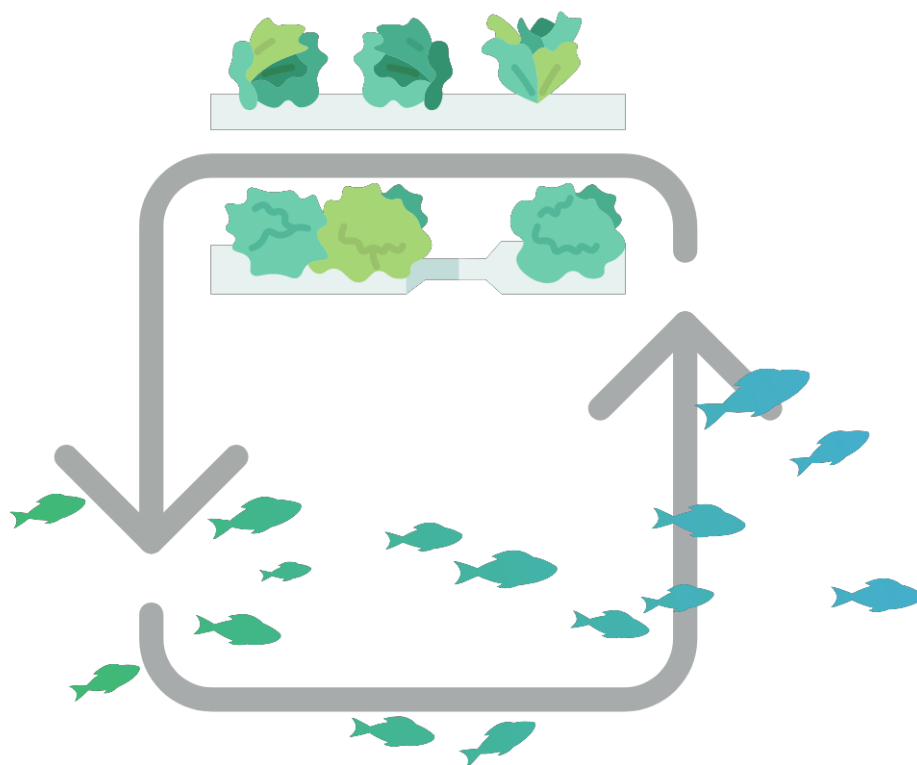


KALAD AKVAPOONIKAS – VALIK, NÕUDED JA PIIRANGUD



Sisukord

Abstrakt.....	3
1. Sissejuhatus	4
1.1. TransFarmi projekt	4
1.2. Kalad akvapoonikas	5
2. Kalade veekvaliteedi nõuded	6
2.1. Temperatuur	6
2.2. Hapnik.....	6
2.3. pH	9
2.4. Muud nõuded	10
3. Vesiviljelus akvapoonikas	12
3.1. Kalakasvatusbasseini valimine ja nende tüübid	12
3.2. Setete eemaldamine, mehaanilised filtrid.....	17
3.3. Vee desinfitseerimine ja aeratsioon.....	19
4. Kalaliikide valik	24
4.1. Lõhelased	25
4.2. Ahvenlased (ahven ja koha).....	27
4.3. Siberi tuur (<i>Acipenser baeri</i>).....	29
4.4. Aafrika angersäga (<i>Clarias gariepinus</i>)	31
4.5. Tilaapia (<i>Oreochromis</i> sp.).....	32
4.6. Karpkalalased (<i>Cyprinidae</i> spp.).....	34
4.7. Koorikloomad.....	35
5. Kalatoidud/söötmine	36
5.1. Kalatoitude tüübid.....	37
5.2. Sööda koostis	42
5.3. Söötiskogused	46
6. Kalade tervis ja heaolu	49
6.1. Kahjurid ja haigused	49
6.2. Asustustihedus	52
Viited.....	55

Lühikokkuvõte

Akvapoonika on põllumajandusmeetod, mis ühendab mullavaba taimekasvatuse (hüdroponika) ja kalakasvatuse (vesiviljelus) suletud ringlusega süsteemis. Kalade ainevahetusjäägid on toitainelikes taimedele, samal ajal kui taimed puhastavad vett kalade jaoks. Selline lähenemisviis leevendab keskkonnamõju ning pakub lahendusi toidutööstuse ees seisvatele keskkonna- ja sotsiaalsetele probleemidele. Äärmiselt oluline on sobivate kalaliikide valik, mis sõltub teguritest nagu turu nõudlus ja vee temperatuur. Kõige sagedamini valitavate liikide hulka kuuluvad forell, säga ja tilapia. Iga liigi nõuded keskkonnaparameetrite, toitumisharjumiste ja loomkoormuse osas on erinevad. Akvapoonika edukaks toimimiseks on esmatähtis hallata vee kvaliteeti, kuna näitajad nagu temperatuur, hapnikusisaldus, pH ja vee voolukiirus mõjutavad oluliselt nii kalu kui ka taimi. Biofilter, mis muudab kalade ainevahetusjäägid taimedele omastatavateks toitaineteks, ning kalade ellujäämine sõltuvad sobiva hapnikutaseme säilitamisest. Aeratsioonimeetodid tagavad piisava hapnikusisalduse, samas kui desinfitseerimismeetodid, sealhulgas UV-steriliseerimine ja osoneerimine, aitavad patogeene kontrolli all hoida. Kalade tervis on äärmiselt oluline ning haigused nagu ihtüoftiriaas, parasiidid ja kolumnarioos võivad suletud süsteemis väga kiiresti levida. Haiguste ennetamiseks on vajalik säilitada optimaalne veekvaliteet, hoida uued kalad karantiinis ning tagada tasakaalustatud toitumine. Terviseriskide vältimiseks peab loomkoormus võimaldama veekvaliteedi säilimist, tagades samal ajal piisava kalabiomassi toitainete tootmiseks. Kasvu soodustamiseks peaks kalasööt sisaldama valke, süsivesikuid, lipiide, vitamiine ja mineraalaineid. Akvapoonikaga tegelejad saavad luua jätkusuutliku ja tootliku ökosüsteemi, mis toodab kvaliteetset kala ja värsket taimset saaki, tasakaalustades asustustiheduse, söötmisnormid, veekvaliteedi ning kalade tervise juhtimise.

Märksõnad: Kalad, nõudmised, liigid, TransFarm, Interreg, akvapoonika, vastupidavus, jätkusuutlikkus

Käsiraamatus sisalduv teave pärineb artiklitest ja raamatutest, mille andmed on alajaotises "Viited".

Käsiraamatu koostas Läti ülikool koostöös partneritega Interregi Kesk-Läänemere piirkonna projekti CB0100007 "TRANSborder cooperation for circular soil-less FARMing systems – TransFarm" toel.

1. Sissejuhatus

1.1. TransFarmi projekt

Toidusektor seisab silmitsi ~~erinevate~~mitmesugustel keskkonna- ja sotsiaalprobleemidega: kliimamuutuste mõju põllumajandussektorile on eriti tugev, maailmamere kalavaru on ülepüügi tõttu vähenemas, samal ajal kasvab maailma rahvastik jätkuvalt, jõudes 2050. aastaks hinnangute kohaselt umbes 9.7¹ miljardini. Läänemere piirkonna riigid sõltuvad oluliselt toiduainete, eriti köögi- ja puuviljade ning kalade impordist. Viimastel aastatel on pandeemiad ja sõda Ukrainas toonud esile suurema vajaduse ~~isevarustavate~~jätkusuutlike toidutootmissüsteemide järele. Lisaks on põllumajandus ja vesiviljelus ühed peamised Läänemere eutrofeerumise põhjustajad. (UL)

Nende väljakutsete ühe lahendusena toob projekt „TransFarm“ toiduainete tootmise tarbijatele lähemale, edendades mullavabasid meetodeid, mis on rakendatavad ka siseruumides ja võimaldavad toota aasta ringi. Need on näiteks hüdropoonika, kus taimi kasvatatakse vees, ja akvapoonika, mis ühendab hüdropoonika ja vesiviljeluse.

Akvapoonika on suletud süsteem, milles kalakasvatuse vett kasutatakse taimede kasvatamiseks. Kalade metabolismi jääkproduktid vees muundatakse biofiltri abil mikrobioloogiliselt, taimed omastatavad sealt toitained ning puhastunud vesi tagastatakse seejärel kaladele. Süsteemis on veekasutus täielikult ringluses, mistõttu võimaldab see toitainete taaskasutamist ilma nende sattumiseta väliskeskkonda. Kuna akvapoonikas toimivad kalad, taimed ja mikroorganismid sümbiootilises suhtes, ei kasutata selles antibiootikume ega pestitsiide, mis tagab puhtamad ja tervislikumad saadused.

Projekti käigus tutvustatakse akvapoonikat Eestis, Lätis ja Rootsis ja katsetatakse alternatiivseid veeallikaid nagu vihmavesi ja taaskasutuseks puhastatud hallvesi. Projekti partnerid ehitavad erinevate omaduste ja eesmärkidega näidisrajatisi. Erinevatelt demoüritustelt saadud kogemuste vahetamine aitab kaasa teadmiste ühisloomele ning rajatised pakuvad võimaluse innustada ja harida tulevasi akvapoonikafarmereid. Demoobjektide ehitamise ja seire käigus kogutud teadmiste põhjal valmib õppematerjal, mis on kättesaadav kõigile akvapoonikaga tegelejatele.

Projekti raames uuritakse ka ärimudeleid, viiakse tarbijate hulgas läbi teavitustööd akvapoonikatoodete kvaliteedist, haritakse ettevõtjaid, kes soovivad käivitada akvapoonikasüsteeme ning informeeritakse riigiteenistujaid ja poliitikakujundajaid mullavabade ringmajandusmeetodite väiksemast keskkonnamõjust.

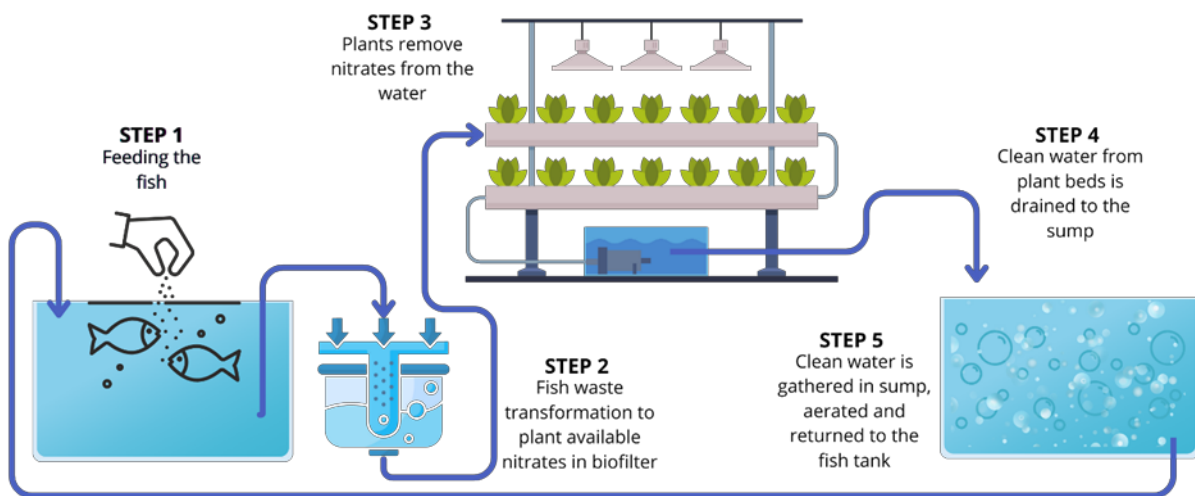
Projekt „TransFarm“ kestis kolm aastat (2023–2026) ja seda koordineeris **Turu ülikooli majanduskool** (Turu, Soome). Partnerid on **Eesti Maaülikool** (Tartu, Eesti), **Läti ülikool** (Riia, Läti), **Norrtälje Vatten och Avfall** (varem **Campus Roslagen**, Norrtälje, Rootsi) ja **Coompanion Roslagen & Norrort** (Norrtälje, Rootsi).

Projekti „TransFarm“ rahastas ELi Interreg Kesk-Läänemere programm. Projekti kogueelarve oli 1,87 miljonit eurot, millest ELi toetus moodustas 1,5 miljonit eurot.

¹ ÜRO DESA väljaanded - maailma rahvastiku väljavaated 2022

1.2. Kalad akvapoonikas

Akvapoonika on mullavaba põllumajandusmeetod, mis ühendab vesiviljeluse (kalade kasvatamine) ja hüdropoonika (taimede kasvatamine). Akvapoonikasüsteemi vaieldamatult kõige olulisemaks osaks on kalad – just nemad varustavad kogu süsteemi toitainetega ning on selle sümbiootilise ökosüsteemi keskmes. Kalad aitavad kalasööda tarbimisega seotud ainevahetuse kaudu kaasa süsteemi toitainete ringluse ja tasakaalu kujunemisele. Kalade ainevahetuse jääke ei käsitleta akvapoonikas jäätmetena, vaid väärtusliku ressursina. Kalad eraldavad ainevahetuse käigus vette ammoniaaki, mis on lämmastikurikas ühend. Mikroorganismid muudavad ammoniaagi biofiltris nitrititeks ja nitraatideks. Need ühendid on taimedele peamised toitained ja kergesti omastatavad. See loomulik toitainete ringlus kõrvaldab vajaduse sünteetiliste väetiste järele, vähendab keskkonnamõju ning loob suletud süsteemi, kus jääkained muudetakse väärtuslikuks sisendiks (joonis 1).



Joonis 1. Akvapoonikasüsteemi üldistatud skeem, kus taimed kasvavad NFT (Nutrient Film Technique) kanalites.

Käsiraamat keskendub erinevatele kaladega seotud aspektidele akvapoonikasüsteemis. Esmalt käsitletakse kaladega seotud veekvaliteedi nõudeid. Edasi kirjeldatakse erinevaid kalakasvatusbasseine ja akvaariume - nende eeliseid ja puuduseid. Kuna kalasööt on süsteemi peamine ja ainus toitainete sisend, tuleb kaladele antava sööda valikul olla eriti hoolikas. Kõige olulisemaid toitainete rühmad on üksikasjalikult kirjeldatud. Koostatud on ülevaade võimalikest kalaliikidest koos neile sobivate kasvutingimustega. Kuna akvapoonika on tavaliselt piiratud suurusega süsteem ning kalade asustustihedus hoitakse liigist sõltuvalt sageli maksimaalsel tasemel, on oluline olla teadlik kahjuritest ja haigustest, mis võivad akvapoonikasüsteemi toimimist negatiivselt mõjutada.

Edukas akvapoonikasüsteem ei ole pelgalt kalade olemasolu tulemus vaid kalad on seda süsteemi käivitav jõud. Just nemad on toitainete ringluse aluseks, varustades taimi nende kasvuks vajalike taimetoitainetega. Elujõuline ja jätkusuutlik akvapoonikasüsteem eeldab sobivate kalaliikide valikut, neile sobiva elukeskkonna tagamist ning tervise teadlikku jälgimist.

Käesolev aruanne on osa Interreg Central Baltic programmi projekti TransFarm (TRANSborder cooperation for circular soil-less FARMing systems) (nr CB0100007) raames koostatud koolitusmaterjalide sarjast. Aruanne on 3. töopaketi tegevuse 3.4 tulemusdokument (D3.4.1) ning seda tuleks kasutada koos dokumentidega D3.3.1 (Koolitusmaterjalid taimede kohta akvapoonikas) ja D3.2.1 (Koolitusmaterjalid veekvaliteedi kohta akvapoonikas).

2. Nõuded kalakasvatuse kvaliteedile

2.1. Temperatuur

Temperatuur on akvapoonikas ökosüsteemi oluline mõjutaja. Teatud taimed kasvavad hästi jahedates tingimustes, säilitades oma tervise, tugevuse ja kiire kasvutempo. Kalad peavad samuti süsteemi oludega sobituma, kuna nende panus toitainete näol on taimede kasvu seisukohalt ülioluline. Akvapoonikatootjad peavad olema valmis hindama süsteemi kraadipäevade alusel (*degree-day*), mis on ühik, mis arvestab temperatuuride akumulatsiooni ajas.

Algfaasis tuleb aktiveerida biofilter, et varustada taimi vajalike nitraatide ja süsinikdioksiidiga. Praktiline meetod on biofilter sisse töötada temperatuuril 20–22 °C ning seejärel alandada temperatuuri, kui nitraadid peaks hakkama süsteemis kuhjuma. Lõpuks on selles etapis oluline lisada süsteemi kalad, et tagada toitainete kogunemine taimede kasvuks soodsa kiirusega.

Alternatiivne lähenemine on kalade lisamine süsteemi kohe alguses. See meetod eeldab aga ammoniaagi ja ammooniumi (NH_3/NH_4) taseme ja nitrifikatsiooniprotsessi hoolikat jälgimist, et vältida nende toksiliseks muutumist. Probleemide tekkimisel võib süsteemi lisada värsket vett, et lahjendada ja vähendada mürgiste ühendite kontsentratsiooni. Põhjamaistes tingimustes aitab värsk vee lisamine süsteemi kuumadel suveperioodidel jahutada, kuid külmemal ajal võib see põhjustada liigset jahtumist. Kõik need kohandused mõjutavad akvapoonikasüsteemi põhikomponente: biofiltrit, kalabasseini ja taimede kasvuala. Temperatuuri pidev jälgimine on hädavajalik, kuna see mõjutab kõiki süsteemis toimuvaid bioloogilisi protsesse. Kuigi digitaalsed seiresüsteemid on väärtuslikud, tuleks varuvariandina kasutada ka tavalist käsitermomeetrit. Väärad mõõtetulemused võivad ohustada kogu süsteemi toimimist, mistõttu on digitaalandurite regulaarne kalibreerimine täpsuse tagamiseks vältimatu.

Harva leidub kasvatukohti, kus temperatuur püsib stabiilsena ja samal ajal optimaalsena nii kaladele kui taimedele. Õhu- ja veetemperatuuri mõjutavad sageli hooajalised kõikumised, mistõttu tuleb olemasolevaid tingimusi teadlikult optimeerida. Temperatuuri reguleerimiseks on mitmeid meetodeid, näiteks temperatuuri juhtimine õhustamise abil. Teatud lahendustes hõlmab keskne kliimajuhtimissüsteem õhk-õhk või õhk-vesi soojuspumpa, millega reguleeritakse temperatuuri. See võimaldab hallata ka õhuniiskust. Veepõhine temperatuuri reguleerimine on täiendav alternatiiv, mille puhul soojendatakse vett otse. Kuid nii võib õhuniiskus ruumis tõusta kuni 85%-ni ja kondenseeruda pindadel. Osadele taimedele võib kõrgem õhuniiskus olla kasulik, kuid samas võib see soodustada hallituse ja vetikate kasvu, eriti juhul, kui kasutatakse tehisvalgustust. Niiskuse kogunemise vältimiseks peavad elektrisüsteemid olema piisavalt isoleeritud ning neid tuleb regulaarselt kontrollida.

Põhjamaistes tingimustes kasutavad mõned farmid kütmiseks maasoojusenergiat või lähedalasuvate veekogude veesoojusenergiat, mis eeldab soojusvahetite või pörandakütte kasutamist. See aga võib vähendada õhuniiskust (25–35%-ni), mistõttu võib tekkida vajadus täiendavate õhuniisutite järele. Jahedamas kliimas on sobiv temperatuurivahemik 16–17 °C, mis võimaldab kasvatada vikerforelli ning kultuure nagu spinat ja salat. Parasvöötmecliimas saab tõhusalt jooksutada süsteemi, kus temperatuur on vahemikus 22–26 °C ja milles kasvatatakse näiteks säga ning kultuure nagu basiilik ja tomat. Oluline on jälgida õhuniiskust ja vajadusel kasutada õhuniisuteid.

2.2. Hapnik

Akvapoonikas ja teistes vesiviljeluspõhistes põllumajandussüsteemides on hapnik eluliselt tähtis kõigile asukatele, nagu kalad, vähilaadsed, karbid, teod ja kilpkonnad. Kuigi kalad elavad vees (H_2O), ei ole nad võimelised kasutama vesinikumolekulidega seotud hapnikku. Kalad, nagu ka inimesed, vajavad hingamiseks vaba, vees lahustunud hapnikku (DO), mis peab olema vees ühtlaselt jaotunud. Temperatuur ja hapnikutase on akvakultuuris lahutamatu seotud. Temperatuuri ja lahustunud

hapniku mahutavuse vaheline pöördvõrdeline seos tähendab, et vee temperatuuri tõustes väheneb vees lahustunud hapniku hulk. Sisuliselt määrab temperatuur, kui palju hapnikku saab vesi sisaldada. Hapnik on vajalik kõigile akvapoonikasüsteemi komponentidele, sealhulgas kaladele, biofiltritele ja taimedele. Hapnikusisaldust mõõdetakse tavaliselt kontsentratsioonina (ppm või mg/L) ja küllastusastmena (%). Tervisliku keskkonna säilitamiseks peavad akvapoonikatootjad jälgima ja mõistma mitmeid hapnikuga seotud protsesse, nagu biokeemiline hapnikutarve (BHT), nitrifikatsioon, fotosüntees ja respiratsioon, mis kõik mõjutavad hapnikutaset.

Süsteemi asukad, näiteks kalad ja mikroorganismid, tarbivad lahustunud hapnikku. Seda hapnikuvajadust nimetatakse biokeemiliseks hapnikutarbeks (BHT) ning selle jälgimine on eriti oluline, kuna biofiltrites olevad mikroorganismid ja ringluses olevad kalad vähendavad hapnikusisaldust vees. Süsteemi regulaarne puhastamine ja hooldus on hädavajalik vältimaks biokile liigset kasvu biofiltrites. See aitab ära hoida irdunud biokile edasi kandumist taimede juuretsooni ning ladestumist basseinide seintele. Eemaldamata liigne biokile võib häirida vee voolamist ja vähendada hapniku kättesaadavust.

Vee hapnikusisaldus võib kiiresti muutuda, mõnikord vaid minutite jooksul, mis võib elutingimused muuta kaladele eluohtlikuks. Seetõttu peavad süsteemi hooldajad jälgima kalade käitumist, kuna madal hapnikutase ei ole alati kohe ilmne. Esmased hapnikupuuduse märgid on kalade tõusmine veepinna lähedale ja hingeldamine, justkui nad „haukaksid“ õhku. Sellist käitumist täheldatakse sageli siis, kui hapnikutase langeb 4–3 ppm-ni. Kui tase langeb vahemikku 1–3 ppm, võivad kalad ilmutada tugeva stressi märke püüdes basseinist välja hüpata, ujudes rahutult ringi, või vastupidi, lebades liikumatult põhjas või vee sisse- ja väljavoolu lähedal. Mõned kalaliigid, näiteks Aafrika säga, suudavad madalama hapnikutasemega kohaneda tõustes veepinnale hingama, samas kui teised, näiteks vaaphaugid, võivad hakata hingama õhuhapnikku. Need kohastumised on siiski võimalikud alles pärast pikemaajalist madala või subletaalse lahustunud hapniku tasemega tingimustes viibimist. Paljud veeloomad võivad taolistes tingimustes hukkuda, kuna nad ei ole võimelised kohanema.



Joonis 2. Linde Gaasi lahendus hapniku doseerimiseks ja avari-hapnikuvarustuseks

Madala hapnikutaseme korral on soovitatav kalade söötmine ajutiselt peatada, et süsteemi veidi „rahustada“ ning võimaluse korral lisada värsket vett. Hapnikuvajadus väheneb kalade aktiivsuse langedes ning jahedam vesi seob lahustunud hapnikku paremini. Kalade tervise ja tootlikkuse tagamiseks on soovitatav paigaldada seadmestik lahustunud hapniku taseme hoidmiseks vahemikus 7,5–9,5 ppm (joonis 2). See soodustab valkude tõhusat metabolismi ja toetab kalade kasvu.

Akvapoonikasüsteemides tarbivad lahustunud hapnikku (DO) ka biofiltris elutsevad mikroorganismid, mis lagundavad orgaanilist ainet ja muudavad selles olevad taimetoitained omakorda taimedele kättesaadavateks. Kui süsteemi koguneb liigselt orgaanilist ainet, kasutavad bakterid oma elutegevuses rohkem lahustunud hapnikku. Seetõttu on äärmiselt oluline jälgida ja reguleerida biokile, sette ja muude jääkide kogunemist. Kui ringlussüsteemist ei filtreerita setteid ega heljumit, võib hapnikutarve suurened, mis võib omakorda põhjustada hapnikupuudust kalade jaoks. Akvapoonikas juhitakse hapnikuvarustust ja säilitatakse optimaalne hapnikutase kolme süsteemi kaudu: bioloogiline vajadus, söötmisest tulenev vajadus ja hädaolukorra varustus. Bioloogiline vajadus on suhteliselt konstantne ning suureneb proportsionaalselt süsteemi kogubiomassiga. See väljendab hapnikuhulka, mis on vajalik bakterite, taimede ja kalade igapäevaseks hingamiseks ja ainevahetuseks. Söötmisest tulenev vajadus – kalade ainevahetusaktiivsus suureneb ajutiselt söötmise ajal ja vahetult pärast seda, põhjustades lühiajalise hapnikutarbe kasvu. Tasakaalu säilitamiseks jälgivad suurtes süsteemides igas kalabasseinis olevad hapnikuandurid tasemeid ja edastavad teabe kesksesse juhtsüsteemi, mis avab ajutiselt hapnikuvarustusklapid. Hädaolukorra varustus – varuhapnik tagatakse seadmete rikke või elektrikatkestuse korral avariisüsteemide abil. Suuremahuliste tootmiste puhul on varugeneraatorid hädavajalikud, et tagada katkematu hapnikuvarustus. Ka väiksemate ja hobitasemel süsteemide puhul on kasulik omada usaldusväärset teisest toiteallikat, mis kaitseb kalu ootamatute katkestuste korral.

Süsteemi suurusest ja hapnikuvajadusest sõltuvalt on akvapoonikasüsteemides hapniku lisamiseks mitmeid viise. Väiksemates süsteemides tagab piisava hapnikusisalduse tavaliselt lihtne õhupump koos õhuvoolikute või keraamiliste õhukividega (difuusoritega). Keskmise suurusega süsteemides, kus hapnikuvajadus on suurem, kasutatakse sageli peenperforeeritud difuusoreid aeratsiooni parandamiseks ning lisaks hapnikugeneraatoreid või hapnikuballoone, et tagada stabiilne varustus. Suuremahulised süsteemid vajavad keerukamaid hapnikuga rikastamise lahendusi, mida saab saavutada vedela hapnikuga rõhusüsteemide või hapnikugeneraatorite abil. Hapnikugeneraatorid toodavad hapnikku vastavalt vajadusele, samas kui rõhusüsteemid pakuvad eelnevalt talletatud hapnikku koheseks kasutamiseks. Igal meetodil on oma eelised, kuid vedela hapniku süsteemid nõuavad üldjuhul keerukamat ja hoolikamat käsitlemist.



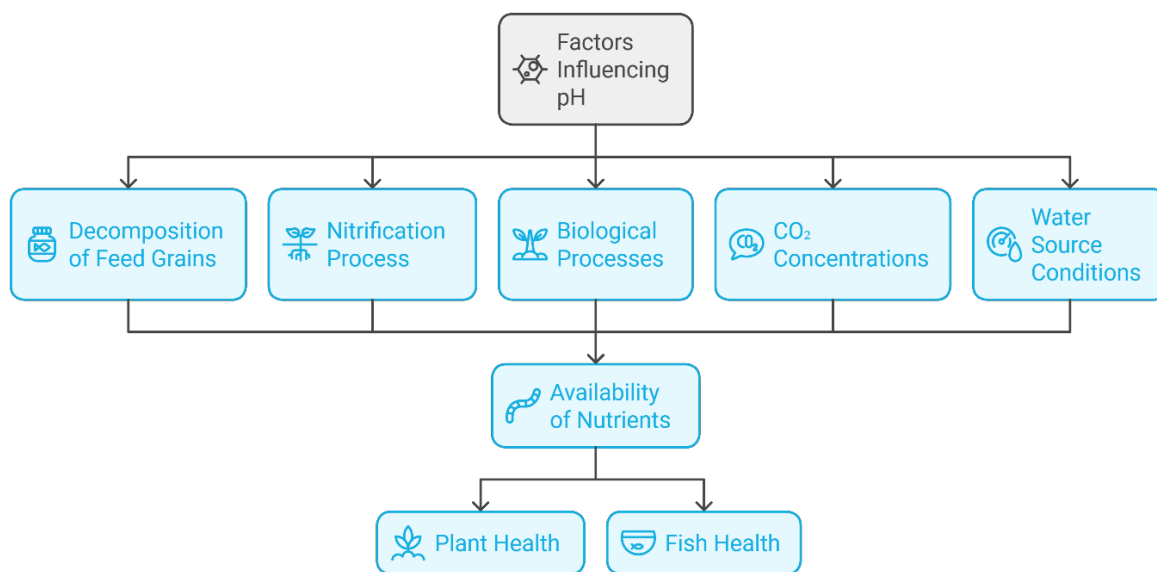
Joonis 3. Atlas Scientific jälgimissüsteem ja Handy Oxyguard O₂ sensor.

Süsteemi tõhusa toimimise ja hea seisundi tagamiseks on hapnikutaseme jälgimine hapnikuandurite (joonis 3) abil hädavajalik. Hapnikuandureid tuleb biokilest iga päev puhastada, eriti sooja veega süsteemides. Neis tuleks hapnikutaseme jälgimiseks kasutada nii käsitsi mõõtmist kui statsionaarseid andureid. Näiteks anood-katood-andurid võivad optiliste anduritega võrreldes vajada sagedasemat puhastamist, kuna biokile võib nende mõõtetulemusi oluliselt mõjutada. Samuti on oluline seadmete regulaarne kalibreerimine vastavalt tootja juhiste.

Vigaste andurite kiire hooldus on hädavajalik ning see võib hõlmata membraanide vahetamist, andurivedelike täitmist või anduri sisemiste komponentide puhastamist. Akvapoonikasüsteemides saab kasutada looduslikke hapnikuallikaid, et vähendada vajadust täiendava hapniku lisamise järele. Lahustunud hapniku hulka aitab suurendada vetikate, makrovetikate ja teiste veetaimede poolt fotosünteesi käigus toodetav hapnik. Selle protsessi puhul on temperatuuri reguleerimine väga tähtis, kuna temperatuur mõjutab taimede hingamist ja hapnikutootmise kiirust. Veetemperatuuri sobival tasemel hoidmine võib tõsta fotosünteesi tõhusust ning tagada seeläbi kogu süsteemile stabiilse hapnikuvarustuse. Kalade kasvu ja valkude tõhusa metabolismi soodustamiseks peaks lahustunud hapnik olema vahemikus 7,5–9,5 ppm. Selline tase toetab kalade tervist ja arengut ning aitab kaasa akvapoonikatootmise majanduslikule jätkusuutlikkusele.

2.3. pH

pH logaritmilist skaalat kasutatakse vesilahuste happelisuse või aluseliseuse kirjeldamiseks. Happeliste lahuste pH-väärtus on madalam suurema vesinikioonide (H^+) kontsentratsiooni tõttu, samas kui aluselised ehk leeliselised lahused omavad kõrgemat pH-väärtust, kuna vesinikioonide kontsentratsioon on väiksem. Iga pH-ühik tähistab kümnekordset erinevust vesinikioonide kontsentratsioonis, kuna skaala on kümnendlogaritmiline. Standardtemperatuuril 25 °C loetakse happeliseks lahused, mille pH < 7 ning aluseliseks lahused pH > 7. pH-d mõjutavad tegurid on kujutatud joonisel 4.



Joonis 4. Kokkuvõte akvapoonikasüsteemi pH-d mõjutavatest teguritest

pH on akvapoonikas kriitilise tähtsusega parameeter, kuna see mõjutab süsteemi stabiilsust, mikroobset aktiivsust ja toitainete kättesaadavust. Oluliste toitainete lahustuvus sõltub otseselt pH-tasemest, mis omakorda mõjutab nende omastatavust taimede poolt. Seeläbi mõjutab pH otseselt taimede tervist ja kasvu. Lisaks on pH määrav tegur teatud ühendite, sealhulgas ammoniaagi, toksilisuse kujunemisel, kuna pH tõustes muutub ammoniaak veeloomadele ohtlikumaks. Nendel põhjustel on stabiilse pH säilitamine hädavajalik tasakaalustatud ja tervisliku akvapoonikasüsteemi tagamiseks. Akvapoonikasüsteemides mõjutavad pH-d mitmed tegurid. Näiteks võivad kõikumised tuleneda sööda lagunemisest kalabasseinis. Söödagraanulite lagunemisel eraldub ammoonium, mis võib pH-d järk-järgult muuta. Nitrifikatsioon, mille käigus muudavad mikroobid biofiltris ammooniumi nitrititeks, muudab vee happelisemaks. See happesus võib soodustada nitritite taseme tõusu, mis kontrollimatul kujul võib põhjustada süsteemis toksilisuse järsku tõusu.

Õiged söötmistavad, mis on kohandatud vastavalt kalaliigile ja suurusele, aitavad neid mõjusid leevendada, kuna sööda kogus võib akvaariumis kõikuda vahemikus 0,3–6% kalade biomassist.

pH-d mõjutavad lisaks ka bioloogilised protsessid, kuna orgaaniline aine ja ammoniaak satuvad vette sööda jääkide ning kalade väljaheidetena ja ka surnud kalade lagunemisel. Need ained soodustavad kasulike bakterikolooniate kasvu, kuna esmalt kutsuvad need esile pH tõusu, kuid jätkuva lagunemise käigus toimub selle langus. Nitrifikatsioon on protsess, mis muundab ammoniumi nitrititeks ja nitraatideks ning millega järk-järgult kaasneb vee happesemaks muutumine. Lisaks mõjutab keskkonna pH-d toitainete omastamine taimede poolt ja sellega kaasnev ionide, sealhulgas nitraatide ja karbonaatide, vabanemine. Sõltuvalt vees esinevatest ioonidest võib pH kas tõusta või langeda.

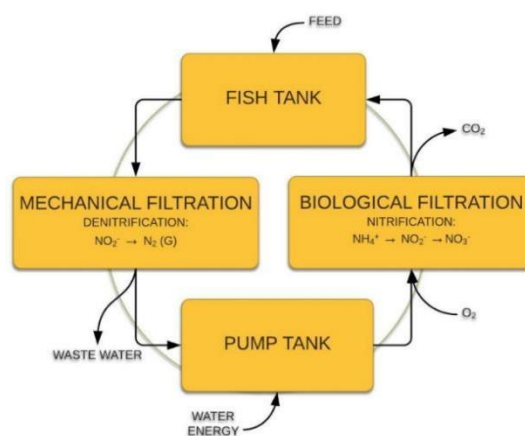
Oluline roll pH stabiilsuses on ka süsinikdioksiidi kontsentratsioonil. Kõrge CO_2 sisaldus vees viib süsihappe tekkeni, mis alandab pH-d. Väiksem CO_2 kontsentratsioon vähendab happesust. Lõpuks mõjutab vee pH-d märkimisväärselt ka kasutatav vesi, kuna magevee puhverdusvõime sõltub selle pH-st ja karedusest. Suurem puhverdusvõime tähendab seda, et pH muutmiseks on vaja suuremaid koguseid pH-d reguleerivaid aineid, nagu vesinikkloriidhapet (HCl) happesuse suurendamiseks või naatriumhüdroksiidi (NaOH) ja kaltsiumhüdroksiidi (kustutatud lubi, Ca(OH)_2) pH tõstmiseks. Ebaühtlane pH-tase võib pidurdada taimede arengut ja vähendada saagikust. Taimede toitainete omastamine on pH suhtes väga tundlik ning kui pH kaldub optimaalsest vahemikust kõrvale, muutuvad peamised taimetoitained vähem kättesaadavaks, kahjustades taimede tervist ja kasvu. Häiritud füsioloogilised protsessid, sealhulgas fotosüntees, võivad põhjustada toitainete tasakaaluhäireid ning vähendada taimede stressitaluvust. Kuigi pH-d saab vajaduse korral käsitsi korrigeerida, pakuvad automaatsed statsionaarsed süsteemid suuremat stabiilsust ja tõhusust ning on reaalajas reguleeritavad.

Pikaajaline ebasoodne pH võib kaladele põhjustada stressi, nõrgendada nende immuunsust ja suurendada vastuvõtlikkust haigustele. Ebaühtlane pH võib häirida kalade füsioloogilisi funktsioone, vähendada söögiisu, aeglustada kasvu ning muuta neid tundlikumaks vee keemilise koostise kõikumiste suhtes. Kalade tervisele kahjulike mõjude vähendamiseks ei tohiks pH muutus ületada 0,5 ühikut 24 tunni jooksul. Tasakaalustatud akvaponikakeskkonna säilitamiseks on vajalik järjepidev seire ja täpsed korrigeerimised, kuigi käsitsi pH reguleerimine võib stabiilsuse saavutamiseks nõuda veidi suuremaid vette doseeritavate ainete koguseid.

2.4. Muud nõuded

Vee voolamine ja veeringlus

Ringlussüsteemiga vesiviljelussüsteemi keskseks komponendiks on pump. Pumba vooluhulka on võimalik sujuvalt muuta näiteks sagedusmuunduri abil. Pumbad on suure energiatarbega, mistõttu tuleb valida sellised pumbad, mis töötavad suurima kasuteguri piirkonnas. Energiatõhusam tundub kasutada kogu veemahu ringluses hoidmiseks ühte pumpa, kuid süsteemi töökindluse tagamiseks on soovitatav paigaldada kaks pumpa ja käitada neid vaheldumisi. Võib juhtuda, et töö käigus tuleb üks pump süsteemist hoolduseks eemaldada või välja vahetada.



Joonis 5. Akvaponikasüsteemi sisendid ja väljundid

Selle võimaldamiseks tuleb enne ja peale pumpa paigaldada sulgarmatuur. Vett pumbatakse ringlussüsteemis üks kord, tagasivool pumbamahutisse toimub isevoolu teel. Pumba kaitsmise huvides peaks ta paiknema peale mehaanilist filtrit (joonis 5).

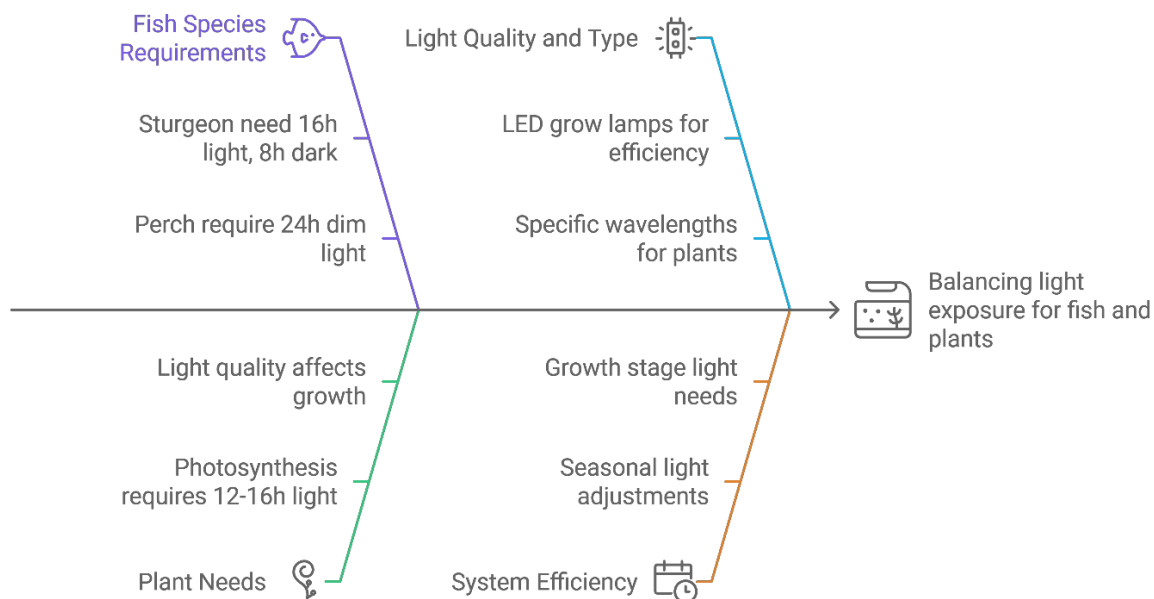
Sagedusmuundur aitab reguleerida vee vooluhulka. See on vajalik, kuna teatud kalaliikidele sobiv keskkond eeldab suuremat veevahetust. Mõnel juhul võib suurenenud veevahetusel olla ka muid positiivseid mõjusid, näiteks võib väheneda kannibalism ja elutegevuse jääkide hulk kalamahutis.

Päevavalguse režiim

Suletud ringlussüsteemiga ja hästi juhitavates vesiviljelussüsteemides sõltub nii kalade kui ka taimede tervis ja kasv päevavalguse režiimist. Kaladele valguse andmist kohandatakse vastavalt iga liigi vajadustele. Näiteks tuurad arenevad hästi 16-tunnise päevavalguse ja 8-tunnise pimeduse tsükliga, mis jälgendab neile omaseid looduslikke tingimusi ja soodustab kasvu. Ahvenalised seevastu vajavad pidevat nõrka valgust 24 tundi ööpäevas, et vältida stressi, kuna valguse muutused võivad häirida nende toitumis- ja puhkerütmi. Lõhelased vajavad päeva ja öö vahel sujuvaid üleminekuid, kuna nad on tundlikumad järskude valgusmuutuste suhtes. Äkiline valguse muutus võib vallandada stressireaktsioone, näiteks nn „lainetusefekti“, mille käigus kalaparved võivad järsku veest välja hüpata ja end vigastada. Sägad seevastu on aga öise eluviisiga ning neid kasvatatakse kõige edukamalt peaaegu täielikus pimeduses, rahuldudes ka vaid minimaalse valgusega, mis on vajalik hoolduspersonali tegevuseks. Akvapoonikasüsteemi valgusrežiimi mõjutavad valgustingimused ja -tegurid on joonisel 6.

Valguse roll akvapoonikasüsteemides ei piirdu ainult kaladega; see mõjutab ka taimi, mis vajavad valgust fotosünteesiks. Fotosüntees on protsess, mille käigus taimed muudavad valgusenergia keemiliseks energiaks, tootes hapnikku, mida kalad vajavad, ning eemaldades veest toitaineid, mis muidu koguneks ainevahetusjääkidenä. Ühises akvapoonikakeskkonnas võivad kalade ja taimede valgusvajadused omavahel vastuollu minna, kuna taimede optimaalne kasv eeldab tavaliselt ööpäevas 12–16 tundi valgust. Valguse tõhusaks haldamiseks võib osutuda vajalikuks kalabasseinide varjutamine või rajatise erinevate alade eraldamine. See aitab tasakaalustada mõlema vajadusi. Kalakasvatusbasseinide varjutamine või füüsiliste tõkete loomine taimede ja kalade vahele võimaldab pakkuda kaladele vajalikku pimedust, tagades samal ajal taimedele piisava valguse.

Lisaks tuleb akvapoonika valgusrežiimide kavandamisel arvestada kasutatava valguse kvaliteedi ja tüübiga. Siseruumides asuvates süsteemides on sageli vajalik kasutada tehisvalgust, et täiendada või asendada loomulikku päikesevalgust. LED-kasvulambid on laialdaselt kasutusel, kuna need on energiatõhusad, nende valgusspektrit on võimalik reguleerida vastavalt taimede fotosünteesivajadustele ning nad ei soojenda tarbetult õhku. Näiteks sinine ja punane lainepikkus on taimede kasvuks eriti soodsad, kuna need edendavad fotosünteesi. Kuid asjaolu, et pikaajaline kokkupuude nende konkreetsete lainepikkustega ei pruugi sobida kõikidele kalaliikidele, illustreerib enamgi vajadust hoolikalt läbi mõeldud valgustamisgraafikute ja -intensiivsuste järele.



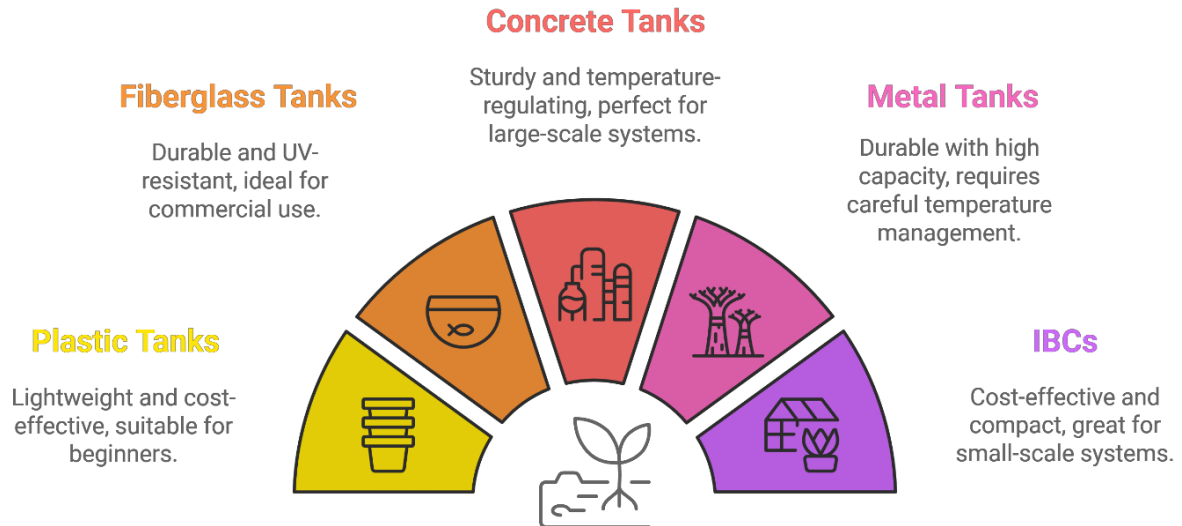
Joonis 6. Akvapoonikasüsteemi valgusrežiimi mõjutavad valgustingimused ja -tegurid

Valgustingimuste jälgimine ja selle hooajaline või taimede ja kalade kasvufaasidele vastav kohandamine võib süsteemi tõhusust märkimisväärselt parandada. Algfaasis võivad noored taimed tugeva juurestiku kujundamiseks vajada rohkem valgust, samas kui täiskasvanud taimed taluvad mõõdukat valgusintensiivsuse vähendamist. Sarnaselt võib ka kaladele vajalik valgusintensiivsus varieeruda sõltuvalt nende kasvujärgust ja keskkonnateguritest, sealhulgas veetemperatuurist ja söötisgraafikutest. Valgusrežiimide jälgimise ja kohandamise kaudu saavad tootjad akvapoonikasüsteemides optimeerida tootlikkust ning tagada nii kalade kui ka taimede heaolu, luues mõlema vajadustele vastava keskkonna.

3. Vesiviljelus akvapoonikas

3.1. Kalakasvatusbasseini valimine ja nende tüübid

Kalabassein on akvapoonikasüsteemi peamine rajatis, kuna see on elupaigaks kaladele, kelle jääkainetest saavad taimed kasvuks vajalikke toitaineid. Süsteemi tõhusus, kalade tervis ja süsteemi üldine toimimine on oluliselt mõjutatud kalakasvatusbasseini valikust. Olemas on mitmesuguseid basseinilahendusi, nii koduaia hobisüsteemidele kuni suuremahuliste kaubanduslike tootmisteni, ning igaüks neist on loodud konkreetseid vajadusi silmas pidades. Erinevate basseinitüüpide eeliste ja puuduste põhjalik mõistmine aitab teha teadlikke otsuseid nii kasvatatavate kalaliikide valikul kui ka süsteemi tööviime maksimeerimiseks (joonis 7).



Joonis 7 Akvapoonikasüsteemis kasutatavate kalabasseinide tüübid

Plastbasseinid

Plastist, nt polüetüleenist, basseinid on akvapoonikasüsteemides ühed kõige levinumad lahendused, eriti väikese ja keskmise mahuga süsteemides (joonis 8). Neid soovitatakse, kuna nad on kerged, vastupidavad ja kulutõhusad. Valmistatud on need suure tihedusega polüetüleenist (HDPE) või muudest toiduainetele sobivatest plastmaterjalidest. Plastbasseine on saadaval mitmesuguse kujuga, sealhulgas ümarad, ristkülikukujulisi ja ovaalseid. Neid on lihtne käsitseda, transportida ja paigaldada, mistõttu nad sobivad hästi algajatele akvapoonikahuvilistele. Kuna materjal ei ole korrodeeruv, ei saasta see ka vett. Lisaks aitab plastbasseinide hea soojusisolatsioon säilitada ühtlast veetemperatuuri, mis on kalade tervise seisukohalt äärmiselt oluline. Samas on plasti kerge kriimustada, milledesse võivad aja jooksul kinnituda bakterikolooniad. Samuti ei ole nad nii vastupidavad kui näiteks betoon- või klaaskiudbasseinid, eriti pikaajalise ultraviolettkiirguse tingimustes. Seetõttu on tungivalt soovitatav leida võimalus kaitsta basseini otsese päikesevalguse eest, eriti välitingimustes. Plastbasseinid sobivad hästi kalaliikide nagu tilapia, säga ja forell kasvatamiseks, kuna mainitud liigid on vastupidavad ja kohanevad mitmesuguste veetingimustega.



Joonis 8. Akvapoonikasüsteemis kasutatavad plastbasseinid ja -konteinerid kalade kasvatamiseks.

Klaaskiudbasseinid

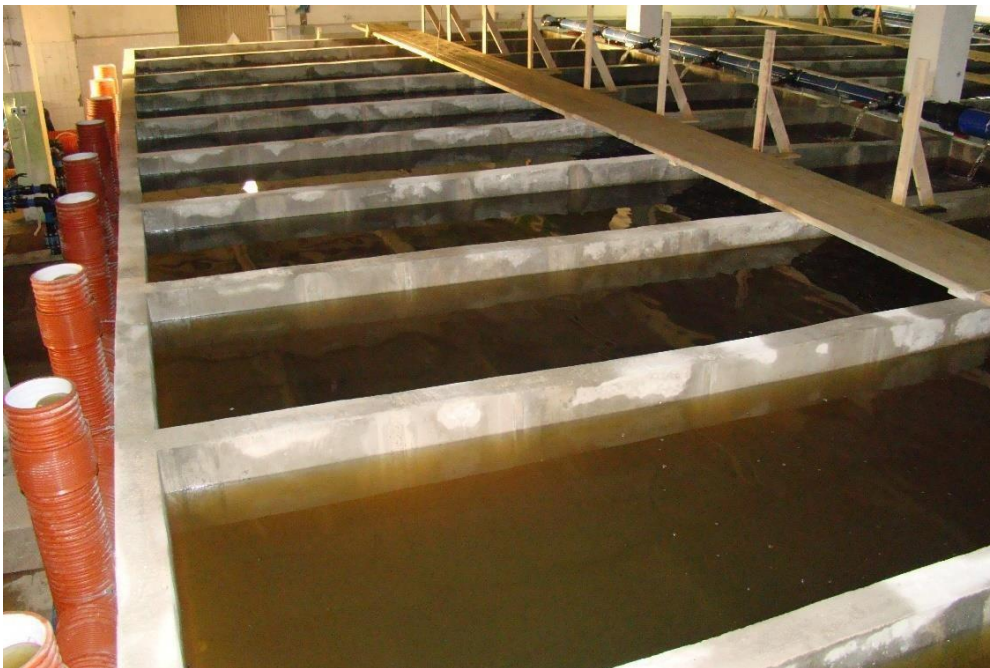
Tänu oma suurele vastupidavusele ja pikale kasutuseale on klaaskiudbasseinid populaarsed nii kaubanduslikes kui ka kõrgetasemelistes akvapoonikasüsteemides (joonis 9). Klaaskiudbasseinid on hea mainega. Nende ehituseks kasutatakse klaaskiuga tugevdatud plastmassi, mistõttu on need basseinid korraga nii kerged kui ka väga vastupidavad. Klaaskiudbasseine saab valmistada vastavalt kliendi soovidele väga erineva kuju ja suurusega, võimaldades kohandamist erinevate süsteemilahenduste ja kalade asustustihedusega. Nende sile pind muudab puhastamise lihtsaks, vähendades prahi kogunemise ja biokile tekke riski, mis võiksid veekvaliteeti halvendada. Oluliseks eeliseks on ka vastupidavus ultraviolettkiirgusele ja korrosioonile, mistõttu sobivad need basseinid kasutamiseks nii sise- kui välitingimustes. Klaaskiudbasseinide puuduseks on nende hind. Tavaliselt on need plast- või IBC-paakidest kallimad, mis võib olla väiksema eelarvega ettevõtete puhul piiravaks teguriks. Kuigi materjal on vastupidav, võib see ebaõige käsitsemise või tugevate löökide korral praguneda või kilde eraldada, mistõttu tuleb nende transportimisel ja puhastamisel olla ettevaatlik. Klaaskiudbasseinides kasvatatakse sageli kalaliike nagu näiteks tilapia, ahven ja barramundi, kes eelistavad stabiilset veekvaliteeti ja temperatuuri.



Joonis 9. Akvapoonikasüsteemides kasutatakse klaaskiudbasseine kalade kasvatamiseks.

Betoonbasseinid

Suuremahulistes kaubanduslikes akvapoonikasüsteemides on betoonbasseinid asendamatud. Seda eriti soojades või troopilistes piirkondades, kus nende temperatuuri hoidmise võime on oluline eelis. Raudbetoonist valmistatud basseinid (joonis 10) on äärmiselt tugevad ja pikaajalised ning võivad nõuetekohase hoolduse korral kesta aastakümneid. Võrreldes teiste basseinitüüpidega ehitatakse betoonbasseinid sageli süsteemipõhiselt, võimaldades suuremaid veemahtusid ja kõrgemaid kalade asustustihedusi. Nende paksud seinad annavad suure soojusmassi, mis aitab stabiliseerida veetemperatuuri, neelates päeval soojust ja vabastades seda öösel. See on eriti kasulik keskkondades, kus veetemperatuur kõigub märkimisväärselt. Samas kaasnevad betoonbasseinidega ka mitmed olulised puudused. Nende rajamine on kallis nii materjalide kui ka töökulude poolest, mistõttu ei sobi need väiksematele või kulutundlikumatele soovijatele. Värskest ehitatud betoonbasseinide puhul võib vette erituda lupja, mis tõstab pH-d, mistõttu tuleb enne basseini kasutuselevõttu lasta sellel täielikult kuivada ja pind töödelda hüdroisolatsiooniga. See eeltöötlus on hädavajalik, et vältida kalade kahjustamist. Pärast nõuetekohast ettevalmistust sobivad betoonbasseinid suurepäraselt vastupidavate kalaliikide nagu tilapia ja karpkala kasvatamiseks stabiilsetes ja suuremahulistes süsteemides.



Joonis 10. Betoonist kalabasseinid Läti vesiviljelussüsteemis.²

Metallbasseinid (toiduga kokkupuutumiseks sobiliku kattekihiga)

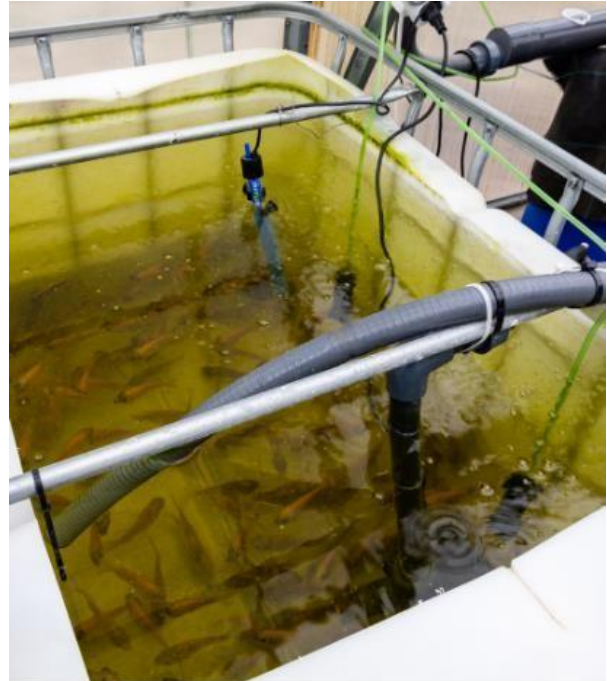
Metallbasseinid, mis on sageli valmistatud tsingitud terasest või alumiiniumist, on akvapoonikasüsteemides endiselt kasutust leidv alternatiiv, eriti juhul, kui need on vooderdatud toiduainete jaoks sobiva värvkatte või membraaniga. Võrreldes teiste basseinitüüpidega kasutatakse metallbasseine harvem. Metalliloomulik tugevus muudab need basseinid väga vastupidavaks ja keskkonnamõjudele vastupanuvõimeliseks. Nende suur mahutavus sobib hästi kaubanduslikele või suurematele suurte veekogustega süsteemidele. Piiratud ruumi korral, kus on vajalik kõrge kalade asustustihedus, võivad metallbasseinid olla eriti tõhusad. Samas on metall vastuvõtlik korrosioonile, eriti kokkupuutel veega ja tingimustes, kus esinevad temperatuurikõikumised, mistõttu peavad need basseinid olema vooderdatud mittetoksiliste, toiduga kokkupuutumiseks sobilike materjalidega, näiteks plasti või kummiga, et vältida kahjulike ainete vette leostumist. Ilma sobiva vooderduseta kujutavad metallbasseinid tõsist ohtu nii kalade tervisele kui ka veekvaliteedile. Üheks puuduseks on ka metallbasseinide kehv soojusisolatsioon. Metall on hea soojusjuht, mistõttu võib veetemperatuur kiiresti muutuda, (eriti välitingimustes), mis võib põhjustada temperatuuritundlikele kalaliikidele stressi. Lisaks võivad metallbasseinide ja nende vooderdamise algsed kulud olla suhteliselt kõrged, mistõttu väiksema eelarvega süsteemide jaoks ei ole need hea valik. Hoolimata mainitud piirangutest on metallbasseinides võimalik edukalt kasvatada selliseid kalaliike nagu tilapia ja forell, tingimusel et veetemperatuuri jälgitakse hoolikalt.

Mahtlastkonteinerid (Intermediate Bulk Containers, IBC-d)

Väikesemahulistes ja isetegemise põhimõttel rajatud akvapoonikasüsteemides kasutatakse kalakasvatusbasseinina väga sageli mahtlastkonteinereid, mida tuntakse IBC-dena (joonis 11). Paljud

² <https://bior.lv/en/node/738>

akvapoonikahuvilised peavad neid algselt vedelike transportimiseks loodud mahuteid heaks lahenduseks, kuna need on valmistatud toiduainete jaoks sobivast plastist ja metallraami sees. See muudab need nii taskukohaseks kui ka kergesti kättesaadavaks alternatiiviks. IBC-d on piisavalt kompaktsed, et sobituda tagaeadadesse või linnakeskkonda, pakkudes samas piisavat veemahtu mitmesuguste kalaliikide kasvatamiseks. Nende tavapärane mahutavus on ligikaudu tuhat liitrit, mistõttu need on kalade transportimiseks ideaalsed. Lisaks madalale hinnale on IBC-de üheks olulisemaks eeliseks nende lihtne kohandatavus. Neid saab lõigata, puurida ja ühendada torustikuga, mis võimaldab neid hõlpsalt integreerida erinevatesse süsteemilahendustesse. Teisalt võivad nende plastseinad otseses päikesevalguses aja jooksul laguneda, mistõttu on nende kasutusea pikendamiseks oluline hoida neid varjus või katta päikesevalguse eest. IBC-de väike maht muudab need vähem sobivaks suurematele kaubanduslikele süsteemidele või kaladele, kes vajavad rohkem ruumi. Veel üheks puuduseks on IBC-basseinide kitsad avad, mis võivad raskendada ligipääsu basseini kõikidele osadele ning muuta puhastamise keerukamaks. IBC-d on sobivaks lahenduseks vastupidavate kalaliikide nagu tilapia, säga ja koi kasvatamiseks, kuna need kalad suudavad kohaneda väiksema veemahu ja erinevate tingimustega. Hoolimata mainitud piirangutest on IBC-d nende kalaliikide kasvatamiseks väga hea valik.



Joonis 11. IBC (Euro-kuup), mida kasutatakse kalade kasvatamiseks akvapoonikasüsteemis.

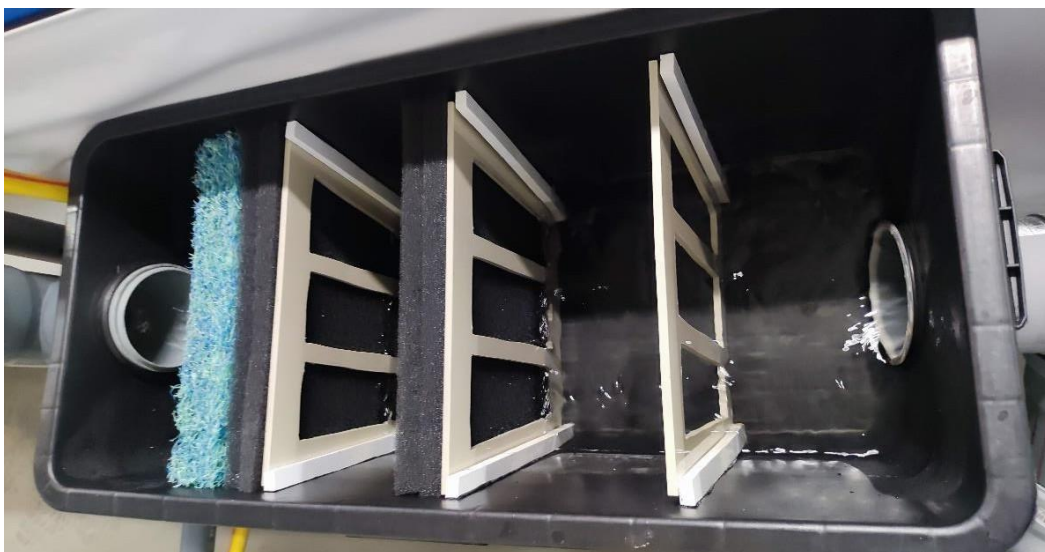
Taaskasutatud akvaariumid

Taaskasutatud akvaariume kasutatakse sageli väikestes siseruumides paiknevates akvapoonikasüsteemides. Sellised süsteemid rajatakse eelkõige õppe- või dekoratiivsetel eesmärkidel. Akvaariumite valmistamiseks kasutatakse tavaliselt kas klaasi või akrüüli. Mõlemad materjalid pakuvad head nähtavust, mis võimaldab hõlpsalt jälgida kalade tervist ja vee selgust. Akvaariumid on välisuselt esteetilised, mistõttu sobivad need näidisprojektideks või koduseks kasutuseks, kui kalu ja taimi soovitakse eksponeerida. Kuigi akvaariume on saadaval erinevates suurustes, ei ole nad võrreldes teiste kalakasvatusbasseinide tüüpidega kuigi suured. Seetõttu ei sobi akvaariumid kasvult suuremate või arvukama hulga kalade kasvatamiseks. Lisaks on klaasakvaariumid haprad ning võivad hooletul käsitsemisel praguneda või puruneda. Kuigi akrüülist akvaariumid on vastupidavamad, on need aja jooksul vastuvõtlikud kriimustustele, mis võib vähendada nende visuaalset atraktiivsust. Akvaariumid on ka suhteliselt kallid, eriti suuremate mahtude korral, mis võib olla piiravaks teguriks süsteemi laiendamisel. Hoolimata nendest piirangutest on akvaariumid suurepäraseks keskkonnaks väiksemate ja dekoratiivsete kalaliikide pidamiseks nagu kuldkalad ja koid. Samuti on suuremates akvaariumisüsteemides võimalik kasvatada ka suuremakasvulisi liike, näiteks tilapiat, eeldusel et veekvaliteeti hoolikalt jälgitakse ja reguleeritakse.

Sobiva kalabasseini valik akvapoonikasüsteemi jaoks on kogu süsteemi edukuse tagamisel äärmiselt oluline. Igal basseinitüübil on oma eelised ja puudused, mis mõjutavad veekvaliteeti, kalade tervist ja süsteemi hooldusvajadust. Plast- ja IBC-basseinid sobivad väiksematele süsteemidele ning on kulutõhusad, samas kui klaaskiud- ja betoonbasseinid pakuvad vastupidavust ja laiendatavust suuremaks tootmiseks. Plastbasseinid on samuti sobivad väiksemates süsteemides kasutamiseks. Kuigi metallbasseinid on tugevad, vajavad need vooderdamist ja isoleerimist. Taaskasutatud akvaariumid sobivad oma paindlikkuse tõttu hästi õppe- ja dekoratiivseteks eesmärkideks. Kalabasseini valik peab vastama süsteemi konkreetsetele vajadustele. Nende hulka kuuluvad kasvatatavate kalade liik, süsteemi suurus, paindlikkus süsteemi laiendamisel ja süsteemi rajamiseks planeeritud eelarve.

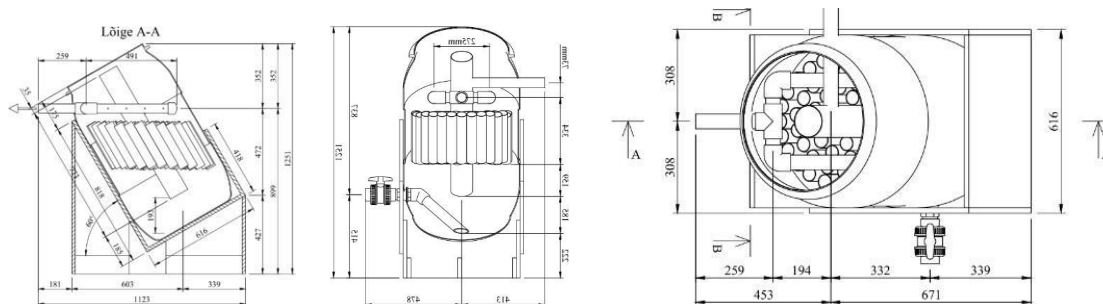
3.2. Setete eemaldamine, mehaanilised filtrid

Orgaanilise jäägi, nagu söödejäägid, surnud kalad ja kalade väljaheited, haldamine on akvapoonikasüsteemi toimimise ja veekvaliteedi tagamiseks hädavajalik. Üheks peamiseks vahendiks kalabasseinides jäätmete haldamisel on väljavoolukast (joonis 12), mida nimetatakse mõnikord ka basseinipuhastiks. See seade kogub ja eemaldab tahked jäätmed, vähendades riski orgaanilise aine ladestumisest, mis võiks halvendada veekvaliteeti, ning aitab hoida vett puhtamana. Kuigi mõned süsteemid on algselt projekteeritud väljavoolukastidega, võib vajadus nende järele tekkida ka hilisemate muudatuste käigus, näiteks kalaliikide vahetamisel, kuna mõned liigid toodavad rohkem jääke või vajavad teistsuguseid kasvutingimusi. Väljavoolukastid toimivad ühtlasi ka söötmise tõhususe ja kalade heaolu indikaatoritena. Kui väljavoolukasti hakkab kogunema liigne sööt või surnud kalad, võib see viidata ülesöötmisele, liiga suurele asustustihedusele, keskkonnastressile või kujunevatele terviseprobleemidele kalapopulatsioonis.



Joonis 12. Mehaaniline filter sette eemaldamiseks akvapoonikasüsteemis.

Sette eemaldamine on järgmine prioriteet pärast seda, kui suuremad jäägid on kalabasseinist eemaldatud, ning seda tehakse sageli trummelfiltrite või laminaarsetititega (joonis 13). Laminaarsetitid on eriti kasulikud süsteemides, kus veevahetuse määr on madal ja veevoolu kiirus väike, kuna need on konstrueeritud vee liikumist aeglustama, mis aitab kaasa tahkete osakeste kiirele settimisele. Laminaarsetitid võimaldavad setet tõhusamalt eemaldada, mis tagab puhtama keskkonna ja vähendab allavoolu paikne biofiltri koormust. Laminaarsetiti kaldus plaadid soodustavad peenheljumi eraldumist veest ja aitavad eemaldada tahket orgaanilist jääki, säilitades samal ajal süsteemi vee selguse ja toitainete tasakaalu.



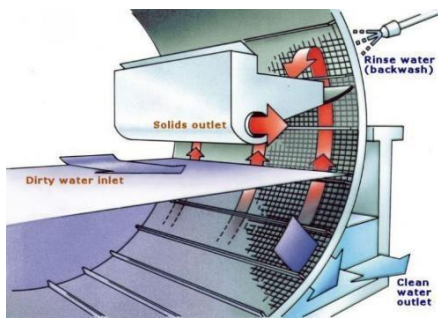
Joonis 13 Laminaarsetiti, mida kasutatakse EMÜ (Eesti Maaülikooli) katseakvapoonikaüksuses.

Teine tõhus lahendus kompaksemaks ja autonoomsemaks filtreerimiseks on kombifiltrid (joonis 14), mis mahuvad väiksematesse ruumidesse ning aitavad veest orgaanilisi osakesi eemaldada ja nii vett puhtana hoida. Kombifiltri maht ja suurus sõltuvad kalade biomassist süsteemis ja veekogusest. Filtri sees olev biokilet kandev materjal peab suutma vastu võtta maksimaalse päevase söödakoormuse. Seetõttu on kombifiltrid optimaalne valik keskmise suurusega süsteemidele, kus on vaja tõhusat filtreerimist hea veekvaliteedi säilitamiseks piiratud ruumi tingimustes.



Joonis 14. Mehaanilised filtrid ja biofiltrid sette mehaaniliseks eemaldamiseks kalabasseinist.

Trummelfiltrid (joonis 15) on ühed kõige moodsamad ja tõhusamad filtreerimissüsteemid, mida kasutatakse suuremahulistes kaubanduslikes akvapoonikasüsteemides. Trummelfiltrid on akvakultuurisüsteemis hädavajalikud orgaanilise jäätme koormuse vähendamiseks, kuna need filtreerivad mehaaniliselt kalabasseinidest väljuvat vett. Pääaeu kõik tänapäevased ringluspõhised kalakasvandused kasutavad mikrofiltrid, mille võrgusilma suurus jääb tavaliselt vahemikku 20–100 mikronit, et eemaldada ka kõige väiksemad orgaanilised osakesed. Pidevalt pöörleva töörežiimiga trummelfilter on kõige levinum lihtne ja tõhus mikrofiltri tüüp peenheljumi eemaldamiseks. Vesi liigub läbi mikrofiltri trumli, mida käivitab veetasemete erinevus trumli sees ja väljaspool. Orgaanilised osakesed jäävad filtri pinnale, kust trumli pöörlemisest tekkinud tagasivool need eemale suunab. Väljastpoolt pihustatavad kõrgsurvega veejoad eemaldavad heljumi kangalt, uhtudes need sette kogumisalusesse. Seda kontsentreeritud orgaanilist materjali sisaldavat setet võib akvapoonikasüsteemis toitainerikka lisandina taaskasutada või viia ringlussüsteemist välja edasiseks töötlemiseks.



Joonis 15. Trummelfilter sette eemaldamiseks.

Mikrofiltritel on mitmeid eeliseid, mis aitavad kaasa akvapoonikasüsteemide stabiilsusele ja tõhususele. Need filtrid vähendavad orgaanilist koormust biofiltritele, hoides ära ummistumise ning suurendades biofiltratsiooni tõhusust ja eluiga. Lisaks parandab orgaaniliste osakeste eemaldamine vee selgust, mis omakorda loob paremad tingimused nitrifikatsiooniks – kriitiliseks protsessiks, mille käigus ammoniaak muundatakse nitraatideks, mida taimed kasutavad toitaineena. Taimede kasv ja kalade tervis sõltuvad otseselt stabiilsusest, mida tõhus mikrofiltratsioon tagab,

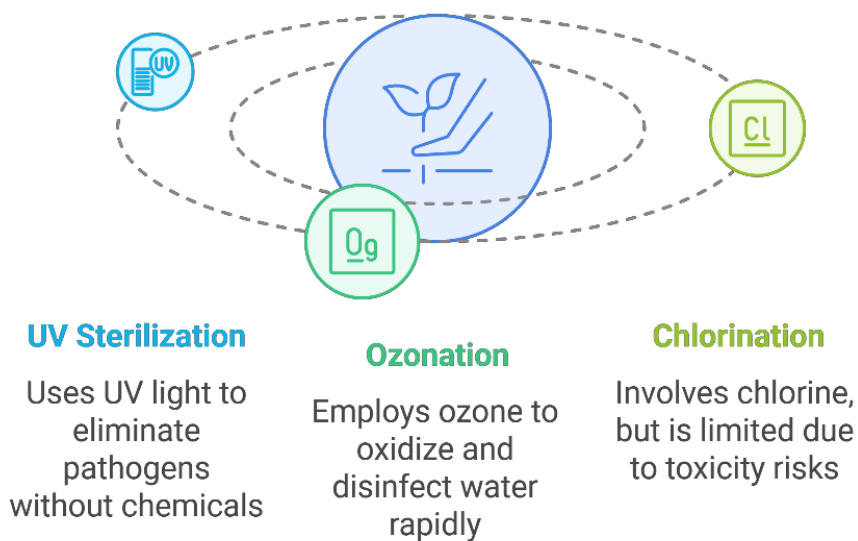
kuna tasakaalustatud veekvaliteet toetab kogu akvapoonikasüsteemi ökosüsteemi ning suurendab tootlikkust ja jätkusuutlikkust.

3.3. Vee desinfitseerimine ja aeratsioon

Akvapoonikasüsteemides on veekvaliteedi heas seisukorras hoidmine äärmiselt oluline, kuna nii kalade kui ka taimede elu sõltub suuresti puhtast ja hapnikurikkast veest. Aeratsioon ja desinfitseerimine on kaks veemajanduse võtmepraktikat, millel on keskne roll süsteemi toimimises. Desinfitseerimine aitab vältida kahjulike nakkuste ja toksiinide süsteemis levimist, samas kui aeratsioon tagab kaladele piisava hapniku kasvu ja elutegevuse jaoks. Mõlemad on tasakaalustatud ja tervisliku keskkonna säilitamiseks hädavajalikud. Sõltuvalt akvapoonikasüsteemi suuruselt, keerukusest ja eesmärkidest saab kasutada erinevaid lahendusi.

Vee desinfitseerimise meetodid akvapoonikas

Akvapoonikas on vee desinfitseerimise eesmärk vältida ohtlike patogeenide, bakterite ja muude saasteainete süsteemis vohamist, mis võib kahjustada nii kalu kui ka taimi. Kuigi akvapoonika on suures osas isereguleeruv süsteem, kus kasulikud bakterid lagundavad kalade ainevahetuse jääke taimedele sobivateks toitaineteks, on siiski vajalik rakendada ettevaatusabinõusid taimedele kahjulike mikroorganismide tõrjeks. Tavapäraselt kasutatakse mitmeid vee desinfitseerimise meetodeid, millest igal on oma eelised ja puudused (joonis 16).



Joonis 16. Ülevaade vee töötlemise meetoditest.

Desinfitseerimine ultraviolettkiirguse (UV) abil

Ultraviolettkiirgust (UV) peetakse akvapoonikas üheks kõige tõhusamaks vee desinfitseerimise meetodiks ning see on laialdaselt kasutusel. UV-desinfitseerimiseseadmete tööpõhimõte on kiiritada baktereid, viirusi ja parasiite ultravioletvalgusega, mis kahjustab nende DNA-d ja takistab paljunemist. See meetod ei kasuta kemikaale, mistõttu on see akvapoonikasüsteemide jaoks väga sobiv. UV-desinfitseerimisel ei lisa vette ohtlikke aineid, mis võiksid kahjustada kalu või taimi. Kuna see ei muuda vee pH-d, hapnikutaset ega muid keemilisi omadusi, loetakse seda mitteinvasiivseks meetodiks.

UV-desinfitseerimise üks peamisi eeliseid on selle tõhusus laia spektri patogeenide eemaldamisel. Eriti hästi toimib see ringlussüsteemides, kus vesi liigub pidevalt läbi desinfitseerimiseseadme. See aitab ennetada haiguspuhanguid, nagu kolumnarioos ja uimemädanik, mis võivad kalade seas kiiresti levida. UV-seadmete efektiivsus sõltub oluliselt vee kvaliteedist. Hägune vesi takistab ultraviolettkiirguse levikut vees ning vähendab desinfitseerimise tõhusust. Lisaks vajavad UV-seadmed regulaarset hooldust, sealhulgas lampide vahetamist, et tagada stabiilne töö. Hooldusvajadusest hoolimata on UV-desinfitseerimine vajalik iga suurusega süsteemides, kuid eriti kasulik suuremates süsteemides, kus haiguste levikul võivad olla katastroofilised tagajärjed.

Osoonimine

Osoonimine on vee desinfitseerimise meetod, mis sobib eriti hästi kaubanduslikele või suuremahulistele akvapoonikasüsteemidele. See meetod seisneb väga reaktiivse hapniku vormi, osooni (O_3), pihustamist vette bakterite, viiruste ja seente hävitamiseks. Osoonimine toimib kiiresti ja väga tõhusalt, mistõttu on see sobiv lahendus süsteemidele, kus kalade asustustihedus on suur või veekvaliteedi hoidmine on keeruline. Osoon oksüdeerib vees lisaks ka orgaanikat, aidates vett puhtamaks teha.

Osooneerimise eeliseks on võime puhastada vett põhjalikult ilma, et vette tekiks ohtlikke jääkaineid. Pärast reaktsiooni laguneb osoon tavaliseks hapnikuks, mis võib isegi veidi suurendada vee hapnikusisaldust. Samas on osoonisüsteemide paigaldus- ja hoolduskulud suhteliselt kõrged. Osooni tootmine nõuab spetsiaalset seadmestikku ning osoonigaasi väärkasutamine võib olla ohtlik. Liigne osoonikontsentratsioon on toksiline nii kaladele, taimedele kui ka inimestele. Seetõttu kasutatakse osoonimist enamasti kõrgetasemelistes kaubanduslikes akvapoonikasüsteemides, kus kiire ja põhjalik desinfitseerimine õigustab süsteemi keerukust ja maksumust.

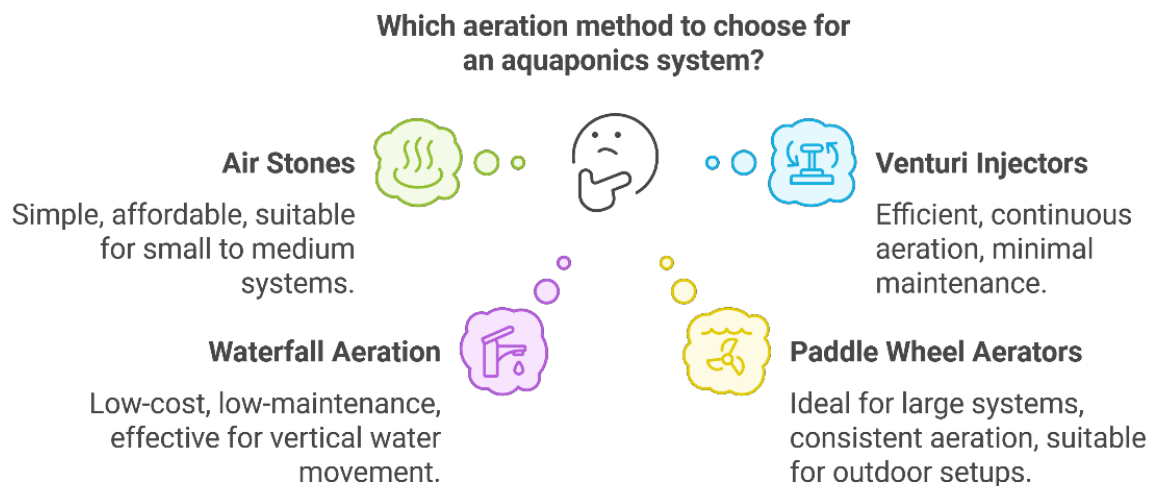
Kloorimine

Kuigi kloorimine on paljudes veetöötlusprotsessides levinud, ei kasutata seda tavaliselt akvapoonikasüsteemides, kuna kloor avaldab negatiivset mõju nii kaladele kui ka taimedele. Isegi väga väikesed kloorikogused võivad põhjustada veeorganismide (sealhulgas nii kalade kui taimede) stressi või surma. Kloor on veelustikule äärmiselt mürgine. Teatud olukordades võib klooritud vett kasutada basseinate või seadmete esmaseks puhastamiseks, kuid enne nende süsteemi liitmist tuleb need kloorist hoolikalt puhastada. Selleks võib kasutada keemilisi neutraliseerijaid, nagu naatriumtiosulfaati, või lasta veel seista, et kloor aurustuks.

Kloorimise üks suurimaid puudusi on selle oht akvapoonikasüsteemi ökoloogilisele tasakaalule. Biofiltris elutsevad bakterid, mis muudavad ammoniaagi nitrititeks ja nitraatideks, on kloori suhtes väga tundlikud ning isegi lühiajaline kokkupuude võib häirida lämmastikuringet. Seetõttu ei ole kloorimine akvapoonikas eelistatud desinfitseerimismeetod, välja arvatud väga harvadel ja rangelt kontrollitud juhtudel, kus vesi töödeldakse süsteemist eraldi ning viiakse süsteemi tagasi alles pärast täielikku kloori eemaldamist.

Aeratsioonimeetodid akvapoonikas

Vee kvaliteedi säilitamiseks akvapoonikasüsteemis tuleb tagada piisav hapnikuga varustatus, et toetada kalade tervist ja bioloogilisi protsesse, mis hoiavad süsteemi toimimas. See tuleneb asjaolust, et kalad, taimed ja mikroorganismid vajavad kõik normaalseks toimimiseks hapnikku, mistõttu on piisava hapnikusisalduse tagamine äärmiselt oluline. Hapnikupuudus võib põhjustada kalade lämbumist, taimede närbumist ja häireid lämmastikuringes, mis võib viia ammooniumisisalduse tõusuni ning olla kaladele kahjulik. Sõltuvalt süsteemi suurusest ja keerukusest kasutatakse akvapoonikas mitmeid erinevaid aeratsiooniviise. Kõik need meetodid on loodud selleks, et hoida süsteemis optimaalset hapnikutaset (joonis 17).



Joonis 17. Ülevaade vesiviljeluses kasutatavatest vee hapnikusisalduse suurendamise võimalustest

Peenmullaeraatorid

Kõige levinumad ja kulutõhusamad aeratsiooniseadmed akvapoonikas on peenmullaeraatorid, nn õhukivid (joonis 18). Õhukivid on enamasti poorsed keraamilised kivid, mida kasutatakse õhupuhuri abil vette juhitava õhujoa muutmiseks väikesteks mullideks. Peened mullid suurendavad vee ja õhu kokkupuutepinda, mis soodustab hapniku tõhusamat lahustumist vees. Õhukivid ühendatakse tavaliselt voolikute abil õhupuhuriga ning kinnitatakse kalamahutite või biofiltrite põhja, et tagada hapniku ühtlane jaotumine kogu süsteemis.

Õhukivide üks olulisemaid eeliseid on nende kasutamisihtsus ja odavus. Neid on kerge paigaldada, hooldada ja vajaduse korral välja vahetada, mistõttu sobivad need hästi väikese ja keskmise mahuga süsteemidele. Õhukivid on eriti kasulikud madalates basseinides või süsteemides, kus veevahetus on aeglane ja hapnikutase võib kergesti langeda. Samas võib nende tõhusus varieeruda sõltuvalt õhukivi suuruselt ja materjali kvaliteedist. Suuremates süsteemides võib piisava õhustuse tagamiseks olla vaja korraga kasutada mitut õhukivi või muud sorti aeraatoreid. Aja jooksul võivad õhukivid ummistuda vetikate või setetega, mistõttu neid tuleb aeg-ajalt puhastada või uue vastu välja vahetada.³



Joonis 18. Õhukivid hapniku hajutamiseks vees.

Venturi torud

Teine levinud aeratsioonimeetod on venturi torude kasutamine, mis on eriti kasulikud suuremates või keerukamates akvapoonikasüsteemides. Venturi-efekt põhineb põhimõttel, kus vesi suunatakse läbima kitsamat toruosa, mille tulemusel tekib selles alarõhk. Kui sellesse punkti panna õhutoru, siis hakkab alarõhk veepinnalt imema õhku. Nii tekib veejooksu peen õhumullide udu, mis on tõhus viis vee hapnikusisalduse suurendamiseks. Venturi torusid saab süsteemi veevoolu paigaldada kohtadesse, kus vett pumbatakse.

Venturi torude üks peamisi eeliseid on nende võime aereerida vett ilma täiendavate pumpade või seadmeteta. Kuna need kasutavad ära süsteemis juba aset leidvat vee voolamist, pakuvad need pidevat aereerimist minimaalse hooldusvajadusega. Lisaks tekitavad need väga väikeseid mullikesi, mis tagavad suure hapnikuvahetuspinna, mistõttu on need enamasti tõhusamad kui tavalised õhukivid. Kuid nende tõhusaks toimimiseks võib olla vajalik nende täpne seadistamine ja regulaarne hooldus. Need sobivad eelkõige süsteemidesse, kus kasutatakse võimsaid veepumpasid, ning võivad olla vähem efektiivsed väikese vooluhulga või rõhuga süsteemides. Venturi torude valmistamise juhised leidub veebis ja neid saab soetada ka valmislahendustena.⁴

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

⁴ <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=0ZMjDgM3LaU>

Hapnikusisalduse suurendamine langeva veejoo või vee pritsimise abil

Langeva veejoo või vee pritsimise käigus pannakse vesi kõrgemalt kukkuma või üle pinna pritsima, mis tekitab turbulentsi ja suurendab vee kokkupuudet õhuga (joonis 19). Akvapoonikasüsteemides on see tehnoloogia sageli integreeritud süsteemidesse, kus esineb astmelist veeliikumist või kus vett pumbatakse erinevate tasandite vahel. Heaks näiteks on vee pritsimine kalabasseinist kogumisbasseini või kasvualustele, mille käigus vesi õhustub ja rikastub hapnikuga.

Langeva veega aeratsioon on odav ja vähese hooldusvajadusega lahendus ning sobib hästi süsteemidele, kus vertikaalne veeliikumine on juba olemas. See toimib kõige paremini süsteemides, kus veevooluhulk on suur ja aereeritava vee kogus katab kalade ja taimede hapnikuvajaduse. Samas ei pruugi see meetod olla piisav suure asustustihedusega süsteemides, kus võib osutuda vajalikuks täiendav aereerimine muul moel. Lisaks võib suurelt kõrguselt langev vesi põhjustada liigset pritsimist ja veekadu, mistõttu tuleb vee raiskamise vältimiseks süsteem hoolikalt läbi mõelda.⁵



Joonis 19. Pritsme- või langeva veega ujuv aeratsiooniseade

Labaaeratsioon

Labaaeraatoritega õhustatakse vett enamasti suuremahulistes akvapoonikasüsteemides, eriti välitingimustes või tiigipõhistes lahendustes (joonis 20). Need aeraatorid kasutavad vee pinna segamiseks mehaanilisi labasid, suurendades vee ja õhu vahelist kontakti ning seeläbi hapniku lahustumist. Labaaeraatorid töötavad tavaliselt elektrienergia abil ja suudavad aereerida suuri veekoguseid.

Üks nende suurimaid eeliseid on võime hapnikuga rikastada väga suuri veepindu, mistõttu sobivad need hästi suuretesse kalatiikidesse või basseinidesse. Need pakuvad ühtlast ja usaldusväärset aereerimist, mis on eriti oluline kõrge kalade asustustihedusega süsteemides. Samas on labaaeraatorid suhteliselt kallid nii soetamise kui ka hoolduse poolest ning nende mehaanilised osad vajavad regulaarset hooldust, et tagada seadmete pikk eluiga. Need süsteemid sobivad paremini välitingimustesse, kus ruumi ja veemahtu on piisavalt, et nende kasutamine oleks põhjendatud.

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



Joonis 20. Labaeraatorid suuremahulistes vesiviljelussüsteemides

Akvapoonikasüsteemi tõhususe seisukohalt on vee desinfitseerimine ja vee hapnikuga rikastamine mõlemad absoluutselt vajalikud osad, mis aitavad kaasa süsteemi üldisele edule. Desinfitseerimisprotsessid, nagu osoneerimine ja ultraviolettkiirgusega (UV) steriliseerimine, hoiavad mikroorganismid kontrolli all ilma süsteemi õrna tasakaalu rikkumata. Õhustamine tagab piisava hapnikutaseme kalade, taimede ja kasulike mikroobide kasvuks. Sõltumata sellest, kas kasutatakse õhukive, Venturi torusid või keerukamaid lahendusi, näiteks labaaeraatorid, peab süsteemis alati olema tagatud piisav hapnik.

4. Kalaliikide valik

Allpool on välja toodud teatud kalaliikide peamised omadused, et aidata liigivalikut teha. Valik on seotud keskkonnatingimustega ning sõltub majanduslikest kaalutlustest ja turu-uuringust.

Kasutatavad mõisted ja parameetrid on järgmised:

→ SGR, spetsiifiline kasvukiirus (Specific Growth Rate)

See on parameeter, mis väljendab kalade kehakaalu päevast suurenemist protsentides.

Arvutatakse järgmiselt:

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

kus:

- $W_0[g]$ = kaal grammides perioodi alguses;
- $W_t[g]$ = kaal grammides perioodi lõpus;
- $t[d]$ = periood, väljendatud päevade arvuna;
- $\ln$ = naturaallõgaritm

→ TGC, soojusühiku kasvutegur (Thermal unit Growth Coefficient)

Perioodi jooksul päevase kasvu mõõdik, mis arvestab temperatuuri mõju. Arvutatakse järgmiselt:

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

kus:

- W_2 = kaal (g) ajahetkel 2 (perioodi lõpus);
- W_1 = kaal (g) ajahetkel 1 (perioodi alguses);
- $\sum D$ = kraadpäevad, s.o päevade temperatuuride summa °C-des ajavahemikus t_1-t_2 (või kestus päevades $\times$ perioodi keskmine temperatuur).

→ **FCR, söödaväärinduse koefitsient (Feed Conversion Rate)**

See näitab sööda kogust, mis on vajalik ühe kaaluühiku kala tootmiseks. Arvutatakse järgmiselt:

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

kus:

W_t = kaal teatud perioodil.

4.1. Lõhelased

Vikerforell (*Oncorhynchus mykiss*)

Vikerforell (joonis 21) on lõhelane, kes on pärit Põhja-Ameerika läänerrannikult. Teda on lihtne kasvatada ning ta on väga maitsev. Nagu kõik lõhelased, on ka vikerforell tundlik madala hapnikutaseme ja kõrgete temperatuuride suhtes. Stabiilne pH-väärtus, kõrge hapnikusisaldus ja pidev veeringlus tagavad talle sobivad kasvutingimused. Vikerforell tarbitakse optimaalsete kasvutingimuste korral tavaliselt 10–12 kuu möödudes. See kala kasutab sööta efektiivselt lihamassi tootmiseks (hea söödaväärinduse koefitsient) ning teda on lihtne hankida maimude või smoltidena. Üsna levinud on vikerforelli realiseerimine kui ta kaal on jõudnud napilt üle 2 kg, kuid tänapäeval kasvatatakse teda sageli ka 800–1500 g-ni. See võimaldab lühendada tootmistsüklit enne tarbimist ja vähendab konkurentsi suure lõhega. Akvapoonikas kasvatatud kalad konkureerivad turul meresumpades kasvatatud lõhedega. Seetõttu on oluline teha täpsed ja realistlikud finantsarvutused, et veenduda, kas müügitulu suudab katta vee korduvkasutusega süsteemi ja akvapoonikaga seotud kõrgemad kulud. Vikerforelli akvapoonikasüsteemis kasvatamise optimaalsed kasvutingimused on tabelis 1.



Joonis 21. Vikerforell (*Oncorhynchus mykiss*).

Tabel 1. Vikerforelli akvapoonikasüsteemis kasvatamise optimaalsed kasvutingimused ja muud parameetrid.

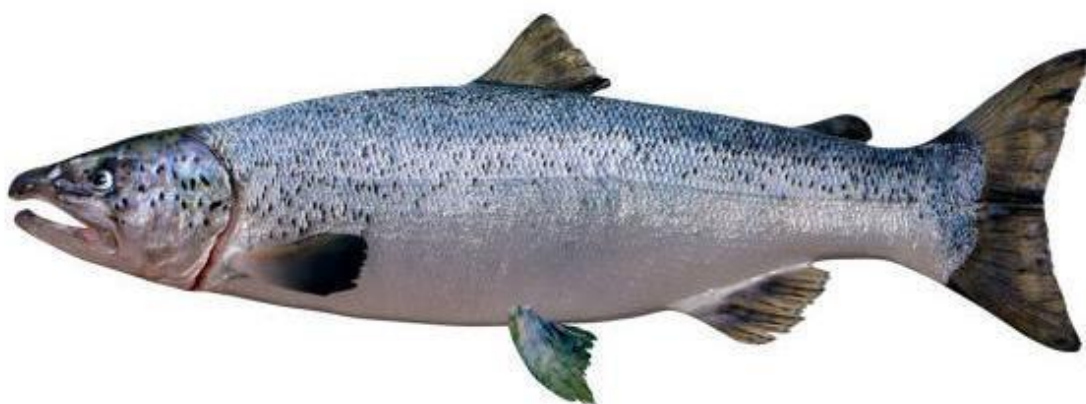
Kasvatamistemperatuurid	10–20 °C
Optimaalne temperatuur	16 °C
pH	6,5–8,5
Hapniku kontsentratsioon	DO > 6,5 mg/L; 100% küllastus
Ringluse määra	2–3 korda/h
Marja/maimude kättesaadavus	Jah
Toitumine ja sööt	Kiskjaline liik. Forelli jaoks on spetsiaalne sööt, selle kohta on lihtne infot leida.
SGR (spetsiifiline kasvukiirus)	1,2–3,0
TGC (soojusühiku kasvutegur)	2,5–3,0
FCR (söödaväärinduse koefitsient)	0,9–1,1
Asustustihedus	30–60 kg/m ³

Aeg tapakaalu saavutamiseni	10–12 kuud sõltuvalt temperatuurist, algkaalust ja soovitud tapakaalust
Tapakaal	800 – 1500 g
Veekasutus päevas 1 kg kala kohta 2-protsendilise täitumise ja 50 kg/m³ asustustiheduse korral	0,4 l

Lõhe (*Salmo salar*)

Lõhe (joonis 22) on samuti väga maitsev ning hea kasvukiirusega kala. Siiski, kui soovite seda kala kasvatada täismõõtu on selleks vaja suurt kalabasseini.

Lõhel kulub tapaküpsuse saavutamiseks ligikaudu kaks aastat. Vee temperatuuri tuleb hoida vahemikus 12 °C kuni 16 °C ning vesi peab olema ringluses. Lõhe akvapoonikasüsteemis kasvatamise optimaalsed kasvutingimused on tabelis 2.



Joonis 22. Lõhe (*Salmo salar*).

Tabel 2. Lõhe akvapoonikasüsteemis kasvatamise optimaalsed kasvutingimused ja muud parameetrid.

Kasvatamistemperatuurid	7–20 °C
Optimaalne temperatuur	12–16 °C
Marja/maimude kättesaadavus	Jah
Toitumine ja sööt	Jah
SGR (spetsiifiline kasvukiirus)	1,25–1,35
TGC (soojusühiku kasvutegur)	2,0–3,0
FCR (söödaväärinduse koefitsient)	1,0–1,3
Asustustihedus	30–60 kg/m ³
Tapakaal	4000–5000 g

Mägihõrnas (*Salvelinus alpinus*)

Mägihõrnase (joonis 23) akvapoonikasüsteemis kasvatamise optimaalsed kasvutingimused on tabelis 3.



Joonis 23. Mägihõrnas (*Salvelinus alpinus*)

Tabel 3. Mägihõrnase optimaalsed kasvutingimused ja muud parameetrid akvapoonikasüsteemis kasvatamisel.

Kasvatamistemperatuurid	12–14 °C
TGC (soojusühiku kasvutegur)	1,65–3,0
FCR (söödaväärinduse koefitsient)	1,0–1,4
Asustustihedus	30–80 kg/m ³
Tapakaal	1000–1500 g

4.2. Ahvenlased (ahven ja koha)

Ahven (*Perca fluviatilis*)

Ahvenat (joonis 24) peetakse soojaveeliseks liigiks, kuna tema optimaalne kasvutemperatuur on üle 20 °C, kuid liigi eripäraks on see, et ta talub ka külma vett kuni 0 kraadini või veidi üle selle. Liik on väga kohanemisvõimeline ja seetõttu on ta kasvatamiseks suure potentsiaaliga. Ahvena kasvatamine vee korduvkasutusega süsteemides toimub praegu väikeses mahus Rootsis, kuid veidi suuremas mahus toimub see kaugemal, näiteks Iirimaa, Belgias, Prantsusmaal ja Šveitsis. Kollast ahvenat toodetakse suures mahus ka Ameerika Ühendriikides. Ahven, nagu ka eespool käsitletud lõhelased, on röövkala ja vajab suure valgusisaldusega sööta. Valguvajadus väheneb kala suuruse kasvades, kuid seda tuleks siiski säästva vesiviljeluse juures silmas pidada. Samas toimub söödatööstuses üha enam teadus- ja arendustegevust ning söötades kasutatakse aina rohkem taimset valku. Kasutatakse ka teisi valguallikaid, näiteks rannakarpe, pärmi, mikroorganisme, putukaid või muid toiduainetööstuse jääkprodukte, et vähendada loodusliku kala kasutamist söödas. Ahvena ja üldiselt kõigi soojaveeliste liikide kasvatamise üheks sageli mainitud puuduseks põhjapoolsematel laiuskraadidel on vee soojendamise kulu, et saavutada kalade kasvuks optimaalne temperatuur. See kulu on seda väiksem, mida suurem on vee taaskasutuse ehk retsirkulatsiooni määr. Pumbad, masinad, sisekliima reguleerimine ja suur kogus soojendatud vett eraldavad kasvatuskeskkonda soojust ning see aitab vähendada küttekulusid. Teine võimalik lahendus on tööstuste koostöö, eelkõige võimalus kasutada teiste tööstusharude jääksoojust akvapoonikaseadme soojendamiseks.



Joonis 24. Ahven (*Perca fluviatilis*)

Mõnes tootmisüksuses võib jahutamine olla kulukam kui vee soojendamine, eriti lõhelaste puhul. Kõik need asjaolud muudavad ahvena tänu tema suurele temperatuuritaluvusele vee korduvkasutusega süsteemide jaoks huvitavaks liigiks. Rootsi turul on suur nõudlus ahvenafilee järele, mis annab tootjale suurema lisandväärtuse. Filee väljatulek on 35–40%, mis tähendab, et kaotus on kuni 60–65% toodetud massist, kuid see kaotus on hinnas arvestatud ning hea kvaliteediga ahvenafileed saab müüa kõrge hinnaga, mis katab lisakulud ja töötlemiskao. Ahvena hind võib kõikuda ka sõltuvalt looduslikult püütud kala kogusest turul. Üks vee korduvkasutusega süsteemide eelis on aga see, et tootja saab oma tootmist ja turustamist planeerida nii, et see ei langeks kokku madala turuhinnaga perioodidega. Akvapoonikas kasvatatava ahvena optimaalsed kasvutingimused on tabelis 4.

Tabel 4. Akvapoonikas kasvatatava ahvena optimaalsed kasvutingimused ja muud parameetrid.

Kasvatamistemperatuurid	16–28 °C
Optimaalne temperatuur	23–26 °C
pH	6,5–8,5
Hapniku kontsentratsioon	4,0–10,0 mg/l
Ringluse määra	1–3 korda/h
Marja/maimude kättesaadavus	Ei – kogutakse metsikust looduslikust asurkonnast
Toitumine ja sööt	Kiskjaline liik. Eritoit saadaval
TGC (soojusühiku kasvutegur)	0,6–1,6
FCR (söödaväärinduse koefitsient)	1,1–1,4
Asustustihedus	40–70 kg/m ³
Aeg tapakaalu saavutamiseni	umbes 12 kuud
Tapakaal	300–400 g
Veekasutus päevas ühe kilogrammi kala kohta 2-protsendilise täitumise ja 50 kg/m³ asustustiheduse korral	0,33 l

Koha (*Sander lucioperca*)

Looduslikke asurkondi leidub peaaegu kogu Euroopas ning Rootsis kuni Lõuna-Norrlandini. Koha (joonis 25) on mageveeline röövkala, kes hakkab üsna kiiresti pärast koorumist toituma teistest kaladest. Kasvatuse kontekstis võib seda pidada puuduseks, kuna koha on kannibalistlik liik. Maismaapõhises kasvatamises, kus kasvutingimused on kontrollitud, on siiski võimalik rakendada meetmeid kannibalismi mõju vähendamiseks. Üks võimalus on kalade sorteerimine suuruse järgi, et hoida isendite kehamõõdud võimalikult ühtlased. Ühesuurused, suure asustustihedusega kasvatatavad kohad käituvad parvena ning see, koos toidule hea ligipääsuga, vähendab kannibalismi. Koha toodab palju marja, kuid sarnaselt ahvenale kasutatakse tänapäeval kasvatamises looduslikust asurkonnast pärit marja. Samas annab see võimaluse aretustöö kaudu muuta kalade käitumist ja/või tõsta ühesuuruste isendite arvu. Euroopas on tehtud mitmeid suuri investeeringuid koha kasvatamiseks vee korduvkasutusega süsteemides (nt Taanis ja Madalmaades). Kuna huvi koha vastu näib kasvavat, käib ka töö aretatud koha suunas, kes oleks kasvatamiseks paremini kohandunud, kasvaks kiiremini ja ühtlasemalt ning kus esineks vähem kannibalismi. Koha, keda kasvatatakse sageli massini 1–1,5 kg, saab müüa puhastatud kalana ilma edasise fileerimiseta. See tähendab, et saagis võib ulatuda 85–90%-ni kala kogumassist ning koos hea jaehinnaga võib see tagada ettevõtmisele hea majandusliku tasuvuse. Koha võib realiseerida 15–18 kuu möödudes, sõltuvalt muuhulgas veetemperatuurist ja soovitud tapakaalust. Tapasuuruse saavutamine võtab veidi kauem aega kui ahvenal, kuid lõpptulemusena kasvab koha kiiremini ja saavutab suurema lõppkaalu. See teeb koha huvitavaks kalaliigiks ka vee korduvkasutusega süsteemides, kus kasvatusperioodi on tõenäoliselt võimalik lühendada, kui teadmised koha ja tema käitumise kohta kasvatustingimustes täienevad. Akvapoonikas kasvatatava koha optimaalsed kasvutingimused on tabelis 5.



Joonis 25. Koha (*Sander lucioperca*).

Tabel 5. Akvapoonikas kasvatatava koha optimaalsed kasvutingimused ja muud parameetrid.

Kasvatamistemperatuurid	16–28 °C
Optimaalne temperatuur	23–28 °C
pH	6,5–8,5
Hapniku kontsentratsioon	4–10 mg/L
Ringluse määr	1–3 korda/h
Marja/maimude kättesaadavus	Ei – kogutakse metsikust looduslikust asurkonnast
Toitumine ja sööt	Kiskjaline liik. Eritoit saadaval
TGC (soojusühiku kasvutegur)	0,8–1,7
FCR (söödakasutustegur)	1,1–1,5
Asustustihedus	40–80 kg/m ³
Aeg tapakaalu saavutamiseni	Umbes 6–12 kuud 100g juurest 600g-ni (16–22 °C)
Tapakaal	600–1500 g
Veekasutus päevas 1 kg kala kohta 2-protsendilise täitumise ja 50 kg/m ³ asustustiheduse korral	0,33 l

4.3. Siberi tuur (*Acipenser baeri*)

Siberi tuur (*Acipenser baerii*) (joonis 26) on iidne kalaliik, mis on püsinud peaaegu muutumatuna alates oma esmakordsest ilmnemisest fossiilides umbes 250 miljonit aastat tagasi. Sugukonda Acipenseridae kuulub 27 tuuraliiki, mis on levinud Põhja-Ameerika ja Euraasia subtroopilistes, parasvöötme ja subarktilistes piirkondades. Enamik tuuraliike on anadroomsed ning veedavad suure osa oma täiskasvanuelust suudmealadel, kuid ujuvad kudemiseks ülesvoolu, mis toimub ainult sobivate tingimuste korral ja mitte igal aastal pärast suguküpsuse saavutamist. Looduslikes populatsioonides võib isastel kuluda suguküpsuseni jõudmiseks 11–24 aastat ja emastel 20–28 aastat. Siberi tuur, mis on enim kasvatatav tuuraliik, hakkab kaaviari tootma varasemas eas. Optimaalsetes kasvatustingimustes saavutab Siberi tuur suguküpsuse 5–8 aasta vanuselt. Huvi tuura kasvatamise vastu vee korduvkasutusega süsteemides on viimastel aastatel kasvanud. Soomes tegutseb alates 2005. aastast tuurakasvandus, mis kasutab paberivabriku jääsoojust ja mille veeringluse määr on üle 99 protsendi. Seal toodetakse nii kaaviari kui ka liha nii Siberi tuurast kui ka beluugast. Lisaks Soomele kasvatatakse Siberi tuura ka Venemaal, Hiinas, Poolas, Hispaanias, Saksamaal, Itaalias, Ameerika Ühendriikides, Belgias ja Ungaris. Rootsis on viimastel aastatel rajatud kaks vee korduvkasutusega tuurakasvandust. Mõlemad toodavad liha ja eelkõige kõrgelt hinnatud luksustoodet – kaaviari –

müügiks Rootsis, Venemaal ja mujal maailmas. Tuura kohanemisvõime erinevate keskkondadega muudab ta vastupidavaks vee korduvkasutusega süsteemides. Tuurad vajavad selget ja hapnikurikast vett, kuid suudavad lühiajaliselt taluda ka madalamat hapnikusisaldust. Neid saab kasvatada suure asustustihedusega (kuni 80–90 kg/m²), kui veekvaliteeti suudetakse piisavalt hästi hoida, kuid parimal viisil kasvavad ja arenevad nad madalama tiheduse juures, ligikaudu 15–25 kg/m². Kuna tuura kasvatatakse nii liha kui ka kaaviari saamiseks, on oluline teada kala sugu. Välimuse põhjal on sugude eristamine keeruline ning seetõttu kasutatakse selleks ultraheli või biopsiat. Isased ja emased tavaliselt seejärel eraldatakse, kusjuures isaseid kasvatatakse liha saamiseks ja tapetakse varem, emaseid aga hoitakse pikema aja jooksul kaaviari tootmiseks. Mõnes kasvanduses kasutatakse emaseid kaaviari tootmiseks mitu korda, samas kui teistes tapetakse emased pärast ühekordset kaaviari tootmist liha saamiseks. Emased ei tooda marja igal aastal ning see protsess ei ole ka sama vanuserühma sees sünkroniseeritud. Marja tootvate emaste osakaal võib rühmas aastas varieeruda 35–63 protsendi vahel, mis põhjustab ebaühtlast toodangut ja tuleb planeerimisel arvesse võtta. Geosmiin – lõhnaaine, mis pärineb biofiltris elavatest bakteritest ja võib anda akvapoonikas kasvatatud kalale kõrvalmaitse – võib olla probleemiks ka tuuraliha ja eelkõige kaaviari puhul. Tuurad toituvad basseini põhjast ning seetõttu ei pea basseini olema sügav, 1–1,5 meetrit on piisav. Samas vajavad tuurad piisavalt põhjaruumi, et toitu leida, mistõttu arvestatakse nende puhul asustustiheduse määramisel sageli ruutmeetreid, mitte kuupmeetreid. Praktikas on 1 m sügavuste basseini puhul tihedus sama, kuid sügavamate basseini korral on kasulik arvestada põhja pindalaga ruutmeetrites, et tuurad saaksid toitu kätte ja kasvaksid normaalselt. Tuuradele on olemas spetsiaalsed graanulsöödad, mille toitekoostis sarnaneb näiteks vikerforelli söötadele. Samas peavad tuuragraanulid olema eriti stabiilsed, kiiresti vajuvad ja mitte kiiresti lahustuvad, et need hambutud kalad leiaksid ja saaksid need basseini põhjast kätte. Tuurad toodavad äärmiselt väärtuslikku toodet – kaaviari –, mis võib olla kasvatajale väga tulus. See nõuab aga pikka aega ning suuri investeeringuid nii ajas kui rahas. Mõned ettevõtted väldivad pikka algperioodi, ostes sisse juba mitmeaastaseid tuurasid. Ka see eeldab märkimisväärset investeeringut, kuna kala hind tõuseb koos suguküpsusele lähenemisega. Tuuraliha jaoks on olemas turg, eelkõige Ida-Euroopas ja Venemaal, ning seda võiks samal viisil turustada ka Rootsis. Akvapoonikas kasvatatava tuura optimaalsed kasvutingimused on tabelis 6.



Joonis 26. Siberi tuur (*Acipenser baeri*).

Tabel 6. Akvapoonikas kasvatatava tuura optimaalsed kasvutingimused ja muud parameetrid.

Kasvatamistemperatuurid	14–24 °C
Optimaalne temperatuur	17–20 °C
pH	6,5–7,5
Hapniku kontsentratsioon	4–6mg/L
Ringluse määr	1–2 korda/h
Marja/maimude kättesaadavus	Jah
Toitumine ja sööt	Tuura erisööd on saadaval
SGR (spetsiifiline kasvukiirus)	1,2–1,6

FCR (söödaväärinduse koefitsient)	1,5–1,8
Asustustihedus	15–25 kg/m ³
Aeg tapakaalu saavutamiseni	umbes 1 aasta 10 grammist
Tapakaal	1300–1500 g
Veekasutus päevas 1 kg kala kohta	1 l
2-protsendilise täitumise ja 50 kg/m³ asustustiheduse korral	

4.4. Aafrika angersäga (*Clarias gariepinus*)

Säga on kalaliik, kelle kasvatamine kasvab kiiresti, eriti Aafrika mandril. 2014. aastal kasvatati Nigeerias 237 tuhat tonni säga, kuid seda toodetakse ka Hollandis, Ungaris, Keenias, Brasiilias, Lõuna-Aafrikas ja Kamerunis (FAO, FishStat). Sägalisi (Catfish) on nii Aafrikas kui Aasias palju erinevaid liike ning mitmeid neist kasutatakse kalakasvandustes (joonis 27). Kasutusel on palju erinevaid söödatüüpe. Kui intensiivne kalakasvatus algas 1970–1980ndtel aastatel, kasvatati troopikas sageli tilaapiat ja säga samades farmides. See tähendab, et säga võib toita tilaapia rümpade või töötlemisjääkidega, kuid see võib Rootsis olla ebaseaduslik.

Praegu kasvatatakse säga Rootsis ainult vee korduvkasutusega süsteemides. See on loomulikult tingitud asjaolust, et see kala vajab sooja vett ja seetõttu tuleb teda kasvatada siseruumides. Säga on äärmiselt vastupidav kala, kes on resistentne paljudele levinud haigustele, talub madalat hapnikutaset ja suudab kasvada väga suurte asustustiheduse juures. Nagu mitmed teisedki sägalised, suudab ta püsida pikemat aega ka kuival maal ning kasutab oma suud omamoodi kopsuna õhu hingamiseks. Nimi pärineb kreekakeelsest sõnast „chlaros“, mis tähendab „elav“ või „ergas“ ning kirjeldab hästi selle kala vastupidavust. Säga on kõigesööja, mis tähendab, et ta toit võib sisaldada suurt osakaalu taimseid valke. Ta kasvab äärmiselt hästi ning võib saavutada 1,5–2 kg kaalu kuue kuuga ja kaaluda umbes 3,5 kg ühe aasta vanuselt. Söödaväärinduse koefitsient on veidi kõrgem kui näiteks lõhelastel, kuid seda saab osaliselt selgitada sellega, et märkimisväärne osa söödast on taimset päritolu. Nagu tilaapia ja teiste kõigesööjate või taimtoiduliste kalade puhul, võimaldab taimne sööt valmistada kalasööta näiteks põllumajanduse kõrvalsaadustest. Ebaühtlane kasv, eriti maimude seas, võib olla probleemiks, kui sorteerimist ei tehta piisavalt sageli, kuna *Clarias gariepinus*'e puhul on kannibalism levinud. Siiski, kui kalad on umbes 12-nädalased, muutub kasv individide vahel märksa ühtlasemaks ning regulaarne sorteerimine muutub kasvu suurenedes aina vähem vajalikuks. Suremus ja haigused ei ole selle liigi puhul üldjuhul suur probleem. Aafrika angersäga akvapoonikas kasvatamise optimaalsed kasvutingimused on tabelis 7.



Joonis 27. Aafrika angersäga (*Clarias gariepinus*).

Tabel 7. Akvapoonikas kasvatatava säga optimaalsed kasvutingimused ja muud parameetrid.

Kasvatamistemperatuurid	21–34 °C
Optimaalne temperatuur	26–30 °C
pH	6,0–8,5
Hapniku kontsentratsioon	3,5–6 mg/L
Ringluse määr	1–2 korda/h
Marja/maimude kättesaadavus	Jah
Toitumine ja sööt	Erisööt on saadaval
SGR (spetsiifiline kasvukiirus)	2,5–3,5
FCR (söödaväärinduse koefitsient)	1,2–1,6
Asustustihedus	60–200 kg/m ³
Aeg tapakaalu saavutamiseni	8–12 kuud
Tapakaal	1500–3500 g
Veekasutus päevas 1 kg kala kohta 2-protsendilise täitumise ja 50 kg/m ³ asustustiheduse korral	0,15 l

4.5. Tilaapia (*Oreochromis* sp.)

Tilaapia, Aafrika kirevlane, on maailmas kasvatatavate kalade hulgas teisel kohal, kogutoodanguga ligikaudu 3,6 miljonit tonni 2014. aastal (FAO FishStat), ning jõuab kiiresti järele esikohal olevale karpkalale. Tilaapia (joonis 28) on tegelikult koondnimetus suurele hulgale liikidele mitmest perekonnast (*Oreochromis* spp., *Tilapia* spp., *Sarotherodon* spp. ja *Alcolapia* spp.).

Tõenäoliselt muutub nende rühmade nimetamine tulevikus, sest *Tilapia* spp. on substraadil kudemisviisiga, aga *Oreochromis* spp. on suus hautaja. Erinevalt *Oreochromis* spp.-st on *Tilapia* spp. väga agressiivne ja kaitseb oma territooriumi. *Sarotherodon* spp. ja *Alcolapia* spp. viiakse tõenäoliselt samuti perekonda *Oreochromis* spp. Tilaapiat kasvatatakse paljudes maailma piirkondades (rohkem kui 100 riigis), eriti soojemates piirkondades nagu Hiina ja muu Aasia, paljud Aafrika riigid, Kesk- ja Lõuna-Ameerika ning Ameerika Ühendriigid. USA on suurim tilaapia importija (peamiselt Hiinast), kuid toodab ka ise märkimisväärses koguses.



Joonis 28. Tilaapia (*Oreochromis* sp.)

Kõige sagedamini kasvatatav tilaapia liik on Niiluse tilaapia (*Oreochromis niloticus*), kuid nagu eespool mainitud, kasvatatakse üle maailma palju erinevaid liike. Tilaapia on kasvatamiseks üks lihtsamaid kalaliike ning sobib akvapoonikasse väga hästi. Ta on vastupidav kala, kes talub suuri asustustihedusi ning kasvab väga kiiresti turustamissuuruseni, mis Rootsis jääb vahemikku 400 g–1000 g. Nagu eespool mainitud, on Niiluse tilaapia kõigesööja ning erinevalt lõhelastest suudab ta ellu jääda ja hästi kasvada ka söödal, mis koosneb 100% taimsetest komponentidest. See, et ta ei sõltu looduslikust kalapüügist pärit kalajahust, on jätkusuutliku tootmise seisukohalt selge eelis. Siiski sisaldab peaaegu kogu tilaapiasööt kalajahu ja kalaõli, et suurendada kasvukiirust ning tagada, et fileed sisaldaksid inimesele kasulikke oomega-3 rasvhappeid EPA ja DHA. Nagu varem mainitud, on söödatööstus püüdnud leida jätkusuutlikumaid lahendusi ka röövkalade jaoks ning uuringud uute valgualternatiivide leidmiseks, mis ei sõltu liigselt looduslikust kalast, on käimas. Niiluse tilaapia kasvu- ja sigimisomaduste tõttu võib tilaapia olla väga edukas invasiivne liik, kui tema levikut ei piirata. Siiski ei peeta seda probleemiks põhjapoolsetel laiuskraadidel ega eriti akvapoonikasüsteemides, kuna kalu kasvatatakse siseruumides basseinides ning isegi kui nad rajatisest pääseksid, ei suudaks nad suhteliselt külmas vees ellu jääda ega paljuneda. Tänu kiirele, 4–6-nädalasele kudemistsüklile sobib tilaapia hästi nn astmeliseks tootmiseks. See tähendab, et eri vanuses kalu hoitakse eraldi basseinides. Praktikas tähendab see, et süsteemi lisatakse sama arv maime, kui palju tapakaaluni kasvanud kalu soovitakse saada. Seejärel kasvatatakse kalu kogu nende elutsükli vältel samas basseinis. Nii välditakse kalade liigset ümberpaigutamist ning saavutatakse ühtlane ja prognoositav nii kalade kui ka roheline biomassi tootmine. Tilaapia akvapoonikas kasvatamise optimaalsed kasvutingimused on tabelis 7.

Tabel 8. Akvapoonikas kasvatatava tilaapia optimaalsed kasvutingimused ja muud parameetrid.

Kasvatamistemperatuurid	21–36 °C
Optimaalne temperatuur:	26–32 °C
pH	6.0–8.5
Hapniku kontsentratsioon	3,5–6,0 mg/l
Ringluse määr	1–2 korda/h
Marja/maimude kättesaadavus	Jah
Toitumine ja sööt	Tilaapia erisööt on saadaval
SGR (spetsiifiline kasvukiirus)	2,0–3,0
FCR (söödaväärinduse koefitsient)	1,1–1,6
Asustustihedus	60–160 kg/m ³
Aeg tapakaalu saavutamiseni	6–7 kuud
Tapakaal	400–800 g

Veekasutus päevas 1 kg kala kohta	0,2 l
2-protsendilise täitumise ja 50 kg/m³ asustustiheduse korral	

4.6. Karpkalalased (Cyprinidae spp.)

Lisaks harilikule karpkalale (*Cyprinus carpio*) (joonis 29) kasvatatakse ka teisi karpkalalasi, nagu harilik paks-laup (*Hypophthalmichthys molitrix*) ja valgeamuur (*Ctenopharyngodon idella*).

Karpkalad pärinevad Ida-Euroopast ja Aasiast ning on praegu ülemaailmselt kõige enam kasvatatav kalade rühm. Karpkalad taluvad suhteliselt madalat hapnikusisaldust ja kehvemat veekvaliteeti ning neil on väga lai taluvusvahemik vee temperatuuri suhtes. Karpkalad suudavad ellu jääda temperatuuridel alates 4 °C ja kuni 34 °C, mis teeb neist ideaalse valiku akvapoonikasse nii parasvöötmes kui ka troopilistes piirkondades. Parim kasvukiirus saavutatakse temperatuurivahemikus 25–30 °C. Nendes tingimustes võivad nad kasvada maimust tapakaaluni (500–600 g) vähem kui aastaga (umbes 10 kuud). Kasvukiirus langeb järsult temperatuuridel alla 12 °C. Isased karpkalad on emastest väiksemad, kuid looduses võivad siiski kasvada kuni 40 kiloseks ja 1–1,2 m pikkuseks. Looduses on karpkalad põhjas toituvad kõigesööjad, kes tarbivad väga mitmekesist toitu. Nad eelistavad selgrootuid, nagu veeputukad, putukate vastsed, ussid, limused ja zooplankton. Mõned taimtoidulised karpkalaliigid söövad ka vee- ja maismaataimede varsi, lehti ja seemneid ning lagunevat taimset materjali. Kasvandustes elavaid karpkalu saab hõlpsasti harjutada sööma granuleeritud sööta. Karpkalade marja on kõige parem hankida kalakasvandustest ja spetsialiseerunud aretajatelt. Noorkalade kasvatamise protsess on keerulisem kui tilaapial, kuna emaste karpkalade kudumine kutsutakse esile hormoonsüstide abil – see tehnika nõuab täiendavaid teadmisi kala füsioloogiast ja praktilist kogemust. Karpkalu on sajandeid edukalt koos teiste kalaliikidega kasvatatud. See tava põhineb peamiselt taimtoiduliste kalade (valgeamuur), planktonist toituvate kalade (harilik paks-laup) ja kõigesööjate või detriidist toituvate kalade (harilik karpkala) kooskasvatamisel, et katta kõik toitumisnišid. Akvapoonikas annaks nende kolme liigi kombinatsioon, või vähemalt valgeamuuri ja hariliku karpkala kooskasvatus, parema sööda kasutuse, kuna esimesed tarbivad nii graanulsööta kui ka taimejääke, samas kui viimased otsivad ka põhja kogunevat jääkmaterjali. Nagu mainitud, saab karpkalu kasvatada ka koos teiste kalaliikidega, et mitmekesistada tarbijale pakutavat toodangut, või kasutada neid suhteliselt kergesti kasvatatava toitainete tootjana akvapoonikasüsteemis, kus peamine toodang on sageli taimed. Juurte ja muude taimejääkide lisandumine oleks akvapoonikasüsteemi toitainete ringele äärmiselt kasulik, kuna nende seedimine kalade poolt ja sellele järgnev jäätmete mineraliseerumine tagastaks suure osa mikroelementidest taimedele. Teisi karpkalaliike, nagu kuldkala või koi-karpkala, kasvatatakse peamiselt ilukaladena, mitte toidukalana. Ka neil kaladel on suur taluvus erinevate veetingimuste suhtes ning seetõttu sobivad nad hästi akvapoonikasüsteemidesse. Ilukaladena (*Cyprinus carpio*) saab neid müüa eraisikutele ja akvaariumipoodidele märkimisväärselt kõrgema hinnaga kui toidukalana. Koi-karpkala ja teised ilukalad on populaarsed valikud ka taimetoitlastele suunatud akvaariumiharrastuses. Lisaks kliimatingimustele ja kalade majandamise aspektidele peaks akvapoonikas kasvatatava karpkalaliigi valik põhinema ka tasuvusanalüüsil, mis arvestab, et karpkala on luuderohke kala ning selle turuhind on üldjuhul madalam kui paljudel teistel kalaliikidel. Karpkala akvapoonikas kasvatamise optimaalsed kasvutingimused on tabelis 9.



Joonis 29. Karpkala (*Cyprinus carpio*).

Tabel 9. Akvapoonikas kasvatatava karpkalade optimaalsed kasvutingimused ja muud parameetrid.

Kasvatamistemperatuurid	15–32 °C
Optimaalne temperatuur	26–30 °C
pH	6,5–8,5
Hapniku kontsentratsioon	3,5–6,0 mg/l
Ringluse mää	1–2 korda/h
Marja/maimude kättesaadavus	Jah
Toitumine ja sööt	Erisööt on saadaval
SGR (spetsiifiline kasvukiirus)	1,2–1,4
FCR (söödaväärinduse koefitsient)	1,5–2,8
Asustustihedus	40–80 kg/m ³
Aeg tapakaalu saavutamiseni	12–14 kuud
Tapakaal	400–2000 g

4.7. Koorikloomad

Koorikloomad (vähilaadsed) toovad akvapoonikasüsteemile mitmekülgset kasu. Neid võib lisada akvapoonikasüsteemi koos mõningate kalaliikidega või, veelgi parem, eraldi basseini, tavaliselt kogumisbasseini (sump). Selle põhjuseks on asjaolu, et kalad kipuvad vähilaadseid ründama ja ära sööma. Loomulikult saab koorikloomi kasvatada ka kalade söödaks. Koorikloomad söövad surnud orgaanilist taimset materjali, mis koguneb kalabasseini põhja. Seeläbi aitavad nad hoida süsteemi hõljuvast ja settivast orgaanilisest materjalist puhtamana. Krevette ja vähke saab pidada ka süvaveekultuuri (DWC) süsteemides parvede all, kus nad aitavad hoida ka taimejuuri puhtana. Mageveekrevettide (*Macrobrachium rosenbergii*), vähkide (*Cherax*'i liigid) ja krevettide lisamisel akvapoonikasüsteemi on nii funktsionaalseid kui ka majanduslikke eeliseid, kuid see eeldab täpset keskkonnatingimuste jälgimist. Paljud vähilaadsed toituvad söömata jäänud kalasöödast, biokilest ja setetest, vähendades jäätmete hulka ning toimides samal ajal teisese saagina. Koorikloomade roll toitainete ringluses on vähendada biofiltri koormust, kuna nad tarbivad orgaanilisi jääkaineid, parandades seeläbi vee kvaliteeti nii taimedele kui kaladele. Koorikloomad on keskkonnamuutuste suhtes tundlikumad kui paljud akvapoonikas kasvatatavad kalaliigid, mistõttu on nende bioloogiliste vajaduste mõistmine süsteemi integreerimisel äärmiselt oluline.

Vähilaadsed on ammoniaagi suhtes väga tundlikud – see on kahjulik isegi väikestes kogustes – mistõttu on veekvaliteedi jälgimine kriitilise tähtsusega. Füsioloogilise stressi või suremuse vältimiseks peaks ammoniaagi tase olema alla 0,5 mg/l ja nitriti tase alla 1 mg/l. Lahustunud hapnik (DO) on oluline

hingamise, arengu ja kestumise jaoks, mis on vajalik koorikloomade kasvuks ja välisskeleti uuenemiseks. Ainevahetuslike vajaduste katmiseks peaks hapnikusisaldus olema üle 5 mg/l. Kestumine ja eksoskeleti moodustumine on mõjutatud vee pH muutustest, mistõttu peaks pH jääma vahemikku 7,0–8,0. Äkilised pH muutused võivad põhjustada kesta väärarenguid või surma, kuna vähilaadsete eksoskelett on stressile tundlik.

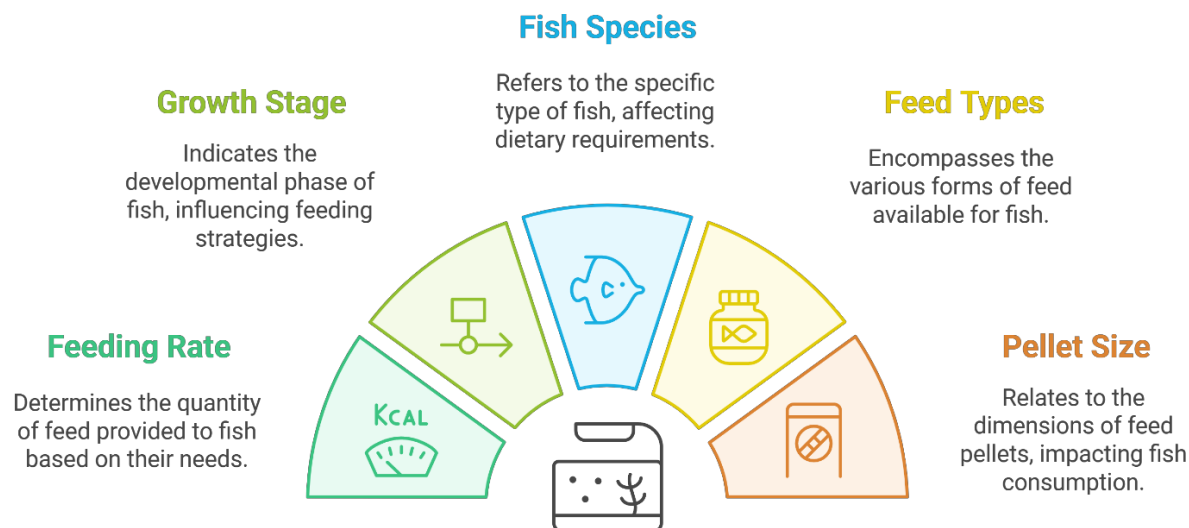
Igal liigil on oma optimaalne temperatuurivahemik, mis mõjutab kasvu, paljunemist ja immuunvastust. Mageveekrevetid arenevad kõige paremini temperatuuril 25–30 °C, samas kui *Cherax*'i vähiliigid eelistavad vahemikku umbes 20–26 °C. Nendest piiridest kõrvalekaldumine võib aeglustada kasvu, nõrgestada immuunsust ja vähendada ellujäämist. Kui vähilaadseid peetakse koos külmaveekaladega, nagu forell, võib segasüsteemides olla vajalik tsoonide eraldamine või soojusregulaatorite kasutamine, et hoida sobivat temperatuurivahemikku. Vähilaadsete arenguks vajaliku üle 20 °C temperatuuri hoidmine külmades akvapoonikasüsteemides on keeruline, kuid hädavajalik, et vältida kasvu pidurdumist ja tootlikkuse langust.

Kuna koorikloomad, eriti vähid, on öise eluviisiga või eelistavad hämarat, on valguse ja fotoperioodi haldamine väga oluline. Kõrge valgusintensiivsus võib põhjustada stressi ning pärssida söömist ja kasvu. Liiga heledad tingimused ilma varjumise võimaluseta võivad muuta vähilaadsed vähem aktiivseks ja vastuvõtlikumaks haigustele. Varjupaigad, torud ja pimendatud alad on hädavajalikud, eriti kestumise ajal, mil vähilaadsed on kõige haavatavamad. Kuna liigikaaslased võivad kestuvaid isendeid kannibaliseerida, on sellised varjupaigad populatsiooni stabiilsuse seisukohalt hädavajalikud.

Hea kasvu saavutamiseks peavad akvapoonikas kasvatatavad koorikloomad saama nii looduslikust korilusest kui ka täiendavast söötmisest tasakaalustatud toitu. Kuigi tootlikes süsteemides tarbivad nad söömata jäänud kalasööta ja biokile, ei ole need allikad tavaliselt piisavad nende toitumisvajaduste katmiseks. Mageveekrevetid vajavad kasvuks 35–40% proteiinisaldusega sööta. Vähkide puhul toetab kasvu mitmekesine taimse ja loomse päritoluga toit. Sageli on vajalik kasutada koorikloomadele mõeldud graanulsööta, mis sisaldab näiteks kalajahu või soja. Kaltsiumirikkad toidulisandid, nagu purustatud kestad või mineraalsed lisandid, on vajalikud eksoskeleti moodustumiseks ja kestumiseks. Ülesöötmise võib põhjustada kiiret ammoniaagi kogunemist, mistõttu on vajalikud täpsed söödaratsioonid, et toetada kasvu ja vältida jäätmete teket. Koorikloomade olemasolu korra tuleb biosaaste ja setete kogunemist hoolikalt jälgida ja kontrollida, et vältida hapnikupuudust ja nakkusi. Regulaarne basseini puhastamine, setete eemaldamine ja filtrite hooldus aitavad vältida liigset kogunemist. Oma toitumiskäitumise tõttu tekitavad vähilaadsed basseini põhja tahkeid jäätmeid, mida saab vähendada settekogujate ja väikeste mehaaniliste filtritega. Vähilaadsete suurem ainevahetus ja jäätmetoodang võrreldes kaladega suurendab biofiltri koormust, mistõttu peaks süsteem sisaldama regulaarseid vee vahetamise või osalise veevahetuse meetmeid, et säilitada optimaalsed veetingimused.

5. Kalasööt/söötmine

Akvapoonikas sõltub tasakaalustatud ökosüsteemi säilitamine kalasööda kvaliteedist ja toitumisest. Kalasööt toetab lisaks kalade kasvule ja tervisele kaudselt taimede kasvu, varustades süsteemi oluliste toitainetega kalade ainevahetuse jääkide kaudu. Piisav ainevahetuse jääkide tootmine, et varustada süsteemi selliste toitainetega nagu ammoniaak, mis muudetakse mikroorganismide poolt taimedele nitraatideks, sõltub sobivast toitumisest. Kalade optimaalset arengut ja immuunfunktsiooni toetab tasakaalustatud toitumine, mis on rikas valkude, lipiidide, vitamiinide ja mineraalide poolest. Oluline on reguleerida vee puhtust, kalade toitumist ja söötmissagedust, et optimeerida nii kalade kui taimede tootlikkust ning säilitada süsteemi stabiilsus (joonis 30).



Joonis 30. Kalasööda valiku kõige olulisemate kriteeriumite ülevaade

5.1. Kalasööt

Sobiva kalasööda tüübi või söodakombinatsiooni valik on tootliku akvapoonikasüsteemi säilitamiseks hädavajalik. Akvapoonika sõltub suurel määral toitainetest, mis tuuakse süsteemi sööda kaudu ja mida kalad oma ainevahetuse käigus töötlevad, seetõttu on kalade toitumise hoolikas optimeerimine väga oluline. Kalasööda valik sõltub eelkõige kasvatatavast kalaliigist, kasvufaasist (kalade suurusest) ning üldistest eesmärkidest (kas rõhk on kalade või taimede toodangul). Üldjoontes jaguneb kalasööt kolme suuremasse kategooriasse – kaubanduses müüdavad graanulsöödad/valmissöödad (mitme alamkategooriaga), looduslik ja elussööt ning isevalmistatud täiendsööt. Kõiki neid kolme kategooriat saab omavahel kombineerida, et tagada kaladele tasakaalustatud toitumine.

Valmissöödad

Valmissööt on üldiselt kohandatud konkreetsetele kalaliikidele või vastavalt kalade vajadustele sõltuvalt kasvufaasist. Optimaalsed söötmissnormid tagavad tervisliku arengu ja prognoositavad tulemused. Allpool on toodud ülevaade erinevatest kaubanduses saadaolevatest granuleeritud kalasööda tüüpidest ja nende kasutusotstarbest (joonis 31).



Joonis 31. Granuleeritud kalasööt

Veepinnal hulpivad graanulid

Veepinnal hulpivad graanulid on üks enim kasutatavaid valmissööda liike nii vesiviljeluses kui ka akvapoonikas. Nagu nimetus viitab, püsib granuleeritud sööt veepinnal, võimaldades kaladel toituda veepinna lähedal. Sellist tüüpi sööta eelistavad näiteks tilapiad ja Aafrika säga, kuna nad toituvad keskmises ja ülemises veekihis. Ujuva sööda kasutamine võimaldab operaatoril täpselt jälgida, kui palju sööta igal söötmiskorral ära süüakse, ning vastavalt sellele kohandada söötmisnorme, vältides söödaraiskamist. Ujuvad graanulid soodustavad mitmete kalaliikide loomulikku toitumiskäitumist ning sobivad kasutamiseks erinevates kasvufaasides. Mitmed liigid, keda peetakse põhjas toitujateks, näiteks tuurad, võivad piiratud ruumis kasvatamisel kiiresti õppida toituma veepinnalt, mistõttu võib seda söödatüüpi mõnel juhul pidada universaalseks.

Põhja vajuvad graanulid

Põhja vajuvad graanulid on kalasööt, mis on mõeldud vajuma kalabasseini põhja ning mida eelistavad kasvatajad, kes tegelevad põhjas toituvate liikidega, nagu säga, tuuralised või karpkalalised. Süsteemides, kus kasvatatakse mitut liiki kalu, kes kasutavad kogu veesammast elukeskkonnana, on see söödatüüp kasulik, kuna põhja vajuv sööt võimaldab põhjas toitumatel kaladel süüa ilma, et nad peaksid konkureerima veepinnal toitujatega. Nagu teisedki valmissöödad, on ka need graanulid saadaval erinevates suurustes ja koostistes, et need vastaksid kalade vajadustele eri kasvufaasides. Põhja vajuvate graanulite kasutamisel on soovitatav hoolikalt jälgida söötmisnorme, kuna ülejääv sööt ei ole silmaga nähtav ning võib kuhjuda kalabasseini põhja ja aja jooksul põhjusta probleeme veekvaliteediga.

Aeglaselt vajuvad graanulid

Aeglaselt vajuvad graanulid on hübriidlahendus, mis vajub aeglaselt kalabasseini põhja ning sobib kaladele, kes toituvad veesamba erinevates sügavustes. See söödatüüp on universaalne, kui ühes basseinis kasvatatakse erinevaid liike või liike, kes eelistavad toituda veesamba keskosas. Võrreldes kiiresti põhja vajuvate graanulitega annavad need graanulid kaladele rohkem aega toidu söömiseks ning aitavad vältida sööda kogunemist basseini põhja. Kui kalabasseinis on palju ülemise ja keskmise veekihi toitujaid ning samal ajal ka tüüpilisi põhjas toitujaid, tuleb jälgida, et põhjas toituvad kalad saaksid piisavalt toitu ning et teised kalad nende sööta ära ei sööks.

Liigipõhised söödad Mõned kalaliigid omavad spetsiifilisi toitumisvajadusi ning vajavad spetsiaalse koostisega sööta. Näiteks kiskjalised kalad nagu ahven või forell, vajavad rohkem rasvu ja valke kui taimtoidualised kalad, nagu tilapiad, kes vajavad vähem valku, kuid rohkem kiudaineid. Liigipõhised söödad on optimeeritud vastama kalade loomulikule toidulauale, pakkudes põhitoitainete optimaalset tasakaalu maksimaalse tootlikkuse saavutamiseks. Mõned söödad võivad sisaldada ka täiendavaid koostisosi, nagu probiootikumid või seedeensüümid, mis soodustavad seedimist ja toitainete omastamist. Liigipõhise sööda puhul arvestatakse ka konkreetse kalaliigi toitumisviisi, mistõttu võivad graanulid olla kas ujuvad või uppuvad.

Kasvufaasipõhised söödad

Valmissööt võib olla formuleeritud vastavalt konkreetse kalaliigi kasvufaasidele. Noorkalade (vastsete ja maimude) söödad on tavaliselt väiksema osakese suurusega ja suurema valgusisaldusega, et toetada kiiret kasvu. Kasvavate kalade (kasvatusfaas) söödad on tavaliselt koostatud nii, et valgusisaldus jääb vahemikku 30–40%. Sugukalade (aretuskalade) söödad on mõeldud paljunemises

osalevatele täiskasvanud kaladele ning neid rikastatakse sageli täiendavate vitamiinide, mineraalide või muude lisanditega, et parandada sigimisvõimet. Sõltuvalt kasvufaasist on söötade osakeste suurus erinev, et kalad saaksid toitu kergesti neelata.

Mõningaid näiteid valmissöötadest on võimalik leida kohalike kalasöödatootjate veebilehtedelt.

Aller Aqua (<https://www.aller-aqua.com/species>)

Alltech Coppens (<https://www.alltechcoppens.com/en/products>)

Biomar (<https://www.biomar.com/feed-and-services>)

Scretting (<https://www.skretting.com/en/species/>)

Purina (<https://www.purinamills.com/Education/fish-and-aquatics-feed>)

Looduslik ja elussööt

Looduslik sööt on suurepärane täiendus valmissöödale, eriti liikide puhul, kes toituvad loomupäraselt putukatest, vastsetest või muudest veeselgrootutest. Seda tüüpi sööt on toitainerikas ning sisaldab suures koguses valke, rasvu, mineraale ja vitamiine, jäljendades toitu, mida kalad tarbiksid oma looduslikes elupaikades. Elussööda pakkumine võib stimuleerida loomulikku käitumist ning pakkuda jätkusuutlikku alternatiivi söödale, mida on võimalik kasvatada suletud ringlusega akvapoonikasüsteemis.

Putukad ja vastsed

Putukad ja vastsed, näiteks *Hermetia illucensi* vastsed, jahumardika vastsed (joonis 32), kilgid ja teised, on suurepärased valkude ja rasvade allikad. *Hermetia illucensi* vastsed on valgurikkad (kuni 45%) ja sisaldavad palju rasva (kuni 35%), mistõttu on need erakordselt toitainerikas sööt kaladele nagu tilapia ja säga. *Hermetia illucensi* vastseid saab hõlpsasti kasvatada erinevat tüüpi orgaanilisel jäätmel, toidujäätidel või taimejäätidel, mis tekivad akvapoonikasüsteemi toimimise käigus. Sellisel viisil jäätmeid kasutades on akvapoonikasüsteem suletud ringlusega ja taimede kasvatamisest tekkiv jääk muudetakse kalasöödaks. Jahumardika vastsed ja kilgid on eriti rikkad asendamatute rasvhapete, vitamiinide ja valkude poolest ning on seetõttu väärtuslik täiendus kalade toidulauale. Putukate ja vastsete pakkumine soodustab kalade loomulikku toitumiskäitumist, muudab nad aktiivsemaks ning vähendab igavust, mis on eriti oluline piiratud ruumiga süsteemides.



Joonis 32. *Hermetia illucensi* vastsed (vasakul) ja jahumardika vastsed (paremal).

Veeselgrootud

Soolavähikesed (*Artemia*) (joonis 33), vesikirbulised (*Daphnia*), anneliidid (joonis 34) ja teised veeselgrootud on akvapoonikas levinud söödalisandid kaladele nagu ahven, tilapia või dekoratiivliigid (koi-karpkala, kuldkala). Soolavähikesed on valgu- ja rasvhapperikkad ning sobivad hästi noorkaladele või väiksematele kalaliikidele.



Figure 1. Soolavähikeseid *Artemia salina* nauplius (by Juan Camilo Jaramillo)

Soolavähikese ehk *Artemia salina* vähikvastused on saadaval erinevates suurustes alates 420–400 npg (vähikvastseid grammi kohta) kuni 600 npg. Neid on võimalik rikastada täiendavate toitainetega, parandades seeläbi kalamaimude kasvu ja ellujäämismäära. Erineva suurusega *Artemia* arengujärgud sobivad maimudele bioohutuks elussöödaks ja koos graanulitega kasutamisel võimaldavad sujuvat üleminekut kuivtoidule. Soolavähikeste söötmist saab elussööda sööturite abil ka automatiseerida.

Daphnia ehk vesikirbulised on väikesed veeselgrootud, kes on toitainerikkad ja kergesti kasvatatavad. Anneliidid (surusääse vastsed) on tavaliselt kiskjaliste kalade toiduks. Anneliide saab kasvatada eraldi kalabasseinides või tiikides, et tagada pidev elussööda varu ning stimuleerida kalade loomulikku toiduotsimiskäitumist.



Joonis 34. Vesikirbulised (vasakul) ja anneliidid (paremal).

Vihmaussid

Vihmaussid on valgurikkad (kuni 60%) ning sisaldavad asendamatuid aminohappeid. Vihmausse saab kasvatada suletud ringlusega akvapoonikasüsteemi eraldi osana. Vihmaussikasvatases kasutatakse taime- ja köögiviljajäätmeid, mis suunatakse vermikompostrisse. Vihmaussid tarbivad jäätmeid, paljunevad ning toodavad samal ajal komposti (toitaineterikast huumust), mida saab kasutada näiteks seemikute kasvatamiseks. Suuremad kalad, nagu säga, karpkala ja ahven, saavad vihmausse oma toidus kasutada; lisaks valgule on need rikkad ka mineraalide ja vitamiinide poolest.

Vetikad ja vesilääts

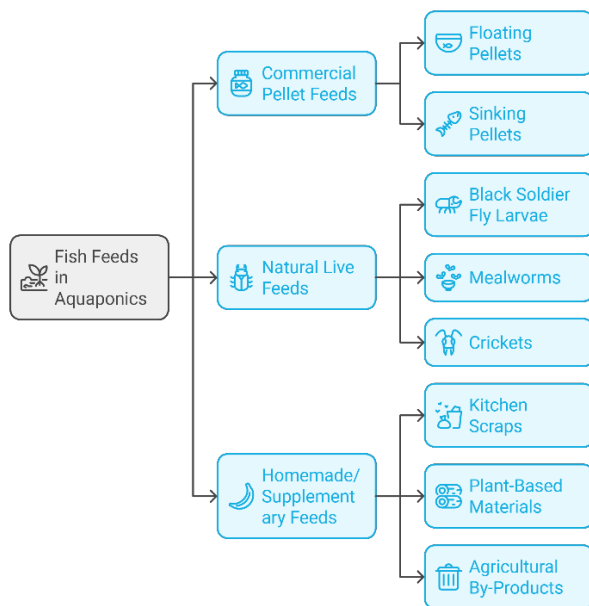
Taimtoidulised ja segatoidulised kalaliigid, näiteks tilapia, karpkala, võivad kasutada oma toidus teatud vetikaliike ja vesiläätse. Vesilääts (joonis 35) on kiiresti kasvav väike veetaim, mis võib sisaldada kuni 40% valku ning on rikas ka teiste kasulike toitainete, vitamiinide ja mineraalide poolest. Vesiläätse saab kasvatada väikestes tiikides või eraldi kasvualal, mis on integreeritud tootvasse akvapoonikasüsteemi. Suveperioodil kipuvad tiigid sageli vesiläätsest üle kasvama, kuid kalade toitmisel väljast kogutud vesiläätsega tuleb olla ettevaatlik, kuna see võib sisaldada kahjureid ja haigustekitajaid, mis mõjutavad kalade ja taimede tervist. Vetikad võivad samuti olla kalade menüü osa – need sisaldavad mikrotoitaineid ja rasvhappeid, mis on kasulikud kalade tervisele ja immuunsüsteemile. Vetikaid on võimalik osta ka kuivatatud pulbrina. Vetikaid sisaldav sööt võib

kanduda kogu süsteemi ning mõnikord võivad vetikad seetõttu vohama hakata, mis on ebasoovitav. Eriti juhul, kui süsteemi haldamisel eelistatakse steriilsemaid tingimusi.



Joonis 35. Vesiläätsega kattunud tiik.

Elussööda kohapeal kasvatamise võimekus on nende akvapoonikas kasutamise üks peamisi eeliseid. Näiteks vihmaussikasvandused saavad edukalt toimida taimejääkide ja orgaanilise komposti toel, samas kui *Hermetia illucensi* vastsete kasvandusi saab rajada toidujäätmete abil. Vesikirbulisi ja soolavähikesi saab kasvatada väikestes spetsiaalsetes anumates või tiikides, tagades järjepideva söödavaru. Lisaks sööda maksumuse vähendamisele loob elussööda kohapealne tootmine ka suletud ringlusega süsteemi, mis parandab süsteemi tõhusust ja vähendab jäätmeid. Samuti võimaldab see paremat kontrolli sööda kvaliteedi üle, tagades, et kaladele pakutakse toitainerikast, pestitsiidivaba sööta, mis on kohandatud nende konkreetsetele vajadustele (joonis 36).



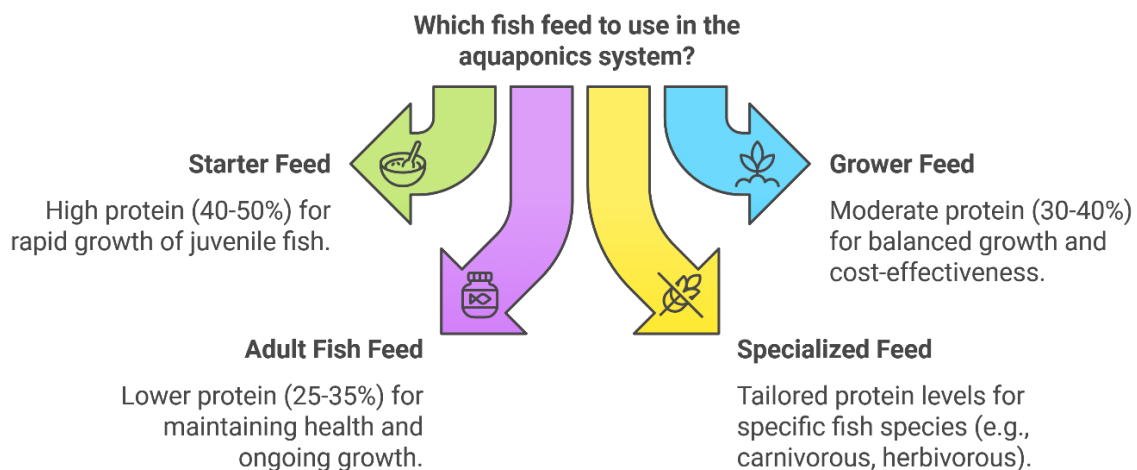
Joonis 36. Vesiviljeluses tavaliselt kasutatavad kalasööda tüübid.

5.2. Sööda koostis

Kaubanduslik kalasööt koosneb peamiste toitainete (valgud ja süsivesikud), vitamiinide ja mineraalide segust, mis tagavad kaladele jätkusuutlikuks kasvuks vajalikud komponendid. Toitumisvajaduste poolest ei erine kalad oluliselt teistest loomadest. Kalasööt koosneb peamiselt valkudest, rasvadest ja mineraalainetest, mis on saadud teraviljadest, sojaubadest, maisist, riisist, nisust jne. Iga toitainete rühma osakaal sõltub kasvatatavast kalaliigist – konkreetse liigi toit peab olema tasakaalustatud ja optimeeritud maksimaalse kasvupotentsiaali saavutamiseks, olema maitsev, vees stabiilne ning graanuli suurus peab vastama kala suurusele (joonis 37).

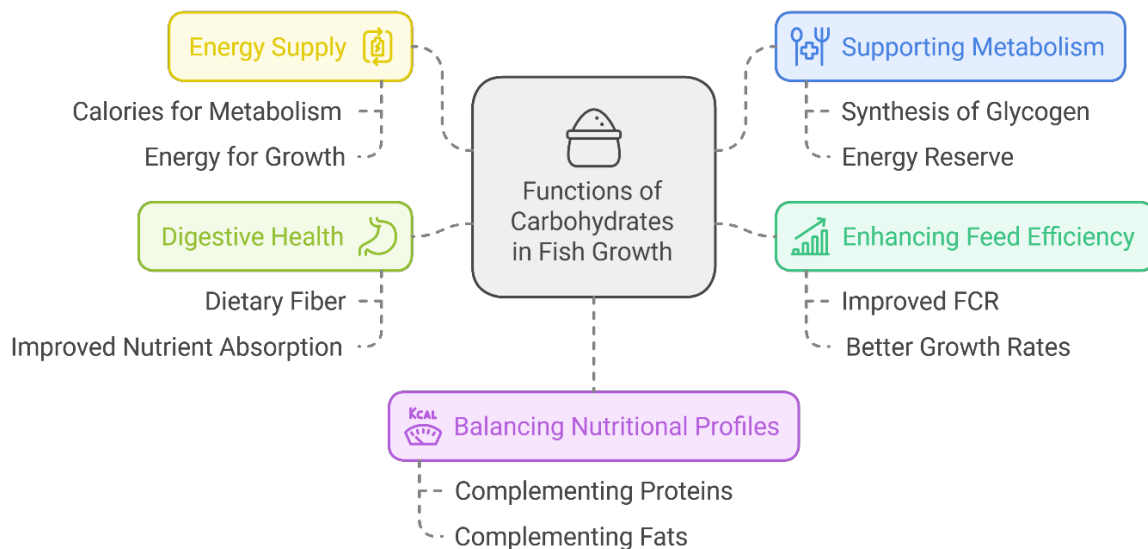
Valke peetakse vesiviljeluses ja akvapoonikas üheks olulisemaks koostisosaks. Valk on peamine makrotoitainet, mis on kalade kasvu ja arengu ehitusmaterjaliks. Valgud koosnevad aminohapetest, mida kõik elusorganismid kasutavad uue koe, ensüümide, hormoonide ja muude elutähtsate ühendite sünteesiks. Akvapoonikasüsteemis mõjutab kalasöödas sisalduv valk otseselt kalade tervist ja kasvukiirust ning samuti veekvaliteeti, mis kujuneb sööda koostise alusel. Kvaliteetsed ja kergesti seeditavad valguallikad tagavad, et kalad suudavad sööta tõhusalt oma kehamassiks muuta. Valgusisalduse tasakaalustamine toetab ka kalade tervist – sobiv valguga varustatus parandab immuunsüsteemi toimimist ning vastupanuvõimet haigustele ja keskkonnastressile. Valk on vajalik nii kalade tervise kui ka kogu akvapoonikasüsteemi tootlikkuse toetamiseks. Kuna kalad ei suuda sünteesida teatud aminohappeid, tuleb need asendamatud aminohapped lisada sööda kaudu. Kalade ainevahetuse käigus lagundatav valk tekitab jääke, mida taimed kasutavad edasi nitraatidena. Kui kalasöödas on valku liiga vähe, võib see põhjustada taimede kasvu pidurdumist ja vastuvõtlikkust haigustele. Süsteemi tasakaalustamine kalasööda valgusisalduse ja söötmisnormide kohandamise kaudu on hädavajalik, et tagada kogu süsteemi korrektne aineringe ning vältida toitainete kuhjumist, mis võib muutuda toksiliseks nii kaladele kui taimedele.

Tüüpiline valgusisaldus kalasöödas sõltub suuresti kalaliigist ja nende kasvufaasist. Noorkalade (maimude) puhul on valgusisaldus tavaliselt kõrgem, et soodustada kiiret kasvu – üldjuhul 40–50% valku. Täiskasvanud kalade sööt sisaldab tavaliselt 25–35% valku, mis võimaldab säilitada tervist ja stabiilset kasvu. Kiskjalised kalad vajavad suuremat valgusisaldust (40–45%), samas kui taimtoidulised liigid eelistavad 25–30% valgusisaldusega sööta. Sööda valikul on soovitatav hinnata ka valguallikat – kas tegemist on loomse või taimse päritoluga valguga. Valguallikas määrab, kui hästi see on konkreetsele kalaliigile seeditav ja kui suur on selle toiteväärtus



Joonis 37. Valmissöötade tüübid.

Süsivesikuid lisatakse kalasööta energiaallika, kasvu toetava ja üldist tervist soodustava koostisosana (joonis 38). Kõige sagedamini kasutatakse süsivesikute allikana erinevaid teravilju, näiteks maisi, nisu, otra ja riisi. Teraviljad on rikkad tärklise poolest, mis on peamine energiaallikas. Kaunvilju, eriti sojajahu või herneid, kasutatakse samuti sageli kalasööda koostises; need on rikkad nii valkude kui ka süsivesikute poolest ning aitavad kaasa toitainete tasakaalule. Muud süsivesikute allikad on juurviljad (kartul, bataat), adru või vetikad (sisaldavad polüsahhariide) ning erinevad kõrvalsaadused teistest tööstusharudest, nagu melass, õlle- või piiritusetootmise jäägid jne. Kunstliku kalasööda tootmisel kasutatakse tärklis ka graanulite struktuuri tugevdamiseks ja vajumiskiiruse reguleerimiseks.



Joonis 38. Süsivesikute funktsioonid kalasöödas.

Süsivesikute tasakaal kalade toidus tagab ühtlase energiavarustuse (süsivesikud on odavam energiaallikas), toetab ainevahetust, seedimist (kiudained soodustavad soolestiku tervist) ning kogu sööda koostise tasakaalu. Süsivesikute väärtus kalade toidus sõltub nende allikast ja tüübist ning töötlemisviisist. Sobivate süsivesikuallikate lisamine kalasööta on oluline energiavajaduse katmiseks, kasvu soodustamiseks ja üldise tervise tagamiseks. Kalamaimude toidud sisaldavad tavaliselt 25–30% süsivesikuid, samas kui täiskasvanud ja kasvufaasi söödad sisaldavad 30–40% süsivesikuid. Kiskjalistele liikidele mõeldud spetsiaalsed söödad sisaldavad tavaliselt vähem süsivesikuid, umbes 15–25%.

Rasvad ja õlid on kalasööda olulised komponendid, mis varustavad kalu energiaga ning toetavad üldist tervist ja kasvu. Kõige sagedamini lisatakse kalasööta rasvu, mis on saadud kalajahu töötlemisel. Kalasöödas kasutatav kalaõli (merepäritolu õlid) on rikas oomega-3 rasvhapete EPA (eikosapentaeenhape) ja DHA (dokosaheksaeenhape) poolest. Loomsed rasvad, mis pärinevad linnuliha-, veise- või sealihatööstusest, võivad samuti olla kasutusel, kuid need sisaldavad vähem asendamatuid oomega-3 rasvhappeid. Vetikaõlid seevastu on rikkad EPA ja DHA poolest ning neid peetakse kalasöödas jätkusuutlikumaks alternatiiviks kalaõlile, kuigi nende hind on kõrgem. Samuti võib kasutada taimseid õliseid, tavaliselt rapsi-, maisi-, soja- või palmiõli, mida peetakse üldiselt ka jätkusuutlikumaks ning mis sisaldavad ka teisi oomega-rasvhappeid.

Lisatud rasvu käsitletakse kontsentreeritud energiaallikana – üks ühik õli annab sama palju energiat kui üks ühik süsivesikuid või valke. Asendamatud oomega-3 ja oomega-6 rasvhapped on kalade tervisele üliolulised, tagades rakumembraanide terviklikkuse, hormoonide tootmise ja immuunfunktsioonid. Näiteks DHA soodustab aju tervislikku arengut ja talitlust ning parandab kalade südame-veresoonkonna tervist. Kvaliteetsete rasvade lisamine kalade toidulauale parandab sööda kasutegurit, soodustades tõhusat kasvu ja suuremat kaalutõusu väiksema söödakoguse juures.

Algtoidud sisaldavad tavaliselt 10–15% rasva, samas kui kasvatussöödad sisaldavad 15–25% rasva. Kiskjalised kalad vajavad suurema rasvasisaldusega sööta, kus rasvasisaldus ulatub 25–30%-ni. Liigne rasvasisaldus söödas võib põhjustada kaladele terviseprobleeme, mistõttu on oluline tasakaalustada dieet valkude, süsivesikute, mineraalide ja vitamiinidega.

Vitamiinid ja mineraalid lisatakse kalasööta kunstlikult, kuna need mängivad olulist rolli immuunreaktsioonides, kasvus ja paljunemises ning neid ei leidu teistes põhikoostisosades piisavas koguses. Kalade toidu hulka lisatakse vitamiine A, D, E, K ning B-rühma vitamiine, samuti mineraalaineid Ca, P, Mg, Na, K ja mikroelemente Fe, Zn, Cu, Mn, Se. Kalasööda valmistamisel võib vitamiine ja mineraale lisada 1–2% ulatuses lõppsegust. Selliseid valmislisandeid leiab kaubandusest. Segusse võib lisada ka muid koostisosi, näiteks aminohappeid, mis toetab kalade kasvu.

Valmissööt on kõige mugavam viis kalade toitmiseks. Kvaliteedi tagamine ja toote koostise ühtlus on tasakaalustatud akvapoonikasüsteemi säilitamisel äärmiselt olulised. Samas tuleb hinnata konkreetse sööda maksumust, et saavutada süsteemi maksimaalne majanduslik potentsiaal. Sööda maksumuse arvutamiseks võib võtta selle toiteväärtuse kilokalorites ja jagada hinna kcal-dega, et saada sööda maksumus ühe energiaühiku kohta. Kuigi olemas on odavamaid alternatiive, tuleb arvestada ka sööda kvaliteediga, kuna akvapoonikasüsteemid on välistele stressiteguritele väga tundlikud. Sööda sagedane vahetamine võib häirida toitainete pidevat voogu süsteemis ning tasakaalust välja viia osa juba väljakujunenud ökosüsteemist. Alternatiivina on võimalik valmistada ka oma kalasööta, mis eeldab koostisosade hoolikat valikut ning valgu-süsivesiku-rasva suhte optimeerimist vastavalt süsteemi vajadustele.⁶

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

Valmistatud sööt granuleeritakse ning seda kasutatakse samal viisil nagu valmissööta. Oma kalasööda valmistamine nõuab palju katsetamist ja kohandamist, et saavutada kalade maksimaalne kasvupotentsiaal ning toetada ka taimede arengut.⁷

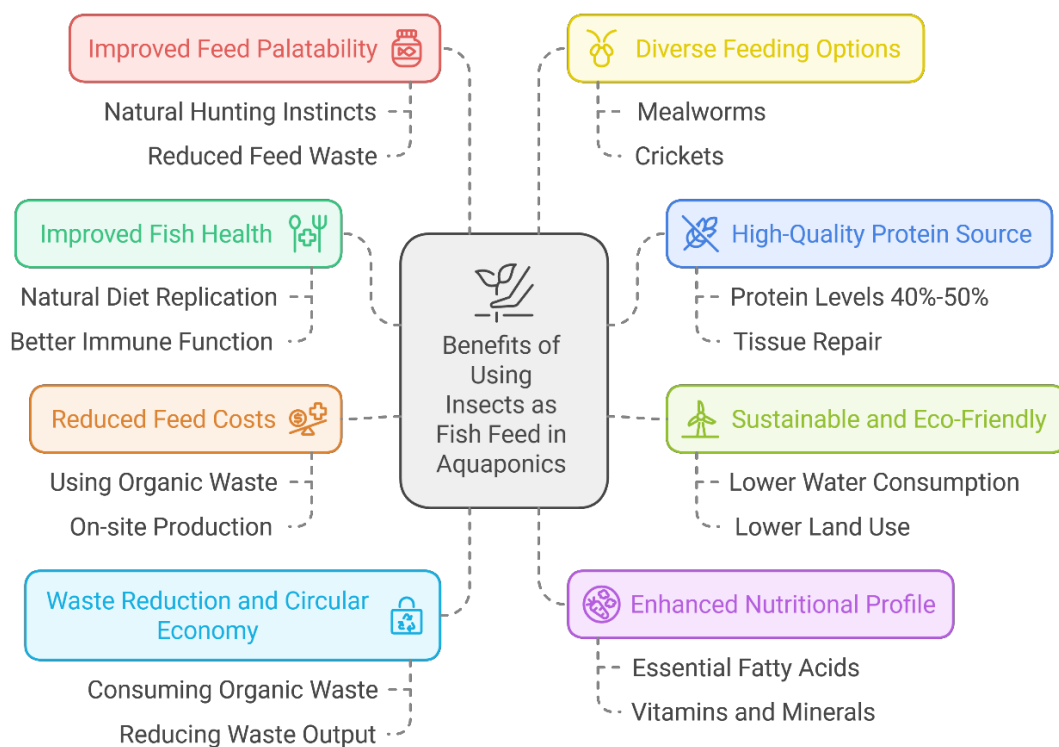
Erinevates allikates⁸ on soovitatud mitmesuguseid koostisosi kalasööda asendamiseks või täiendamiseks, näiteks seemned, puu- ja köögiviljad, teraviljad, õlikultuurid, loomse päritoluga söödaained ning muud kõrvalsaadused (vetikad, melass, teraviljatööstuse jäägid, pärm, lipiidid jne), mis pärinevad teistest tööstusharudest. Täpsemat teavet kalasööda valmistamise kohta võib leida vastavatest allikatest.⁹

Lisaks kalasöödale võib kalade toidulauda täiendada putukate, vastsete või teiste väikeste selgrootutega. See on eriti oluline kõigesööjate ja kiskjaliste liikide puhul, kes tarbivad seda tüüpi toitu ka looduses. Putukad on rikkad oluliste toitainete, nagu valgud, rasvad ja aminohapped, poolest ning võivad parandada immuunfunktsiooni ja sigimistervist. *Hermetia illucensi* vastsed on valgu- ja rasvarikkad ning sobivad hästi kuivtoidu täienduseks. Lisaks kõrgele valgusisaldusele sisaldavad putukad, näiteks kärbsed ja mardikad, rohkelt asendamatuid rasvhappeid, vitamiine (sh B-rühma vitamiine) ja mineraale (nt kaltsium, fosfor ja raud). Need toitained on kalade üldise tervise seisukohalt olulised, soodustades kasvu, haiguskindlust ja liha kvaliteedi paranemist. Teatud organismides sisalduvad oomega-3 ja oomega-6 rasvhapped on kaladele eriti kasulikud, kuna need parandavad sigimisedukust ja südame tervist. Võrreldes töödeldud graanulsöödadega on kalad sageli elus- või loodusliku sööda (näiteks putukate ja mardikate) suhtes aktiivsemad. Suurenenud isu võib parandada sööda kasutegurit ja kasvukiirust ning vähendada söödaraiskamist ja parandada sööda tarbimist. Elussööt hoiab kalad aktiivsemana ning aktiveerib nende loomulikud käitumismustrid, stimuleerides jahikäitumist.

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

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

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

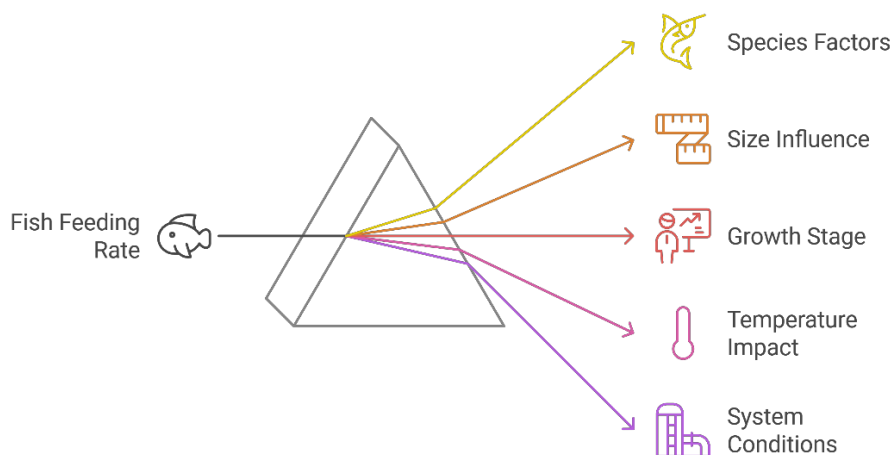


Joonis 39. Loodusliku sööda kasutamise eelised akvapoonikasüsteemides ja vesiviljeluses

Hermetia illucensi vastsed on võimelised tõhusalt tarbima orgaanilisi jäätmeid, sealhulgas toidujääke ja taimset materjali. Nende putukate lisamisega saab luua suletud ringlusega süsteemi, kus orgaanilised jäätmed muundatakse kvaliteetseks kalasöödaks. See aitab kaasa ringmajandusliku ja kestlikuma ökosüsteemi kujunemisele ning vähendab üldist jäätmeteket kooskõlas kestliku põllumajanduse ja permakultuuri põhimõtetega (joonis 39).

5.3. Söödakogus

Mitmed tegurid võivad mõjutada söödakogust ja seeläbi kogu akvapoonikasüsteemi tootlikkust. Eelkõige tuleb söötmise optimeerimisel arvesse võtta kalaliiki, kala suurust ja kasvujärku, vee temperatuuri jt süsteemi tingimusi, nt nitraadi- ja ammoniumikontsentratsiooni (joonis 40).



Joonis 40. Söödakogust mõjutavad tegurid.

Söötismäära väljendatakse üldjuhul protsendina kala kehamassist päevas. Tüüpiliselt jäävad söötismäärad vahemikku 1% kuni 5% kala kehamassist. Näiteks vajab söötismääraga 1,5% ja 1 kg kaaluv kala 15 grammi sööta (tabel 10). Kalu söödetakse tavaliselt üks kuni kolm korda päevas, sõltuvalt liigist, vee temperatuurist ja kasvujärgust. Kalade ülesöömine võib põhjustada liigset jäätmeteket ja probleeme veekvaliteediga, alatoitmine võib seevastu pidurdada kalade kasvu ja piirata taimede optimaalseks kasvuks vajalike toitainete hulka.

Tabel 10. Sõltuvalt liigist vajavad erinevad kalad erinevaid söötismäärasid.

Kalaliik	Söödakogus, %	Optimaalne temperatuurivahemik vastava söötismäära jaoks, °C
Tilaapia	1–3	26–30
Forell	1,5–2	10–18
Säga	2–4	22–28
Barramundi	2–3	26–30
Kuldkala	1–2	20–24
Koi	1–2	18–24
Ahven	2–3	22–28
Karpkala	1–2	15–25
Bass	2–4	20–28
Tursk	1–2	18–24
Pacu	2–3	24–28
Sinilõpuseline päikeseahven	2–3	20–27
Punasõrgvähk	1–2	24–28
Tuur	1–2	14–20

Söötismäära tuleks kohandada vastavalt kala suurusele, kasvufaasile ja vee temperatuurile. Üldiselt tarbivad kalad kõrgema veetemperatuuri korral rohkem sööta ning madalama temperatuuri korral kalade ainevahetus aeglustub, vähendades nende toiduvajadust. Noorkalad vajavad kasvu soodustamiseks kõrgemaid söötismäärasid (sageli kuni 5% kehamassist päevas), samas kui täiskasvanud kalad ja sugukalad vajavad vähem sööta (1–3%).

Järgmistele punktidele keskendumine võib aidata määrata õige päevase söödakoguse:

Kui suured on kalad?

Kasvataja peab hindama kalade keskmist suurust. Praktikas on vajalik regulaarne sorteerimine ja kontrollkaalumine, et hinnata kalade kasvu – kas kasv on populatsioonis ühtlane või esineb erinevusi. On tavaline, et 10–15% kaladest kasvab kiiremini ning need tuleb eraldada, samuti kalad, kes ei kasva nii kiiresti kui enamus populatsioonist. Iga 14–30 päeva järel on soovitatav määrata kasvatusbasseini kalade keskmine mass, et oleks võimalik hinnata kogu kalapopulatsiooni kogumassi.

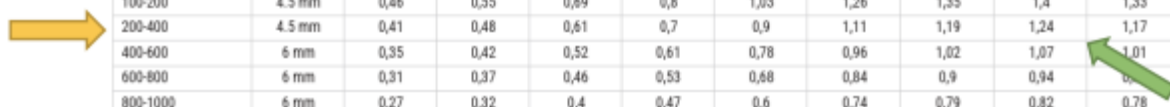
Kui palju kalu (kg) on basseinis?

Kasvatusbasseinis tuleb kalade asustustihedus hoida õige – liiga madala tiheduse korral võivad kalad kaotada söögiisu, samas kui liiga suur tihedus võib põhjustada stressi, mis pärsib kalade kasvu. Suurem tihedus võib hakata ära mõjutama vee head kvaliteeti, näiteks langetades liiga kiiresti lahustunud hapniku taset kalabasseinis. Surnud kalad tuleb üles märkida ja eemaldada, et säilitada bioohutus.

Mis on vee temperatuur?

Kui süsteemis on püsiv veetemperatuur, muudab see kalakasvataja töö lihtsamaks. Puudub vajadus söödakoguseid igapäevaselt arvutada ja toitainete pidev voog on ka süsteemile kasulik. Kalade ebaühtlane toitmine põhjustab ka vee omaduste kõikumist, mis võib muuta biofiltratsiooni ebaühtlaseks – $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ lagundavad bakterid võivad hakata konkureerima NO_2^- lagundavate bakteritega. Mikrobioomi kõikumised hakkavad mõjutama ka taimede kasvu, kuna happesuse voog, mis mõjutab pH tasakaalu, ei ole enam püsiv. Soovitavlikud söötismäärad on tabelis 11.

Tabel 11. Kalade soovituslikud söötmismäärad (kg sööta 100 g kala kohta päevas).



Fish (g)	MM	Water temperature (°C)								
		2	4	6	8	10	12	14	16	18
40-100	3 mm	0,53	0,63	0,79	0,92	1,18	1,45	1,55	1,61	1,53
100-200	4.5 mm	0,46	0,55	0,69	0,8	1,03	1,26	1,35	1,4	1,33
200-400	4.5 mm	0,41	0,48	0,61	0,7	0,9	1,11	1,19	1,24	1,17
400-600	6 mm	0,35	0,42	0,52	0,61	0,78	0,96	1,02	1,07	1,01
600-800	6 mm	0,31	0,37	0,46	0,53	0,68	0,84	0,9	0,94	0,88
800-1000	6 mm	0,27	0,32	0,4	0,47	0,6	0,74	0,79	0,82	0,78
>1000	8 mm	0,24	0,28	0,36	0,41	0,53	0,65	0,7	0,73	0,69

Näide: optimaalse päevase söödakoguse 200 vikerforellile massiga 280–350 grammi arvutame järgmiselt. Hommikuti mõõdame vee temperatuuri – vikerforelli jaoks optimaalne temperatuur on üldjuhul 16 °C, kuid parema taimekasvu nimel hoiaime temperatuuri 18,5 °C juures. Vikerforelli söötmistabelist näeme, et 200–400 g kaaluvad forellid võivad optimaalsetes tingimustes saada söödana 1,24% biomassist, kuid 18 °C juures tuleb söötmist vähendada 1,17%-ni. Erinevad kalasööda tootjad märgivad söötmismäära kas protsendina või kilogrammides sööta 100 kg kala kohta – meetod võib olla erinev, kuid sööda kogus on sisuliselt sama. Sel päeval saab 200 vikerforelli sisaldav bassein 2,34 kg kalasööta. Heaks tavaks on pidada farmipäevikut. Märkige, kui palju kalu söödeti, kui kiiresti kalad sööda ära tarbisid, kas söötmine toimus käsitsi või automaatsööturiga. Võib juhtuda, et mõned kalad hüppavad basseinist välja või vigastavad end surmavalt. Sellisel juhul on bioohutus esmatähtis ning kalad tuleb kasvatusruumidest eemaldada ja juhtum üles märkida. Põgenenud või hukkunud kalade arv mõjutab kalabassein päevast biomassi ning toitainete voogu taimekasvatussektiooni.

Söötmismäära saab kohandada ka kalasöödas sisalduva valgu nitraatideks muundumise alusel. Kuigi see on indikaativne, on arvutused siiski suures osas ebausaldusväärsed ning sõltuvad konkreetsest söödast (valgu tüüp ja kogus), kalade ainevahetusest (mida mõjutavad liik, veetemperatuur, kasvufaas jne) ja muudest teguritest. Süsteemi tasakaalustamine on vajalik, et kohandada söötmismäära ja taimi, mis suudavad tekkinud kalajäätmete nitraate omastada. Eeldatakse, et 25–30% kalasöödas sisalduvast lämmastikust (valkude kujul) seotakse kalabiomassi ning ülejäänud eritub ja nitrititseeritakse taimedele kättesaadavaks. Neid väärtusi saab kasutada taimede nitraadivajaduse ligikaudseks hindamiseks 1 m² taimebiomassi kohta ning vastavalt kohandada söötmismäära või asustustihedust.

Söötmismäära kohandamisel võivad tekkida mitmed probleemid. Ülesöötmise võib põhjustada liigse sööda lagunemist ning halvendada vee kvaliteeti, suurendades ammoniaagi, nitraatide ja nitritite taset. Liiges koguses võivad need põhjustada kalade stressi. Selle vältimiseks tuleks sööta anda väiksemate portsjonitena mitu korda päevas ja korraga ainult nii palju, kui kalad suudavad mõne minuti jooksul pärast sööda lisamist ära süüa. Ammoniaagi ja nitraatide taseme regulaarne jälgimine võimaldab hinnata, kas biofilter töötab korrektselt ega ole liigsete lämmastikuühendite tõttu üle koormatud. Teisest küljest põhjustab alatoitmine kalade kasvu pidurdumist ja väiksema koguse jäätmete teket, mis vähendab taimedele kättesaadavate toitainete hulka. Kalade kaalumise aitab arvutada täpseid söödakoguseid kalapopulatsiooni jaoks. Kalade ja nende aktiivsuse jälgimine aitab samuti nende stressitaset hinnata.

Ülesöötmise korral võib söömata toit võib aja jooksul koguneda ja hakata lagunema, põhjustades vee kvaliteedi probleeme – hapnikutaseme langust ja ammoniaagi tõusu. Üks lahendus võib olla sööda tüübi muutmine – uppuvate graanulite asemel kasutada aeglaselt vajuvat või ujuvat sööta.

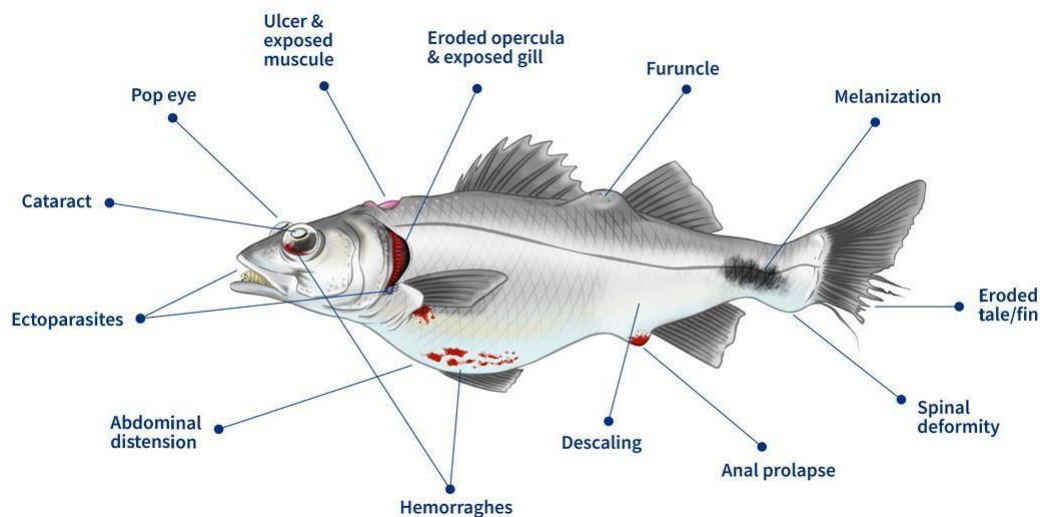
Automaatseid söötüreid saab kasutada söödakoguse täpsemaks doseerimiseks – ühe suure portsjoni asemel anda väiksemaid koguseid 2–3 korda päevas. Akvapoonikasüsteemi ei tohi kunagi jääda tarbimata sööta. Heterotroofsed mikroorganismid tarbivad ülesöötmise korral sööda jääke lagundades märkimisväärses koguses hapnikku. Lisaks võivad ammoniaagi ja nitriti tasemed toidu lagunemise tõttu suhteliselt lühikese aja jooksul tõusta toksiliste väärtusteni. Ja viimaseks võivad mehaanilised filtrid söömata graanulitest ummistuda, põhjustades veevoolu vähenemist ja

anaeroobsete tsoonide teket. Tavaliselt tarbivad kalad kogu sööda 30 minuti jooksul. Pärast seda perioodi tuleks kõik järelejäänud sööt eemaldada. Kui leitakse söömata toitu, tuleb tulevikus antavat söödakogust vähendada.

6. Kalade tervis ja heaolu

6.1. Kahjurid ja haigused

Kaladel esinevate väliste ja sisemiste parasiitide tuvastamist saab vesiviljelustingimustes tõhusalt läbi viia kohapeal, nagu on kirjeldatud Riitta Rahkoneni (2012) väljaandes *Terve Kala – Tautien ennaltaehkäisy, tunnistus ja hoito*. Bakteriaalseid infektsioone on võimalik diagnoosida kohapeal, kuid ebatüüpiliste sümptomitega kalad tuleks siiski saata laboratoorsele analüüsile, et kinnitada kahtlustatavaid haigusi (joonis 41). Parasiitide tuvastamiseks on vaja põhitarvikute komplekti, milles on väikesed käärid, terav skalpell, teravatipulised pintsetid, dissektsiooninõel, väikesed Petri tassid ning mikroskoobi alusklaasid. Tööriistad tuleb pärast igat kasutuskorda puhastada, et vältida proovidevahelist ristsaastumist.



Joonis 41. Sageli haigustest mõjutatud piirkonnad ja deformatsioonid kaladel.¹⁰

Parasiitide uurimiseks on hädavajalik mikroskoop, kas valgusmikroskoop või stereomikroskoop. Stereomikroskoop suurendusega 10–40× sobib suuremate algloomade, nagu *Ichthyophthirius* (valgetäpihaiguse tekitaja), *Trichodina* ning erinevate hulkrakuliste parasiitide vaatlemiseks. Rutiinse kontrolli käigus saab kalade naha, lõpuste, uimede või muude välispindade limaproove koguda skalpelli abil. Lima kogutakse tavaliselt sellistest piirkondadest nagu rinnauimede alt, külgedelt või sabauimedelt, kuna need alad on potentsiaalsete parasiitide poolest rikkad. Väikestelt kaladelt proovide võtmine on keeruline, sest piisava limakoguse saamiseks tuleb sageli kraapida kogu kala külgpinda. Väike kogus kogutud lima asetatakse klaasiklaasile koos tilga kalabasseini veega ning seejärel kaetakse ettevaatlikult katteklaasiga. Proov peab olema katteklaasi all ühtlaselt jaotunud, kuna paks limakiht võib takistada parasiitide selget vaatlemist. Uimeproove saab võtta eemaldades kalalt uimed pintsettide abil. Väikeste kalade puhul on võimalik eemaldada ühelt küljelt terve uim. Suuremate kalade puhul lõigatakse uim kääridega, et vältida lõigatud koe veritsusest tingitud proovi saastumist. Seejärel asetatakse uim tilga vee sisse mikroskoobi klaasiklaasile, kus see sirutatakse nõela abil ettevaatlikult ning kaetakse katteklaasiga. Kogutud lima uuritakse mikroskoobi all võimalike parasiitide tuvastamiseks. Suuremad algloomparasiidid, nagu *Ichthyophthirius* ja *Trichodina*, on

¹⁰ <https://bioterios.com/post.php?s=2024-06-03-nuevo-manual-de-necropsia-en-peces-herramienta-esencial-para-la-prevencion-de-enfermedades>

tavaliselt nähtavad stereomikroskoobiga, samas kui teised parasiidid, sealhulgas ainupõlvsed, vajavad nähtavaks muutumiseks suuremat suurendust. Suuremate kalade puhul võib uimede või naha piirkondadest lima kogumine anda suurema hulga parasiite.

Mitmed kalahaigused on üsna levinud, eriti kalabasseinides, kus asustustihedus on püsivalt kõrge.

Ich (valgetäpihaigus) on üks levinumaid algloomade põhjustatud haigusi, mida akvapoonikasüsteemides peetavad kalad põevad (joonis 42). Peamisteks tunnusteks



on väikesed valged täpid (tsüstid), mis ilmuvad Joonis 42. Ich'i ehk valgetäpihaigusega nakatunud kala haige kala nahale, uimedele ja lõpustele.

Nakatunud kalad võivad käituda ka ebatavaliselt, näiteks hõõruda end vastu basseini seinu, liigutada lõpuseid kiiresti (õhupuuduse tunnus) või püsida veepinna lähedal. Haigus võib raskendada hingamist ning ravimata jätmise korral põhjustada ulatuslikku suremust. Ich levib tavaliselt saastunud vee või kalade kaudu. Selle ennetamiseks tuleb kõik uued kalad hoida eraldi basseinis vähemalt kaks nädalat enne nende põhisüsteemi lisamist. Vee puhtuse hoidmine (temperatuuri, pH ja lahustunud hapniku jälgimine) ning stressi vältimine aitab samuti riski vähendada. Haiguspuhangu korral võib vee temperatuuri hoidmine umbes 28 °C juures mõne päeva vältel kiirendada parasiidi elutsükli, muutes kasutatavad ravimid tõhusamaks. Raskematel juhtudel võib kasutada spetsiaalselt Ichi raviks mõeldud ravimeid, kuid tuleb olla ettevaatlik, et mitte kahjustada akvapoonikasüsteemi taimi ega kalu lahustunud hapniku taseme languse tõttu.¹¹

Ainupõlvsed ehk monogeenid on parasiitsed lameussid, mis elavad kaladel ja kinnituvad nende lõpustele, nahale või uimedele. Infektsiooni tunnusteks on põletikulised lõpused, kahvatu nahk, liigne limaeritus ja hingamisraskused. Nakatunud kalad võivad olla loiud, hõõruda end esemete vastu või ujuda pinna lähedal, et saada rohkem hapnikku. Enamasti levivad ainupõlvsed juba nakatunud kalade või vee kaudu. Enne uute kalade lisamist süsteemi tuleks neid hoida karantiinis, et vältida infektsioonide levikut. Oluline on kalu regulaarselt kontrollida haavandite või ebanormaalse limaerituse suhtes. Vee puhtuse hoidmine, stressi vähendamine ja liigse asustustiheduse vältimine aitavad riski vähendada. Infektsiooni avastamisel võib kalu ravida formaliniivanni või praziquanteliga, kuid neid kemikaale tuleb kasutada ettevaatlikult, et mitte kahjustada akvapoonikasüsteemi taimi ja kasulikke mikroorganisme.

Kolumnarioos on *Flavobacterium columnare*'i põhjustatud haigus, mis avaldub kalade nahal, lõpustel või uimedel haavandite, haavade või vatitaolise kasvuna (joonis 43). Nakatunud kalad võivad kaotada söögiisu, ujuda ebakorrapäraselt ja liigutada lõpuseid kiiresti. See haigus esineb sagedamini stressis

¹¹ <https://startlife.nl/bioventure-sundew-raises-1-4m-euro-in-seed-financing/>

kaladel ning on tavaliselt seotud halva veekvaliteediga. Kolumnarioosi saab ennetada, tagades puhta vee ja tõhusa filtreerimise, kuna bakterid arenevad kõige paremini suure orgaanilise koormusega keskkondades (oluline on jäätmete setitamine ja mehaaniline filtreerimine). Vältida tuleks kalade liigsuurt asustustihedust ning hoida pH ja veetemperatuur stabiilsena. Kolumnarioosi raviks võib kasutada antibiootikume, nagu oksütetratsükliin, või vasksulfaati, kuid need võivad kahjustada akvapoonikasüsteemi taimi. Bakterite leviku tõkestamiseks tuleb nakatunud kalad viivitamatult veest eemaldada.



Joonis 43. Kolumnarioosi nakatunud kala¹²



Joonis 44. Vesitõvega nakatunud kala

Kalal, kellel on **vesitõbi (astsiiit)**, on liigsest vedelikupeetusest tingitud paisunud kõht (joonis 44). Nakatunud kalad võivad näida paksud ning nende soomused võivad hoiduda eemale, mida nimetatakse mõnikord „käbilaadseks“ välimuseks. See probleem ilmneb tavaliselt sügavama infektsiooni või elundipuudulikkuse, näiteks neeru- või maksahaiguse tunnuseks. Seda võivad põhjustada nii bakterid kui ka viirused. Halb veekvaliteet või viirusinfektsioonid on levinud põhjused, mistõttu on oluline hoida veeparameetrid stabiilsed ja konkreetsele liigile optimaalsed. Vesitõbi võib kergesti levida, seetõttu on oluline haiged kalad kohe pärast nakkuse avastamist süsteemist eemaldada.

¹² 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.

Vesitõbe ei ole võimalik otseselt ravida, kuid tervete kalade immuunsüsteemi tuleks toetada parema veekvaliteedi, väiksema stressi ja tasakaalustatud toitumisega.

Uimede mädanemine on bakteriaalne haigus, mis põhjustab kala uimede ja saba lagunemist (joonis 45). Selle haiguse tunnusteks on kuluvad või lagunevad uimed, punetavad uimede alused ning üldine lagunemise ilme. Haigestunud kalad võivad näida loiud või süüa vähem. Uimede mädanemine on tavaliselt põhjustatud halvast veekvaliteedist või kalade füüsilistest vigastustest. Seda saab ennetada vee puhtuse ja filtreerimise tagamisega ning kalade vigastuste vältimisega – kalabasseinis ei tohiks olla teravaid nurki ega takistusi. Mädanevate uimedega kalu saab ravida antibiootikumide või antibakteriaalsete vahenditega, näiteks soolavannidega.¹³



Joonis 45. Uimede mädanemise kahjustusega forell.



Joonis 46 Kalatäidega kala

Kalatäid (arguloos) on välisparasiidid, mis kinnituvad kala nahale, uimedele või lõpustele ning põhjustavad ärritust, põletikku ja nähtavaid kahjustusi (joonis 46). Nakatunud kalad võivad hõõruda end vastu basseini seinu või ujuda väga kiiresti. Samuti võivad nad kaotada soomuseid või neil võivad esineda haavandid kohtades, kuhu parasiidid on kinnitunud. Kalatäide ennetamiseks on oluline hoida uusi kalu enne süsteemi lisamist karantiinis ning kontrollida kalu regulaarselt välisparasiitide tunnuste suhtes. Kui kalatäid muutuvad probleemiks, saab neid eemaldada käsitsi või ravida teatud parasiidivastaste ravimitega. Mürgiste ainete kasutamisel tuleb olla ettevaatlik, kuna need võivad kahjustada akvapoonikasüsteemi taimi ja kala üldist kvaliteeti toiduna tarbimisel.¹⁴

¹³ Bruno, D. W., Noguera, P. A., & Poppe, T. T. (2013). A colour atlas of salmonid diseases (Vol. 91). Springer Science & Business Media.

¹⁴ <https://fishfixsrilanka.lk/2023/02/12/argulus-infection-in-fish-symptoms-treatment-and-prevention/>

Oluline on igapäevaselt jälgida ja vajadusel korrigeerida veekvaliteedi näitajaid, nagu pH, temperatuur, ammoniaak, nitritid, nitraadid ja lahustunud hapnik, et need püsiks akvapoonikasüsteemis kasvatatavate liikide jaoks optimaalsetes vahemikes. Uued kalad tuleks enne süsteemi lisamist hoida karantiinis vähemalt kaks nädalat. See aitab vältida haiguste levikut. Kalade liiga suure asustustiheduse vältimiseks, mis võib põhjustada stressi ja soodustada haiguste levikut, on samuti oluline hoolikalt reguleerida kalade arvu iga 100 liitri vee kohta. Üldine rusikareegel on 1–2 kg kala 100 liitri vee kohta. Filtreerimissüsteeme tuleb nõuetekohaselt hooldada, et eemaldada jäätmeid ja vältida ohtlike bakterite kogunemist. Kalade immuunsüsteemi tuleb hoida tugevana, vältides järske muutusi veekvaliteedis või söötmissaegades ning vähendades stressi. Tasakaalustatud ja liigile sobiva sööda andmine aitab samuti tagada hea kasvu ja haiguskindluse. Kalasööt on kaladele peamine sobivate antioksidantide ja immuunsüsteemi toetavate ainete allikas.

6.2. Asustustihedus

Kalade hulk veemahu ühiku kohta ehk asustustihedus on akvapoonikasüsteemi tervisliku tasakaalu säilitamise ja optimaalse tootlikkuse saavutamise seisukohalt kriitiline tegur (joonis 46). Asustustihedus mõjutab kalade kasvu, tervist, söödakasutuse tõhusust ja veekvaliteeti ning seeläbi kogu akvapoonikasüsteemi toimivust. Optimaalne asustustihedus sõltub liigist, veemajandustavadeist ja süsteemi ülesehitusest ning sobiva tasakaalu saavutamine võib olla keeruline. Liiga suur asustustihedus võib põhjustada stressi, konkurentsi ja jäätmete kuhjumist, samas kui liiga väike asustustihedus võib muuta toitainete kättesaadavuse liiga madalaks ja vähendada taimekasvu. Kalade asustustihedus akvapoonikasüsteemis sõltub mitmetest teguritest, nagu planeeritav taimetoodang, basseini suurus, kalaliik ja biofiltratsiooni üldine võimekus. Tavapraktika on asustada kalu sellisel tasemel, mis on kooskõlas biofiltri ja taimekasvualade võimekusega. See tähendab paljudes süsteemides asustustihedust 20–40 kg kala ühe kuupmeetri vee kohta. Siiski sõltub selle vahemiku täpne väärtus kalade arenguetapist ja liigist. Suurema asustustiheduse korral on vajalik biofiltratsioonisüsteem, mis suudab töödelda suurenenud jäätmekoguseid ja hoida veekvaliteedi näitajad, nagu ammoniaak, nitrit ja nitraat, ohututes piirides.

Sõltuvalt kalaliigist võib asustustihedus erineda; allpool on toodud akvapoonikas kõige sagedamini kasvatatavad liigid ja nende asustustiheduse eripärad.

Tilaapia (*Oreochromis niloticus*)

Tilapia vastupidavus, muutuvate veetingimuste taluvus ja kiire kasvutempo teevad temast ühe populaarseima kalaliigi akvapoonikas. Tilaapiad suudavad väikese- ja keskmise suurusega süsteemides taluda suhteliselt suuri asustustihedusi ilma oluliste terviseprobleemideta. Tilaapiaid hoitakse ringlussüsteemides (RAS) sageli tihedusega 20–30 kg kala ühe kuupmeetri vee kohta. Intensiivse biofiltratsiooni ja sagedase veekvaliteedi jälgimisega hooldatud süsteemides võib tilaapiaid asustada ka tihedusega 40–50 kg kala kuupmeetri kohta. Näiteks süsteem, mis sisaldab 1000 liitrit vett, suudab piisava filtreerimise ja aeratsiooni korral toetada ligikaudu 20–30 täiskasvanud tilaapiat keskmise kaaluga 500 g.

Vikerforell (*Oncorhynchus mykiss*)

Vikerforell on jaheda vee liik, mis vajab stabiilset veekvaliteeti ja kõrget hapnikutaset, muutes ta akvapoonikasüsteemides mõnevõrra nõudlikuks, kuid tasuvaks. Vikerforelle asustatakse tavaliselt väiksema tihedusega kui tilaapiaid, ligikaudu 10–20 kg kala kuupmeetri kohta, kuna nad on tundlikud veetingimuste suhtes. Forellid on tuntud ka kiire kasvu poolest, kuid nende hea tervise tagamiseks peab veetemperatuur püsima vahemikus 10–18 °C. 1000-liitrisel süsteemis saab saavutada

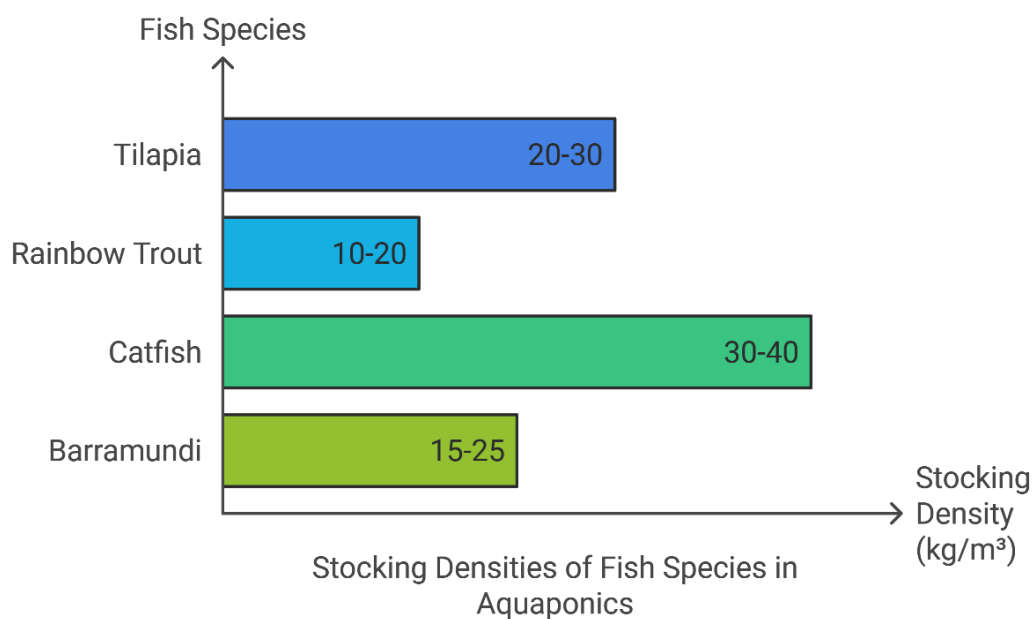
tasakaalustatud koormuse, mis toetab nii kalade tervist kui ka taimede kasvu, asustades 15–20 vikerforelli keskmise kaaluga umbes 400 g. Forellide puhul on hädavajalik tõhus filtreerimissüsteem ja sagedane seire, kuna nad on tundlikud ammoniaagi ja nitriti tasemetes suhtes.

Säga (*Clarias gariepinus* ja *Ictalurus punctatus*)

Nii Aafrika säga (*Clarias gariepinus*) kui ka kanalisäga (*Ictalurus punctatus*) taluvad muutuvat veekvaliteeti ja madalamat hapnikutaset, mistõttu sobivad nad akvapoonikas suure tihedusega asustamiseks. Sägasid saab intensiivsetes süsteemides hoida tihedusega 30–40 kg kala kuupmeetri kohta. Aafrika sägad taluvad veelgi suuremaid tihedusi, kuna nad suudavad hingata ka atmosfääriõhku. 1000-liitrine süsteem võib mahutada ligikaudu 30–40 sägakala keskmise kaaluga 500 g, tingimusel et süsteem on varustatud tugeva biofiltratsiooni ja aeratsiooniga. Süsteem peab suutma toime tulla täiendava ammoniaagikoormusega, kuna sägad toodavad palju jäätmeid.

Barramundi (*Lates calcarifer*)

Barramundi on soojaveeline kala, kes on akvapoonikas populaarne, eriti leebema kliimaga piirkondades. Need kalad taluvad hästi veekvaliteedi kõikumisi ja kasvavad kiiresti. Siiski vajavad nad oma suure jäätmetootmise tõttu hoolikat seiret. Regulaarselt hooldatud ja tugeva filtreerimisega süsteemides hoitakse barramundisid tavaliselt tihedusega 15–25 kg kala kuupmeetri kohta. Kui veetemperatuur püsib vahemikus 26–30 °C ja lahustunud hapniku tase on piisav, võivad 1000-liitrises basseinis edukalt kasvada ligikaudu 15–20 barramundit keskmise kaaluga 600 g.



Joonis 47. Akvapoonikas tavaliselt kasvatatavate erinevate kalaliikide asustustihedus.

Akvapoonikas tavaliselt kasvatatavate erinevate kalaliikide asustustihedus on joonisel 47. Asustustiheduse tasakaalustamisel peab olema tagatud taimede toitainevajaduse katmine ilma kalade tervist kahjustamata. Kõrge asustustihedus võib suurendada ammoniaagi tootmist, mis piisava biofiltratsiooni puudumisel tõstab kalade stressitaset ja haigustele vastuvõtlikkust. Lisaks mõjutavad jäätmete hulka sööda kvaliteet ja söötmissagedus, kuna kõrgema valgusisaldusega toidud tekitavad rohkem lämmastikujäätmeid. Ülesöötmise vältimiseks, mis võib halvendada veekvaliteeti ja soodustada patogeenide arengut, tuleb söötmisgraafikut kohandada vastavalt kalade biomassi suurusele.

Näiteks 30–35% valgusisaldusega söödaga toidetud tilaapiad toodavad piisava hulga lämmastikku

taimede kasvu toetamiseks ilma biofiltrit üle koormamata. Forellid ja barramundid vajavad aga suurema valgusisaldusega dieete (40–50%), mis tekitab rohkem detriiti. Stabiilsete veetingimuste säilitamiseks on soovitatav neid kalu toita sagedamini, kuid väiksemate kogustega, et jäätmetase püsiks vastuvõetavates piirides.

Biofiltri võimekus on populatsioonitiheduse määramisel ülioluline. Biofiltri aluseks on nitrifitseerivad bakterid, mis muudavad mürgise ammoniaagi nitritiks ja seejärel nitraadiks, mis on taimedele kasutatav toitaine. Biofiltri suurus tuleb määrata kalade maksimaalse biomassi juures eeldatava ammoniaagitootmise põhjal. Lisaks mõjutab asustustihedust oluliselt basseini konstruktsioon, sealhulgas veevoolu kiirus, basseini sügavus ja aeratsioon. Keskmise äravooluga ümarbasseinid sobivad kõrge tihedusega süsteemidele kõige paremini, kuna need hõlbustavad jäätmete eemaldamist ja takistavad nende settimist põhja, parandades seeläbi veekvaliteeti.

Optimaalne asustustihedus akvapoonikas sõltub biofiltratsiooni võimekusest, süsteemi disainist ja liigipõhistest omadustest. On vajalik leida tasakaal kalade biomassi maksimeerimise ning piisava veekvaliteedi säilitamise vahel, et vältida terviseriske. Süsteemi kavandamisel tuleb arvestada iga liigi eripäradest tulenevaid väljakutseid, näiteks forellide kõrget hapnikuvajadust ja tilaapiate kohanemisvõimet. Jätkusuutliku ja harmoonilise ökosüsteemi loomiseks peavad akvapoonikaga tegelevad praktikud reguleerima asustustihedust, söötmismäärasid ja süsteemi parameetreid, et toetada produktiivsete taimede arengut ja kalade tervist.

Viited

- 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.
- Bailey, J. Vattenbruk- Fokus på odling av sötvattenfiskar i recirkulerande akvatiska system. Vattenbrukscentrum Ost (VCO). Jordbruksverket.
- Berglöf, K. *et al* 2018. Handbok för landbaserad fiskodling- Fisk i hus.
- 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., Schmautz, Z. & Komives, T. (2015). Plant protection in ecocycle-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). 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 aquaponics systems. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 30(1), 33-80.
- Crouse, C. *et al* (2021). Produktion of market-size European strain Atlantic salmon (*Salmo salar*) in land-based freshwater closed containment aquaculture systems. *Aquacultural Engineering* vol 92.
- © FAO 2024. *Sander lucioperca*. Cultured Aquatic Species Information Programme. Text by Zakęś, Z.. In: *Fisheries and Aquaculture*. Rome. Updated 2012-03-16 [Cited, July 3rd 2024].
- 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.
- Fontaine P. & Teletchea F. (2019). Domestication of Eurasian Perch (*Perca fluviatilis*). *Animal domestication*.
- © 2025 Go Green Aquaponics.
- 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.
- Härkönen, L *et al* (2015). Laitosviljelyyn soveltuvan ahvenen emokalaston tuotanto. Loppuraportti. Lapin ELY-keskus.

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.

Koskela, J. *et al* (2005) Esiselvitys kuhan kasvatuksen mahdollisuuksista. Kala- ja riistaraportteja nro 348.

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.

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.

Persson, B. *et al* 2022 *Akvaponihandboken*.

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.

Sallenave, 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), 1.

Stathopoulou, P., Berillis, P., Levizou, E., Sakellariou-Makrantonaki, M., Kormas, A. K., Aggelaki, A., ... & Mente, E. (2018). 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).

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). 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.