

FISKAR I AKVAPONIK – URVAL, KRAV OCH BEGRÄNSNINGAR

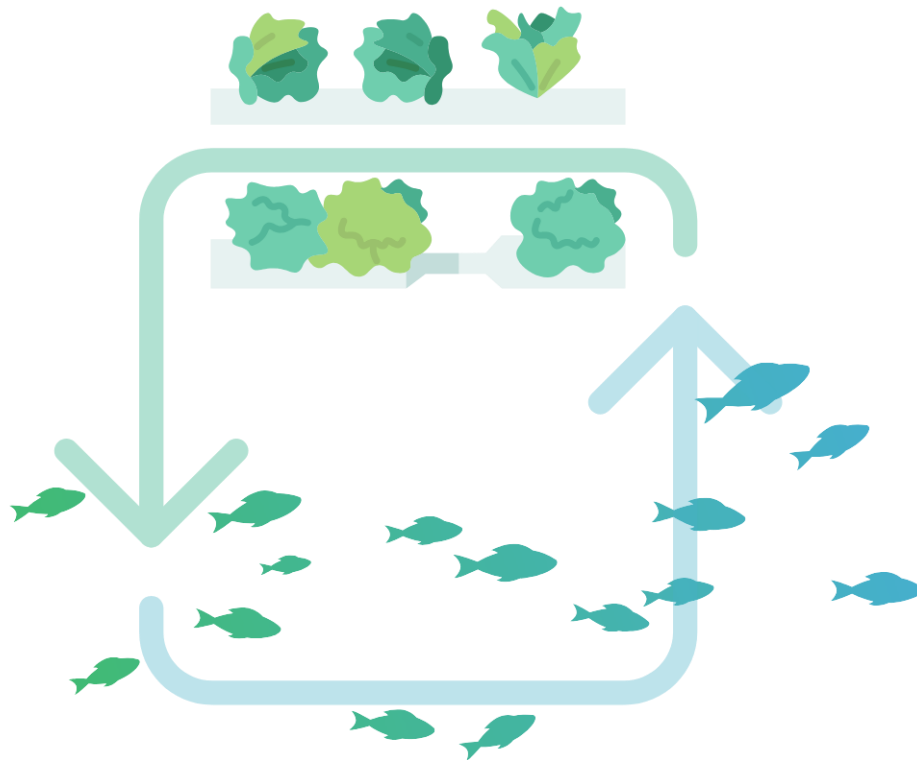


Table of Contents

Sammanfattning	3
1. Introduktion.....	4
1.1. TransFarm projektet.....	4
1.2. Fisk i akvaponik.....	5
2. Vattenkvalitetskrav för fisk	6
2.1. Temperatur	6
2.2. Syre.....	7
2.3. pH.....	9
2.4. Övriga krav	11
3. Vattenbruk i akvaponi	13
3.1. Val och typer av fisktankar	13
3.2. Borttagning av slam, mekaniska filter.....	17
3.3. Desinfektion och syresättning av vatten.....	19
4. Val av fiskarter	24
4.1. Laxartade fiskar	25
4.2. Abborrfiskar (aborre och gös)	27
4.3. Sibirisk Stör (<i>Acipenser baeri</i>)	29
4.4. Afrikansk mal (<i>Catfish gariepinus</i>).....	31
4.5. Tilapia (<i>Oreochromis sp.</i>)	32
4.6. Karp (<i>Cyprinidae spp.</i>).....	33
4.7. Kräftdjur	34
5. Fiskfoder /näring.....	36
5.1. Olika typer av fiskfoder.....	36
5.2. Fodersammansättning.....	41
5.3. Utfodringshastighet.....	45
6. Fiskhälsa och välbefinnande.....	46
6.1. Skadedjur och sjukdomar	46
6.2. Besättningstäthet	50
Referenser	52

Sammanfattning

Akvaponik är ett system som kombinerar principerna för vattenbruk och hydroponik. Fisken metaboliserar fiskfoder och släpper ut avfall som bakterier omvandlar till växttillgängliga näringsämnen. Det huvudsakliga elementet som förbinder alla tre levande organismerna i ett akvaponiksystem är vatten. Vatten är livsmiljön för fiskarna och mikroorganismerna och näringskälla för växter, som alla påverkas av vattenkvaliteten. Eftersom vattenbruk och hydrokultur har olika krav på vattenkvalitet som är lämpliga för specifika fiskarter och växtarter måste en kompromiss inom vattenkultur utarbetas som passar fiskar, växter och mikroorganismer. Det invecklade förhållandet mellan dessa tre organismgrupper samexisterar i nära symbios för att förse varandra med de nödvändiga näringsämnena.

Denna rapport sammanfattar de viktigaste kraven för växter i ett akvaponiksystem. Information om vattenkvalitetsparametrar som är nödvändiga för växters tillväxt, växtarter som oftast odlas i akvaponiksystem, typer av odlingssystem och substrat, integrerad skadedjursbekämpning samt fördelarna med växtproduktion i akvaponiksystem har sammanställts i denna rapport. Rapporten innehåller allmän information för entreprenörer och individer som är intresserade av eller vill starta ett akvaponiksystem. Läsaren uppmuntras att utforska ämnen kopplade till växtodling i akvaponiksystemet genom en serie rapporter som har utarbetats som en del av TransFarm projektet.

Nyckelord: *TransFarm, akvaponik, växter, parametrar, odlingssystem*

Informationen i denna rapport är en sammanställning av olika artiklar och böcker. Referenserna finns i rapportavsnittet "Referenser".

Utarbetandet av denna rapport har fått stöd av Interreg Central Baltic Region-projektet CB0100007 "TRANSborder cooperation for circular soil-less FARMing systems - TransFarm".



UNIVERSITY
OF LATVIA



1. Introduktion

1.1. TransFarm projektet

Det finns flera miljömässiga och sociala utmaningar som livsmedelssektorn måste möta: Jordbruket är en sektor som är särskilt påverkad av klimatförändringarna, våra hav är överfiskade och världens befolkning beräknas fortsätta växa till cirka 9,7¹ miljarder människor år 2050. Länder i Östersjöregionen är starkt beroende av livsmedelsimport, särskilt för grönsaker, frukt och fisk. På senare år har pandemierna och kriget i Ukraina belyst behovet av mer självförsörjande livsmedelssystem. Dessutom står jordbruk och vattenbruk för en stor del av näringsläckaget som driver på övergödningen av Östersjön.

För att möta dessa utmaningar vill TransFarm-projektet föra livsmedelsproduktionen närmare konsumenterna genom att främja jordfria jordbruksmetoder som kan implementeras även inomhus och som producerar året runt. Exempel på dessa metoder är hydroponik, där växter odlas i vatten, och akvaponik, som kombinerar hydroponik med vattenbruk som till exempel fiskodling.

Akvaponik är ett cirkulärt, slutet system, där vatten från fiskodlingen används för att odla växter. Fiskavföringen i vattnet omvandlas mikrobiologiskt i ett biofilter, absorberas av växter och sedan återförs renare vatten till fisken. Systemet har ett helt cirkulärt vattenflöde som möjliggör återanvändning av näringsämnen utan utsläpp av näringsämnen i miljön. Eftersom fiskarna, växterna och mikroorganismerna i ett akvaponiksystem fungerar i nära symbiotisk relation används inte antibiotika eller bekämpningsmedel, vilket i sin tur ger renare och hälsosammare produkter.

TransFarm kommer att demonstrera akvaponik i Sverige, Estland och Lettland samt testa alternativa vattenkällor som regnvatten och återvunnet gråvatten: Partners från dessa länder kommer att bygga demonstrationsanläggningar med olika egenskaper och syften. Erfarenhetsutbytet från de olika demoanläggningar kommer att bidra till gemensamt kunskapsbyggande och anläggningarna kommer att kunna inspirera och utbilda framtida akvaponiker. Den kunskap som samlas in under konstruktion och övervakningen av demoanläggningarna kommer att resultera i utbildningsmaterial tillgängligt för alla aktörer som är intresserade av akvaponik.

Projektet kommer också att undersöka affärsmodeller, driva aktiviteter för att informera konsumenter om kvaliteten på akvaponikprodukterna, utbilda entreprenörer som vill starta ett akvaponiksystem samt informera tjänstemän och beslutsfattare om den minskade miljöpåverkan av cirkulära jordfria jordbruksmetoder.

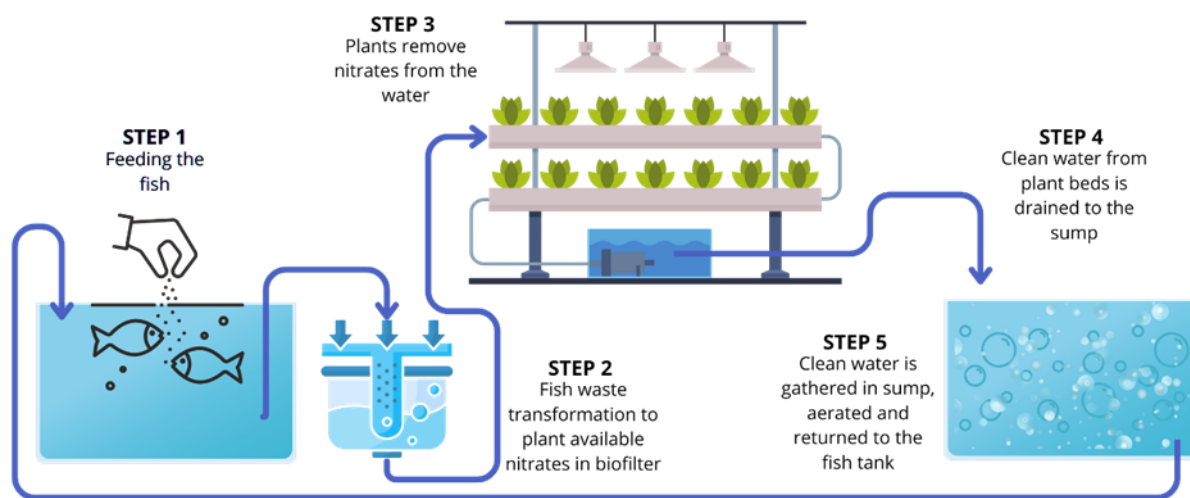
TransFarm-projektets varaktighet är tre år (2023-2026) och det koordineras av **Turku School of Economics** vid Åbo universitet (Åbo, Finland). Projektpartners är **Estonian University of Life Sciences** (Tartu, Estland), **University of Latvia** (Riga, Lettland), **Campus Roslagen, Coompanion** och **Norrälje Vatten och Avfall AB** (Norrälje, Sweden).

TransFarm-projektet finansieras av EU:s Interreg Central Baltic-program, projektets totala budget är 1,87 miljoner euro, EU-finansiering täcker 1,5 miljoner euro.

¹ UN DESA publications – World population prospects 2022

1.2. Fisk i akvaponik

Akvaponik är en jordlös odlingsmetod som kombinerar akvakultur (odling av fisk) och hydroponik (odling av växter). I ett akvaponiksystem är fisken förmodligen den viktigaste komponenten – de är organismerna som förser hela systemet med näring och utgör kärnan i detta symbiotiska ekosystem. Genom sin metabolism av fiskfodret bidrar fiskarna till näringscirkulationen och systemets balans. I akvaponik betraktas inte fiskavfall som avfall; snarare ses det som en värdefull resurs. Ammoniak, en kväverik förening, frigörs i vattnet när fiskarna metaboliserar maten. Ammoniaken omvandlas till nitriter och nitrater av gynnsamma mikroorganismer i systemets biofilter. Dessa kemikalier absorberas lätt av växterna som viktiga näringsämnen. Denna naturliga process av näringscirkulation eliminerar behovet av syntetiska gödningsmedel, vilket minskar miljöpåverkan och etablerar ett cirkulärt system där avfall omvandlas till en värdefull insatsvara (Figur 1).



Figur 1. Generaliserad schematisk illustration av ett akvaponiksystem med näringsfilmskanaler för växtodling.

Denna rapport fokuserar på de olika aspekterna av fisken i akvaponiksystem. Först diskuteras vattenkvalitetskraven som är specifika för fiskarna. Därefter beskrivs de olika alternativen för fiskens livsmiljö – fiskbehållarna – tillsammans med deras för- och nackdelar. Eftersom fiskfoder är den primära och enda näringstillförseln till systemet, måste valet av foder övervägas noggrant. De viktigaste näringsgrupperna har beskrivits i detalj. Möjliga fiskarter och deras respektive tillväxtvillkor har sammanfattats. Eftersom akvaponik vanligtvis är en verksamhet av begränsad storlek och fiskens beståndstäthet hålls på maximal nivå, beroende på arten, är det viktigt att vara medveten om skadedjur och sjukdomar som kan påverka systemets funktion negativt.

Ett framgångsrikt akvaponiksystem handlar inte enbart om förekomsten av fisk; de är också den drivande kraften bakom systemet. Fiskarna driver näringscirkulationen och tillför de grundläggande byggstenarna som krävs för växternas tillväxt. Ett blomstrande och hållbart akvaponiskt ekosystem kräver val av lämpliga fiskarter, optimering av deras miljö och hantering av deras hälsa.

Denna rapport är en del av ett serie utbildningsmaterial som har tagits fram av Interreg Central Baltic-programmet projekt TransFarm (TRANSborder cooperation for circular soil-less FARMing systems) (Nr. CB0100007). Rapporten är en leverans (D3.4.1) från Arbetsområde 3, Aktivitet 3.4 och bör användas tillsammans med leveranserna D3.3.1 (Utbildningsmaterial om växter i akvaponik) och D3.2.1 (Utbildningsmaterial om vattenkvalitet i akvaponik).

2. Vattenkvalitetskrav för fisk

2.1. Temperatur

Temperaturen påverkar ekosystemet i ett akvaponiksystem avsevärt. Vissa växter trivs i kalla miljöer, vilket gynnar deras hälsa, styrka och snabba tillväxt. Samtidigt måste fisken i systemet uppfylla specifika krav, eftersom deras näringsbidrag är avgörande för växternas tillväxt. Akvaponikproducenter behöver vara beredda att mäta systemet i graddagar, en enhet som tar hänsyn till temperaturackumulering över tid.

Till en början måste biofiltret aktiveras för att tillhandahålla växterna de nödvändiga nitraterna och koldioxiden. Ett praktiskt tillvägagångssätt är att initialt ställa in biofiltret på en temperatur mellan 20–22 °C och därefter sänka temperaturen när nitrater börjar ansamlas i systemet. Slutligen är det viktigt att introducera fisk i systemet vid denna tidpunkt för att säkerställa att näringsämnen ackumuleras i en takt som gynnar växternas tillväxt.

Det finns ett alternativt tillvägagångssätt: att introducera fisk i systemet från början. Denna metod kräver dock noggrann övervakning av ammoniaknivåer (NH₃/NH₄) och nitrifikationsprocesserna för att förhindra att giftiga nivåer uppnås. För att åtgärda detta problem kan färskt vatten tillsättas för att späda ut och minska de toxiska koncentrationerna.

I nordiska klimat är tillsats av färskt vatten också fördelaktigt för att kyla systemet under varma somrar, men det kan leda till överkyllning under kallare perioder. Alla dessa justeringar påverkar de primära komponenterna i akvaponiksystem: biofiltret, fiskbehållaren och växthuset för växterna.

Det är avgörande att övervaka temperaturen, eftersom den påverkar alla biologiska processer i systemet. Även om ett digitalt övervakningssystem är värdefullt, bör en standardtermometer alltid finnas tillgänglig som reserv. Felaktiga avläsningar kan äventyra systemets hälsa, vilket gör att digitala sensorer måste kalibreras regelbundet för att säkerställa noggrannhet.

Det är ovanligt att hitta en plats som är stabil och håller temperaturer som är optimala för både fisk och växter. Luft- och vattentemperaturer påverkas ofta av säsongsvariationer, vilket kräver optimering av de tillgängliga platserna. Det finns många metoder för att reglera temperaturen, till exempel luftbaserad temperaturkontroll.

I vissa konfigurationer inkluderar det centrala klimatsystemet en luft-luft- eller luft-vattenvärmepump för att reglera lufttemperaturen. Denna metod möjliggör även kontroll av luftfuktighet. Ett annat alternativ är vattenbaserad temperaturkontroll, där vattnet värms direkt. Denna metod kan dock öka luftfuktigheten till upp till 85 %, vilket kan orsaka kondens på ytor. Medan vissa växter kan gynnas av den ökade luftfuktigheten, kan den också främja tillväxten av mögel och alger, särskilt när artificiell belysning används. För att förhindra fuktansamling måste elektriska system vara ordentligt isolerade och genomgå regelbundna inspektioner.

I nordiska klimat använder vissa gårdar geotermisk energi eller närliggande vattendrag för uppvärmning, vilket ofta kräver värmeväxlare eller golvvärmesystem. Denna metod kan minska luftfuktigheten till 25–35 %, vilket kan kräva installation av ytterligare luftfuktare.

I kallare klimat är en temperatur på 16–17 °C lämplig för akvaponik, vilket kan stödja odling av regnbåge och grödor som spenat och sallad. I mildare klimat fungerar ett system vid 22–26 °C väl i kombination med malfisk och grödor som basilika och tomater. Luftfuktigheten bör övervakas, och dimaggregat kan användas vid behov.

2.2. Syre

I akvaponik och andra vattenbrukssystem är syre avgörande för att invånare som fisk, kräftdjur, musslor, sniglar och sköldpaddor ska överleva. Även om fiskar lever i vatten (H_2O) kan de inte direkt använda det syre som är bundet till vätemolekylerna. Fisk, precis som människor, behöver fritt löst syre (DO) för att andas, vilket måste vara jämnt fördelat i vattnet.

Temperatur och syrenivåer är ouppslösligt sammankopplade i vattenbruk. Det omvända förhållandet mellan temperatur och mängden löst syre innebär att syrekapaciteten minskar när vattnets temperatur stiger. Den maximala mängden syre som vattnet kan innehålla vid en viss tidpunkt bestäms huvudsakligen av temperaturen. Syre är nödvändigt för alla komponenter i ett akvaponiksystem, inklusive fisk, biofilter och växter. Det mäts vanligtvis i koncentration (ppm eller mg/L) och mättnad (%).

För att bevara en hälsosam miljö måste akvaponikproducenter övervaka och förstå en rad syreberoende processer, såsom biokemiskt syrebehov (BOD), nitrifikation, fotosyntes och respiration, som alla påverkar syrenivåerna.

Löst syre förbrukas av systemets invånare, som fisk och bakterier som bryter ned organiskt material. Detta syrebehov, känt som biologiskt syrebehov (BOD), är särskilt viktigt att övervaka eftersom syrenivåerna reduceras av mikroorganismerna i biofiltren och fisken i det cirkulerande vattnet. Regelbunden rengöring och underhåll är nödvändigt för att förhindra överflödigt biofilm, det bakteriellager som utvecklas i biofilter. Detta förhindrar att biofilmen sprider sig över växtrötter och tankväggar. Utan underhåll kan biofilm störa vattenflödet och minska syretillgången.

Syreinnehållet i vattnet kan fluktuera snabbt, ibland inom några minuter, vilket kan skapa potentiellt livshotande förhållanden för fisken. Producenter måste övervaka fisken för beteendemässiga indikationer på låga syrenivåer, eftersom dessa inte alltid är uppenbara. Fisk som simmar vid vattenytan och "flämtar" efter luft är tidiga tecken på låga syrenivåer, vilket ofta observeras när syrenivåerna sjunker till 4–3 ppm. Om nivåerna fortsätter att falla till 1–3 ppm kan fisken visa tecken på stress, såsom att försöka fly, hoppa ur tanken eller ligga stilla på botten eller nära vattenin- och utlopp.

Låga syrenivåer under längre perioder kan förhindra ett korrekt vattenflöde och orsaka farliga översvämningar. Vissa fiskarter, såsom afrikansk mal, kan anpassa sig till reducerade syrenivåer genom att stiga upp till ytan för att andas, medan andra, som garfisk, kan börja använda atmosfäriskt syre. Dessa anpassningar kan dock endast ske efter långvarig exponering för låga eller subletala syrenivåer. Under sådana förhållanden kan många akvatiska organismer dö eftersom de inte kan anpassa sig.



Figur 2. Linde Gas O_2 -flödes- eller doseringsbox och nödbox för O_2 .

Det är rekommenderat att tillfälligt sluta mata fiskarna och, om möjligt, tillföra färskt vatten för att lugna systemet något vid låga syrenivåer. Syrebehovet minskar eftersom fiskarna är mindre aktiva, och kallare vatten behåller löst syre mer effektivt. För att säkerställa fiskarnas hälsa och ekonomiska produktivitet rekommenderas att löst syre hålls på en nivå mellan 7,5 och 9,5 ppm (Figur 2). Detta underlättar effektiv proteinmetabolism och främjar fiskarnas tillväxt.

I akvaponiska system kräver mikroorganismernas nedbrytning av organiskt material i biofiltret löst syre (DO), vilket i sin tur genererar viktiga näringsämnen för växterna. Bakterier använder en ökad mängd DO för att upprätthålla nedbrytningsprocessen när det sker en ansamling av överflödigt organiskt material. Därför är det avgörande att övervaka och reglera ansamling av biofilm, slam och botten sediment. Om det recirkulerande systemet inte filtrerar bort slam eller suspenderade partiklar kan syrebehovet öka, vilket potentiellt kan leda till syrebrist.

I akvaponiska system kräver mikroorganismernas nedbrytning av organiskt material i biofiltret löst syre (DO), vilket i sin tur genererar viktiga näringsämnen för växterna. Bakterier använder en ökad mängd DO för att upprätthålla nedbrytningsprocessen när det sker en ansamling av överflödigt organiskt material. Därför är det avgörande att övervaka och reglera ansamling av biofilm, slam och botten sediment. Om det recirkulerande systemet inte filtrerar bort slam eller suspenderade partiklar kan syrebehovet öka, vilket potentiellt kan leda till syrebrist.

Syretillförseln i akvaponiska system hanteras genom tre system: biologiskt behov, näringsbehov och nödförsörjning, för att upprätthålla optimala syrenivåer.

- **Biologiskt behov** – relativt konstant och ökar i proportion till den totala biomassan i systemet. Detta representerar det syre som krävs för den dagliga andningen och metabolismen hos bakterier, växter och fiskar.
- **Näringsbehov** – fiskarnas metaboliska aktivitet ökar tillfälligt under och direkt efter matning, vilket resulterar i ett temporärt ökat syrebehov. För att upprätthålla balans övervakar syresensorer i varje fiskbehållare i storskaliga operationer nivåerna och meddelar huvudsystemet, som tillfälligt öppnar syretillförselventiler.
- **Nödförsörjning** – backup-syre tillhandahålls vid utrustnings- eller strömavbrott genom nödsystem. Backup-generatorer är oundgängliga för stora anläggningar för att garantera en oavbruten syretillförsel. Även småskaliga och hobbybaserade system kan dra nytta av en pålitlig sekundär strömkälla för att skydda fiskarna vid oförutsedda avbrott.

Beroende på systemets skala och syrekrav finns det en mängd metoder för att tillföra syre i akvaponiska system. En enkel luftningspump med luftslang eller keramiska stenar tillhandahåller vanligtvis tillräckligt med syre i småskaliga system. Medelstora system med högre syrebehov använder ofta finperforerade syrespridare för att förbättra luftningen, samt en syregenerator eller trycksatta syrebehållare för att säkerställa en konstant tillförsel. Storskaliga system kräver sofistikerade syresättningslösningar, som kan uppnås med flytande syrgastryckssystem eller syregeneratorer. Syregeneratorer möjliggör produktion av syre på begäran, medan trycksatta system tillhandahåller högkapacitetssyre för omedelbar användning. Varje metod har sina fördelar, men flytande syrgassystem kräver vanligtvis mer komplex och säker hantering.



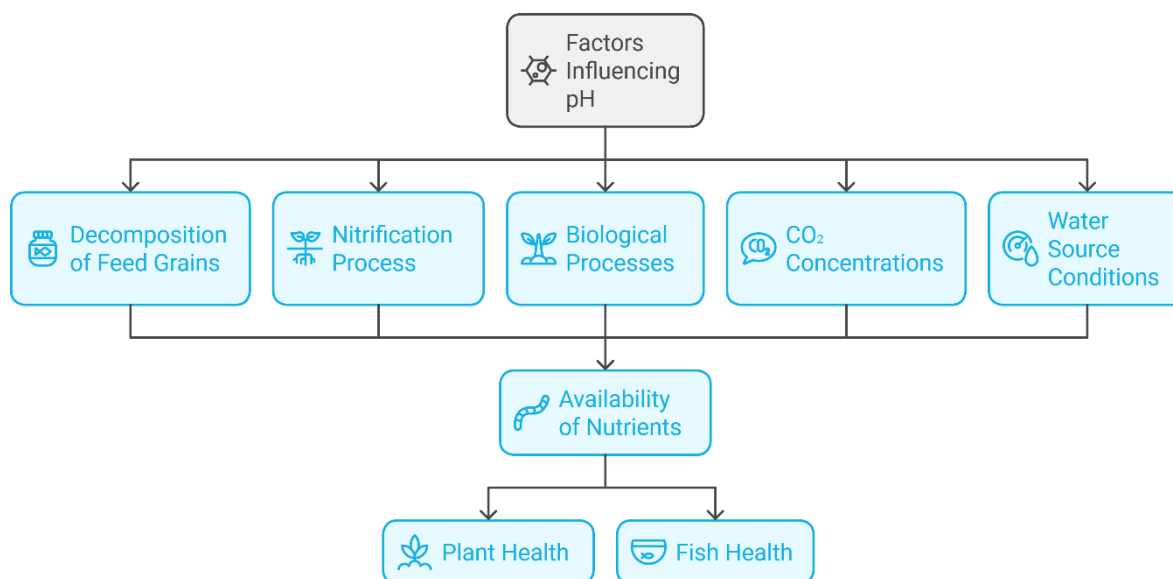
Figur 3. Atlas Scientific övervakningssystem och Handy Oxyguard O₂-sensor.

Det är avgörande att övervaka syrenivåerna för att säkerställa systemets effektivitet och hälsa (Figur 3). Dagligt underhåll av syresonder är nödvändigt för att förhindra ansamling av biofilm, särskilt i varmvattenbaserade system där både manuella och stationära sonder används för övervakning. Till exempel kan anod-katod-sonder kräva oftare rengöring än optiska sonder på grund av biofilmens potentiella påverkan på deras mätningar. Det är också viktigt att regelbundet kalibrera sonder enligt tillverkarens specifikationer.

Defekta sonder bör omgående servas, vilket kan innefatta byte av membran, påfyllning av sondvätskor eller rengöring av sondens interna komponenter. Naturliga syrekällor kan användas i akvaponiska system för att minska behovet av syretillskott. En naturlig ökning av löst syre (DO) uppnås genom att alger, sjögräs och andra vattenväxter producerar syre som en biprodukt av fotosyntesen. Temperaturkontroll är avgörande för att optimera denna process, eftersom temperaturen påverkar växternas andning och syreproduktion. Att hålla vattnet vid en lämplig temperatur kan förbättra fotosyntesens effektivitet och därmed säkerställa en jämn syretillförsel till hela systemet. Håll lösta syrenivåer mellan 7,5 och 9,5 ppm för att främja tillväxten av friska fiskar och en effektiv proteinmetabolism. Detta intervall förbättrar fiskarnas hälsa och utveckling och bidrar till en ekonomiskt hållbar akvaponisk produktion.

2.3. pH

pH-skalan är en logaritmisk mätning som används för att beskriva surheten eller alkaliniteten hos vattenlösningar. Sura lösningar har lägre pH-värden på grund av högre koncentrationer av vätejoner (H⁺), medan basiska eller alkaliska lösningar har högre pH-värden på grund av färre vätejoner. Varje pH-enhet motsvarar en tiodubbel skillnad i vätejonkoncentration, eftersom skalan fungerar enligt ett logaritmiskt system med bas 10. Lösningar med ett pH under 7 klassificeras som sura vid en standardtemperatur på 25 °C, medan de med ett pH över 7 klassificeras som basiska (Figur 4).



Figur 4. Sammanfattning av faktorer som påverkar pH i ett akvaponiskt system.

pH är en kritisk parameter i akvaponik eftersom den påverkar systemets integritet, mikrobiell aktivitet och tillgången på näringsämnen. Lösligheten av viktiga näringsämnen påverkas direkt av pH-nivån, vilket i sin tur avgör tillgången på dessa ämnen för växternas absorption. Därmed påverkas växternas hälsa och tillväxt. Dessutom är pH en avgörande faktor för toxiciteten hos vissa ämnen, inklusive ammoniak, som blir mer skadlig för vattenlevande organismer vid högre pH-nivåer. Av dessa skäl är det nödvändigt att upprätthålla ett stabilt pH för att säkerställa ett hälsosamt och balanserat akvaponiskt system.

pH påverkas av en mängd olika faktorer i akvaponiska system. Till exempel kan svängningar uppstå vid nedbrytning av foderpellets i tanken. När dessa pellets bryts ned frigörs ammoniak, vilket gradvis kan förändra pH. Nitrifikationsprocessen omvandlar ammoniak, som är en näringskälla för gynnsamma mikrober i biofiltret, och producerar därmed ytterligare surhet i vattnet. Denna surhet kan öka nitritnivåerna, som, om de inte kontrolleras, kan leda till toxiska nivåer i systemet. Rätt matningsrutiner, anpassade till fiskarten och dess storlek, kan bidra till att minska dessa effekter, eftersom fodermängden kan variera mellan 0,3 % och 6 % av fiskens biomassa i ett akvarium. Biologiska processer påverkar också pH-nivåerna. Organiskt material och ammoniak introduceras i vattnet genom spill från foder, fiskens avföring eller till och med döda fiskar. Dessa ämnen gynnar tillväxten av bakteriekolonier som först höjer pH och sedan sänker det genom fortsatt nedbrytning. Nitrifikation, en process som gradvis ökar vattnets surhet, genererar nitrit och nitrat. Dessutom påverkas miljöns pH av växternas näringsupptag och de joner som frigörs, inklusive nitrat och karbonat. pH kan öka eller minska beroende på vilka specifika joner som är inblandade.

Koldioxidkoncentrationer är också en betydande faktor för pH-stabilitet. Höga koncentrationer av CO_2 i vattnet leder till bildandet av kolsyra, vilket sänker pH, medan lägre CO_2 -nivåer minskar surheten. Slutligen påverkas vattnets pH starkt av vattenkällans kvalitet, eftersom färskvattens buffringskapacitet påverkas av dess pH och hårdhet. En högre buffringskapacitet kräver större mängder av pH-justerande ämnen, såsom saltsyra (HCl) för att öka surheten eller natriumhydroxid (NaOH) och kalciumhydroxid (släckt kalk, $\text{Ca}(\text{OH})_2$) för att höja pH.

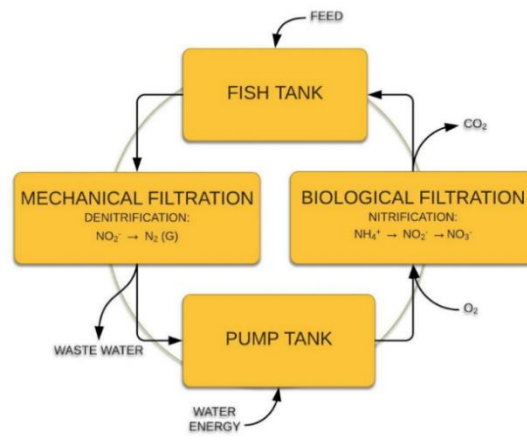
Inkonsekventa pH-nivåer kan hämma växternas utveckling och minska skördeutbytet. Växternas näringsupptag är mycket känsligt för pH, och när det avviker från det optimala intervallet blir viktiga näringsämnen mindre tillgängliga, vilket försämrar växternas hälsa och tillväxt. Försämrade fysiologiska processer, inklusive fotosyntes, kan också leda till näringsobalanser och minska växternas förmåga att motstå stress. Även om manuella justeringar av pH kan göras vid behov erbjuder automatiserade, stationära system större stabilitet och effektivitet genom att möjliggöra realtidsjusteringar.

Långvarig exponering för olämpliga pH-nivåer kan orsaka stress, försvagat immunförsvar och ökad mottaglighet för sjukdomar hos fiskar. Fysiologiska funktioner kan störas, aptiten kan minska, tillväxten kan bromsas, och fiskar kan bli mer känsliga för förändringar i vattenkemin vid pH-instabilitet. För att minska negativa effekter på fiskhälsan bör pH-svängningar inte överstiga 0,5 enheter inom 24 timmar. Konsekvent övervakning och precisa justeringar är avgörande för att upprätthålla en balanserad akvaponiskt miljö, även om manuella pH-justeringar kan kräva något större mängder justeringsmedel för att säkerställa stabilitet.

2.4. Övriga krav

Vattenflöde och cirkulation

Den centrala komponenten i ett recirkulerande akvakultursystem är pumpen. Frekvensmodulatorer rekommenderas för pumpar, beroende på deras specifikationer och kapacitet. Pumpar är energikrävande, så det är mer energieffektivt att använda en enda pump för att cirkulera hela vattentillförseln. För att säkerställa kontinuerligt vattenflöde rekommenderas det att installera en sekundär pump på samma plats och att driva båda pumparna enligt ett regelbundet schema. Detta förhindrar ansamling av sediment eller igensättning av pumphuset.



Figur 5. Ingångar och utgångar i ett akvaponiskt system.

Det är möjligt att en av pumparna behöver bytas ut eller tas bort från systemet för underhåll under drift. För detta ändamål bör pumpen utrustas med två ventiler, en framför inloppet och den andra vid utloppet, för att underlätta underhåll. Vid systemdesign är det viktigt att överväga användning av måttliga lyfthöjder för att minska driftkostnaderna. Vattnet lyfts endast en gång under varje cirkulation. Pumpen placeras främst framför biofiltrets inlopp, samt framför oxideringsenheter och fisktankar, för att säkerställa att systemet är korrekt trycksatt (Figur 5).

Frekvensmodulatore hjälper också till att inducera vattnets hastighet. Detta är nödvändigt eftersom vissa fiskarter kräver en högre vattenhastighet för att bibehålla en miljö som är lämplig för dem. Ibland kan en ökad flödes hastighet ha ytterligare positiva effekter, som att minska kannibalism och reducera detritus på tankens botten.

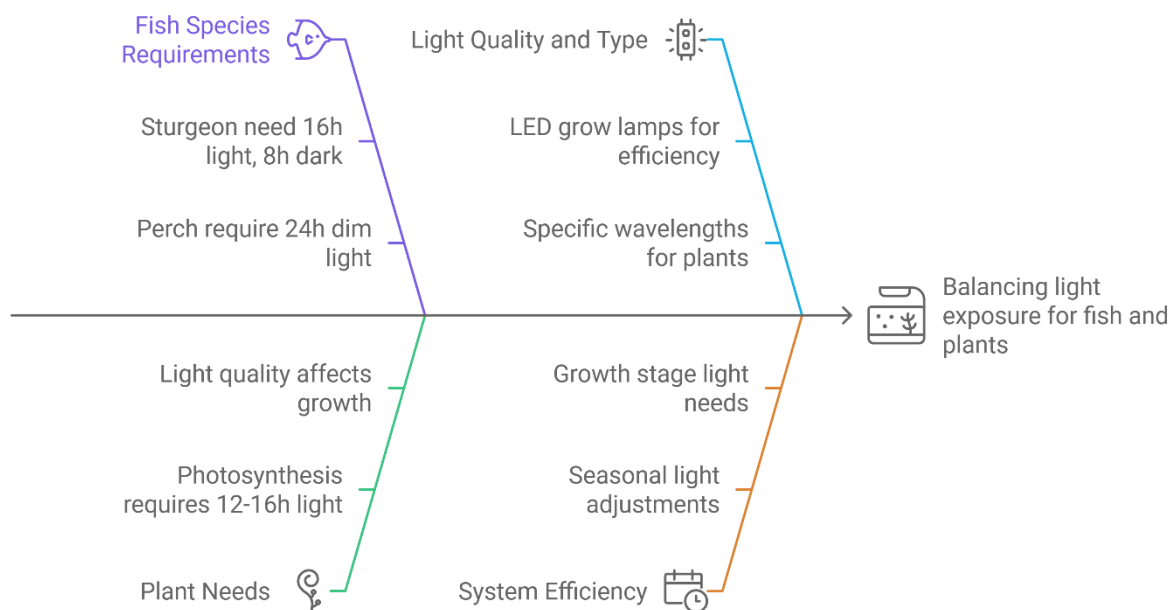
Dagsljusschema

I ett kontrollerat, slutet recirkulerande akvakultursystem beror fiskarnas och växternas hälsa och tillväxt på hanteringen av ljusexponering. Ljusscheman för fiskarna anpassas för att tillgodose varje arts specifika behov. Till exempel trivs störfiskar i ett 16-timmars dagsljus och 8-timmars nattcykel, vilket efterliknar en naturlig miljö och optimerar deras tillväxt. Däremot kräver abborre kontinuerlig svagt ljus (24 timmar om dygnet) för att förhindra stress, eftersom ljusförändringar kan störa deras åt- och vilomönster. För att undvika att de skräms behöver laxarter gradvisa övergångar mellan dag och

natt, eftersom de är känsligare för plötsliga ljusförändringar. En plötslig förändring kan orsaka stressreaktioner, som en "våg"-effekt, där fiskgrupper plötsligt hoppar upp ur vattnet, vilket kan skada dem. I kontrast är kattfisk nattaktiva och trivs bäst i förhållanden med nästan totalt mörker, med endast det minsta ljuset som krävs för personalens verksamhet för att inte störa deras naturliga beteenden (Figur 6).

Ljuset har inte bara betydelse för fiskarna i akvaponiksystem utan påverkar också växterna, som behöver ljus för att underlätta fotosyntesen. Fotosyntes är den process genom vilken växter omvandlar ljusenergi till kemisk energi, vilket i sin tur producerar det syre som fiskarna behöver och tar bort näringsämnen från vattnet som annars skulle samlas som detritus. I ett gemensamt akvaponiskt system kan ljusbehovet för fiskarna krocka med växternas behov för optimal tillväxt, vilket vanligtvis kräver 12–16 timmars ljus per dag. För att effektivt hantera ljusexponeringen kan odlarna behöva använda skuggstrategier för fisktankarna eller till och med dela upp anläggningen i sektioner. Detta hjälper till att balansera dessa krav. Att skugga fiskakvarier eller etablera fysiska barriärer mellan växter och fisk kan ge nödvändigt mörker för fisken, samtidigt som växterna får tillräckligt med ljus.

Kvaliteten och typen av ljus som används är ytterligare faktorer att ta hänsyn till när ljusscheman designas i akvaponik. Det är ofta nödvändigt att använda artificiell belysning i inomhussystem för att komplettera eller ersätta naturligt solljus. LED-växtlampor används ofta för deras energieffektivitet, flexibilitet att justera färgspektrumet för att möta växternas fotosyntetiska behov och minimalt värmeutsläpp. Till exempel är blå och röda våglängder särskilt fördelaktiga för växternas tillväxt, då de stimulerar fotosyntetisk aktivitet. Ändå understryks behovet av att etablera belysningsscheman och intensitetsnivåer ytterligare av det faktum att långvarig exponering för dessa specifika våglängder inte alltid är lämplig för vissa fiskarter.



Figur 6. Ljussättningsförhållanden och aspekter som påverkar ljuscykeln i ett akvaponiskt system.

Systemeffektivitet kan förbättras avsevärt genom att övervaka ljusexponering och justera den säsongvis eller i enlighet med växternas och fiskens tillväxtstadier. Initialt kan unga växter behöva mer ljus för att etablera robusta rotsystem, medan mogna växter kan tolerera en viss minskning av ljusintensiteten. På samma sätt kan den ljusintensitet som fisk behöver variera beroende på deras tillväxtstadier och miljöfaktorer, såsom vattentemperatur och utfodringsscheman. Genom att skapa en miljö som tillgodoser de unika behoven hos både fisk och

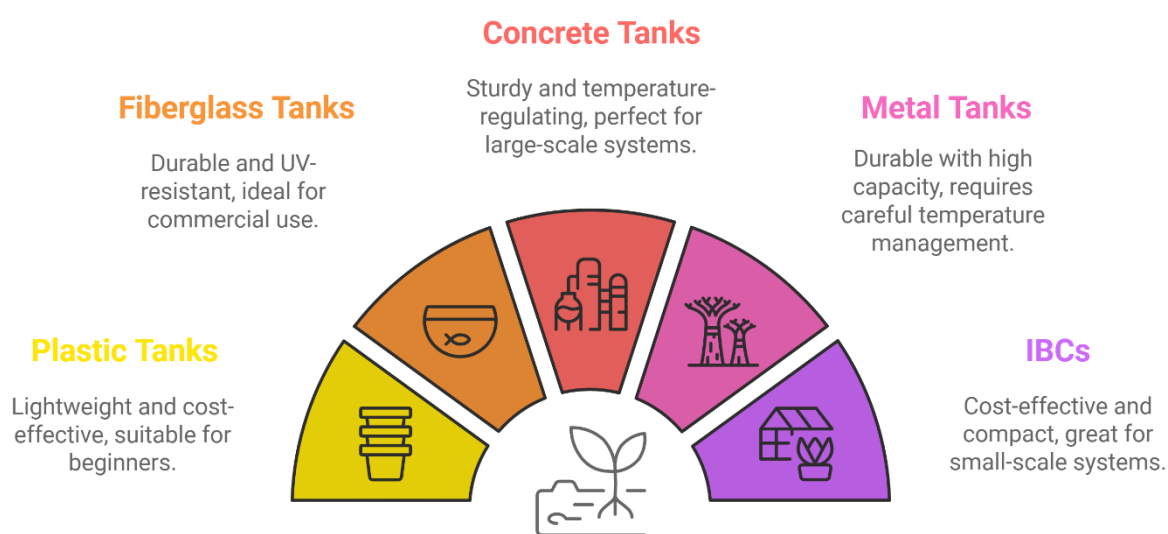
växter, kan akvaponiska producenter optimera produktiviteten och säkerställa att båda organismerna trivs i systemet genom att observera och justera ljuscyklerna.

3. Vattenbruk i akvaponi

3.1. Val och typer av fisktankar

Fisktank är en viktig komponent i akvaponik, eftersom den fungerar som en livsmiljö för fisken, vars exkrement förser växterna med de näringsämnen de behöver för att frodas. Valet av behållare har stor inverkan på systemets effektivitet, fiskens hälsa och systemets övergripande funktion.

Det finns olika typer av behållare som kan anpassas för allt från hobbyodling i trädgården till storskaliga kommersiella operationer, och varje typ är utformad för att uppfylla specifika behov. För att fatta välgrundade beslut om vilka fiskarter som ska odlas och hur systemets prestanda kan optimeras, är det värdefullt att ha en djup förståelse av för- och nackdelarna med varje typ av behållare (Figur 7).



Figur 7. Typer av behållare och tankar som används för fisk i akvaponiska system.

Plast- eller Polyeten- Tankar

När det gäller akvaponiska system är plast- eller polyeten-tankar bland de vanligaste lösningarna, särskilt i mindre till medelstora system (Figur 8). Dessa tankar rekommenderas eftersom de är lätta, hållbara och kostnadseffektiva. De är tillverkade av högdensitetspolyeten (HDPE) eller andra plastmaterial som är lämpliga för användning med livsmedel. Dessa tankar finns i olika former, inklusive runda, rektangulära och ovala designer. De är lätta att hantera, transportera och installera, vilket gör dem till ett utmärkt val för akvaponikentusiaster som precis har börjat. De är tillverkade av ett icke-korrosivt material, vilket säkerställer att de inte kontaminerar vattnet. Dessutom hjälper deras utmärkta termiska isolering till att hålla en jämn vattentemperatur, vilket är avgörande för fiskens hälsa.

Trots detta är plasttankar känsliga för repor, vilket med tiden kan leda till att bakterier samlas i skadade områden. De har inte heller samma hållbarhet som andra material, som betong eller glasfiber, särskilt när de utsätts för långvarig UV-strålning. Med tanke på detta rekommenderas användare att överväga att skydda tankarna från direkt solljus, särskilt i utomhusmiljöer. Plasttankar är ett utmärkt val för att

hysa fiskarter som tilapia, mal och regnbågsöring eftersom dessa fiskar är robusta och kan anpassa sig till ett brett spektrum av vattenmiljöförhållanden.



Figur 8. Plasttankar och behållare som används för fiskodling i ett akvaponiskt system.

Glasfiber-tankar

Tack vare sin utmärkta hållbarhet och livslängd är glasfiber-tankar ett populärt val för både kommersiella och högkvalitativa akvaponiska system (Figur 9). Glasfiber-tankar är kända för sitt goda rykte. Glasfiberförstärkt plast, som används vid tillverkningen av dessa tankar, är ett material som balanserar mellan att vara lätt och extremt hållbart. Glasfiber-tankar kan tillverkas efter kundens specifikationer i ett brett utbud av former och storlekar, vilket gör det möjligt att anpassa dem för olika systemkonfigurationer och fiskvolym. På grund av deras släta yta är de lämpliga för enkel rengöring, vilket minskar risken för att skräp byggs upp eller att biofilm bildas, båda faktorer som kan påverka vattenkvaliteten. Detta innebär att glasfiber-tankar är resistent mot skador från UV-ljus och korrosion, vilket gör att de kan användas både inomhus och utomhus utan att försämrats över tid.

Trots dessa fördelar är glasfiber-tankar vanligtvis dyrare än plast- eller IBC-tankar, vilket kan vara en nackdel för anläggningar som har ett begränsat budgetutrymme. Dessutom, även om glasfiber är hållbart, kan det flisa eller spricka om det hanteras felaktigt eller utsätts för kraftiga stötar; därför är det viktigt att vara försiktig när man flyttar eller rengör det. Flera fiskarter odlas regelbundet i glasfiber-tankar, såsom tilapia, abborre och barramundi, som alla trivs i förhållanden med jämn vattenkvalitet och stabila temperaturer.

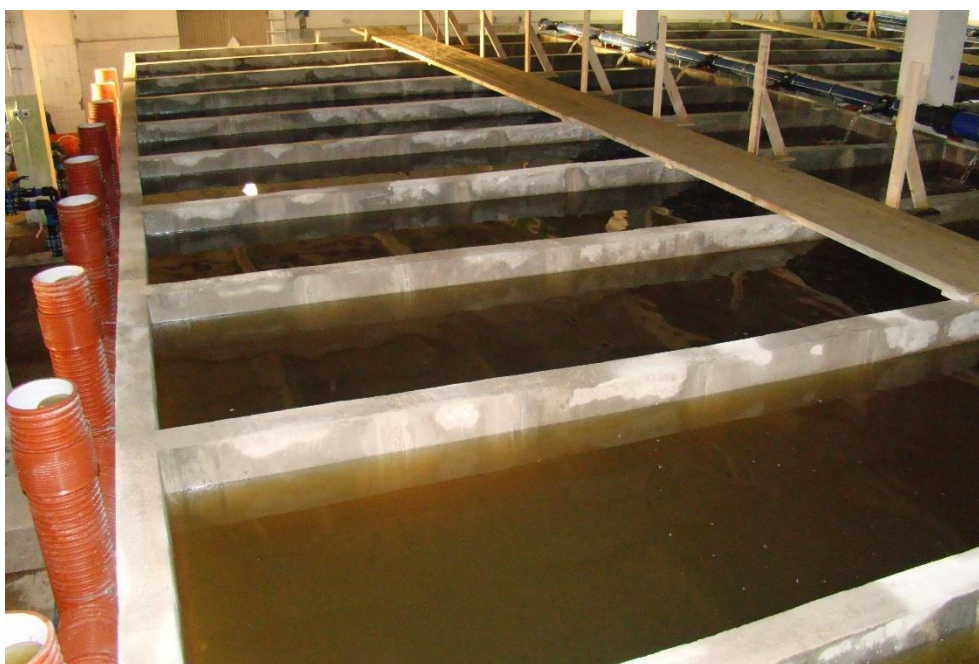


Figur 9. Glasfiber fisktankar används för fiskodling i akvaponiska system.

Betong-Tankar

När det gäller storskaliga, kommersiella akvaponiska system är betong-tankar en oundgänglig komponent. Detta gäller särskilt i varma eller tropiska områden, där dessa tankars förmåga att reglera temperatur blir en fördel (Figur 10). Användningen av armerad betong i konstruktionen av dessa tankar ger dem en exceptionellt stark och hållbar byggkvalitet som ofta kan hålla i flera decennier om de underhålls på rätt sätt. Jämfört med andra typer av tankar är betong-tankar ofta specialbyggda för att möta systemets specifika krav. Detta möjliggör större vattenvolymer och högre fiskdensiteter än andra tanktyper. Betong-tankar är också användbara i utomhusmiljöer där temperatursvängningar kan orsaka stress för fisken, eftersom deras tjocka väggar ger en stor termisk massa som hjälper till att stabilisera vattentemperaturen genom att absorbera värme under dagen och släppa ut den på natten. Detta är särskilt effektivt när vattentemperaturen fluktuerar.

Det finns dock några betydande nackdelar med betong-tankar. Byggandet av dessa system är kostsamt, både i material och arbetskraft, vilket gör dem mindre lämpliga för mindre eller mer kostnadsmedvetna system. Nyligen byggda betong-tankar kan också läcka kalk i vattnet, vilket kan orsaka att pH-nivåerna stiger och kräver ordentlig torkning och tätning innan de kan användas. Denna preliminära underhållsprocess är avgörande för att förhindra att fisken skadas. När de väl har skapats är betong-tankar perfekta för odling av stora, robusta fiskarter som tilapia och karp, som trivs i stabila livsmiljöer med hög kapacitet och kontrollerade vattenparametrar.



Figur 10. Betong fisktankar som i ett vattenbrukssystem i Lettland.²

Metall-tankar (Belagda med livsmedelsklassade beläggningar)

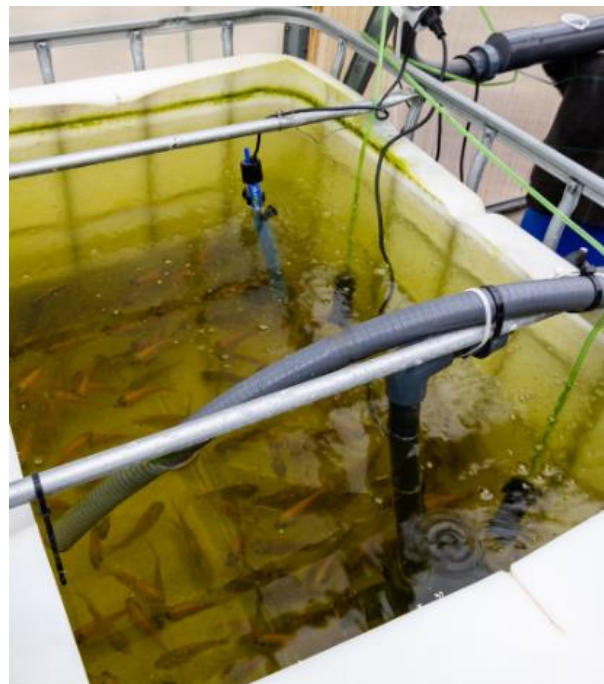
Metall-tankar, som ofta är byggda av galvaniserat stål eller aluminium, är fortfarande ett gångbart alternativ för akvaponiska system, särskilt när de är belagda med livsmedelsklassade beläggningar eller foderfoder. Metall-tankar är ett mindre vanligt val än andra typer av tankar. Den inneboende robustheten hos metall-tankar gör dem extremt hållbara och motståndskraftiga mot skador från omgivningen. Dessutom gör de stora kapaciteterna hos dessa tankar dem lämpliga för användning i kommersiella verksamheter eller större system som kräver större mängder vatten. När utrymmet är

² <https://bior.lv/en/node/738>

begränsat men en hög fiskdensitet krävs, är metall-tankar särskilt effektiva tack vare deras förmåga att rymma många fiskar. Å andra sidan, eftersom metall är benäget att korrodera, särskilt när det utsätts för vatten och varierande temperaturer, måste dessa tankar vara belagda med giftfria, livsmedelsklassade material som plast eller gummi för att förhindra att farliga föreningar läcker ut i vattnet. Metall-tankar, utan lämpliga beläggningar, innebär betydande faror för fiskens hälsa och vattnets renhet. Metall-tankar har också dålig termisk isolering, vilket är en av deras nackdelar. Metall är ett material som lätt överför värme, vilket innebär att vattentemperaturen kan förändras lättare. Detta är särskilt sant i livsmiljöer som utsätts för väderförhållanden, vilket kan vara stressande för fiskarter som är känsliga för temperatur. Dessutom kan den initiala kostnaden för metall-tankar och deras beläggningar vara ganska stor, vilket gör dem mindre attraktiva för budgetvänliga system. Trots dessa hinder är det möjligt att framgångsrikt odla fiskarter som tilapia och regnbågsöring i metall-tankar, förutsatt att vattentemperaturen hanteras korrekt.

Intermediate Bulk Containers (IBCs)

I mindre skala och i gör-det-själv akvaponiska system används intermediate bulk containers, ofta kallade IBC (Figur 11), bland de mest frekventa tankarna. Många som är intresserade av akvaponik upptäcker att dessa behållare, som först utvecklades för att transportera vätskor, är tillverkade av livsmedelsklassad plast och omsluta i en metallram. Detta gör dem till en både prisvärt och lättillgängligt alternativ. IBC:er är tillräckligt kompakta för att passa in i trädgårdar eller urbana miljöer, samtidigt som de erbjuder tillräcklig volym för en rad olika fiskarter. Deras vanliga kapacitet är cirka tusen liter, vilket gör dem idealiska för transport av fisk. Förutom att vara billiga är IBC:er också mycket enkla att modifiera, vilket är en av deras största fördelar. Eftersom de kan skäras, borras och utrustas med rör kan de integreras i vilken systemdesign som helst utan problem. Å andra sidan kan deras plastväggar försämrats med tiden om de utsätts för direkt solljus; därför är det viktigt att ge skugga eller täcka dem med reflekterande material för att förlänga deras livslängd. IBC:er har en begränsad volym, vilket gör dem mindre lämpliga för större kommersiella system eller för fisk som behöver mer utrymme. Detta är en annan nackdel som orsakas av den begränsade volymen hos IBC:er. De smala öppningarna på IBC-tankar kan göra det svårt att komma åt alla områden inom tanken, vilket är en annan anledning till att rengöring av dessa tankar kan vara något tufft. IBC:er är ett bra alternativ för att odla robusta fiskarter som tilapia, mal och koi, som kan anpassa sig till minskade vattenvolymer och olika förhållanden. Trots dessa begränsningar är IBC:er ett utmärkt val för att odla dessa fiskarter.



Figur 11. En IBC (Euro-cube) som används för fiskodling i ett akvaponiskt system.

Återanvända akvarier

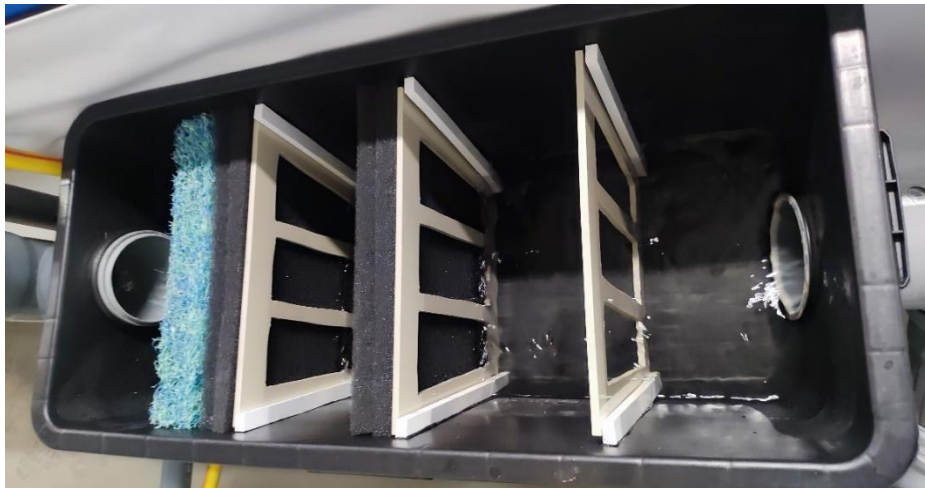
Återanvända akvarier används ofta i små akvaponiska system som är inomhus. Dessa system inkluderas ofta i utbildnings- eller dekorativa sammanhang. Både glas och akryl används vanligtvis vid konstruktion av dessa tankar. Båda materialen ger utmärkt sikt, vilket gör det enkelt att kontrollera

fiskens hälsa och vattnets klarhet. Akvariernas estetiska tilltal gör dem utmärkta för demonstrationsprojekt eller hembaserade system där fiskarna och växterna ska visas upp. Andra användningsområden inkluderar demonstrationsprojekt. Även om akvarier finns i ett brett utbud av storlekar, är deras kapacitet vanligtvis begränsad jämfört med andra typer av tankar. Som ett resultat är akvarier inte idealiska för odling av större fiskar eller större mängder fisk. Dessutom är glasakvarier ömtåliga och benägna att spricka eller gå sönder om de inte hanteras varsamt. Även om akryl-akvarier är mer robusta, kan de bli repiga med tiden, vilket kan minska deras estetiska tilltal. Akvarier är dessutom ganska dyra, särskilt när tankens storlek ökar. Detta kan vara en begränsande faktor för dem som vill utöka sina system. Trots dessa begränsningar är akvarier ett utmärkt val för att hålla mindre och dekorativa fiskarter som guldfisk och koi. Större fiskarter, som tilapia, kan också hållas i större akvariesystem, förutsatt att vattenkvaliteten noggrant regleras.

Valet av rätt typ av fisktank för ett akvaponiskt system är av största vikt för att garantera systemets övergripande framgång. Varje tanktyp har sina egna fördelar och nackdelar som kan påverka vattenkvaliteten, fiskarnas hälsa och systemets underhåll. Plast- och IBC-tankar är idealiska för mindre system och erbjuder kostnadseffektivitet, medan fiberglas- och betong-tankar erbjuder hållbarhet och skalbarhet för större verksamheter. Plast-tankar är också lämpliga för användning i mindre system. Även om de är robusta, behöver metall-tankar vara belagda och isolerade. Återanvända akvarier är perfekta för utbildnings- eller dekorativa syften tack vare sin mångsidighet. Valet av fisktank bör vara anpassat efter systemets specifika krav, inklusive vilken typ av fisk som odlas, systemets skala, flexibilitet för expansion och den tillgängliga budgeten

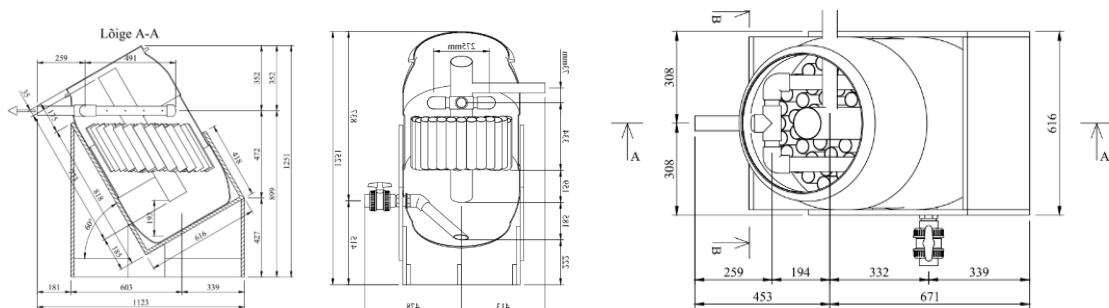
3.2. Borttagning av slam, mekaniska filter

Det är viktigt att hantera organiskt avfall, såsom foderrester, döda fiskar och avföring, i akvaponiska system för att säkerställa systemets hälsa och vattenkvalitet. Utloppsboxen, som ibland kallas för tankrensare, är ett av de primära verktygen för att hantera avfall i fisktankar. Denna enhet samlar och tar bort fast avfall, vilket minskar risken för organisk uppbyggnad som kan påverka vattenkvaliteten och säkerställer att vattnet förblir renare. Även om vissa system ursprungligen är designade med utlopp-boxar, kan behovet av dessa enheter uppstå till följd av förändringar, som byten av fiskarter, eftersom vissa arter kan producera mer avfall eller ha olika miljökrav. Utloppsbehållare fungerar också som indikatorer på fodereffektivitet och fiskarnas välbefinnande. Om överskottsfoder eller döda fiskar börjar samlas i utlopp-boxen kan detta indikera överutfodring, hög täthet av fisk, miljömässig stress eller uppkommande hälsoproblem inom fiskpopulationen (figur 12).



Figur 12. Ett mekaniskt filter för avlägsnande av slam i ett akvaponiskt system.

Avlägsnande av sediment är nästa prioritet efter att avfall lämnar tanken och utförs ofta med hjälp av trumfilter eller lamellseparatorer (Figur 13). Lamellseparatorer är särskilt användbara i system med låg vattenomsättning och minskad vattengenomströmning, eftersom de är utformade för att bromsa vattenflödet, vilket underlättar effektiv sedimentering av fasta partiklar. I dessa konfigurationer blir avlägsnandet av sediment mer effektivt, vilket skapar en renare miljö och minskar belastningen på efterföljande biofiltrering. De vinklade plattorna i en lamellseparator främjar sedimentering, vilket bidrar till att avlägsna fasta avfallsämnen och bibehålla näringsbalansen och vattnets klarhet i systemet.



Figur 13. Lamellseparator som används i EULS (Estonian University of Life Sciences) experimentella akvaponiska enhet.

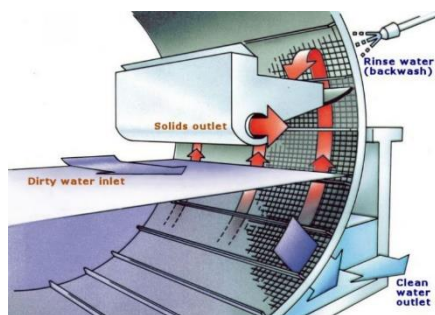
En annan värdefull lösning för mer kompakta och självständiga filtreringssystem är kombifilter (Figur 14), som är utformade för att bibehålla vattenkvaliteten genom att avlägsna organiska partiklar på en mindre yta. Kombifiltrets kapacitet och storlek bestäms av biomassan hos fisken och volymen av akvakultursystemet. Detta är nödvändigt eftersom bärarmaterialet för biofilm i filtret måste kunna hantera den maximala dagliga fodermängden. Detta gör kombifilter till det optimala valet för medelstora system som kräver effektiv filtrering för att upprätthålla en god vattenkvalitet, trots begränsat utrymme.



Figur 14. Mekaniska filter och biofilter för mekanisk avlägsning av slam från fiskbassängen.

Trumfilter är bland de mest sofistikerade och effektiva filtreringssystemen som finns tillgängliga för kommersiella akvaponiska system i större skala (Figur 15). Trumfilter är avgörande för att minska den organiska avfallsbördan i akvakultursystemet, eftersom de mekaniskt filtrerar vattnet som lämnar fiskbassängerna. Mikroskärmsfilter med finmaskigt nät, vanligtvis i intervallet 20 till 100 mikrometer, används av nästan alla moderna recirkulerande fiskodlingar för att eliminera även de minsta organiska partiklarna.

Trumfiltret, den vanligaste typen av mikroskärmar, är utformat för att varsamt och effektivt avlägsna avfallspartiklar genom kontinuerlig rotation. Vattnet passerar genom mikroskärmen när det kommer in i trumman, drivet av skillnaden i vattennivåer inuti och utanför trumman. Organiska partiklar fastnar på skärmen och transporteras till ett bakspolningsområde av trummans rotation. Högt tryck från vattenstrålar sprutar från utsidan och avlägsnar partiklarna till ett uppsamlingstråg för slam. Detta slam, som innehåller koncentrerat organiskt material, kan antingen användas inom akvaponiksystemet som ett näringsrikt tillskott för växter eller ledas ut från det recirkulerande akvakultursystemet för vidare behandling.



Figur 15. Ett trumfilter för avlägsnande av slam.

Mikroskärmsfiltrering ger många fördelar som bidrar till stabiliteten och effektiviteten hos akvaponiska system. Dessa filter förhindrar igensättning och ökar effektiviteten och livslängden hos biofiltreringsprocesser genom att minska den organiska belastningen på biofiltren. Vidare förbättras vattenkvaliteten genom att organiska partiklar avlägsnas, vilket ökar vattnets klarhet och därmed skapar bättre förutsättningar för nitrifikationsprocessen. Nitrifikation är en avgörande process som omvandlar ammoniak till nitrater, vilka används som näring av växterna. Växternas tillväxt och fiskarnas hälsa påverkas direkt av den stabilitet som effektiv mikroskärmsfiltrering ger, eftersom

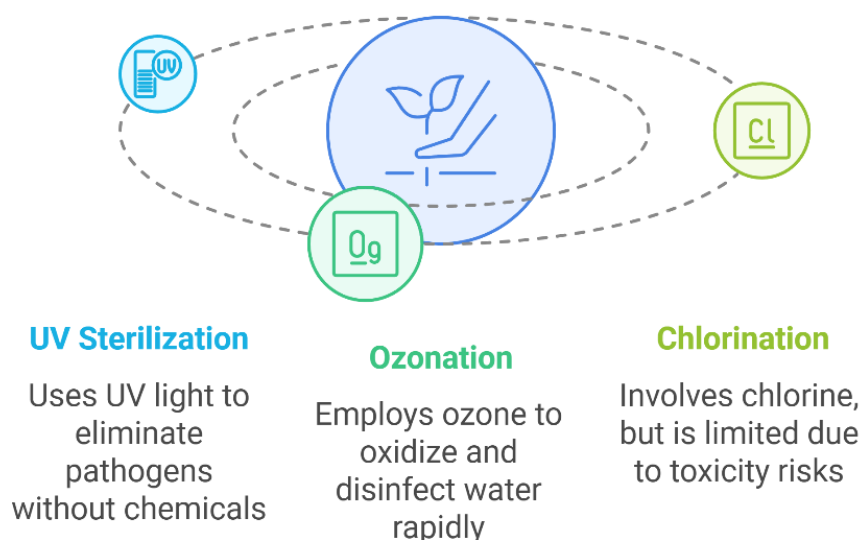
den balanserade vattenkvaliteten stöder det övergripande ekosystemet i akvaponiska system. Detta leder till ökad produktivitet och hållbarhet.

3.3. Desinfektion och syresättning av vatten

Att upprätthålla god vattenkvalitet i akvaponiska system är av yttersta vikt eftersom både fiskens och växternas liv är starkt beroende av rent, syrerikt vatten. Syresättning och desinfektion är två vattenhanteringsmetoder som spelar en central roll. Desinfektion hjälper till att förhindra att skadliga infektioner och toxiner påverkar systemet, medan syresättning säkerställer att fisken har tillräckligt med syre för att växa. Båda strategierna är avgörande för att skapa en balanserad och hälsosam miljö inom systemet. Alternativa metoder kan dock användas beroende på akvaponiksystemets storlek, komplexitet och mål.

Metoder för vattendesinfektion i akvaponik

Desinfektion av vattnet som används i akvaponik syftar till att förhindra ansamling av skadliga patogener, bakterier och andra föroreningar som kan vara skadliga för både fisk och växter. Även om akvaponiksystem till stor del är självreglerande, med hjälp av bakterier som bryter ner fiskavfall till växnäring, är det fortfarande viktigt att vidta åtgärder mot mikroorganismer som kan vara giftiga för växter. Det är vanligt att använda flera olika metoder för desinfektion av vatten, var och en med sina fördelar och nackdelar (Figur 16).



Figur 16. En sammanfattning av metoder som används för vattensterilisering.

Ultraviolett (UV) sterilisering

Inom akvaponik anses ultraviolett (UV) sterilisering vara en av de mest effektiva metoderna för att desinficera vatten och används ofta. UV-sterilisatorer fungerar genom att exponera bakterier, virus och parasiter för UV-strålning, vilket skadar deras DNA och hindrar dem från att reproducera sig. Eftersom metoden inte använder några kemikalier är den särskilt lämplig för akvaponiksystem, då den inte introducerar skadliga ämnen som kan påverka fisken eller växterna. Dessutom förändrar UV-sterilisering varken pH, syrenivåer eller andra kemiska egenskaper hos vattnet, vilket gör den icke-invasiv.

UV-sterilisering är effektiv för att eliminera många typer av patogener, särskilt i recirkulerande system där vattnet kontinuerligt filtreras genom sterilisatorn. Detta hjälper till att förhindra sjukdomsutbrott som exempelvis kolumnaris och fenröta, som annars snabbt kan spridas bland fiskarna. Dock påverkar vattenkvaliteten hur effektiv UV-steriliseringen är. Grumligt eller smutsigt vatten kan blockera UV-strålningen och minska sterilisatorns verkan. För att upprätthålla en jämn prestanda krävs regelbunden underhållning av UV-sterilisatorn, inklusive byte av lampor. Trots underhållsbehovet är UV-sterilisering särskilt användbar i större system där sjukdomsspridning kan få allvarliga konsekvenser.

Ozonbehandling

Ozonbehandling är en annan desinfektionsmetod som lämpar sig väl för kommersiella eller storskaliga akvaponiksystem. Metoden innebär att ozon (O₃), en mycket reaktiv form av syre, injiceras i vattnet för att eliminera bakterier, virus och svamp. Ozon oxiderar organiska material, vilket omvandlar patogener och föroreningar till mindre skadliga ämnen. Denna metod är särskilt effektiv i system med hög fiskbelastning eller där det är svårt att upprätthålla vattenkvalitet.

En fördel med ozonbehandlingen är att den renar vatten helt utan att lämna skadliga restprodukter. Efter reaktionen bryts ozon ned till vanligt syre, vilket kan öka syrehalten i vattnet. Däremot är installation och underhåll av ozonbehandlingssystem kostsamma. Produktionen av ozon kräver specialiserad utrustning, och felaktig hantering av ozongas kan vara farlig, eftersom höga koncentrationer är giftiga för både fisk och människor. Därför används ozonbehandling oftast i avancerade kommersiella system där fördelarna med snabb och komplett desinfektion överväger kostnader och komplexitet.

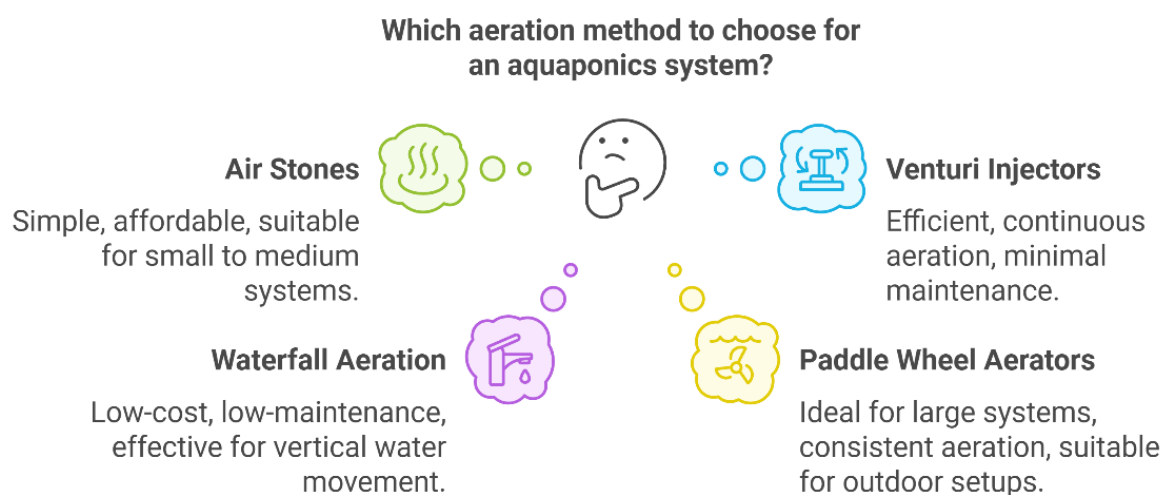
Klorering

Trots att klorering är en vanlig metod inom många vattenreningsprocesser används den sällan i akvaponiksystem på grund av dess negativa påverkan på både fisk och växter. Även små mängder klor kan orsaka stress eller död hos vattenlevande organismer. Dock kan klorerat vatten ibland användas i inledande rengöringssteg för tankar eller utrustning, men det måste fullständigt avkloreras innan det introduceras i systemet. Detta kan göras med kemiska neutraliserare som natriumtiosulfat eller genom att låta vattnet stå så att klore avdunstar.

Den största nackdelen med klorering är risken för att störa den ekologiska balansen i akvaponiksystemet. Nyttiga bakterier som omvandlar ammoniak till nitrit och nitrat är mycket känsliga för klor, och även kortvarig exponering kan störa kvävecykeln. Därför är klorering inte en föredragen desinfektionsmetod inom akvaponik, förutom i mycket sällsynta och kontrollerade situationer där vattnet behandlas separat och helt avkloreras innan det används.

Metoder för syresättning i akvaponik

Förutom desinfektion krävs en lämplig mängd syre i akvaponiksystem för att stödja fiskens hälsa och de biologiska processer som håller systemet igång. Fisk, växter och nyttiga mikroorganismer behöver alla syre för att fungera optimalt, vilket gör syresättning till en kritisk process. Brist på syre kan leda till att fisk kvävs, växter vissnar och kvävecykeln störs, vilket kan orsaka ansamling av ammoniak som är skadlig för fisken. Beroende på systemets storlek och komplexitet används olika metoder för syresättning för att bibehålla optimala syrenivåer (Figur 17).



Figur 17. En sammanfattning av tekniker för vattenluftning som vanligtvis används inom akvakultur.

Syrestenar och utspridare

Luftstenar och utspridare är två av de vanligaste och mest kostnadseffektiva metoderna för syresättning inom akvaponik (Figur 18). Luftstenar är porösa stenar som används för att skapa små

bubblor av luft som pumpas in i vattnet. Dessa bubblor ökar vattenytans exponering för syre, vilket underlättar att syret löses upp fullständigt i vattnet. Luftstenar är vanligtvis anslutna till luftpumpar via slangar och placeras på botten av fisk- eller sumpbehållare för att säkerställa att syre fördelas jämnt i systemet.

En av de största fördelarna med luftstenar är deras enkelhet och låga kostnad. De är lätta att installera, underhålla och byta ut, vilket gör dem lämpliga för små och medelstora system. Luftstenar är särskilt fördelaktiga i grunda tankar eller system med begränsat vattenflöde, där syrenivåerna annars kan bli låga, eftersom de effektivt kan återställa syrenivåerna. Effektiviteten hos luftstenar kan dock variera beroende på storleken på stenen och kristallens kvalitet. För att säkerställa tillräcklig syresättning kan större system kräva flera luftstenar eller kraftfullare utspridare. Luftstenar kan med tiden täppas igen av alger eller sediment, vilket gör det nödvändigt att rengöra eller byta ut dem regelbundet för att upprätthålla en god funktion³.



Figur 18. Luftstenar för syresättning av vatten.

Venturi-injektorer

En annan vanlig syresättningsteknik är användningen av Venturi-injektorer, som är särskilt användbara i större eller mer komplexa akvaponiksystem. Venturi-effekten är en princip som innebär att vatten tvingas genom ett smalare rör, vilket skapar ett vakuum som tvingar luft att komma in i vattnet. Detta skapar en fin dimma av luftbubblor, vilket är en mycket effektiv metod för att öka mängden syre i vattnet. Venturi-injektorer kan integreras i vattenflödet i systemet och placeras ofta där vattnet pumpas mellan tankar eller genom filter.

En fördel med Venturi-injektorer är att de kan syresätta vatten utan att behöva extra pumpar eller utrustning. Eftersom de använder det vattenflöde som redan finns i systemet, kan de ge kontinuerlig syresättning med minimal underhåll. Dessutom producerar de mycket små bubblor, vilket ger en stor yta för syreutbyte, vilket gör dem mer effektiva än vanliga luftstenar. För att Venturi-injektorer ska fungera optimalt kan korrekt kalibrering och underhåll behövas. Dessa injektorer är också mest lämpliga för system med kraftfulla vattenpumpar och kan vara mindre effektiva i system med lågt vattenflöde eller tryck. Det finns instruktioner för hur man skapar Venturi-injektorer eller så kan de köpas som färdiga lösningar⁴.

Vattenfall eller stänkluftning

Vid vattenfall eller stänkluftning tillåts vattnet att falla från en höjd eller stänka över en yta, vilket skapar turbulens och exponerar mer av vattnet för luft (Figur 19). Denna typ av luftning är en mer

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

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

passiv metod för syresättning. I akvaponiksystem används denna teknik ofta organiskt i system som innehåller kaskadvattenfunktioner eller där vatten pumpas mellan olika nivåer av tankar. Ett bra exempel på detta är när vatten stänker från en fisktank till en sump eller växtbädd, vilket gör att vattnet luftas och tillför syre.

Vattenfalls-luftning är en lösning som både är kostnadseffektiv och kräver lite underhåll, och det är mycket effektivt för system som redan integrerar vertikalt vattenflöde. Dessutom fungerar det bäst i system med större vattenflödes hastigheter, där mängden vatten som luftas är tillräcklig för att möta syrebehoven för både fiskar och växter. Däremot kan det vara otillräckligt i tätt befolkade system, där ytterligare luftning kan behövas för att hålla syrenivåerna på en tillräcklig nivå. Vatten som faller från stora höjder kan även orsaka överdriven stänkning, vilket kan leda till vattenförlust och kräva noggrant planering för att minimera spill.⁵



Figur 19. Ett exempel på en flytande stänk-/vattenfalls-luftsanordning.

Paddelhjulsluftare

Särskilt i utomhus- eller dammbaserade akvaponiksystem används paddelhjulsluftare ofta i stora kommersiella akvaponiksystem (Figur 20). Dessa luftare använder mekaniska paddlar för att röra upp vattenytan, vilket ökar kontakten mellan vatten och luft, och därmed ökar mängden syre som absorberas. I de flesta fall drivs paddelhjulen av elektricitet eller solenergi, och de kan effektivt syresätta enorma mängder vatten.

En av de största fördelarna med paddelhjulsluftare är deras förmåga att syresätta stora ytor. Därför är dessa luftare mycket väl lämpade för system som innehåller stora vattenmassor, som fiskdammar eller stora tankar. De kan ge en konsekvent och pålitlig syresättning, vilket är särskilt viktigt i system med hög fiskbeståndstäthet. Paddelhjulsluftare är dock relativt dyra att köpa och underhålla, och de mekaniska delarna i dessa maskiner kan behöva servas ofta för att maximera deras livslängd. Dessa system är också bättre lämpade för utomhusapplikationer, där mängden tillgängligt utrymme och vattenvolym är tillräcklig för att rättfärdiga deras användning.

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



Figur 20. Paddelhjuls-luftsanordningar i storskaliga akvakultur-enheter.

När det gäller effektiviteten i ett akvapponiksystem är både vattendesinfektion och vattensyresättning absolut nödvändiga komponenter som bidrar till systemets övergripande framgång. Ozontillförsel och ultraviolett (UV) sterilisering är två exempel på desinfektionsprocesser som hjälper till att hålla mikroorganismer borta utan att störa den känsliga balansen i systemet. Luftningstekniker, å andra sidan, säkerställer att det finns tillräckligt med syre för tillväxten av fiskar, växter och mikroorganismer som är fördelaktiga för miljön. Det måste alltid finnas en tillräcklig nivå av luftning, oavsett om luftstenar, Venturi-injektorer eller mer avancerade system som paddelhjulsluftare används.

4. Val av fiskarter

Nedan presenterar vi de huvudsakliga egenskaperna hos några utvalda fiskarter för att vägleda valet av art. Valet är kopplat till miljöförhållandena och beror på ekonomiska överväganden samt marknadsundersökning.

De begrepp och parametrar som används är följande:

➤ **SGR, Specific Growth Rate (Specifik tillväxthastighet)**

Det är en parameter som representerar den procentuella ökningen av fiskens vikt per dag. Beräknas enligt:

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

där:

- W_0 [g] = vikten i gram vid periodens början;
- W_t [g] = vikten i gram vid periodens slut;
- t [d] = period, uttryckt i antal dagar;
- $\ln$ = naturlig logaritm.

➤ **TGC, Thermal unit Growth Coefficient (Termisk tillväxtkoefficient)**

Ett mått på daglig tillväxt under varje period som tar hänsyn till temperaturen. Beräknas enligt:

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

där:

- W_2 = vikt (g) vid tidpunkt 2 (periodens slut);
- W_1 = vikt (g) vid tidpunkt 1 (periodens början);
- $^\circ D$ = Graddagar, summan av dagliga temperaturer i $^\circ C$ mellan t_1 och t_2 (eller periodens längd i dagar multiplicerat med medeltemperaturen under perioden).

➤ **FCR, Feed Conversion Rate (Foderomvandlingskvot)**

Detta representerar mängden foder som krävs för att producera en enhets vikt av fisk.
Beräknas enligt:

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

där:

W_t = vikten under en viss period

4.1. Laxartade fiskar

Regnbåge (Oncorhynchus mykiss)

Regnbåge är en laxfisk som ursprungligen kommer från västkusten av Nordamerika. Den är lätt att odla och har en utmärkt smak. Precis som alla laxartade är regnbågen känslig för låga syrenivåer och höga temperaturer. Ett stabilt pH-värde, hög syrehalt och kontinuerlig vattencirkulation säkerställer detta. Regnbåge slaktas efter 10–12 månader under optimala växtförhållanden. Denna fisk omvandlar foder till kött (foderkoefficienten) effektivt och är lätt att få tag på som yngel/smolt. Det är ganska vanligt att slakta regnbåge strax över 2 kg, men idag odlas den ofta till 800–1500 g. Detta gör det möjligt att förkorta produktionstiden innan slakt och minskar konkurrensen med stora atlantlaxar. Fisk som odlas i akvaponik konkurrerar med fiskodlad lax i havsburar på marknaden. Därför är det viktigt att göra noggranna och realistiska ekonomiska beräkningar för att säkerställa att försäljningen kan stödja de högre kostnaderna som är förknippade med RAS och akvaponik.



Figur 21. Regnbåge (*Oncorhynchus mykiss*).

Tabell 1. Optimala tillväxtförhållanden och andra parametrar för regnbåge odlad i akvaponiksystem.

Farming temperatures:	10 – 20 °C
Optimal temperature:	16 °C
pH:	6.5 – 8.5
Oxygen concentration:	DO > 6.5 mg/L; 100% saturation
Recirculation degree:	2 – 3 times/h
Availability of eggs/fries:	Yes
Diet and Feed:	Carnivorous species. There is special feed for trout, and it is easy to find out information.
SGR (Specific Growth Rate):	1.2 – 3.0
TGC (Thermal Unit Growth Coefficient):	2.5 – 3.0
FCR (Feed Conversion Rate):	0.9 – 1.1
Density:	30 – 60 kg/m ³

Time to reach the slaughter weight:	10 – 12 months depending on the temperature, the initial weight, and the desired weight for slaughter.
Slaughter weight:	800 – 1500 g
Water use per day and per kg of fish at 2 percent filling and density of 50 kg/m³:	0.4 L

Atlantlax (Salmo salar)

Lax är också en mycket god fisk att odla och har bra tillväxthastigheter. Men om du vill odla denna fisk till full storlek kommer du att behöva en stor fisktank för att den ska trivas.

Laxen tar cirka två år på sig för att nå slaktstorlek. Du måste hålla vattentemperaturen mellan 12 °C och 16 °C, och vattnet kommer att behöva recirkuleras.



Figur 22. Atlantlax (*Salmo salar*).

Tabell 2. Optimala tillväxtförhållanden och andra parametrar för Atlantlax odlad i akvaponiksystem.

Farming temperatures:	7 – 20 °C
Optimal temperature:	12 – 16 °C
Availability of eggs/fries:	Yes
Diet and Feed:	Yes
SGR (Specific Growth Rate):	1.25 – 1.35
TGC (Thermal Unit Growth Coefficient):	2.0 – 3.0
FCR (Feed Conversion Rate):	1.0 – 1.3
Density:	30 – 60 kg/m ³
Slaughter weight:	4000 – 5000 g

Fjällröding (Salvelinus alpinus)



Figur 23. Fjällröding (*Salvelinus alpinus*).

Tabell 3. Table 4. Optimal growth conditions and other parameters for Fjällröding grown in aquaponics system.

Farming temperatures:	12 – 14 °C
TGC (Thermal Unit Growth Coefficient):	1.65 – 3.0
FCR (Feed Conversion Rate):	1.0 – 1.4
Density:	30 – 80 kg/ m ³
Slaughter weight:	1000 – 1500 g

4.2. Aborrfiskar (aborre och gös)

Aborre (Perca fluviatilis)

Aborre betraktas som en varmvattenart eftersom den optimala temperaturen för tillväxt är över 20 °C. Något speciellt med arten är dock att den också klarar kallt vatten, ända ner till eller strax över 0 °C. Arten är mycket anpassningsbar och anses därför ha goda möjligheter inom odling. Abborroddlingssystem i RAS (Recirculating Aquaculture Systems) sker för närvarande i liten skala i Sverige, men på något större skala utomlands, exempelvis i Irland, Belgien, Frankrike och Schweiz. "Yellow perch" odlas också i storskaliga anläggningar i USA.

Precis som de laxarter som diskuterats ovan är abborren en rovfisk och behöver en stor andel protein i sitt foder. Proteinbehovet minskar med fiskens storlek, men det bör fortfarande nämnas när hållbart vattenbruk diskuteras. Dock pågår mycket forskning och utveckling inom foderindustrin, och mer vegetabiliskt protein används i fodret. Andra proteinkällor används också, såsom musslor, jäst, mikroorganismer, insekter eller restprodukter från livsmedelsindustrin, för att minska användningen av vildfångad fisk i fodret.

En nackdel som ofta nämns vid odling av aborre och andra varmvattenarter i nordliga breddgrader är kostnaden för att värma vattnet till optimal temperatur för fiskens tillväxt. Denna kostnad blir mindre ju högre grad av recirkulation man har. Pumpar, maskiner, inomhusklimatkontroll och stora mängder uppvärmt vatten avger värme i odlingsmiljön, vilket hjälper till att minska uppvärmningskostnaderna. En annan lösning som bör övervägas är industriell symbios, särskilt möjligheten att använda spillvärme från andra industrier för att värma upp akvaponikanläggningen.



Figur 24. Aborre (*Perca fluviatilis*)

I vissa anläggningar kan kylning vara en större kostnad än uppvärmning av vatten, särskilt när det gäller laxarter. Alla dessa aspekter gör abborren, med sin stora tolerans för temperaturvariationer, till en mer intressant art för RAS. Den svenska marknaden är angelägen om att få abborrefilé, vilket ger odlaren ett högre mervärde. Med ett filéutbyte på cirka 35–40 % blir förlusten upp till 60–65 % av den

producerade vikten, men denna förlust är inräknad i priset. Abborrefilé av god kvalitet kan säljas till ett högt pris som täcker de extra kostnaderna och viktförlusten.

Priset på abborre kan också variera beroende på mängden vildfångad fisk på marknaden. En fördel med RAS är dock att odlaren kan planera sin verksamhet och slakt så att det inte sammanfaller med en period av låga marknadspriser.

Tabell 5. Optimala tillväxtförhållanden och andra parametrar för abborre odlad i akvaponiksystem.

Farming temperatures:	16 – 28 °C
Optimal temperature:	23 – 26 °C
pH:	6.5 – 8.5
Oxygen concentration:	4.0 – 10.0 mg/l
Recirculation degree:	1 – 3 times/h
Availability of eggs/fries:	No - collects rum from the wild stock.
Diet and Feed:	Carnivorous species. Special feed is available.
TGC (Thermal Unit Growth Coefficient):	0.6 – 1.6
FCR (Feed Conversion Rate):	1.1 – 1.4
Density:	40 – 70 kg/m ³
Time to reach the slaughter weight:	About 12 months.
Slaughter weight:	300 – 400 g
Water use per day and per kg of fish at 2 percent filling and density of 50 kg/m³:	0.33 l

Gös (*Sander lucioperca*)

Det finns naturliga bestånd i nästan hela Europa och upp till södra Norrland i Sverige. Gös är en sötvattensrovfisk som ganska snabbt efter kläckning börjar äta andra fiskar. Detta kan ses som en nackdel i odlingssammanhang eftersom gösen är kannibalistisk. I landbaserad odling med kontrollerade tillväxtförhållanden är det dock möjligt att vidta åtgärder för att minska effekten av kannibalism. Sortering efter storlek är en åtgärd för att upprätthålla en jämn kroppsstorlek mellan individer. Gösar av samma storlek som odlas under hög densitet betar sig som stimfiskar, och detta, tillsammans med god tillgång till foder, minimerar kannibalismen.

Gös producerar mycket rom, men precis som för abborre används idag rom från vildfångade bestånd i odlingen. Det finns dock goda möjligheter att genom avelsarbete förändra beteendet och/eller öka antalet jämnstora individer. Det görs stora investeringar i gösodling i RAS inom Europa, exempelvis i Danmark och Nederländerna. Eftersom intresset för gös verkar öka pågår arbete för att utveckla en avlad gös som är bättre anpassad för odling, med snabbare och jämnare tillväxt mellan individer och minskad kannibalism.

Gös, som ofta odlas till en vikt på mellan 1–1,5 kg, kan säljas som rensad fisk utan att behöva vidareförädlas till filéer. Detta innebär att utbytet blir upp till 85–90 % av den totala fiskvikten, och med ett bra pris i livsmedelsbutiker kan detta ge god lönsamhet i verksamheten. Gös kan slaktas efter 15–18 månader beroende på bland annat vattentemperatur och målvikt för slakt. Det tar något längre tid för gös än för abborre att nå slaktstorlek, men den växer också snabbare och till en större storlek i slutändan. Detta gör gösen till en intressant fiskart i RAS, där odlingsperioden sannolikt kan förkortas i takt med att vi lär oss mer om gösens beteende under odlingsförhållanden.



Figur 25. Gös (*Sander lucioperca*).

Tabell 6. Optimala tillväxtförhållanden och andra parametrar för gös odlad i akvaponiksystem.

Farming temperatures:	16 – 28 °C
Optimal temperature:	23 – 28 °C
pH:	6.5 – 8.5
Oxygen concentration:	4 – 10 mg/L
Recirculation degree:	1 – 3 times/h
Availability of eggs/fries:	No - collects rum from the wild stock.
Diet and Feed:	Carnivorous species. Special feed is available.
TGC (Thermal Unit Growth Coefficient):	0.8 – 1.7
FCR (Feed Conversion Rate):	1.1– 1.5
Density:	40 – 80 kg/m ³
Time to reach the slaughter weight:	About 6-12 months 100 g to 600 g (16-22 °C)
Slaughter weight:	600 – 1500 g
Water use per day and per kg of fish at 2 percent filling and density of 50 kg/m³:	0.33 l

4.3. Sibirisk Stör (*Acipenser baeri*)

Sibirisk stör (*Acipenser baeri*) är en uråldrig fiskart som har förblivit nästan oförändrad sedan dess första fossil påträffades för omkring 250 miljoner år sedan. Det finns 27 störarter i familjen *Acipenseridae*, spridda över subtropiska, tempererade och subarktiska regioner i Nordamerika och Eurasien. De flesta störarter är anadroma och tillbringar större delen av sitt vuxna liv i flodmynningar, men simmar uppströms för att para sig och leka. Detta sker dock endast under rätt förhållanden och inte varje år efter att de nått könsmognad. Hos vilda populationer tar det mellan 11 och 24 år för hanar och 20–28 år för honor att bli könsmogna. Sibirisk stör, som är den mest odlade stöarten, producerar kaviar vid en tidigare ålder. Under optimala odlingsförhållanden blir sibirisk stör könsmogen inom 5–8 år. Intresset för störlproduktion i RAS har ökat under de senaste åren. I Finland finns en operativ störfarm sedan 2005, där spillvärme från en pappersfabrik används och vattnet återcirkuleras till över 99 procent. Där produceras både kaviar och kött från sibirisk stör och beluga. Förutom i Finland odlas sibirisk stör även i bland annat Ryssland, Kina, Polen, Spanien, Tyskland, Italien, USA, Belgien och Ungern. I Sverige har två RAS-baserade störfarmer etablerats under de senaste åren. Båda kommer att producera kött och framför allt den eftertraktade lyxprodukten kaviar för försäljning i Sverige, Ryssland och övriga världen. Störens anpassningsförmåga till olika miljöer gör den hållbar för odling i RAS. Störar kräver klart och syrerikt vatten men kan även hantera lägre syrenivåer under kortare perioder.

Stör kan odlas i hög densitet (upp till 80–90 kg/m²) om vattenkvaliteten hålls tillräckligt god, men trivs och växer bäst vid en lägre densitet på omkring 15–25 kg/m². Eftersom stör odlas både för kött och kaviar är det viktigt att kunna bestämma fiskens kön. Utseendemässigt är det svårt att se någon skillnad mellan hanar och honor, vilket gör att könsbestämning oftast sker med hjälp av ultraljud eller biopsi. Hanar och honor separeras därefter vanligtvis, där hanarna föds upp för köttproduktion och slaktas vid en tidigare ålder, medan honor används för kaviarproduktion under en längre period. Vissa odlingar använder honor för kaviarproduktion flera gånger, medan andra slaktar honorna för kött efter att de har producerat kaviar en gång.

Honor producerar inte rom varje år och är inte synkroniserade inom en kohort. Andelen honor som producerar rom i en grupp kan variera mellan 35 och 63 procent årligen, vilket leder till en ojämn produktion som bör beaktas vid planering. Geosmin, en lukt som härrör från bakterier i biofiltret och kan ge en bismak till fisk som odlas i akvaponik, kan också vara problematisk för störkött och framför allt kaviar. Stör föredrar att äta från botten av tanken, vilket innebär att tankarna inte behöver vara djupa – ett djup på 1–1,5 meter är tillräckligt. Däremot behöver störrarna bottenyta för att hitta sin föda, vilket gör att densitet ofta beräknas i kvadratmeter snarare än kubikmeter. I praktiken innebär detta att vid 1 meter djupa tankar blir densiteten densamma, men om tankarna är något djupare kan det vara fördelaktigt att ta hänsyn till bottenytan i kvadratmeter, så att störrarna kan få tag i sin föda och växa normalt. Det finns särskilt framtagna pelletsfoder för stör, som näringsmässigt liknar foder för exempelvis regnbåge. Däremot är det viktigt att störpelletts är stabila, sjunker snabbt och inte löses upp för fort, så att dessa tandlösa fiskar kan hitta och äta upp fodret från botten. Stör producerar en mycket värdefull produkt – kaviar – vilket kan vara mycket lönsamt för odlare. Men det tar tid och kräver därför stora investeringar både i tid och pengar. Vissa företag undviker den långa inledande väntetiden genom att köpa in störrar som redan är flera år gamla. Även detta kräver dock en stor investering, eftersom fisken blir dyrare ju närmare den är könsmognad. Det finns en marknad för störkött, framför allt i Östeuropa och Ryssland, och det skulle även kunna marknadsföras på liknande sätt i Sverige.



Figur 26. Sibirisk stör (*Acipenser baeri*).

Tabell 6. Optimala tillväxtförhållanden och andra parametrar för stör odlad i akvaponiskt system.

Farming temperatures:	14 – 24 °C
Optimal temperature:	17 - 20 °C
pH:	6.5 – 7.5
Oxygen concentration:	4 - 6mg/L
Recirculation degree:	1 – 2 times/h
Availability of eggs/fries:	Yes
Diet and Feed:	There is special feed for sturgeon
SGR (Specific Growth Rate):	1.2 – 1.6

FCR (Feed Conversion Rate):	1.5 – 1.8
Density:	15 – 25 kg/m ³
Time to reach the slaughter weight:	About 1 year from 10 g
Slaughter weight:	1300 – 1500 g
Water use per day and per kg of fish at 2 percent filling and density of 50 kg/m³:	1 L

4.4. Afrikansk mal (*Catfish gariepinus*)

Afrikansk mal är en fiskart som växer snabbt, särskilt på den afrikanska kontinenten. År 2014 producerades 237 000 ton mal i Nigeria, men den odlas även i Nederländerna, Ungern, Kenya, Brasilien, Sydafrika och Kamerun (FAO, FishStat). Det finns många olika arter av mal i både Afrika och Asien, och flera av dessa används i fiskodling. Det finns även många olika typer av foder. När intensiv fiskodling började utvecklas på 1970- och 1980-talet i tropiska områden odlades ofta tilapia och mal i samma anläggningar. Det innebär att man kan utfodra malen med avfall från tilapia, men detta skulle sannolikt vara olagligt i Sverige. Hittills har mal enbart odlats i RAS i Sverige. Detta beror naturligtvis på att fisken kräver varmt vatten och därför måste odlas inomhus. Den är en extremt tålig fisk som är motståndskraftig mot många vanliga sjukdomar, kan hantera låga syrenivåer och kan odlas i mycket hög densitet. Liksom flera andra arter av mal kan den dessutom överleva på land under längre perioder genom att använda sin mun som en slags lunga för att andas luft. Namnet kommer från det grekiska ordet *chlaros*, som betyder "livlig", vilket väl beskriver fiskens hårdighet. Afrikansk mal är en allätare, vilket innebär att den kan leva på en hög andel vegetabiliska proteiner i fodret. Den växer extremt snabbt och kan nå en vikt på 1,5–2 kg på sex månader och cirka 3,5 kg efter ett år. Foderomvandlingskoefficienten är något högre än för exempelvis laxfiskar, men detta kan delvis förklaras av att en stor andel av fodret är vegetabiliskt. Precis som för tilapia och andra allätande eller växtätande fiskar möjliggör vegetabiliskt foderproduktion baserad på exempelvis restprodukter från jordbruket. Ojämn tillväxt, särskilt bland yngel, kan vara ett problem om man inte sorterar ofta, eftersom kannibalism är vanligt hos *Clarias gariepinus*. När fisken är runt 12 veckor gammal blir tillväxten dock betydligt jämnare mellan individer, och behovet av regelbunden sortering minskar i takt med att fisken blir större. Dödsfall och sjukdomar utgör heller inget större problem för denna art.



Figur 26. Afrikansk mal (*Clarias gariepinus*).

Tabell 7. Optimala tillväxtförhållanden och andra parametrar för mal odlad i akvaponiskt system.

Farming temperatures:	21 – 34 °C
Optimal temperature:	26 - 30 °C
pH:	6.0 – 8.5
Oxygen concentration:	3.5 – 6 mg/L
Recirculation degree:	1 – 2 times/h
Availability of eggs/fries:	Yes

Diet and Feed:	There is special feed
SGR (Specific Growth Rate):	2.5–3.5
FCR (Feed Conversion Rate):	1.2–1.6
Density:	60–200 kg/m ³
Time to reach the slaughter weight:	8 – 12 months
Slaughter weight:	1500 – 3500 g
Water use per day and per kg of fish at 2 percent filling and density of 50 kg/m³:	0.15 L

4.5. Tilapia (*Oreochromis* sp.)

Tilapia, en afrikansk ciklid, är världens näst mest odlade fisk med en produktion på cirka 3,6 miljoner ton år 2014 (FAO FishStat) och närmar sig snabbt karp, som ligger på första plats. Tilapia är egentligen ett samlingsnamn för en stor grupp fiskar som tillhör flera familjer (*Oreochromis* spp., *Tilapia* spp., *Sarotherodon* spp. och *Alcolapia* spp.). Dessa taxonomiska grupper kan komma att ändras, där *Tilapia* spp. nu klassificeras som en substratlekande fisk, till skillnad från *Oreochromis* spp., som är munruvare. Till skillnad från *Oreochromis* spp. är *Tilapia* spp. mycket aggressiva och revirhävande. *Sarotherodon* spp. och *Alcolapia* spp. kommer troligen att flyttas till släktet *Oreochromis* spp. inom ciklidfamiljen. Tilapia odlas i många delar av världen (>100 länder), särskilt i varmare områden såsom Kina och övriga Asien, många afrikanska länder, Central- och Sydamerika samt USA. USA är den största importören av tilapia (främst från Kina) men producerar även en stor mängd själva.



Figur 27. Tilapia (*Oreochromis* spp.).

Den vanligaste odlade tilapiaarten är niltilapia (*Oreochromis niloticus*), men som nämnts ovan finns det många olika arter som odlas över hela världen. Tilapia är en av de lättaste fiskarna att odla och passar mycket bra i akvaponiska system. Det är en tålig fisk som klarar höga odlingstätheter och växer snabbt till marknadsstorlek, vilken i Sverige ligger mellan 400 g och 1000 g. Som tidigare nämnts är niltilapia en allätare och kan, till skillnad från laxfiskar, överleva och växa utmärkt på foder med 100 procent vegetabiliskt innehåll. Att den inte är beroende av fiskmjöl från vildfångad fisk är en stor fördel när man diskuterar hållbar produktion. Trots detta innehåller nästan allt tilapiafoder fiskmjöl och fiskolja för att öka tillväxttakten och ge filéerna en högre halt av de hälsosamma omega-3-fettsyrorna EPA och DHA. Som nämnts tidigare arbetar fodertillverkare även för att utveckla mer hållbara alternativ, även för rovfiskar, och forskningen på nya proteinkällor som minskar beroendet av vildfångad fisk pågår. På grund av niltilapians snabba tillväxt och reproduktion kan arten bli en framgångsrik invasiv art om den får fäste i naturen. Dock utgör detta inget problem i nordliga breddgrader, särskilt inte i akvaponiska system där fisken hålls inomhus i tankar. Även om den skulle

rymma från anläggningen skulle den inte kunna överleva och reproducera sig i det relativt kalla vattnet. Tack vare dess snabba lekningscykel på 4–6 veckor är tilapia väl lämpad för så kallad "stegvis produktion" (*staggered production*). Detta innebär att fiskar av olika åldrar hålls i separata tankar, där samma antal yngel tillsätts som det antal fiskar som förväntas slaktas. De får sedan växa upp i samma tank under hela sin livstid. På detta sätt minimeras behovet av att flytta fiskarna, vilket resulterar i en jämn och förutsägbar produktion av både fisk och grön biomassa.

Tabell 8. Optimala tillväxtförhållanden och andra parametrar för tilapia odlad i akvaponiskt system.

Farming temperatures:	21 - 36 °C
Optimal temperature:	26 - 32 °C
pH:	6.0 – 8.5
Oxygen concentration:	3.5 – 6.0 mg/L
Recirculation degree:	1 – 2 times/h
Availability of eggs/fries:	Yes
Diet and Feed:	There is special feed for tilapia
SGR (Specific Growth Rate):	2.0 – 3.0
FCR (Feed Conversion Rate):	1.1 – 1.6
Density:	60 – 160 kg/m ³
Time to reach the slaughter weight:	6 – 7 months
Slaughter weight:	400 – 800 g
Water use per day and per kg of fish at 2 percent filling and density of 50 kg/m³:	0.2 L

4.6. Karp (*Cyprinidae spp.*)

Karpen (*Cyprinus carpio*) och andra karpfiskar som kan odlas (silverkarp (*Hypophthalmichthys molitrix*), gräskarp (*Ctenopharyngodon idella*)). Karpen härstammar från Östeuropa och Asien och är för närvarande den mest odlade fiskarten globalt. Karpfiskar är tåliga mot relativt låga syrenivåer och dålig vattenkvalitet samt har en bred tolerans för vattentemperaturer. De kan överleva i temperaturer från så lågt som 4 °C till så högt som 34 °C, vilket gör dem till ett idealiskt val för akvaponik i både tempererade och tropiska områden. Den bästa tillväxthastigheten uppnås vid temperaturer mellan 25 °C och 30 °C. Under dessa förhållanden kan de växa från yngel till slaktstorlek (500–600 g) på mindre än ett år (cirka 10 månader). Tillväxthastigheten minskar dock drastiskt vid temperaturer under 12 °C. Hankarp är generellt mindre än honor men kan ändå bli upp till 40 kg och 1–1,2 m långa i det vilda. Vilda karpar är botten sökande allätare som äter en mängd olika födokällor. De föredrar att äta ryggradslösa djur som vatteninsekter, insektslarver, maskar, mollusker och zooplankton. Vissa herbivora karpfiskar äter även stjälkar, blad och frön från både vattenlevande och landbaserade växter samt förmultnande växtmaterial. Odlad karp kan enkelt tränas att äta pelleterat foder. Karpägg erhålls bäst från kläckerier och specialiserade avelsanläggningar. Till skillnad från tilapia är processen för att producera yngel mer komplicerad, eftersom lek hos honkarp induceras genom hormoninjektion – en teknik som kräver ytterligare kunskap om fiskens fysiologi och erfarenhet. Karp kan enkelt odlas tillsammans med andra fiskarter, vilket har gjorts i århundraden. Traditionellt kombineras herbivora fiskar (gräskarp), planktonätande fiskar (silverkarp) och allätande/detritusätande fiskar (vanlig karp) för att täcka alla födonischer. I akvaponik skulle en kombination av dessa tre arter, eller åtminstone gräskarp tillsammans med vanlig karp, kunna ge en mer effektiv användning av foder. Gräskarpen kan äta både pellets och växtrester, medan den vanliga karpen även kan konsumera organiskt avfall som samlas på botten av tanken. Som nämnts kan karp också odlas i samma anläggning som andra fiskarter för att bredda utbudet till konsumenter, eller eftersom den är relativt enkel att odla, fungera som en "näringsskälla" i ett akvaponiskt system där huvudprodukten ofta är växterna. Tillgången på rötter och

andra växtrester skulle dessutom gynna näringskretsloppet i akvaponiska system, eftersom fiskarnas nedbrytning av detta material och efterföljande mineralisering av avfallet skulle återföra viktiga mikronäringsämnen till växterna.

Andra karpfiskar (prydnadsfisk) guldkarp och koi (*Cyprinus carpio*) produceras främst för prydnadsfiskindustrin snarare än som matfisk. Dessa fiskar har också hög tolerans för varierande vattenförhållanden och är därför bra kandidater för akvaponiska system. De kan säljas till privatpersoner och akvariebutiker för betydligt högre priser som prydnadsfisk jämfört med fisk avsedd för livsmedel. Koi-karp och andra prydnadsfiskar är ett populärt val för vegetarianer som har akvarier. Utöver klimatförhållanden och skötsel av fisken bör valet av karp som odlas i akvaponik baseras på en kostnads-nyttoanalys. Det är viktigt att väga fördelarna med en lättodlad fisk mot nackdelarna med att karp är benrik och generellt sett har ett lägre marknadsvärde än många andra fiskarter.



Figur 28. Karp (*Cyprinus carpio*).

Tabell 9. Optimala tillväxtförhållanden och andra parametrar för karp odlad i ett akvaponiskt system.

Farming temperatures:	15 – 32 °C
Optimal temperature:	26 - 30 °C
pH:	6.5 – 8.5
Oxygen concentration:	3.5 – 6.0 mg/L
Recirculation degree:	1 – 2 times/h
Availability of eggs/fries:	Yes
Diet and Feed:	There is a special feed
SGR (Specific Growth Rate):	1.2–1.4
FCR (Feed Conversion Rate):	1.5–2.8
Density:	40–80 kg/m ³
Time to reach the slaughter weight:	12 – 14 months
Slaughter weight:	400 – 2000 g

4.7. Kräftdjur

Kräftdjur erbjuder fördelar i ett akvaponiskt system. De kan tillsättas tillsammans med vissa fiskarter eller, ännu bättre, hållas i en separat tank, vanligtvis sumpbehållaren. Anledningen till detta är att fiskar ofta attackerar och äter kräftdjur. Kräftdjur kan också odlas som föda för fisk. De livnär sig på dött organiskt växtmaterial på botten av fisktanken och hjälper därmed till att hålla anläggningen ren från suspenderat material. Räkor och kräftor kan även hållas i Deep Water Culture-system under

odlingsflottarna, där de hjälper till att hålla växternas rötter rena. Tillsättning av sötvattensräkor (*Macrobrachium rosenbergii*), kräftor (*Cherax*-arter) och andra räkor i akvaponiska system ger både funktionella och ekonomiska fördelar, men kräver noggrann miljökontroll. Många kräftdjur betar på oäten fiskmat, biofilmer och organiskt avfall, vilket minskar svinn och fungerar som en sekundär gröda. Genom sin näringscirkulerande funktion minskar kräftdjuren belastningen på biofiltret genom att konsumera organiskt material, vilket förbättrar vattenkvaliteten för både växter och fisk. Eftersom kräftdjur är mer känsliga för miljöförändringar än många akvaponiska fiskarter är det avgörande att förstå deras biologiska behov för att framgångsrikt integrera dem i systemet.

Kräftdjur är känsliga för ammoniak, som är skadligt även i låga koncentrationer, vilket gör vattenkvalitetshantering avgörande. För att undvika fysiologisk stress eller död hos kräftdjur bör ammoniaknivåerna vara under 0,5 mg/L och nitritnivåerna under 1 mg/L.

Lösta syrenivåer (DO) är viktiga för andning, utveckling och ömsning, vilket är nödvändigt för kräftdjurens tillväxt och skalbildning. För att möta deras metaboliska behov bör syrekoncentrationen vara över 5 mg/L. Ömsning och bildandet av exoskelettet påverkas av förändringar i pH-värdet i vattnet, som bör ligga mellan 7,0 och 8,0. Snabba pH-förändringar kan orsaka stress på kräftdjurens känsliga exoskelett, vilket kan leda till skalabnormiteter eller död.

Varje art har ett optimalt temperaturområde som påverkar tillväxt, reproduktion och immunförsvar. Sötvattensräkor utvecklas bäst vid 25–30 °C, medan *Cherax*-kräftor trivs vid cirka 20–26 °C. Om temperaturen avviker från dessa gränser kan tillväxten försenas, immunförsvaret försvagas och överlevnaden minska. Om kräftdjur hålls tillsammans med kallvattenfiskar som öring kan segmentering eller användning av termiska regulatorer behövas för att upprätthålla det begränsade temperaturintervallet i system med flera arter. Att hålla kräftdjurens temperatur över 20 °C i kalla akvaponiska system är en utmaning men nödvändigt för att undvika försenad tillväxt och minskad produktivitet.

Eftersom kräftdjur, särskilt flodkräftor, är nattaktiva eller föredrar svagt ljus, är ljusreglering och fotoperiodhantering avgörande. Högentensivt ljus kan orsaka stress och hämma födointag och tillväxt. Ljusa miljöer utan skuggade områden kan göra kräftdjur mindre aktiva och mer mottagliga för sjukdomar. Gömställen, rör och skuggade platser är därför nödvändiga, särskilt under ömsning då kräftdjur är som mest sårbara. Eftersom artfränder kan kannibalisera ömsande individer är sådana skydd viktiga för att upprätthålla en stabil population.

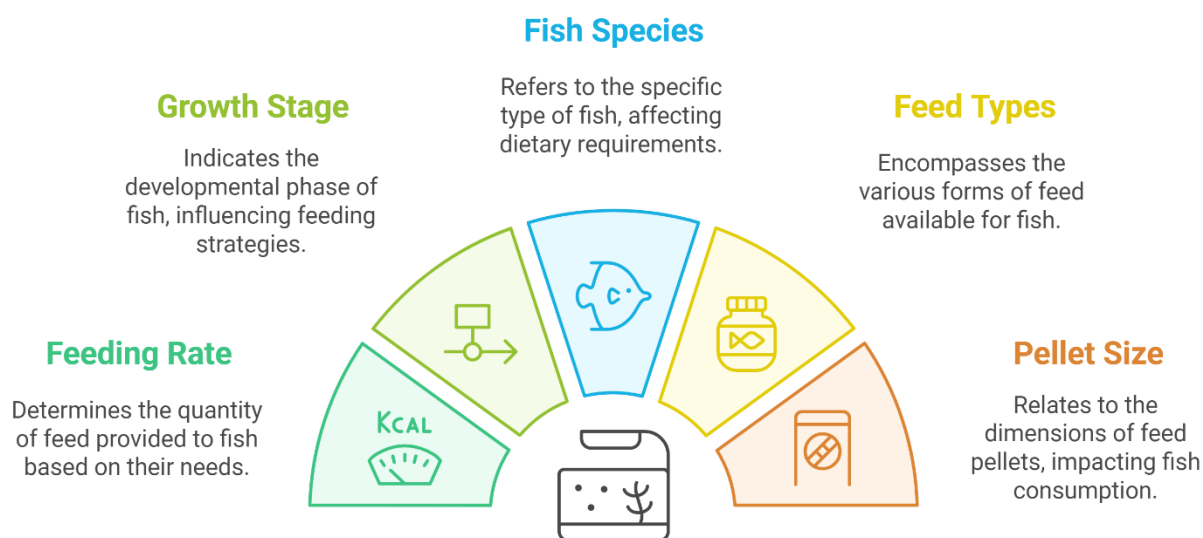
För en god tillväxt behöver kräftdjur i akvaponiska system en balanserad kost bestående av både naturligt födosök och kompletterande näring. I produktiva odlingssystem konsumerar kräftdjur oäten fiskmat och biofilm, men dessa källor räcker sällan för att täcka deras näringsbehov. Sötvattensräkor behöver 35–40 % protein för optimal tillväxt. En varierad kost av både växt- och djurbaserad föda gynnar flodkräftors utveckling. Kräftdjursanpassade pellets, såsom fiskmjöl eller sojabaserat foder, används ofta. Kalciumrika tillskott, såsom krossade skal eller mineralblandningar, stödjer exoskelettbildning och underlättar ömsning. Överutfodring kan leda till snabb ammoniakbildning, vilket gör att rätt utfodringsrutiner är viktiga för både tillväxt och avfallshantering.

När kräftdjur finns i systemet måste biofilm och sedimentation övervakas och kontrolleras för att förhindra syrebrist och infektioner. Regelbunden rengöring av tankar, borttagning av sediment och underhåll av filter är nödvändigt för att förhindra ansamlingar. På grund av sitt födosöksbeteende producerar kräftdjur fasta avfallsprodukter som samlas på tankbotten, vilket kan minskas med sedimentfällor och små mekaniska filter. Eftersom kräftdjur har en högre ämnesomsättning och

avfallsproduktion än fisk ökar belastningen på biofiltret. Därför bör systemen inkludera regelbundna vattenbyten för att upprätthålla optimala vattenförhållanden.

5. Fiskfoder /näring

I akvaponik är upprätthållandet av ett balanserat ekosystem beroende av kvaliteten på fiskfoder och näring. Fiskfoder stöder inte bara fiskens tillväxt och hälsa utan bidrar också indirekt till växternas näringsförsörjning genom fiskens avfall. För att fiskarna ska producera tillräckligt med avfall som innehåller viktiga näringsämnen, såsom ammoniak som omvandlas till nitrat av mikroorganismer för växternas tillväxt, krävs en välbalanserad kost. Optimal fiskutveckling och ett starkt immunförsvar främjas av en näringsrik diet med höga halter av protein, lipider, vitaminer och mineraler. Det är avgörande att reglera vattenkvalitet, fiskens näringsintag och utfodringsmängder för att optimera produktiviteten hos både fisk och växter samt bevara systemets stabilitet (Figur 30).



Figur 29. Sammanfattning av de viktigaste aspekterna vid val av fiskfoder.

5.1. Olika typer av fiskfoder

Valet av lämplig fiskfodertyp eller foderkombination är avgörande för att upprätthålla ett produktivt akvaponiksystem. Akvaponier är till stor del beroende av de näringsämnena som förs in i systemet av fodret och metaboliseras av fisken, därför är noggrann optimering av fiskens kost mycket viktig. Valet av fiskfoder beror till stor del på vilken fiskart du odlar, tillväxtstadiet (fiskens storlek) och de övergripande målen (fisk- eller växtproduktion). Generellt kan tre större kategorier av fiskfoder användas – kommersiell pellets (med flera underkategorier), naturligt och levande foder och hemlagat tillskottsfoder. Alla de tre nämnda kategorierna kan användas i kombination med varandra för att ge fisken en balanserad kost. Kommersiella fiskfodertyper Kommersiellt fiskfoder i allmänhet är skräddarsytt för att möta de specifika kostbehoven hos enskilda fiskarter eller deras tillväxtstadier, optimala utfodringshastigheter säkerställer en sund utveckling och förutsägbara resultat. Nedan följer en uppdelning av de olika typerna av kommersiellt tillgängligt fiskfoder med deras avsedda användningsområden (Figur 31).



Figur 30. Pelleterat kommersiellt fiskfoder.

Flytande pellets

Flytande pellets är en av de mest använda typerna av kommersiellt foder som används inom vattenbruk och vattenbruk. Som namnet antyder flyter det pelletiserade fiskfodret ovanpå vattnet så att fisken kan livnära sig på vattenytan. Fiskarter som tilapia och öring föredrar denna typ av foder eftersom de är matare i mitten till toppvatten. Genom att använda flytande foder kan operatören övervaka exakt hur mycket av fodret som konsumeras vid varje utfodringstidpunkt, vilket gör att utfodringshastigheten kan anpassas för att inte slösa bort någon mat. Flytande pellets uppmuntrar också de naturliga matinstinkterna hos flera fiskarter och kan användas i olika tillväxtstadier. Flera arter, som anses vara bottenmatare, till exempel stör, när de odlas i begränsat utrymme, kan snabbt lära sig att äta på toppvatten, därför anses denna typ av foder vara universell i vissa användningsfall.

Sjunkande pellets

Sjunkande pellets är en typ av fiskfoder som är utformad för att sjunka till botten av akvariet och föredras av jordbrukare som odlar bottenmatande arter som havskatt eller specifika typer av karp. I system där det finns mer än en art av fisk som använder hela vattenpelaren som sitt livsrum är denna typ av foder fördelaktig på det sättet att detta foder sjunker till botten och bottenmatarna inte konkurrerar om maten med toppvattenmatare. Liksom andra typer av kommersiellt foder kommer dessa pellets i olika storlekar och formuleringar för att möta behoven hos fisk i olika tillväxtstadier. När du använder sjunkande pellets, rekommenderas det att noggrant övervaka utfodringshastigheten, eftersom det inte är uppenbart när överflödigt mat lämnas oäten och därför kan orsaka ansamling i botten och senare problem med vattenkvaliteten.

Långsamt sjunkande pellets

Långsamt sjunkande pellets är ett hybridalternativ som gradvis sjunker i akvariet, vilket gör dem lämpliga för fiskar som äter på olika nivåer i vattenpelaren. Denna typ av foder är universell när man odlar en blandning av arter eller arter som föredrar utfodring i mitten av vattenpelaren. Jämfört med sjunkande pellets ger dessa pellets mer tid för fisken att äta maten och hjälper till att undvika foderansamling i botten av tanken. Om det finns många topp- och mittmatare i akvariet och det också finns typiska bottenmatare, bör man se till att bottenmatarna är tillräckligt utfodrade och att maten inte konsumeras av andra fiskar i tanken.

Artspecifika foder

Vissa arter har specifika krav på sin diet och kräver speciella foderformuleringar. Till exempel kräver köttätande fisk som bas eller öring mer fett och protein än växtätande fisk som tilapia, som kräver mindre protein men mer fibrer. Det artspecifika fodret är optimerat för att möta fiskens naturliga kost, vilket ger en optimal balans mellan de viktigaste näringsämnena för optimal produktion. Vissa foder kan också innehålla några mer exotiska tillsatser som probiotika eller matsmältningsenzymer som främjar matsmältningen och näringsupptaget. Det artspecifika fodret tar också hänsyn till vilken typ av utfodring den specifika fisken behöver och därmed sjunker eller flyter pelletsen.

Tillväxtstadiet foder

Kommersiellt fiskfoder kan också formuleras för specifika tillväxtstadier för den specifika fiskarten. Foder för unga fiskar (yngel) är vanligtvis mindre i storlek och innehåller högre proteinnivåer för att stödja snabb tillväxt. Växande fiskfoder (grow-out) är utformade så att proteinhalten är 30–40%. Avelsfiskfoder (broodstock) används för att mata mogen fisk som är involverad i avel, denna typ av foder kompletteras vanligtvis med extra vitaminer, mineraler eller andra tillsatser för att förbättra reproduktionsförmågan. Beroende på tillväxtstadiet har fodret olika storlekar så att fisken lätt kan få i sig maten.

Naturligt levande foder

Naturligt foder är ett utmärkt komplement till det kommersiellt tillgängliga fiskfodret, speciellt för arter som naturligt livnär sig på insekter, larver eller andra vattenlevande ryggradslösa djur. Denna typ av foder är näringsrikt och erbjuder höga nivåer av protein, fett, mineraler och vitaminer som efterliknar den mat de skulle konsumera i sina naturliga livsmiljöer. Att tillhandahålla levande foder kan stimulera naturligt beteende och utgöra ett hållbart alternativ till foder som kan odlas i ett slutet kretsvattensystem.

Insekter och larver

Insekter och larver, till exempel larver av svarta soldatflugor, mjölmaskar (Figur 32), syrsor och andra är utmärkta källor till proteiner och fetter. Svarta soldatfluglarver är rika på protein (upp till 45 %) och fett, upp till 35 %, vilket gör dem till en exceptionellt rik näringskälla för fisk som tilapia eller havskatt. Svarta soldatfluglarver kan enkelt odlas på alla typer av organiskt avfall, matrester eller kasserade grödor som härrör från funktionen hos ett akvaponiksystem. Med hjälp av den avfallshärledda formen skapar akvaponiksystemen en sluten kretsdrift, där avfallet som skapas från grödor omvandlas till fiskfoder. Mjölmaskar och syrsor är särskilt rika på essentiella fettsyror, vitaminer och protein, som också är ett bra komplement till fiskdieten. Genom att förse fiskar med insekter och larver uppmuntrar

du i huvudsak naturligt matbeteende, gör fisken mer aktiv och minskar tristess, vilket är särskilt viktigt i begränsade miljöer.



Figur 31. Svarta soldatlarver (vänster) och mjölmask (höger).

Vattenlevande ryggradslösa djur

Artemia räkor, daphnier, blodmask (Figur 33) och andra vattenlevande ryggradslösa djur är vanliga akvaponiska fiskfodertillsatser för fisk som abborre, tilapia eller prydnadsarter (koi-karp, guldfisk). Artemia räkor är rika på protein och fettsyror och lämpar sig för konsumtion av ungfisk eller mindre fiskarter. Daphnier (eller vattenloppor) är små vattenlevande ryggradslösa djur som är näringsrika och lätta att odla. Blodmaskar (larver av myggflugor) konsumeras vanligtvis av köttätande fiskar. Blodmaskar kan odlas i separata akvarier eller dammar för att ge en kontinuerlig tillförsel av levande foder, vilket stimulerar det naturliga födosöksbeteendet.



Figur 32. En daphnier (vänster) och blodmaskar (höger).

Daggmaskar

Daggmaskar är rika på protein (upp till 60%) och essentiella aminosyror. Daggmaskar kan odlas som en del av ett akvaponiksystem med slutet slinga genom vermikultur. Inom vermikultur kan skörden och grönsaksrester som produceras matas in i smutskompostkärlet, avfallet äts upp av daggmaskarna som skapar mer maskar och kompost (näringsrik kompost) som kan användas för att odla till exempel plantor. Större fiskar som havskatt, karp, abborre och andra kan använda dessa maskar i sin kost – de är också rika på mineraler och vitaminer.

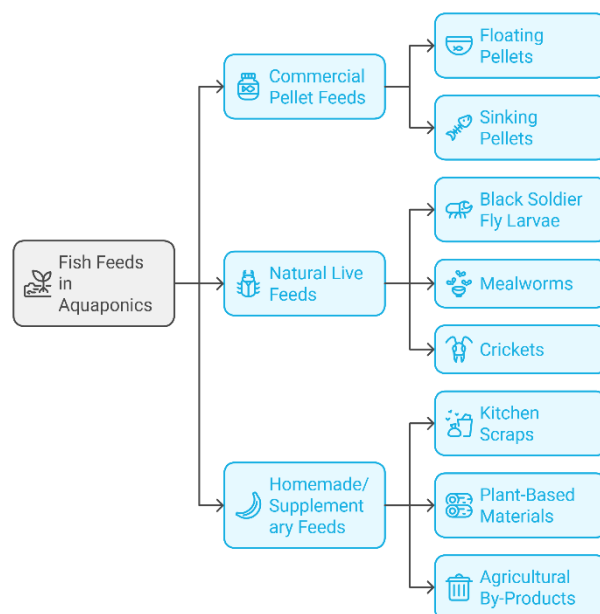
Alger och andmat

Växtätande och allätande fiskarter som tilapia, karp och andra kan använda vissa arter av alger och andmat som en del av sin diet. Andmat är en snabbväxande liten vattenväxt som kan innehålla upp till 40 % protein och är rik på andra nyttiga näringsämnen som vitaminer och mineraler (Figur 34). Andmat kan odlas i små dammar eller som en separat växtmiljö integrerad i det producerande akvaponiska systemet. Dammar under sommarsäsongen tenderar att växa över av andmat, men försiktighet måste iakttas när fisken matas med externa källor till andmat eftersom de kan innehålla skadedjur och patogener som kan påverka fiskens och växternas hälsa. Alger kan också kompletteras som en del av fiskdieten – de innehåller mikronäringsämnen och fettsyror som är bra för fiskens hälsa och immunförsvaret. Alger kan köpas som torkade pulver med begränsad livskraft. Alger genom foder kan utföras i hela systemet och ibland kan oönskad algspridning inträffa, särskilt om operatören tenderar mot en mer steril miljö.



Figur 33. Andmat i igenvuxen damm.

Möjligheten att odla levande förnödenheter på plats är en av de främsta fördelarna med att använda dem i akvaponik. Till exempel kan anläggningar för odling av daggmaskar frodas på växtavfall och organisk kompost, medan odlingar av svarta soldatfluglarver kan etableras med matavfall. Daphnior och små kräftdjur kan odlas i små, dedikerade behållare eller dammar, vilket säkerställer en konsekvent tillgång på foder. Förutom att minska foderkostnaderna, etablerar odlingen av levande förnödenheter på plats också ett slutet system som förbättrar systemets effektivitet och minskar avfallet. Dessutom möjliggör det större kontroll över fodrets kvalitet, vilket garanterar att fisken förses med näringsrika, bekämpningsmedelsfria foderkällor som är speciellt utformade för att möta deras unika krav (Figur 35).



Figur 34. Typer av fiskfoder som vanligtvis används i vattenbruk.

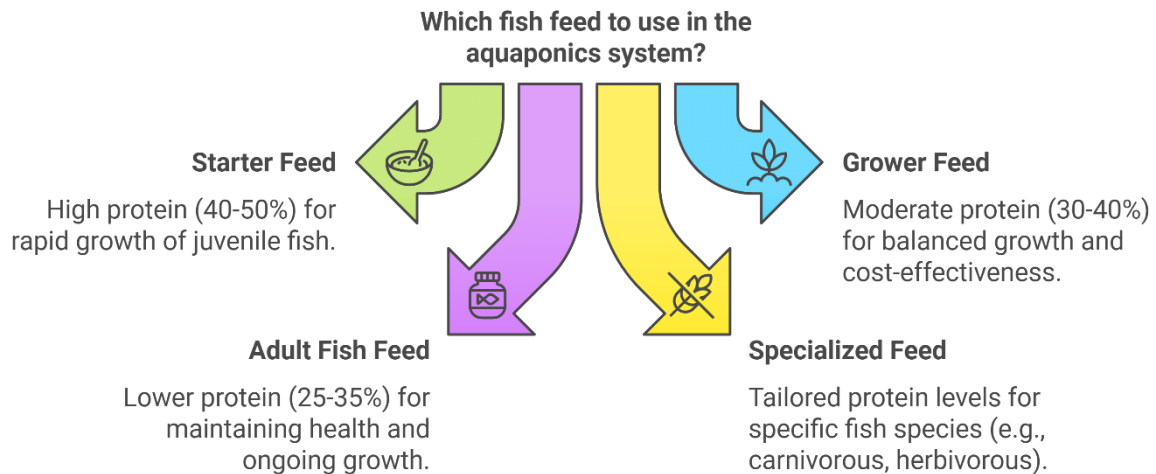
5.2. Fodersammansättning

Kommersiellt tillgängligt fiskfoder består av en blandning av proteiner, kolhydrater, fetter, vitaminer och mineraler som ger fisken de nödvändiga ingredienserna för hållbar tillväxt. Fisk skiljer sig inte så mycket från andra djur baserat på deras näringsbehov. Fiskfoder består huvudsakligen av protein, fett och mineralämnen som härrör bland annat från spannmål, sojabönor, majs, ris och vete. Mängden av varje grupp av näringsämnen beror på vilken fiskart som odlas – kosten för specifik fisk måste vara näringsmässigt balanserad och optimerad för maximal tillväxtpotential, smaklig, vattenstabil och ha fiskens storlek anpassad (Figur 36).

Protein anses vara en av huvudingredienserna i vattenbruk och akvaponik. Protein är det huvudsakliga makronäringsämnet som är byggstenen för fiskens tillväxt och utveckling. Proteiner består av aminosyror som används av alla levande organismer för syntes av ny vävnad, enzymer, hormoner och andra vitala föreningar. I ett akvaponiksystem påverkar proteinet i fiskfodret direkt fiskens hälsa och tillväxthastigheter, såväl som den resulterande vattenkvaliteten som härrör från fodersammansättningen. Högkvalitativa och lättsmälta proteinkällor säkerställer att fisken effektivt kan omvandla foder till sin massa. Att balansera proteininnehållet i fodret kan också stödja fiskens hälsa – genom korrekt proteintillskott förbättras immunförsvaret och förmågan att stå emot sjukdomar och motstå miljöpåfrestningar. Protein behövs för att stödja fiskens hälsa såväl som den övergripande produktiviteten i akvaponik. Eftersom fisk inte kan producera vissa aminosyror måste dessa essentiella aminosyror kompletteras med foder. Proteinets smältförmåga genom fiskmetabolism skapar fiskavfall som vidare används av växter i form av nitrater. Om proteinet i fiskfodret är otillräckligt kan detta leda till hämmad växttillväxt och mottaglighet för sjukdomar. Att balansera systemet genom att justera proteininnehållet i fiskfoder, utfodringshastigheter o.s.v. är avgörande för att få ordentlig cirkulation av hela systemet och undvika ansamling av näringsämnen som kan bli giftiga för båda huvudorganismerna i systemet.

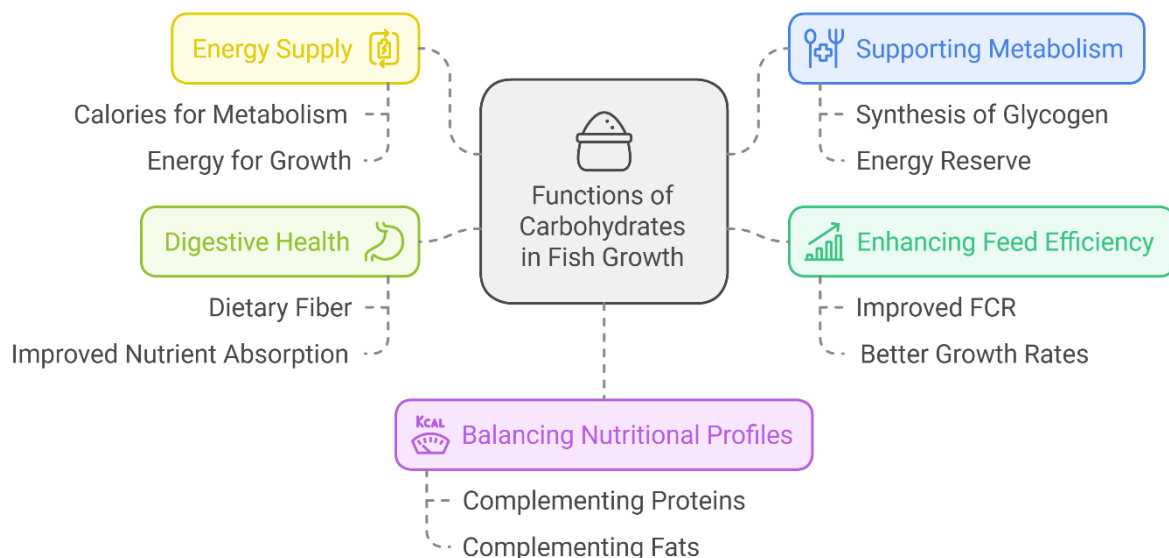
Typiska proteinhalter i fiskfoder beror till stor del på fiskarterna och deras tillväxtstadium i systemet. För ungfisk (yngel) är proteinhalten vanligtvis högre för att främja snabbare tillväxt, vanligtvis 40–50 % protein. Foder för vuxna fiskar varierar vanligtvis mellan 25–35 % protein. Detta proteininnehåll gör

det möjligt att bibehålla hälsa och hållbar tillväxt. Köttätande fiskar kräver fiskfoder med högre proteinhalt (40–45 %), medan växtätande arter föredrar att äta med 25–30 % protein. När du väljer foder till din fisk är det också lämpligt att utvärdera proteinkällan, oavsett om det är animaliskt protein eller växtbaserat protein. Proteinkällan avgör hur smältbart och näringsrikt proteinet är för din valda fiskart.



Figur 35. Typer av kommersiellt tillgängligt fiskfoder..

Kolhydrater tillsätts fiskfoder som en energikälla, tillväxtstödjande och övergripande hälsostödjande ingrediens (Figur 37). Vanligast som kolhydrat används olika typer av spannmål, till exempel majs, vete, korn och ris. Spannmål är rika på stärkelse som är de viktigaste energikällorna. Baljväxter, särskilt sojamjöl eller ärtor ingår också ofta i fiskfoderformuleringar, dessa källor är rika på både protein och kolhydrater, vilket bidrar till den totala näringsbalansen. Andra källor till kolhydrater inkluderar rötter (potatis, sötpotatis), tång eller alger (innehåller polysackarider) eller olika biprodukter från andra industrier till exempel melass eller spannmål som förbrukats i destillerier eller bryggerier.



Figur 36. Kolhydratfunktioner i fiskfoder.

Kolhydratbalansen i fiskdieter bidrar till en jämn energitillförsel (kolhydrater är den främsta energikällan), metabolismstöd, matsmältningshälsa (kostfiber främjar tarmhälsa) och övergripande balans i fodersammansättningen. Införlivandet av lämpliga kolhydratkällor i fiskfoder är viktigt för att stödja energibehovet, öka tillväxten och säkerställa fiskens allmänna hälsa. Startfoder innehåller vanligtvis 25–30% kolhydrater medan vuxen- och odlarfoder innehåller 25–30% kolhydrater. Specifikt fiskfoder för köttätande arter innehåller vanligtvis lägre halter av kolhydrater, vanligtvis 15–25 %.

Fetter och oljor är viktiga komponenter i fiskfoder som förser fisken med energi och bidrar till allmän hälsa och tillväxt. Vanligtvis kommer fetter som tillsätts till fiskfoder från bearbetning av fiskmjöl. Fiskolja (marinbaserade oljor) som tillsätts till fiskfoder är rik på omega-3-fettsyrorna EPA (eikosapentaensyra) och DHA (dokosahexaensyra). Animaliska fetter från fjäderfä, nötkött eller fläsk kan också användas i fiskfodret, men de är mindre rika på de essentiella omega-3-fettsyrorna. Algolja på andra sidan är rik på EPA och DHA och föreslås som mer hållbara alternativ till fiskolja, men priset på algolja är högre. Dessutom kan vegetabiliska oljor användas, vanligtvis gjorda av raps, majs, sojabönor eller palmer – i allmänhet anses dessa vara mer hållbara och är också rika på andra omega-fettsyror. De tillsatta fetterna betraktas som en mer koncentrerad energiform – en enhet olja ger samma mängd energi som en enhet kolhydrater eller protein. De essentiella omega-3- och omega-6-fettsyrorna är avgörande för fiskens hälsa – de ger cellmembranintegritet, hormonproduktion, immunfunktion och andra. DHA främjar till exempel en sund hjärnutveckling och funktion och förbättrar fiskens kardiovaskulära hälsa. Införandet av kvalitetsfetter i fiskens kost kan förbättra foderomvandlingen, vilket främjar deras effektiva tillväxt och förbättrar viktökningen med mindre foder.

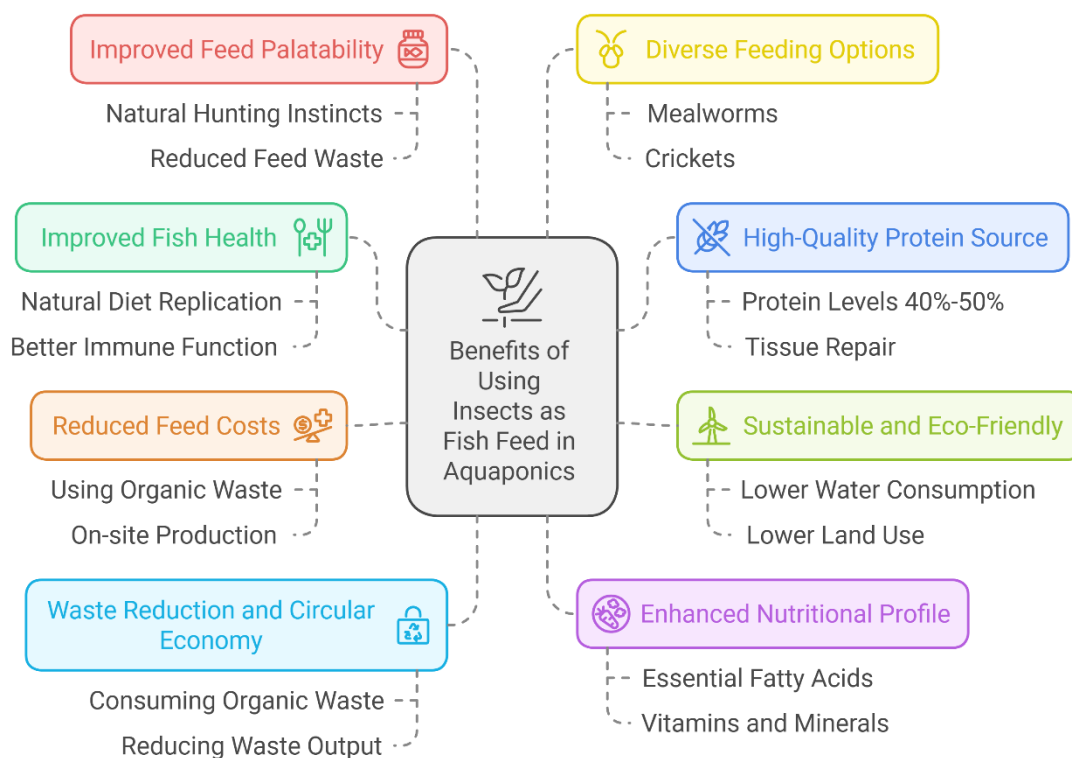
Startfoder innehåller normalt 10–15% fett, medan odlarfoder innehåller 15–25%. Köttätande fisk kräver högre fetthalt där fiskfoder innehåller 25–30 % fett. För mycket fett i fodret kan också orsaka negativa hälsoeffekter för fisken, därför är det viktigt att balansera kosten med protein och kolhydrater, samt mineraler och vitaminer.

Vitaminer och mineraler tillsätts artificiellt till fiskfoder eftersom de spelar en väsentlig roll i olika fysiologiska processer involverade i immunsvar, tillväxt och reproduktion och de kan inte hittas i de andra huvudingredienserna i tillräckliga mängder för att säkerställa fiskens behov. Vitaminerna A, D, E, K och grupp B-vitaminer tillsätts maten för att stödja olika funktioner i fiskens kroppar, på samma sätt tillsätts mineralnäringsämnen Ca, P, Mg, Na, K och spårmineralerna Fe, Zn, Cu, Mn, Se. När du gör ditt fiskfoder kan mineraler och vitaminer tillsättas till maten i en koncentration av 1–2 % av den slutliga blandningen, sådana färdiga produkter säljs kommersiellt. Andra ingredienser som aminosyror kan också läggas till blandningen för att hjälpa fiskens tillväxt. Färdigt att använda fiskfoder är den mest bekväma formen för att mata din fisk. Kvalitetssäkring och produktkonsistens är avgörande när man försöker hålla ett balanserat akvaponiksystem. Dock måste kostnaderna för det specifika fodret utvärderas för att uppnå den fulla ekonomiska potentialen i ditt system. För att beräkna kostnaderna för specifikt foder kan du ta näringsvärdet i kcal och dividera det med priset för att få kostnaden per kcal foder. Även om det finns billigare alternativ, måste fodrets kvalitet också beaktas, eftersom akvaponiksystem är mycket ömtåliga för externa påfrestningar. Att byta foder ofta kan störa det konstanta näringsflödet genom hela systemet och rubba delar av det etablerade ekosystemet. Alternativt är det också möjligt att skapa ditt fiskfoder, detta kräver noggrann insamling av ingredienser och optimering av protein-kolhydrat-fett-rationen för att möta ditt systems behov.⁶ Fodret kan sedan pelletiseras och användas på samma sätt som kommersiellt tillgängligt foder. Att skapa ditt fiskfoder

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

kräver mycket experiment och anpassning för att nå fiskens fulla potential och optimala tillväxt och främja växterna inom akvaponiksystemet.⁷ En mängd olika källor⁸ för att ersätta eller ersätta ingredienser för fiskfoder, till exempel frön, frukt och grönsaker, spannmål, oljehaltiga grödor, foder ingredienser från djur och andra diverse fodermedel (tång, melass, förbrukad spannmål, jäst, lipider med mera) som är biprodukter från andra industrier har föreslagits. Mer detaljerad information om beredning av fiskmjöl finns här⁹.

Fisk, förutom fiskfoder, kan även kompletteras med insekter, larver eller andra små ryggradslösa djur som en del av kosten. Detta är särskilt viktigt för allätare och köttätare som naturligt äter denna typ av kost. Insekter är rika på viktiga näringsämnen som protein, fetter och aminosyror och de kan främja immunfunktioner och reproduktiv hälsa. Svarta flugsoldatlarver är rika på protein och fett, vilket är ett bra tillskott till torrskivfodret. Förutom deras höga proteininnehåll finns insekter som flugor och insekter också rikligt med essentiella fettsyror, vitaminer (inklusive B-vitaminer) och mineraler (som kalcium, fosfor och järn). Dessa näringsämnen är viktiga för fiskens allmänna hälsa, eftersom de främjar lämplig tillväxt, sjukdomsresistens och en ökning av kvaliteten på deras kött. Omega-3 och omega-6 fettsyror, som finns i specifika organismer, är särskilt fördelaktiga för fisk, eftersom de förbättrar reproduktionsframgången och främjar hjärthälsa. Jämfört med bearbetat partikelfoder är fisk ofta mer attraherad av levande eller naturligt foder, såsom insekter och skalbaggar. Denna förbättrade smaklighet kan resultera i förbättrad fodereffektivitet och tillväxthastighet, samt minskat foderspill och förbättrad foderförbrukning. Fiskar hålls mer aktiva och deras naturliga beteenden engageras av levande foder, vilket stimulerar deras naturliga jaktinstinkter.



Figur 37. Fördelar med användning av naturligt foder i akvaponiska system och vattenbruk i allmänhet.

Speciellt svarta soldatfluglarver är skickliga på att konsumera organiskt avfall, inklusive matrester och växtmaterial. Akvaponikoperatörer kan etablera ett slutet system där organiskt avfall omvandlas till

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

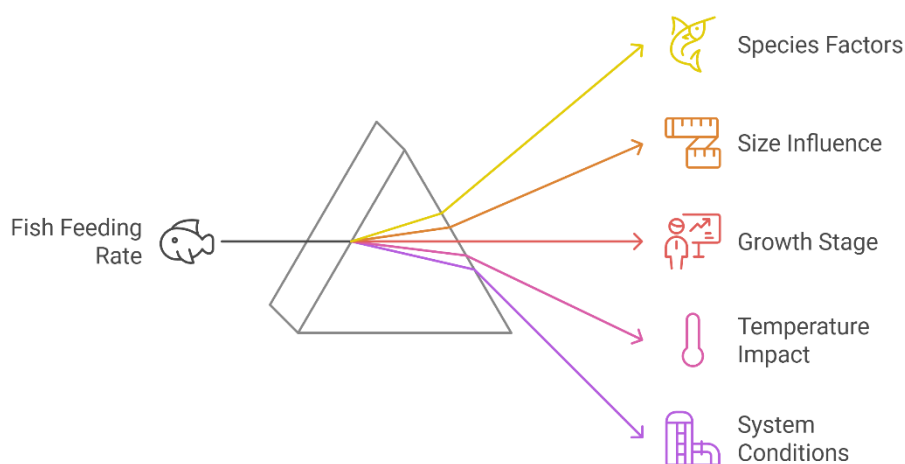
⁸ <https://www.fao.org/4/s4314e/s4314e0k.htm>

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

fisknäring av hög kvalitet genom att integrera dessa insekter i systemet. Detta bidrar till ett mer cirkulärt och hållbart ekosystem och minskar den totala avfallsproduktionen, i enlighet med principerna för hållbart jordbruk och permakultur (Figur 38).

5.3. Utfodringshastighet

Flera nyckelfaktorer kan påverka utfodringshastigheten och därmed produktiviteten för hela akvaponiksystemet. De viktigaste faktorerna som måste beaktas vid optimering av fiskens utfodringshastighet är den specifika arten, storleken och tillväxtstadiet, vattentemperaturen samt andra systemförhållanden som nitrat- och ammoniumkoncentrationer (Figur 39).



Figur 38. Sammanfattning av faktorer som påverkar utfodringshastigheten.

Utfodringshastigheter uttrycks i allmänhet som procentandelen av fiskens kroppsvikt per dag. Typiskt varierar utfodringshastigheten från 1 % till 5 % av fiskens kroppsvikt. Ett exempel – 1 kg fisk med en utfodringshastighet på 1,5 % skulle kräva 15 gram foder (tabell 10). Fiskar matas vanligtvis en till tre gånger om dagen beroende på art, vattentemperatur eller tillväxtstadium. Övermatning av fisken kan leda till överskottsavfall och problem med vattenkvaliteten, medan undermatning kan hämma fiskens tillväxt och begränsa de näringsämnen som krävs för optimal växttillväxt.

Tabell 7. Beroende på art kräver olika fiskar olika utfodring.

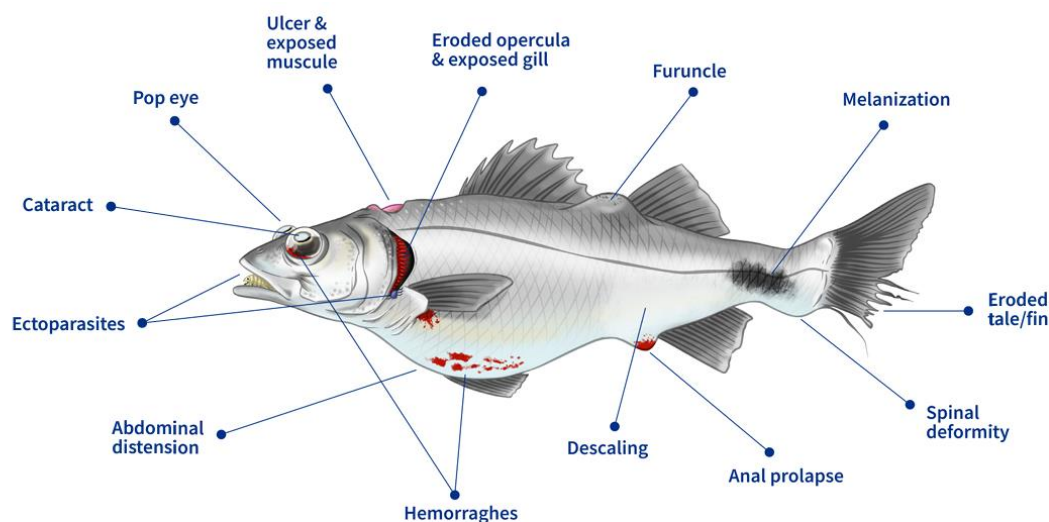
Fish species	Feeding rate, %	The optimal temperature range for the indicated feeding rate, °C
Tilapia	1-3	26-30
Trout	1.5-2	10-18
Catfish	2-4	22-28
Barramundi	2-3	26-30
Goldfish	1-2	20-24
Koi	1-2	18-24
Perch	2-3	22-28
Carp	1-2	15-25
Bass	2-4	20-28
Cod	1-2	18-24
Pacu	2-3	24-28
Bluegill	2-3	20-27
Red claw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

Utfodringshastigheten bör anpassas utifrån storleken, tillväxtstadiet och vattnets temperatur. I allmänhet, när vattentemperaturen är högre, tenderar fiskar att konsumera mer foder, och vice versa, när temperaturen är lägre, minskar fiskens ämnesomsättning, vilket minskar deras matbehov. Unga fiskar kräver högre utfodring (ofta upp till 5 % av kroppsvikten per dag) för att främja tillväxt, medan vuxna fiskar och avelsfiskar kräver mindre foder (1–3 %). Utfodringshastigheter kan också justeras beroende på den föreslagna omvandlingen från fiskfoderprotein till nitrathalt, men även om de är vägledande är beräkningarna i stort sett opålitliga och beror på det specifika fodret (typ av protein och fiskmängd), fiskens ämnesomsättning (påverkad av arten, vattentemperatur, tillväxtstadium och så vidare) och andra faktorer. Balansering av systemet krävs för att justera utfodringshastigheten och de växter som kan ta upp den skapade mängden fiskavfallsnitrat. Det antas att 25–30 % av kvävet i fiskfodret (finns som protein) omvandlas till fiskbiomassa och resten utsöndras och nitrifieras för växtproduktion. Dessa siffror kan användas för att uppskatta nitratbehovet per 1m² av din växtbiomassa och justera utfodringshastigheten/beläggningstätheten därefter. Flera problem kan uppstå vid justering av utfodringshastigheterna. Överutfodring kan orsaka nedbrytning av överskottsfödan och leda till dålig vattenkvalitet genom att öka nivåerna av ammoniak, nitrat och nitrit. Om det är för mycket kan detta orsaka stress för fisken. Lösningen för att undvika detta är att mata mindre portioner flera gånger om dagen och bara ge så mycket mat som fisken kan konsumera inom några minuter efter att fodret har tillsatts i tanken. Regelbunden övervakning av ammoniak- och nitratnivåer gör att du kan utvärdera om biofiltret fungerar som det ska och inte överväldigas av överskott av kvävehaltiga föreningar. Å andra sidan orsakar underutfodring hämmad fisktillväxt och produktion av mindre avfall, vilket minskar näringsämnen som är tillgängliga för växter. Att väga fisk kan hjälpa dig att beräkna exakta foder mängder för din fiskpopulation. Att övervaka fiskar och deras aktivitet kan också hjälpa till att avgöra om de inte är stressade. Oäten föda, när fiskar övermatas, kan ackumuleras med tiden och börja sönderfalla, vilket leder till problem med vattenkvaliteten - minskade syrenivåer och ökad ammoniak. En lösning på detta kan vara att byta typ av mat du använder. Istället för att använda sjunkande foder kan du byta till långsamt sjunkande eller flytande pellets. Automatiska matare kan användas för att mer exakt mängd foder. I stället för att mata fisken en gång om dagen i stora portioner, använd mindre portioner 2–3 gånger om dagen. Det får aldrig finnas något matavfall som inte har konsumerats kvar i det akvaponiska systemet. Heterotrofa mikroorganismer förbrukar avsevärda mängder syre genom att konsumera foderrester från överutfodring. Dessutom kan nivån av ammoniak och nitrit höjas till giftiga nivåer på relativt kort tid på grund av nedbrytning av mat. Slutligen kan de mekaniska filtren blockeras av de oätta granulerna, vilket resulterar i minskat vattenflöde och anoxiska områden. Typiskt konsumerar fisk hela sin kost inom en tidsram på 30 minuter. Ta bort all näring efter denna period. Minska mängden foder som administreras i framtiden om oäten mat upptäcks.

6. Fiskhälsa och välbefinnande

6.1. Skadedjur och sjukdomar

Identifieringen av externa och inre parasiter i fisk kan effektivt utföras på plats i vattenbruksmiljöer, som beskrivs i Terve Kala av Riitta Rahkonen (2012) (Figur 40). Bakterieinfektioner kan diagnostiseras på plats; dock bör fisk som uppvisar atypiska symtom skickas för laboratorieanalys för att bekräfta eventuella misstänkta sjukdomar. Att upptäcka parasiter kräver en grundläggande uppsättning verktyg, som inkluderar en liten sax, en vass skalpell, en spetsig pincett, en dissektionsnål, små petriskålar och bas- och täckglas för mikroskopi. Instrument måste rengöras efter varje användning för att förhindra korskontaminering mellan prover.



Figur 39. Vanliga sjukdomsdrabbade områden hos fisk och missbildningar.

Ett mikroskop, särskilt ett ljusmikroskop eller stereomikroskop, är avgörande för studier av parasiter. Ett stereomikroskop med en förstöringsgrad mellan 10 och 40 gånger är lämpligt för observation av större protozoer, såsom *Ichthyophthirius*, som är ansvarig för vitfläcksjuka, *Trichodina* och olika flercelliga parasiter. Slemprover från fiskens hud, gälar, fenor eller andra yttre ytor kan samlas in med en skalpell under rutininspektion. Slem samlas vanligtvis in från områden som under bröstfenorna, sidorna eller stjärtfenorna, eftersom dessa områden är rikliga på potentiella parasiter. Provtagning av små fiskar innebär utmaningar, eftersom det ofta krävs att man skrapar hela fiskens laterala yta för att få en tillräcklig mängd slem. En liten mängd uppsamlat slem placeras på ett objektglas med en droppe vatten från akvariet, följt av försiktig applicering av ett täckglas. Provet måste vara jämnt fördelat under täckglaset, eftersom ett tjockt slemlager kan hindra tydlig observation av parasiterna. Fenprover kan erhållas genom att ta bort fenorna från fisken med en pincett. Hos små fiskar är det möjligt att ta bort hela fenan på ena sidan. För större fiskar skärs fenan ut med en sax för att förhindra att blod från den skurna vävnaden kontaminerar provet. Fenan placeras sedan i en vattendroppe på ett objektglas, där den försiktigt sprids ut med en nål, följt av att ett täckglas appliceras. Det insamlade slemmet undersöks i mikroskop för att identifiera potentiella parasiter. Större protozooparasiter, såsom *Ichthyophthirius* och *Trichodina*, är vanligtvis observerbara under ett stereomikroskop, medan andra parasiter, inklusive monogenea, kräver högre förstoring för synlighet. Hos större fiskar kan insamling av slem från områden som fenor eller hud resultera i en högre mängd parasiter.

Flera fisksjukdomar är ganska vanliga, särskilt i akvarier där hög beståndsdensitet alltid upprätthålls.

Ich (vitfläcksjuka) är en av de vanligaste protozosjukdomarna som fisk i akvaponiska system får (Figur 41). Små vita fläckar (cystor) som dyker upp på hud, fenor och gälar hos sjuka fiskar är de viktigaste tecknen. Infekterade fiskar kan också bete sig på konstiga sätt, som att gnugga sig.



Figur 40. Fisk drabbad av Ich (vita fläckar).

mot akvariets sidor, rör sina gälar snabbt (kippar efter luft) eller håller sig nära ytan. Sjukdomen kan göra det svårt att andas, och om den inte åtgärdas kan den döda många människor. Ich sprids vanligtvis via smutsigt vatten eller fisk. För att stoppa det, se till att alla nya fiskar hålls i ett separat akvarium i minst två veckor innan de läggs till i huvudsystemet. Att hålla vattnet rent (genom att kontrollera temperatur, pH och löst syre) och se till att fiskarna inte stressas kan också minska risken. Om det blir ett utbrott kan det påskynda parasitens livscykel att hålla vattnet vid cirka 28 °C i några dagar, vilket gör att applicerade läkemedel fungerar bättre. I värsta fall kan läkemedel som är gjorda speciellt för Ich också användas, men man bör vara försiktig så att man inte skadar växterna i det akvaponiska systemet, såväl som fiskarna genom minskade syrenivåer¹⁰.

Flukor eller monogeneer är parasitiska plattmaskar som lever på fiskar och fäster vid deras gälar, hud eller fenor. Inflammade lungor, blek hud, överskott av slem och andningssvårigheter är tecken på monogeneerinfektion. Fisk som har blivit exponerad kan också verka trött, riva saker eller simma nära toppen för att få mer syre. För det mesta sprids flukor av fisk eller vatten som redan är infekterat. Innan nya fiskar läggs till i systemet bör de hållas i ett karantänområde för att stoppa flukorinfektioner. Kontrollera dina fiskar ofta för tecken på sår eller slemproduktion som inte är normal. Att hålla vattnet rent, förhindra att fiskarna blir stressade och förhindra att de blir för trånga kan bidra till att minska risken. Fiskarna kan behandlas med ett formalinbad eller prazikvantel (ett pyrazin-isokinolinderivat som används som ett brett avmaskningsmedel) om flukor hittas, men dessa kemikalier bör användas försiktigt så att de inte skadar växterna och nyttiga mikroorganismer i det akvaponiska systemet.

Columnaris sjukdom är en sjukdom orsakad av *Flavobacterium columnare* som visar sig på huden, gälarna eller fenorna hos fiskar som sår, magsår eller en bomullsliknande utväxt (Figur 42). Infekterade fiskar kan förlora sin hunger, simma oregelbundet och röra sina gälar snabbt. Denna sjukdom förekommer oftare hos fiskar som är stressade och uppstår vanligtvis med dålig vattenkvalitet. Columnaris kan undvikas genom att se till att vattnet är rent och har god filtrering eftersom bakterierna trivs bäst på platser med mycket organiskt avfall (vikten av avfallssedimentation, mekanisk filtrering). Sätt inte för många fiskar på ett ställe, håll ett konstant pH-värde och vattentemperatur. Antibiotika som oxytetracyklin eller kopparsulfat kan användas för att behandla Columnaris sjukdom, men de kan skada växterna i ett akvaponiskt system. För att stoppa bakteriernas spridning måste alla infekterade fiskar



Figur 41. Columnaris-drabbade fiskar¹¹.

En fisk med **vattusot (ascites)** kommer att ha en svullen mage på grund av överdriven vattenretention (Figur 43). Fisk som är infekterad kan se tjock ut och ha fjäll som sticker ut, vilket ibland kallas "tallkotteliknande" utseende. Detta problem visar sig vanligtvis som ett tecken på en djupare infektion

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

¹¹ 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.



Figur 42. Droppsjuk drabbad fisk.

Fenröta är en bakteriesjukdom som gör att fiskens fenor och stjärtfena bryts ner (Figur 44). Fenor som slits bort eller går sönder, fenbaser som blir röda och ett allmänt utseende av förruttelse är tecken på denna sjukdom. Fisk som är drabbad kan också verka trött eller äta mindre. Fenröta orsakas vanligtvis av dålig vattenkvalitet eller fysiska skador på fisken. Det kan undvikas genom att hålla vattnet rent och filtrerat och genom att förhindra att fisken skadas – inga vassa hörn eller hinder i akvariet. Fisk med fenröta kan behandlas med antibiotika eller antibakteriella behandlingar som saltbad.¹²



Figur 44. Fisklöss drabbade fisk.

är viktigt att vara försiktig med gifter eftersom de kan skada växterna i det akvaponiska systemet och fiskens övergripande kvalitet om de konsumeras som mat.¹³

Det är viktigt att hålla koll på och justera vattenkvalitetsfaktorer som pH, temperatur, ammoniak, nitriter, nitrater och löst syre dagligen för att säkerställa att de håller sig inom de optimala intervallen för den art som odlas i ett akvaponiskt system. Nya fiskar bör hållas i karantän i minst två veckor innan de kan läggas till i systemet. Detta hjälper till att stoppa spridningen av sjukdomar. För att förhindra att fiskarna trängs, vilket kan orsaka stress och göra det lättare för sjukdomar att spridas, är det också

eller organsvikt, som njur- eller leversjukdom. Det kan orsakas av antingen bakterier eller virus. Dålig vattenkvalitet eller virusinfektioner är vanliga orsaker, så det är viktigt att hålla vattenvärderna konstanta och optimala för specifika arter. Vattusot kan spridas lätt, så det är viktigt att få ut sjuka fiskar ur systemet omedelbart efter att infektionen har upptäckts. Vattusot kan inte botas direkt, men immunförsvaret hos friska fiskar bör stödjas av bättre vattenkvalitet, mindre stress och välbalanserad mat.



Figur 43. Fenröta påverkade öring.

Fisklöss (argulus, fisklus) är externa parasiter som fastnar på fiskars hud, fenor eller lungor och irriterar, orsakar inflammation och lämnar synliga märken (Figur 45). Infekterade fiskar kan gnugga mot sidorna av sina akvarier eller simma mycket snabbt. De kan också tappa fjäll eller få skärsår där lössen sitter fast. För att hålla fisklöss borta är det viktigt att hålla nya fiskar i ett karantänområde innan de läggs till i systemet och att kontrollera fiskarna för tecken på externa parasiter. Om fisklöss blir ett problem kan de tas bort för hand eller behandlas med vissa läkemedel som dödar parasiter. Det

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

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

viktigt att noggrant kontrollera antalet fiskar per 100 liter vatten. En allmän tumregel är 1–2 kg fisk per 100 liter vatten. Filtreringssystem måste underhållas ordentligt för att bli av med avfall och förhindra att farliga bakterier byggs upp. Fiskens immunförsvar måste hållas starkt genom att undvika plötsliga förändringar i vattenkvalitet eller matningstider och minska stress. Att ge fisken en balanserad mat som är rätt för dess art hjälper den också att växa bra och motstå sjukdomar. Mat är den viktigaste källan till ingredienser i fiskdieter som kan hjälpa till att upprätthålla korrekta antioxidantnivåer och immunsvar.

6.2. Besättningstäthet

Mängden fisk som hålls per volymenhet vatten, d.v.s. besättningstäthet, är en kritisk faktor för att upprätthålla ett hälsosamt system och uppnå optimal produktivitet inom akvaponik (Figur 46). Den totala effektiviteten hos det akvaponiska systemet påverkas av beståndstätheten, vilket påverkar fiskens tillväxt, hälsa, fodereffektivitet och vattenkvalitet. Den optimala besättningstätheten är beroende av arten, vattenhanteringsmetoder och systemdesign, och det kan vara svårt att uppnå lämplig jämvikt. En alltför hög densitet kan resultera i stress, konkurrens och ansamling av avfall, medan en alltför låg densitet kan bidra till underutnyttjande av näringsämnen och mindre effektiv växttillväxt. Besättningstätheten i ett akvaponiskt system bestäms av en mängd olika faktorer, såsom den avsedda anläggningseffekten, tankstorleken, fiskarten och biofiltreringsenhetens totala kapacitet. En standardpraxis är att sätta in fisk i en takt som är kompatibel med biofiltret och växtområdena. Detta resulterar i en besättningstäthet på 20–40 kg fisk per kubikmeter vatten för många system. Omfattningen av denna variation är dock beroende av fiskens utvecklingsstadium och art. Ett biofiltreringssystem som kan bearbeta det ökade avfallet och bibehålla vattenkvalitetsparametrar inom säkra gränser, såsom ammoniak, nitrit och nitrat, är nödvändigt för att möjliggöra en högre densitet.

Beroende på fiskart kan besättningstätheten variera, nedan är de vanligaste arterna som odlas inom akvaponik och deras respektive särdrag relaterade till beståndstätheten.

Tilapia (*Oreochromis niloticus*)

Tilapias hållbarhet, tolerans mot varierande vattenförhållanden och snabba tillväxttakt gör den till en av de mest populära fiskarterna för akvaponik. Tilapia kan frodas i jämförelsevis höga besättningstätheter i små till medelstora system utan att uppleva negativa hälsoeffekter. Tilapia hålls ofta i tätheter på 20–30 kg per kubikmeter i recirkulerande akvaponiska system (RAS). Icke desto mindre kan tilapia ha bestättningstäthet på 40–50 kg per kubikmeter i system som underhålls med frekvent vattenkvalitetsövervakning och intensiv biofiltrering. Till exempel kan ett system som innehåller 1000 liter vatten effektivt upprätthålla cirka 20–30 vuxna tilapior med en genomsnittlig vikt på 500 g vardera, om filtrering och luftning är tillräcklig.

Regnbåge (*Oncorhynchus mykiss*)

Regnbåge är en kallvattenart som kräver jämn vattenkvalitet och höga syrehalter, vilket gör den något utmanande men givande i akvaponiska system. Regnbåge levereras vanligtvis i lägre densiteter än tilapia, med beståndstätheter från 10–20 kg per kubikmeter, på grund av deras känslighet för vattenförhållanden. Öring är också känd för sin snabba tillväxt, men de kräver temperaturer som hålls mellan 10 °C och 18 °C för att säkerställa utmärkt hälsa. En balanserad belastning som stöder både

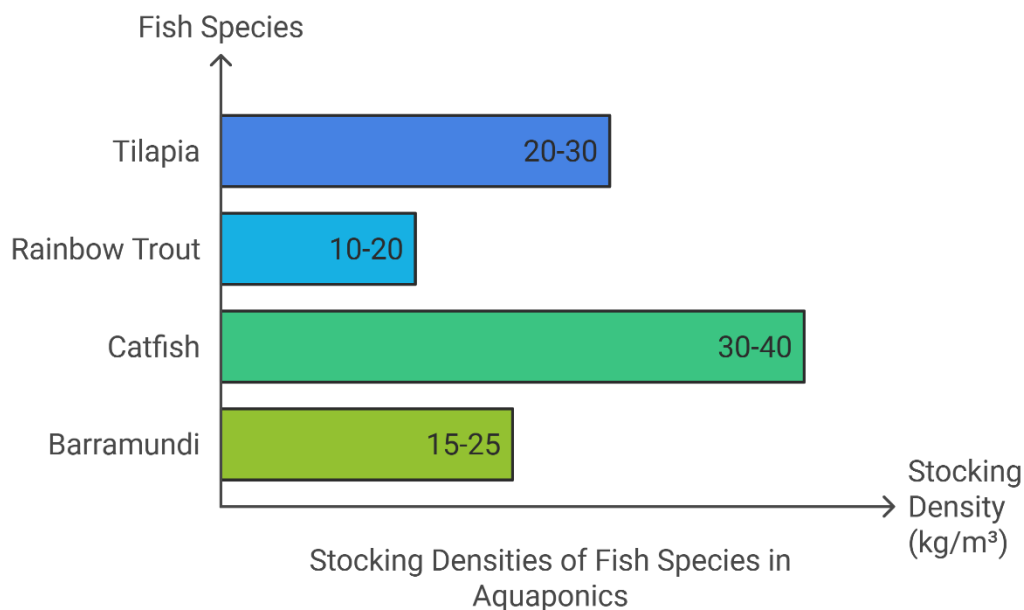
fiskhälsa och växttillväxt kan uppnås genom att besätta 15–20 regnbågar, som vardera väger cirka 400 g, i ett 1000-liters system. Ett effektivt filtreringssystem och frekvent övervakning är avgörande för öring, eftersom de är känsliga för ammoniak- och nitritnivåer.

Catfish (*Clarias gariepinus* and *Ictalurus punctatus*)

Både afrikansk mal (*Clarias gariepinus*) och prickig drvärgmal (*Ictalurus punctatus*) klarar av varierande vattenkvalitet och minskade syrenivåer, vilket gör dem lämpliga för högdensitetsuppfödning inom akvaponik. Mal kan hållas vid en densitet på 30–40 kg per kubikmeter i intensiva system. Afrikansk mal klarar ännu högre densiteter samtidigt som den andas atmosfäriskt syre. Ett 1000-liters system rymmer cirka 30–40 malar, med en genomsnittlig vikt på 500 g, förutsatt att systemet är utrustat med ett robust biofiltreringssystem och en luftningsmekanism. Systemet måste kunna hantera den kompletterande ammoniakbelastningen, eftersom mal har en hög avfallsproduktion.

Barramundi (*Lates calcarifer*)

Barramundi är en varmvattenfisk som är särskilt populär inom akvaponik, särskilt i regioner med mildare klimat. Dessa fiskar uppvisar hög tolerans för fluktuationer i vattenkvaliteten och utvecklas snabbt. De kräver dock övervakning på grund av sin höga avfallsproduktion. I system med konsekvent underhåll och robust filtrering hålls barramundi vanligtvis vid en densitet på 15–25 kg per kubikmeter. Om vattentemperaturen hålls vid 26–30 °C och nivåerna av löst syre är tillräckliga, kan cirka 15–20 barramundi med en genomsnittlig vikt på 600 g frodas i ett 1000-liters akvarium.



Figur 45. Besättningstäthet för olika arter som vanligtvis odlas inom akvaponik.

Växternas näringsbehov måste uppfyllas samtidigt som besättningstätheten i akvaponik balanseras för att förhindra att fiskarnas hälsa äventyras. En ökning av ammoniakproduktionen kan bero på hög besättningstäthet, vilket i avsaknad av tillräcklig biofiltrering kan öka fiskens stressnivåer och sjukdomskänslighet. Dessutom påverkas avfallsproduktionen av näringskvaliteten och -frekvensen, eftersom proteinrika dieter genererar en större mängd kvävehaltigt avfall. För att förhindra övergödning, vilket kan påverka vattenkvaliteten negativt och främja utvecklingen av patogener, bör utfodringsschemat justeras efter fiskpopulationens biomassa. Till exempel kommer tilapia som utfodras med en diet som innehåller 30–35 % protein att producera en tillräcklig mängd kväve för att

stödja växttillväxt utan att överbelasta biofiltret. Öring och barramundi kräver dock dieter med ett högre proteininnehåll (40–50 %), vilket genererar en större mängd detritus. För att bibehålla stabila vattenförhållanden rekommenderas att dessa fiskar utfodras med mindre mängder oftare, vilket säkerställer att avfallsnivåerna håller sig inom acceptabla gränser. Biofiltrets kapacitet är avgörande för att bestämma populationstätheten. Nitrifierande bakterier är den primära funktionen hos ett biofilter, eftersom de omvandlar skadlig ammoniak till nitrit och därefter nitrat, vilket är ett användbart näringsämne för växter. Den maximalt förväntade ammoniakproduktionen från fisk vid maximal biomassa måste användas för att bestämma storleken på biofiltren. Dessutom påverkas populationstätheten avsevärt av variabler i tankens design, inklusive vattenflödes hastighet, tankdjup och luftning. Runda tankar med centralt avlopp är optimala för system med hög densitet, eftersom de underlättar avfallshantering och förhindrar att avfall sätter sig på botten, vilket därigenom främjar förbättrad vattenkvalitet. Den optimala besättningstätheten inom akvaponik är beroende av biofiltreringskapaciteten, systemdesignen och artens egenskaper. Det är nödvändigt att hitta en balans mellan behovet av att maximera fiskbiomassan för näringsproduktion och behovet av att säkerställa att vattenkvaliteten är tillräcklig för att förhindra hälsorisker. Utformningen av ett system måste beakta de specifika utmaningar som varje art presenterar, såsom öringens höga syrebehov och tilapias anpassningsförmåga. För att etablera ett hållbart och harmoniskt ekosystem måste akvaponiker reglera beståndsdensitet, fodermängder och systemparametrar för att främja utvecklingen av produktiva växter och fiskarnas hälsa.

Referenser

- 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, December). Biofiltration for recirculating aquaponic systems: a review. In *2020 IEEE 12th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management (HNICEM)* (pp. 1-6). IEEE.
- Colt, J., Schuur, A. M., Weaver, D., & Semmens, K. (2022). Engineering design of 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 Wednesday, 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), I.
- Stathopoulou, P., Berillis, P., Levizou, E., Sakellariou-Makrantonaki, M., Kormas, A. K., Aggelaki, A., ... & Mente, E. (2018, November). Aquaponics: A mutually beneficial relationship of fish, plants and bacteria. In *Proceedings of the 3rd International Congress on Applied Ichthyology & Aquatic Environment*, Volos, Greece (pp. 8-11).
- Stouvenakers, G., Dapprich, P., Massart, S., & Jijakli, M. H. (2019). Plant pathogens and control strategies in aquaponics. *Aquaponics food production systems*, 353-378.
- Tezel M. (2009). *Aquaponics common sense guide*. Unknown publisher, United States of America.

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

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

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

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

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

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

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