmään. Tehokas suodatusjärjestelmä ja säännöllinen seuranta ovat välttämättömiä kirjolohelle, koska ne ovat herkkiä ammoniakki- ja nitriittitasoille.

### Monnit (*Clarias gariepinus* and *Ictalurus punctatus*)

Sekä afrikkalainen monni (*Clarias gariepinus*) että kanavamonni (*Ictalurus punctatus*) kestävät vaihtelevaa vedenlaatua ja alentuneita happipitoisuuksia, joten ne soveltuvat hyvin akvaponisen vesiviljelyn tiheästi istutettuna. Intensiivisissä järjestelmissä monnia voidaan pitää 30–40 kg kuutiometrissä. Afrikkalainen monni pystyy kestämään suurempiakin tiheyksiä hengittäessään ilmakehän happea. 1000 litran järjestelmään mahtuu siis noin 30–40 monnia, joiden keskipaino on 500 g, mikäli järjestelmä on varustettu kestäväällä biosuodatusjärjestelmällä ja ilmastusmekanismilla. Järjestelmän on kyettävä ottamaan huomioon ylimääräinen ammoniakkikuormitus, koska monni tuottaa paljon jätettä.

### Barramundi (*Lates calcarifer*)

Barramundi on lämpimän veden kala, joka on erityisen suosittu akvaponisessa vesiviljelyssä erityisesti leudomman ilmaston alueilla. Nämä kalat sietävät hyvin veden laadun vaihteluita ja kehittyvät nopeasti. Ne edellyttävät kuitenkin seurantaa niiden suuren jätetuotannon vuoksi. Järjestelmissä, joissa on johdonmukainen huolto ja vankka suodatus, barramundia ylläpidetään tyypillisesti 15–25 kg:n kuutiometrissä. Jos veden lämpötila pidetään 26–30°C:ssa ja liuenneen hapen määrä on riittävä, voi 1000 litran altaassa kukoistaa noin 15–20 barramundia, joiden keskipaino on 600 g.



Kuvio 46. Akvaponisessa vesiviljelyssä yleisesti kasvatettujen eri lajien istutustiheys.

## TransFarm

Akvaponisessa vesiviljelyssä kasvien ravinnetarpeet on täytettävä ja kalojen tiheys on tasapainotettava kalojen terveyden vaarantumisen estämiseksi. Ammoniakin tuotannon lisääntyminen voi johtua korkeasta eläintihydestä, mikä ilman riittävää biosuodatusta voi lisätä kalojen stressitasoa ja taudille alttiutta. Lisäksi ulostejätteen määrään vaikuttavat ravinnon laatu ja tiheys, koska proteiinipitoisempi ruokavalio tuottaa enemmän typpipitoista jätettä. Yliruokinnan estämiseksi, joka voi vaikuttaa negatiivisesti veden laatuun ja edistää taudinaiheuttajien kehittymistä, ruokinta-aikataulua tulee mukauttaa kalakannan biomassan mukaan.

Esimerkiksi tilapia, jota ruokitaan 30–35 prosenttia proteiinia sisältävällä ruokavaliolla, tuottaa riittävän määrän tyyppiä tukemaan kasvien kasvua ilman, että biosuodatin ylikuormitetaan. Kirjolohi ja barramundi edellyttävät kuitenkin korkeamman proteiinipitoisuuden (40–50 %) ruokavaliota, mikä tuottaa enemmän jätettä. Vakaiden vesiolosuhteiden säilyttämiseksi suositellaan, että näitä kaloja ruokitaan pienempiä määriä ja useammin, jotta varmistetaan, että jätemäärät pysyvät hyväksyttävien rajojen sisällä.

Biosuodattimen kapasiteetti on olennainen kalojen tiheyden määrittämisessä. Nitrifioivat bakteerit ovat biosuodattimen ensisijainen tehtävä, koska ne muuttavat haitallisen ammoniakin nitriitiksi ja sen jälkeen nitraatiksi, joka on kasveille käyttökelpoinen ravinne. Biosuodattimien koon määrittämisessä on käytettävä kaloista suurinta odotettua ammoniakkituotantoa biomassahuipulla. Lisäksi kalojen tiheyteen vaikuttavat olennaisesti altaan suunnittelun muuttujat, mukaan lukien veden virtausnopeus, altaan syvyys ja ilmasto. Pyöreät altaat, joissa on keskustyhjennys, ovat optimaalisia suuritiheyksiin järjestelmiin, koska ne helpottavat jätteiden poistoa ja estävät jätteiden laskeutumisen pohjalle, mikä taas parantaa veden laatua.

Akvaponisen vesiviljelyn optimaalinen kalojen tiheys riippuu järjestelmän biosuodatuskyvystä, järjestelmän suunnittelusta ja kalalajin ominaisuuksista. On tarpeen löytää tasapaino, joka maksimoi kalojen biomassaa ravinteiden tuotantoa varten ja varmistaa, että veden laatu on riittävä estämään kalojen terveyshaittoja. Järjestelmää suunniteltaessa tulee ottaa huomioon kunkin lajin omat haasteet, kuten kirjolohen korkea hapentarve ja tilapian sopeutumiskyky. Kestävän ja harmonisen ekosysteemin luomiseksi akvaponisen vesiviljelyn harjoittajien tulee säännellä kalojen tiheyttä, rehumääriä ja järjestelmäparametreja tuotettujen kasvien kehityksen ja kalojen terveyden edistämiseksi.

## Lähteet

- Baganz, G. F., Junge, R., Portella, M. C., Goddek, S., Keesman, K. J., Baganz, D., ... & Kloas, W. (2022). The aquaponic principle—It is all about coupling. *Reviews in Aquaculture*, 14(1), 252-264.
- Bernstein S. (2011). *Aquaponic Gardening: a step-by-step guide to raising vegetables and fish together*. New Society Publishers, Canada.
- Bittsánszky, A., Gyulai, G., Junge, R., Schmutz, Z. & Komives, T. (2015). Plant protection in eco-cycle-based agricultural systems: Aquaponics as an example. In *Proceedings of the International Plant Protection Congress (IPPC)*, Berlin, Germany Vol. 2427.
- Bracino, A. A., Concepcion, R. S., Dadios, E. P., & Vicerra, R. R. P. (2020, December). Biofiltration for recirculating aquaponic systems: a review. In *2020 IEEE 12th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management (HNICEM)* (pp. 1-6). IEEE.
- Colt, J., Schuur, A. M., Weaver, D., & Semmens, K. (2022). Engineering design of Aquaponic systems. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 30(1), 33-80.
- Filep, R. M., Diaconescu, S., Marin, M., Bădulescu, L., & Nicolae, C. G. (2016). Case study on water quality control in an aquaponic system. *Current Trends in Natural Sciences Vol*, 5(9), 06-09.
- Folorunso, E. A., Roy, K., Gebauer, R., Bohatá, A., & Mraz, J. (2021). Integrated pest and disease management in Aquaponics: A metadata-based review. *Reviews in Aquaculture*, 13(2), 971-995.
- Goddek, S., Delaide, B., Mankasingh, U., Ragnarsdottir, K. V., Jijakli, H., & Thorarinsdottir, R. (2015). Challenges of sustainable and commercial Aquaponics. *Sustainability*, 7(4), 4199-4224.
- Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., & Dos-Santos, M. (2019). Aquaponics and global food challenges. *Aquaponics food production systems: Combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future*, 3-17.
- Gosh, K., & Chowdhury, S. (2019). Review of Aquaponics system: searching for a technically feasible and economically profitable Aquaponics system. *Journal of Agricultural, Environmental and Consumer Sciences*, 19, 5-13.
- Joyce, A., Timmons, M., Goddek, S., & Pentz, T. (2019). Bacterial relationships in Aquaponics: new research directions. *Aquaponics food production systems: combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future*, 145-161.
- Junge, R., Antenen, N. (2020). *Aquaponics textbook*. AquaTeach.
- Kasozi, N., Abraham, B., Kaiser, H., & Wilhelmi, B. (2021). The complex microbiome in Aquaponics: significance of the bacterial ecosystem. *Annals of Microbiology*, 71(1), 1-13.
- Kasozi, N., Tandlich, R., Fick, M., Kaiser, H., & Wilhelmi, B. (2019). Iron supplementation and management in aquaponic systems: A review. *Aquaculture Reports*, 15, 100221.
- Krastanova, M., Sirakov, I., Ivanova-Kirilova, S., Yarkov, D., & Orozova, P. (2022). Aquaponic systems: Biological and technological parameters. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 36(1), 305-316.

TransFarm

- Kushwaha, J., Priyadarsini, M., Rani, J., Pandey, K. P., & Dhoble, A. S. (2023). Aquaponic trends, configurations, operational parameters, and microbial dynamics: A concise review. *Environment, Development and Sustainability*, 1-34.
- Lennard, W., & Goddek, S. (2019). Aquaponics: the basics. *Aquaponics food production systems*, 113.
- Licamele, J. (2009). Biomass production and nutrient dynamics in an Aquaponics system (Doctoral dissertation, The University of Arizona).
- Maucieri, C., Nicoletto, C., Junge, R., Schmautz, Z., Sambo, P., & Borin, M. (2018). Hydroponic systems and water management in Aquaponics: A review. *Italian Journal of Agronomy*, 13(1), 1-11.
- Nichols, M. A., & Savidov, N. A. (2011, May). Aquaponics: a nutrient and water efficient production system. In *II International Symposium on Soilless Culture and Hydroponics 947* (pp. 129-132).
- Okomoda, V. T., Oladimeji, S. A., Solomon, S. G., Olufeagba, S. O., Ogah, S. I., & Ikhwanuddin, M. (2023). Aquaponics production system: A review of historical perspective, opportunities, and challenges of its adoption. *Food science & nutrition*, 11(3), 1157-1165.
- Pinho, S. M., David, L. H., Garcia, F., Keesman, K. J., Portella, M. C., & Goddek, S. (2021). South American fish species suitable for Aquaponics: a review. *Aquaculture international*, 29(4), 1427-1449.
- Rakocy, J. E. (2012). Aquaponics—integrating fish and plant culture. *Aquaculture production systems*, 344-386.
- Resh, H.M. (2013). *Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower* (7th edition). CRC Press, Boca Raton.
- Robaina, L., Pirhonen, J., Mente, E., Sánchez, J., & Goosen, N. (2019). Fish diets in Aquaponics. *Aquaponics Food Production Systems: Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies for the Future*, 333-352.
- Salleneave, R. (2016). Important water quality parameters in Aquaponics systems. College of Agricultural, Consumer and Environmental Sciences.
- Schmautz, Z., Graber, A., Jaenicke, S., Goesmann, A., Junge, R. & Smits, T.H. (2017). Microbial diversity in different compartments of an Aquaponics system. *Archives of Microbiology* 199 (4): 613-620.
- Shaw, C., Knopf, K., & Kloas, W. (2022). Fish feeds in Aquaponics and beyond: A novel concept to evaluate protein sources in diets for circular multitrophic food production systems. *Sustainability*, 14(7), 4064.
- Shumet, A. (2021). Aquaponics: A Sustainable Solution for Health, Economy, and Society-A Comprehensive Review. *Aquaponics*, 1(2).
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., & Lovatelli, A. (2014). Small-scale aquaponic food production: integrated fish and plant farming. *FAO Fisheries and aquaculture technical paper*, (589), I.
- Stathopoulou, P., Berillis, P., Levizou, E., Sakellariou-Makrantonaki, M., Kormas, A. K., Aggelaki, A., ... & Mente, E. (2018, November). Aquaponics: A mutually beneficial relationship of fish, plants and bacteria. In *Proceedings of the 3rd International Congress on Applied Ichthyology & Aquatic Environment*, Volos, Greece (pp. 8-11).



TransFarm

Stouvenakers, G., Dapprich, P., Massart, S., & Jijakli, M. H. (2019). Plant pathogens and control strategies in aquaponics. *Aquaponics food production systems*, 353-378.

Tezel M. (2009). *Aquaponics common sense guide*. Unknown publisher, United States of America.

The European Parliament and the Council of the European Union 2009. Directive 2009/128/EC of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 establishing a framework for Community action to achieve the sustainable use of pesticides. *Official Journal of the European Union* L 309/71.

Tyson, R. V., Simonne, E. H., White, J. M., & Lamb, E. M. (2004, December). Reconciling water quality parameters impacting nitrification in aquaponics: the pH levels. In *Proceedings of the Florida State Horticultural Society* (Vol. 117, pp. 79-83).

Veludo, M., Hughes, A., & Le Blan, B. (2012). *Introduction to Aquaponics: A Key to Sustainable Food Production. Survey of Aquaponics in Europe*. Water.

Villarroel, M., Mariscal-Lagarda, M. M., & Franco, G. (2021). 1. an introduction to Aquaponics. *Biology and Aquaculture of Tilapia*.

Wirza, R., & Nazir, S. (2021). Urban Aquaponics farming and cities-a systematic literature review. *Reviews on environmental health*, 36(1), 47-61.

Yavuzcan Yildiz, H., Robaina, L., Pirhonen, J., Mente, E., Domínguez, D., & Parisi, G. (2017). Fish welfare in aquaponic systems: its relation to water quality with an emphasis on feed and faeces—a review. *Water*, 9(1), 13.

Yep, B., & Zheng, Y. (2019). Aquaponic trends and challenges—A review. *Journal of Cleaner Production*, 228, 1586-1599.

[FishStat - Fisheries and Aquaculture \(fao.org\)](https://www.fao.org/fishery/en/culturedspecies/sander_lucioperca/en)

[Fiskarter-RAS.pdf \(vattenbrukscentrumost.se\)](#)

Persson, B *et al* 2022 *Akvaponihandboken*

<https://gogreenAquaponics.com/blogs/news/guide-to-raising-yellow-perch-in-Aquaponics-systems>

[https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/531516/Loppuraportti\\_final.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/531516/Loppuraportti_final.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Berglöf, K *et al* 2018 *Handbok för landbaserad fiskodling- Fisk i hus*

[\(PDF\) Domestication of the Eurasian Perch \(Perca fluviatilis\) \(researchgate.net\)](#)

[Västerås \(vuef.se\)](#)

[Microsoft Word - rp348.doc \(luke.fi\)](#)

© FAO 2024. *Sander lucioperca*. Cultured Aquatic Species Information Programme. Text by Zakeś, Z.. In: *Fisheries and Aquaculture*. Rome. Updated 2012-03-16 [Cited Wednesday, July 3rd 2024].

[https://www.fao.org/fishery/en/culturedspecies/sander\\_lucioperca/en](https://www.fao.org/fishery/en/culturedspecies/sander_lucioperca/en)

[Production of market-size European strain Atlantic salmon \( Salmo salar \) in land-based freshwater closed containment aquaculture systems \(sciencedirectassets.com\)](#)

<https://alchetron.com/>

**TransFarm**

[https://www.fao.org/fishery/en/culturedspecies/sander\\_lucioperca/en](https://www.fao.org/fishery/en/culturedspecies/sander_lucioperca/en)

[Production of market-size European strain Atlantic salmon \( \*Salmo salar\* \) in land-based freshwater closed containment aquaculture systems \(sciencedirectassets.com\)](#)