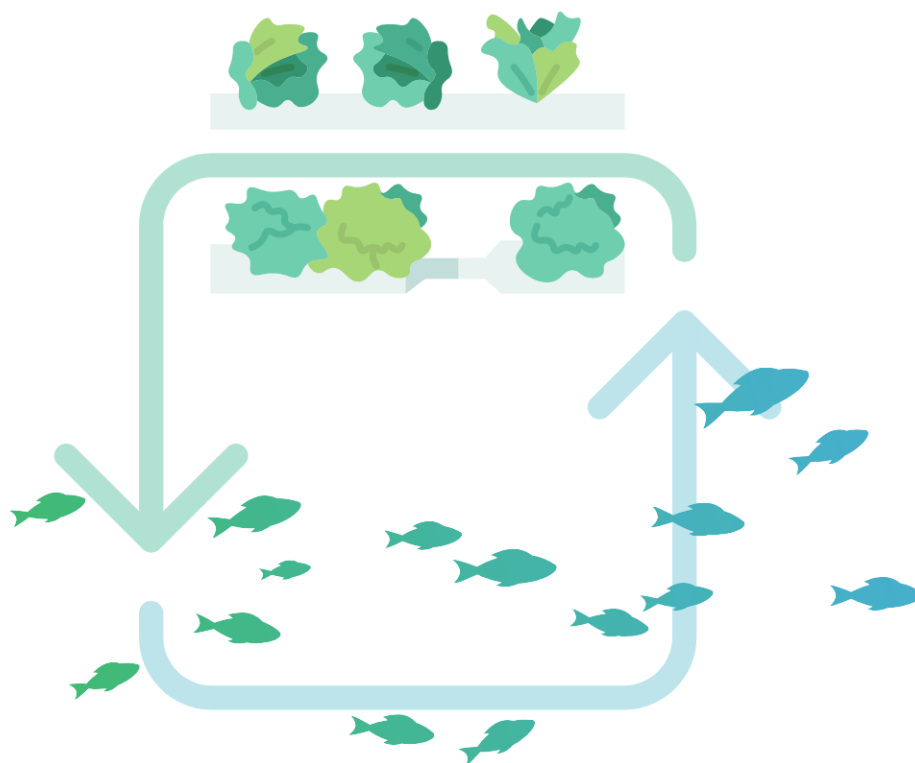


ZIVIS AKVAPONIKĀ – SUGAS IZVĒLE, PRASĪBAS UN IEROBEŽOJUMI



Satura rādītājs

| | |
|--|----|
| Anotācija | 3 |
| 1. Ievads | 4 |
| 1.1. TransFarm projekts..... | 4 |
| 1.2. Zivis akvaponikā | 5 |
| 2. Ūdens kvalitātes prasības zivīm | 6 |
| 2.1. Temperatūra..... | 6 |
| 2.2. Skābeklis..... | 6 |
| 2.3. pH..... | 9 |
| 2.4. Citi parametri | 10 |
| 3. Akvakultūra akvaponikā | 12 |
| 3.1. Zivju tvertņu izvēle un veidi | 12 |
| 3.2. Dūņu aizvākšana, mehāniskie filtri..... | 17 |
| 3.3. Ūdens dezinfekcija un aerācija..... | 19 |
| 4. Zivju sugu izvēle | 24 |
| 4.1. Lašveidīgie | 24 |
| 4.2. Percidae sugas..... | 27 |
| 4.3. Sibīrijas stores (<i>Acipenser baeri</i>) | 29 |
| 4.4. Āfrikas sams (<i>Clarias gariepinus</i>) | 30 |
| 4.5. Tilapijas (<i>Oreochromis sp.</i>)..... | 31 |
| 4.6. Karpas (<i>Cyprinidae spp.</i>)..... | 33 |
| 4.7. Vēžveidīgie..... | 34 |
| 5. Zivju barība/uzturs | 35 |
| 5.1. Zivju barības veidi..... | 36 |
| 5.2. Barības sastāvs | 40 |
| 5.3. Barošanas biežums..... | 44 |
| 6. Zivju veselība un labturība | 45 |
| 6.1. Kaitēkļi un slimības..... | 45 |
| 6.2. Zivju audzēšanas blīvums | 49 |
| Atsauces | 52 |

Anotācija

Akvaponika ir lauksaimniecības metode, kas apvieno augu audzēšanu bez augsnes (hidroponiku) ar zivju audzēšanu (akvakultūru) slēgtā sistēmā. Zivju atkritumi kalpo kā barības vielu avots augiem, kas savukārt attīra ūdeni zivīm. Šāda pieeja mazina ietekmi uz vidi un nodrošina risinājumu vides un sociālajām problēmām, ar kurām saskaras pārtikas rūpniecība. Ļoti svarīga ir piemērotu zivju sugu izvēle, kas ir atkarīga no tādiem faktoriem kā ūdens temperatūra, pH, augšanas ātruma, kā arī tirgus pieprasījums gala produktam. Visbiežāk izvēlētās sugas ir foreles, sams un tilapijas. Katrai sugai ir atšķirīgas prasības attiecībā uz vides parametriem, barības daudzumu un zivju blīvumu. Lai akvaponika būtu veiksmīga, ir svarīgi pārvaldīt ūdens kvalitāti, jo tādi parametri kā temperatūra, skābeklis, pH un ūdens plūsmas ātrums būtiski ietekmē gan zivis, gan augus. Biofiltrs, kas zivju ekskrementus pārvērš augu barības vielās, un zivju izdzīvošana ir atkarīga no piemērota skābekļa līmeņa uzturēšanas. Aerācijas metodes nodrošina pietiekamu skābekļa līmeni, savukārt dezinfekcijas metodes, tostarp UV sterilizācija un ozonēšana, palīdz kontrolēt patogēnus. Zivju veselība ir ārkārtīgi svarīga, un tādas slimības kā zivju tūska, balto plankumu slimība un kolumnarioze slēgtās sistēmās var strauji izplatīties. Lai novērstu slimības, ir jāuztur optimāla ūdens kvalitāte, jaunas zivis, kas ir iegādātas citur, ir jānovieto karantīnā un jānodrošina sabalansēts uzturs. Lai novērstu veselības apdraudējumus, zivju blīvumam jābūt tādā, lai uzturētu ūdens kvalitāti, vienlaikus līdzsvarojot zivju biomasu barības vielu ražošanai. Optimālajam zivju barības sastāvam jā sastāv no olbaltumvielām, oglekļahidrātiem, lipīdiem, vitamīniem un minerālvielām, lai veicinātu augšanu. Akvaponikas praktizētāji var izveidot ilgtspējīgu un produktīvu ekosistēmu, kas ražo augstas kvalitātes zivis un svaigu produkciju (dārzeņus), līdzsvarojot zivju blīvumu, barošanas normas, ūdens kvalitāti un zivju veselības pārvaldību.

Atslēgas vārdi: zivis, sugas, TransFarm, Interreg, akvaponika, ilgtspēja

Šajā atskaitē iekļautā informācija ir dažādu rakstu un grāmatu apkopojums, uz kuriem atsauces var atrast ziņojuma sadaļā "Atsauces".

Šī ziņojuma sagatavošana ir atbalstīta Interreg Centrālā Baltijas reģiona projekta CB0100007 "Pārrobežu sadarbība cirkulārām bezaugsnes saimniecības sistēmām - TransFarm" ietvaros.

1. Ievads

1.1. TransFarm projekts

Pārtikas nozarei ir jārisina vairāki vides un sociālie uzdevumi: Lauksaimniecība ir nozare, ko īpaši ietekmē klimata pārmaiņas, mūsu jūrās notiek pārlieku liela nozveja, un tiek lēsts, ka pasaules iedzīvotāju skaits turpinās pieaugt un 2050. gadā sasniegs aptuveni 9,7¹ miljardus cilvēku. Baltijas jūras reģiona valstis ir ļoti atkarīgas no pārtikas importa, jo īpaši dārzeņu, augļu un zivju jomā; pēdējos gados pandēmijas un karš Ukrainā ir atklājuši nepieciešamību pēc pašpietiekamākām pārtikas sistēmām. Turklāt lauksaimniecība un akvakultūra ir vieni no galvenajiem Baltijas jūras eitrofikācijas veicinātājiem.

Lai atbildētu uz šiem izaicinājumiem, TransFarm projekts vēlas tuvināt pārtikas ražošanu patērētājiem, veicinot bezaugsnes lauksaimniecības metodes, kuras var izmantot pat telpās un kuras ļauj audzēt visu gadu. Šādu metožu piemēri ir hidroponika, kurā augus audzē barības vielu šķīdumā, un akvaponika, kas apvieno hidroponiku ar akvakultūru.

Akvaponika ir apļveida, slēgta cikla sistēma, kurā ūdens no zivju audzētavas tiek izmantots augu audzēšanai. Zivju atkritumi ūdenī tiek mikrobioloģiski pārveidoti ar biofiltru, tos absorbē augi, un tad tīrāks ūdens tiek novadīts atpakaļ zivīm. Sistēmai ir slēgta apļveida ūdens plūsma, kas ļauj atkārtoti izmantot barības vielas, neradot barības vielu emisijas vidē. Tā kā zivis, augi un mikroorganismi akvaponikas sistēmā darbojas ciešā simbiozē, netiek izmantotas antibiotikas vai pesticīdi, kas savukārt nodrošina tīrāku un veselīgāku produkciju.

TransFarm demonstrēs akvaponiku izbūvi Zviedrijā, Igaunijā un Latvijā, kā arī testēs alternatīvus ūdens avotus, piemēram, lietus ūdeni un reģenerētu pelēko ūdeni: Partneri no šīm valstīm uzbūvēs demonstrējumu iekārtas ar atšķirīgām īpašībām un mērķiem. Pieredze, ar kuru apmainīsies dažādos demonstrācijas objektos, veicinās zināšanu kopradīšanu, un šie objekti būs iespēja iedvesmot un izglītēt nākamās akvaponikas lauksaimniekus. Zināšanas, kas iegūtas, būvējot un uzraugot demonstrējumu objektus, tiks apkopotas mācību materiālos, kas būs pieejami visiem akvaponikā ieinteresētajiem dalībniekiem.

Projekta ietvaros tiks pētīti arī uzņēmējdarbības modeļi, īstenoti pasākumi, lai informētu patērētājus par akvaponikas produktu kvalitāti, izglītotu uzņēmējus, kuri vēlas izveidot akvakultūras sistēmu, kā arī informētu ierēdņus un politikas veidotājus par to, ka cirkulārām bezaugsnes audzēšanas metodes samazina ietekmi uz vidi.

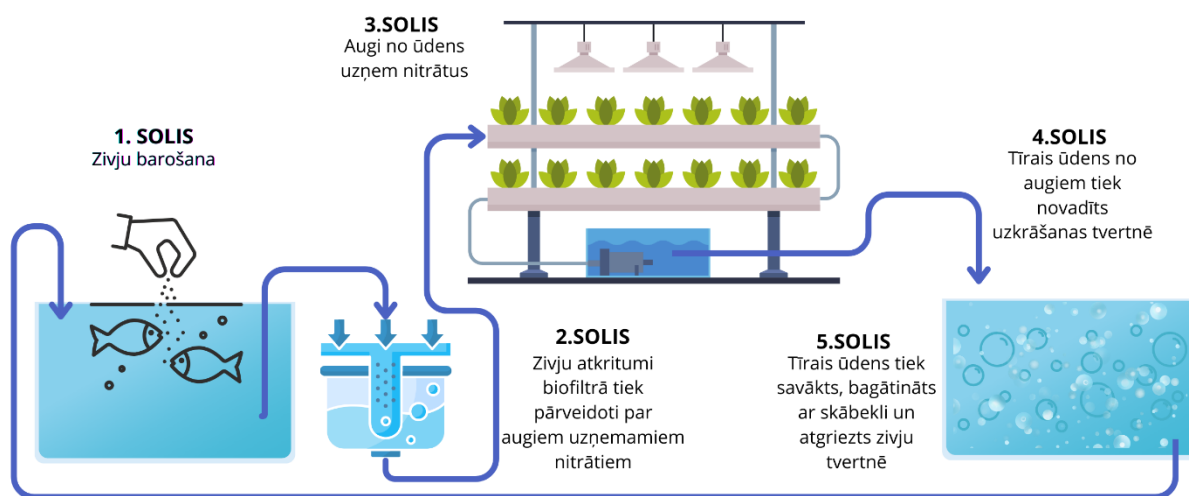
TransFarm projekta ilgums ir trīs gadi (2023-2026), to koordinē **Turku Ekonomikas skola** Turku Universitātē (Turku, Somija). Projekta partneri ir **Igaunijas Dzīvības zinātņu universitāte** (Tartu, Igaunija), **Latvijas Universitāte** (Rīga, Latvija), **Norrtälje Vatten och Avfall (Campus Roslagen)** un **Coompanion Roslagen & Norrort** (Norrtälje, Zviedrija).

TransFarm projektu finansē ES Interreg Centrālā Baltijas programma, projekta kopējais budžets ir 1,87 miljoni eiro, ES finansējums ir 1,5 miljoni eiro.

¹ ANO DESA publikācijas - Pasaules iedzīvotāju skaita prognozes 2022. gadā

1.2. Zivis akvaponikā

Akvaponika ir bezaugsnes lauksaimniecības metode, kas apvieno akvakultūru (zivju audzēšanu) un hidroponiku (augu audzēšanu). Akvaponikas sistēmā, iespējams, vissvarīgākā daļa ir zivis - tās ir organismi, kas nodrošina visu sistēmu ar barības vielām - tās ir šīs simbiotiskās ekosistēmas pamatā. Zivis, izmantojot zivju barības vielmaiņu, veicina barības vielu aprites līdzsvarošanu sistēmā. Akvaponikā zivju atkritumus neuzskata par atkritumiem, bet gan par vērtīgu resursu. Amonjaks - slāpekli saturošs savienojums - izdalās ūdenī, zivīm metabolizējot barību. Amonjaku labvēlīgi mikroorganismi sistēmas biofiltrā pārvērš par nitrātiem un nitrātiem. Šīs ķīmiskās vielas augi viegli absorbē kā būtiskas barības vielas. Šis dabiskais barības vielu aprites process novērš vajadzību pēc sintētiskiem mēslošanas līdzekļiem, tādējādi samazinot ietekmi uz vidi un izveidojot slēgta cikla sistēmu, kurā atkritumi tiek pārvērsti vērtīgā izejvielā (1. attēls).



1. attēls. Akvaponikas sistēmas vispārīgā shēma ar barības vielu augu augšanas kanāliem.

Šajā ziņojumā uzmanība pievērsta dažādiem ar zivīm saistītiem aspektiem akvaponikas sistēmā. Pirmkārt, tiek aplūkotas zivīm raksturīgās ūdens kvalitātes prasības. Tālāk ir aprakstītas dažādas iespējas, ko var izmantot kā zivju dzīves telpu - zivju tvertnes -, norādot to priekšrocības un trūkumus. Tā kā zivju barība ir galvenā un vienīgā barības vielu ievade sistēmā, rūpīgi jāapsver, kādu barību dotat zivīm. Svarīgākās barības vielu grupas ir sīki aprakstītas. Ir apkopotas iespējamās zivju sugas un attiecīgie augšanas apstākļi. Tā kā akvaponika parasti ir ierobežota izmēra sistēma un zivju populācijas blīvums tiek uzturēts maksimāli pieļaujams atkarībā no sugas, ir svarīgi apzināties kaitēkļus un slimības, kas var negatīvi ietekmēt akvaponikas sistēmas darbību.

Veiksmīga akvaponikas sistēma ir ne tikai zivju klātbūtnes rezultāts, bet arī tās dzinējspēks. Tās ir barības vielu aprites pamatā, nodrošinot augu augšanai nepieciešamos pamatelementus. Lai izveidotu plaukstošu un ilgtspējīgu akvaponikas ekosistēmu, ir jāizvēlas piemērotas zivju sugas, jāoptimizē to vide un jāuzrauga to veselība.

Šis ziņojums ir daļa no mācību materiālu sērijas, kas sagatavota Interreg Centrālās Baltijas programmas projekta TransFarm (TRANSborder cooperation for circular soil-less FARMing systems) (Nr. CB0100007) ietvaros. Šis ziņojums ir 3. darba paketes 3.4. aktivitātes rezultāts (D3.4.1.), un tas jāizmanto kopā ar D.3.3.1. (Mācību materiāli par augiem akvaponikā) un D3.2.1. (Mācību materiāli par ūdens kvalitāti akvaponikā) rezultātiem.

2. Ūdens kvalitātes prasības zivīm

2.1. Temperatūra

Akvaponikas sistēmas ekosistēmu būtiski ietekmē temperatūra. Daži augi piemēroti augšanai vēsā vidē, saglabājot savu veselību, spēku un strauju augšanu. Tikmēr zivīm sistēmā jāatbilst īpašiem kritērijiem, jo to ieguldījums barības vielu apritē ir izšķirošs augu augšanai. Akvaponikas praktizētājiem jābūt gataviem mērīt sistēmu grādu dienās, kas ir vienība, kurā ņem vērā temperatūras uzkrāšanos laika gaitā.

Sākotnēji biofiltrs ir jāaktivizē, lai nodrošinātu augus ar nepieciešamajiem nitrātiem un oglekļa dioksīdu. Ērta metode ir sākotnēji iestatīt biofiltra temperatūru 20-22 °C un pēc tam to samazināt, kad sistēmā sāk uzkrāties nitrāti. Visbeidzot, šajā posmā sistēmā obligāti jāiekļauj zivis, lai nodrošinātu augu augšanai labvēlīgu barības vielu uzkrāšanos.

Pastāv alternatīva pieeja: zivju ieviešana jau pašā sākumā. Tomēr šī metode prasa amonjaka/amonija jonu ($\text{NH}_3 / \text{NH}_4^+$) līmeņa un nitrifikācijas procesu uzraudzību, lai novērstu toksicitāti, pirms tā var sasniegt kaitīgu līmeni. Lai risinātu šo problēmu, sistēmā var ievadīt tīru ūdeni, lai atšķaidītu un samazinātu toksisko vielu koncentrāciju. Ziemeļvalstu klimatiskajos apstākļos saldūdens pievade ir noderīgs risinājums arī sistēmas dzesēšanai karstās vasarās, tomēr tas var izraisīt pārmērīgu dzesēšanu aukstākos periodos. Visas šīs modifikācijas ietekmē akvaponikas sistēmas galvenos komponentus: biofiltru, zivju tvertni un augus. Ir obligāti jāuzrauga temperatūra, jo tā ietekmē visus bioloģiskos procesus sistēmā. Standarta termometrs ir jāuztur kā rezerves variants, neraugoties uz digitālās monitoringa sistēmas lietojumu. Kļūdaini rādījumi var apdraudēt sistēmas veselību, tāpēc, lai garantētu precizitāti, ir nepieciešama pastāvīga digitālo sensoru kalibrēšana un uzturēšana.

Nereti ir jāatrod vieta, kas ir stabila un uztur optimālu temperatūru gan zivīm, gan veģetācijai. Gaisa un ūdens temperatūru bieži ietekmē sezonālās svārstības, tāpēc ir nepieciešams optimizēt pieejamās vietas. Pastāv daudzas temperatūras regulēšanas metodes, piemēram, gaisa temperatūras kontrole. Atsevišķās konfigurācijās centrālajā klimata kontroles sistēmā ir gaisa-gaisa siltumsūkņi vai gaisa-ūdens siltumsūkņi, lai regulētu gaisa temperatūru. Šādā konfigurācijā ir iespējama mitruma kontrole. Temperatūras regulēšana, izmantojot ūdeni, ir papildu alternatīva, kas tieši silda ūdeni. Tomēr šīs metodes rezultātā gaisa mitrums var palielināties līdz pat 85 %, kas var izraisīt kondensāciju uz virsmām. Lai gan daži augi var gūt labumu no paaugstināta mitruma, tas var arī veicināt pelējuma un alģu augšanu, jo īpaši, ja tiek izmantots mākslīgais apgaismojums. Lai novērstu mitruma uzkrāšanos, elektriskās sistēmas ir pienācīgi jāizolē un regulāri jāpārbauda.

Ziemeļvalstu klimatiskajos apstākļos dažas saimniecības apkurei izmanto ģeotermālo enerģiju vai blakus esošos ūdens avotus, tāpēc bieži vien ir tiek izmantoti siltummaiņi vai grīdas apsilde. Šāda metode var samazināt mitruma līmeni (25-35 %), un tādēļ var būt nepieciešams uzstādīt papildu mitrinātājus. Vēsākā klimatā akvaponikai ir piemērota 16-17 °C temperatūra, kas var uzturēt varavīksnes foreles un tādas kultūras kā spināti un salāti. Mērena klimata sistēma, kurā uztur 22-26°C temperatūru, ir efektīva, ja to izmanto kopā ar samiem un tādām kultūrām kā baziliks un tomāti. Jāuzrauga mitrums, un vajadzības gadījumā var izmantot miglotājus.

2.2. Skābeklis

Akvaponikā un citās ūdens lauksaimniecības sistēmās skābeklis ir būtisks zivju izdzīvošanai. Lai gan zivis dzīvo ūdenī, tās nespēj tieši izmantot skābekli, kas ir saistīts ar ūdeņraža molekulām. Zivīm, tāpat kā cilvēkiem, elpošanai nepieciešams neierobežots, izšķīdināts skābeklis (DO), kuram jābūt vienmērīgi sadalītam ūdenī. Temperatūra un skābekļa līmenis akvakultūrā ir cieši saistīti. Temperatūras un

TransFarm

izšķīdušā skābekļa tilpuma apgrieztā sakarība izraisa izšķīdušā skābekļa samazināšanos, palielinoties ūdens temperatūrai. Skābekļa daudzumu, ko ūdens dabiski var saturēt jebkurā konkrētā brīdī, pamatā nosaka temperatūra. Skābeklis ir būtisks visām akvaponikas sistēmu sastāvdaļām, tostarp zivīm, biofiltriem un veģetācijai. Parasti skābekli mēra koncentrācijas (ppm vai mg/l) un piesātinājuma (%) izteiksmē. Lai saglabātu veselīgu vidi, akvaponikas ražotājiem ir jāuzrauga un jāizprot dažādi no skābekļa atkarīgi procesi, piemēram, bioķīmiskais skābekļa patēriņš (BSP), nitrifikācija, fotosintēze un elpošana, kas visi ietekmē skābekļa līmeni.

Izšķīdušo skābekli patērē sistēmas iemītņieki, piemēram, zivis un organiskā materiāla noārdīšanās baktērijas. Šo skābekļa patēriņu, ko dēvē par bioloģisko skābekļa patēriņu (BSP), ir ļoti svarīgi kontrolēt, jo īpaši tāpēc, ka skābekļa līmeni samazina mikroorganismi biofiltrā un zivis recirkulētajā ūdenī. Regulāra tīrīšana un apkope ir būtiska, lai novērstu pārmērīgas biofiltrā uzkrātās bioplēves veidošanos. Tas novērš baktēriju izplatīšanos uz augu saknēm un tvertnes sienām. Bez šādas apkopes bioplēve var traucēt ūdens plūsmu un samazināt skābekļa pieejamību.

Skābekļa saturs ūdenī var strauji svārstīties, dažkārt dažu minūšu laikā, un tas var radīt zivīm potenciāli bīstamus apstākļus. Akvaponikas īpašniekiem ir jāuzrauga zivju uzvedība, jo zems skābekļa līmenis nav viegli pamanāms. Zivis, kas peld ūdens virspusē un elpo, it kā "kož" gaisu, ir agrīni zema skābekļa līmeņa indikatori. Šāda uzvedība bieži novērojama, kad skābekļa līmenis samazinās līdz 4-3 ppm. Ja skābekļa līmenis turpina samazināties līdz 1-3 ppm, zivis var izrādīt ciešanas pazīmes, piemēram, drudžaini mēģināt izglābties, izlēkt no tvertnes vai mierīgi gulēt uz grunts vai pie ūdens iekļūdes un izplūdes atverēm. Tādējādi var vaidoties apstākļi, ka ilgstoši zema skābekļa līmeņa periodi var kavēt ūdens plūsmu un izraisīt bīstamu pārplūšanu. Dažas zivju sugas, piemēram, Āfrikas sams, var pielāgoties pazeminātam skābekļa līmenim, uzturējot ūdens virspusē, lai elpotu, bet citas, piemēram, garneles, var sākt izmantot atmosfēras skābekli. Tomēr šīs adaptācijas var notikt tikai pēc ilgāka laika, kad zivis ir pakļautas zemam vai subletālam DO līmenim. Šādos apstākļos daudzi ūdens organismi var iet bojā, jo tie nespēj pielāgoties.



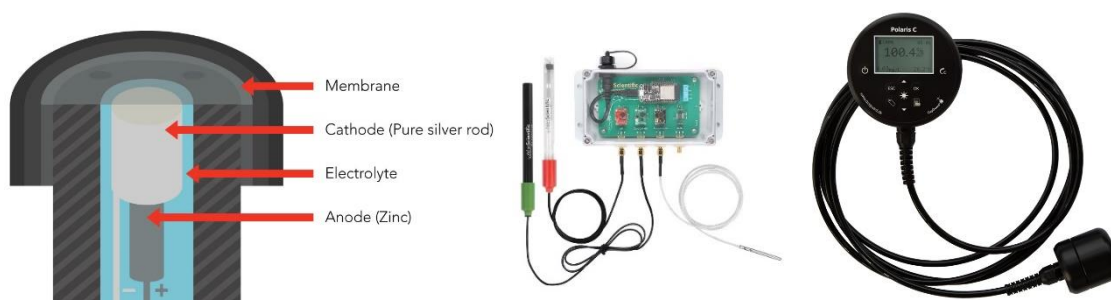
2. attēls. Linde Gas O₂ plūsmas/ dozēšanas vārsti un avārijas O₂ pievades sistēma.

Ieteicams uz laiku pārtraukt zivju barošanu un, ja iespējams, ievadīt svaigu ūdeni, lai mazliet adaptētu sistēmu, ja skābekļa līmenis ir zems. Skābekļa patēriņu samazina tas, ka zivis ir mazāk aktīvas un vēsāks ūdens efektīvāk saglabā izšķīdušo skābekli. Lai nodrošinātu zivju veselību un ekonomisko produktivitāti, ieteicams uzturēt izšķīdušā skābekļa līmeni no 7,5 līdz 9,5 ppm (2. attēls). Tas veicinās efektīvu olbaltumvielu vielmaiņu un sekmēs zivju augšanu. Akvaponikas sistēmās organisko vielu sadalīšanās, ko biofiltrā veic mikroorganismi, rada nepieciešamību pēc izšķīdušā skābekļa (DO), kas savukārt rada augiem nepieciešamās barības vielas. Baktērijas izmanto palielinātu DO daudzumu, lai uzturētu sadalīšanās procesu, ja ir uzkrāts organisko vielu pārpalikums. Tāpēc ir obligāti jāuzrauga un jāregulē bioplēves, dūņu un detrita uzkrāšanās. Ja recirkulācijas sistēma netiek filtrēta, lai atdalītu dūņas vai suspendētās daļiņas, skābekļa patēriņš var palielināties, kas var izraisīt skābekļa trūkumu. Skābekļa piegādi akvaponikā pārvalda, izmantojot trīs sistēmas: bioloģisko patēriņu, uztura patēriņu

TransFarm

(barošanas daudzums, biežums) un ārkārtas padevi, lai uzturētu optimālu skābekļa līmeni. Bioloģiskais patēriņš - relatīvi nemainīgs un palielinās proporcionāli kopējai biomasas daudzumam sistēmā. Tas simbolizē skābekli, kas nepieciešams baktēriju, augu un zivju ikdienas elpošanai un vielmaiņai. Barošanās - zivju vielmaiņas aktivitāte uz laiku paaugstinās barošanās laikā un tūlīt pēc tās, kā rezultātā uz laiku palielinās pieprasījums pēc skābekļa. Lai saglabātu līdzsvaru, skābekļa sensori katrā zivju tvertnē liela mēroga sistēmās uzrauga līmeni un informē primāro kontroles sistēmu, kas uz laiku atver skābekļa padeves vārstus. Avārijas apgāde - rezerves skābekli piegādā ar avārijas sistēmu palīdzību aprīkojuma vai elektroenerģijas padeves pārtraukumu laikā. Rezerves ģeneratori ir nepieciešami lielās sistēmās, lai nodrošinātu nepārtrauktu skābekļa piegādi. Pat nelielām un amatieru saimniecībām var būt noderīgs uzticams sekundārais enerģijas avots, lai pasargātu zivis neparedzētu pārtraukumu laikā.

Atkarībā no sistēmas mēroga un skābekļa vajadzībām ir pieejamas dažādas metodes skābekļa ievadīšanai akvaponikas sistēmās. Vienkāršs aerācijas sūknis ar aerācijas caurulēm vai keramikas akmeņiem parasti nodrošina pietiekamu skābekļa daudzumu nelielās sistēmās. Vidēja lieluma sistēmās ar lielāku skābekļa patēriņu bieži izmanto smalkas perforācijas difuzorus, lai uzlabotu aerāciju, kā arī skābekļa ģeneratoru vai hermetizētus skābekļa balonus, lai nodrošinātu pastāvīgu pievadi. Liela mēroga sistēmās ir nepieciešamas sarežģītas skābekļa padeves konfigurācijas, ko var panākt, izmantojot šķidrā skābekļa sistēmas vai skābekļa ģeneratorus. Skābekļa ģeneratori nodrošina skābekļa ražošanu pēc nepieciešamības, bet spiedienkārtas nodrošina lielas jaudas skābekļa uzglabāšanu tūlītējai lietošanai. Katrai metodei ir savas priekšrocības. Tomēr šķidrā skābekļa sistēmām parasti ir nepieciešama sarežģītāka uzstādīšana un apkope.



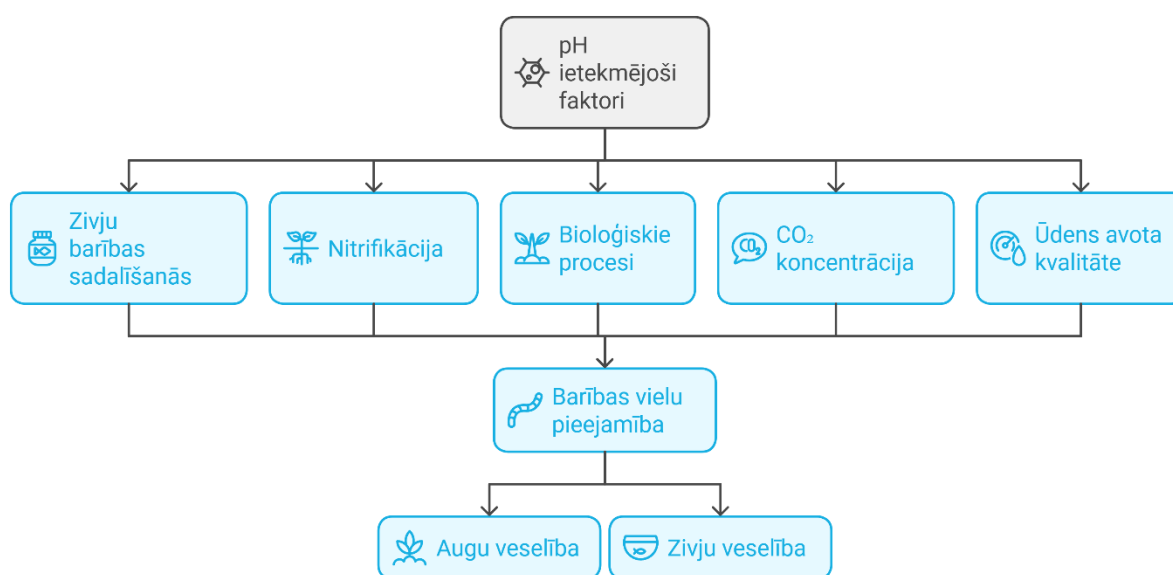
3. attēls. Atlas Scientific monitoringa sistēma un Handy Oxyguard O₂ sensors.

Lai nodrošinātu sistēmas efektivitāti un veselību, ir svarīgi kontrolēt skābekļa līmeni (3. attēls). Skābekļa zondes ir nepieciešams pārbaudīt katru dienu, lai pamanītu un novērstu biofilmas uzkrāšanos, jo īpaši siltūdens sistēmās, kur monitoringam izmanto gan manuālās, gan stacionārās zondes. Piemēram, anoda-katoda zondes var būt nepieciešams tīrīt biežāk nekā optiskās zondes, jo biofilma var ietekmēt to rādījumus. Ir arī obligāti jāveic regulāra kalibrēšana saskaņā ar ražotāja specifikācijām. Nepieciešama ātra bojātu zondes apkope, kas var ietvert membrānu nomaiņu, zondes šķidrums uzpildīšanu vai zondes iekšējo komponentu tīrīšanu. Akvaponikas sistēmās var izmantot dabīgos skābekļa avotus, lai samazinātu skābekļa piedevas nepieciešamību (aprakstītī tālākajās sadaļās). Dabisko DO līmeņa paaugstināšanos veicina aļģu, jūras aļģu un citu ūdensaugu skābekļa ražošana kā fotosintēzes blakusprodukts. Temperatūras kontrole ir būtiska, lai optimizētu šo procesu, jo tā ietekmē augu elpošanas ātrumu un skābekļa ražošanu. Uzturot atbilstošu ūdens temperatūru, var uzlabot fotosintēzes efektivitāti, tādējādi nodrošinot pastāvīgu skābekļa padevi visai sistēmai. Lai veicinātu veselīgu zivju augšanu un efektīvu olbaltumvielu vielmaiņu, uzturiet izšķīdušā skābekļa līmeni 7,5-9,5

ppm robežās. Šis diapazons uzlabo zivju veselību un attīstību, tādējādi veicinot ekonomiski ilgtspējīgu akvaponikas ražošanu.

2.3. pH

pH skala ir logaritmiska mērvienība, ko izmanto, lai aprakstītu ūdens šķīdumu skābumu vai bāziskumu. Skābiem šķīdumiem ir zemākas pH vērtības, jo tajos ir lielāka ūdeņraža jonu (H^+) koncentrācija, savukārt bāziskiem jeb sārmainiem šķīdumiem ir augstākas pH vērtības, jo tajos ir mazāk ūdeņraža jonu. Katra pH vienība atbilst desmitkārtīgai ūdeņraža jonu koncentrācijas atšķirībai, jo skala darbojas pēc 10 bāzu logaritmiskās sistēmas. Šķīdumi, kuru pH ir zemāks par 7, standarta temperatūrā 25 °C tiek klasificēti kā skābi, bet šķīdumi ar pH virs 7 - kā bāziski (4. attēls).



4. attēls. pH ietekmējošo faktoru kopsavilkums, kas ietekmē akvaponikas sistēmas.

Akvaponikā pH ir ļoti svarīgs parametrs, jo tas ietekmē sistēmas integritāti, mikrobu aktivitāti un barības vielu pieejamību. Būtisku barības vielu šķīdību tieši ietekmē pH līmenis, kas savukārt ietekmē šo barības vielu pieejamību augu uzņemšanai. Tādējādi tiek ietekmēta augu veselība un augšana. Turklāt pH ir izšķirošs faktors, kas nosaka konkrētu savienojumu, tostarp amonjaka, toksiskumu, kas, paaugstinoties pH līmenim, kļūst bīstamāks ūdens organismiem. Šo iemeslu dēļ ir svarīgi uzturēt stabilu pH līmeni, lai nodrošinātu veselīgu un līdzsvarotu akvaponikas sistēmu. pH akvaponikas sistēmās ietekmē dažādi faktori. Piemēram, pH svārstības var izraisīt barības granulu sadalīšanās tvertnē. Šīm granulām sadaloties, izdalās amonjaks, kas var pakāpeniski mainīt pH. Nitrifikācijas procesā amonjaks, kas ir barības vielu avots mikroorganismiem biofiltrā, tiek pārvērsts, radot papildu skābumu ūdenī. Šim skābumam ir potenciāls palielināt nitrātu daudzumu, kas, ja netiek kontrolēts, var izraisīt toksicitātes pieaugumu sistēmā. Šo ietekmi var palīdzēt mazināt pareiza zivju sugai un izmēram ideāli piemērota barošana, jo dienas laikā nepieciešamās barības apjoms var svārstīties no 0,3 % līdz 6 % no zivju biomasas akvārijā.

pH līmeni ietekmē arī bioloģiskie procesi, jo ūdenī nonāk organiskas vielas un amonjaks, ko rada barības atkritumi, zivju ekskrementi vai pat sadalījušās zivis. Šīs vielas veicina labvēlīgo baktēriju koloniju augšanu, kas sākotnēji paaugstina pH un pēc tam, turpinot sadalīšanos, to pazemina. Nitrifikācijas procesā, kas pastāvīgi palielina ūdens skābumu, rodas nitrāti un nitrāti. Turklāt vides pH ietekmē augu absorbētās barības vielas un sekojošo jonu, tostarp nitrātu un karbonātu, izdalīšanās. Atkarībā no konkrētajiem joniem pH var paaugstināties vai pazemināties.

TransFarm

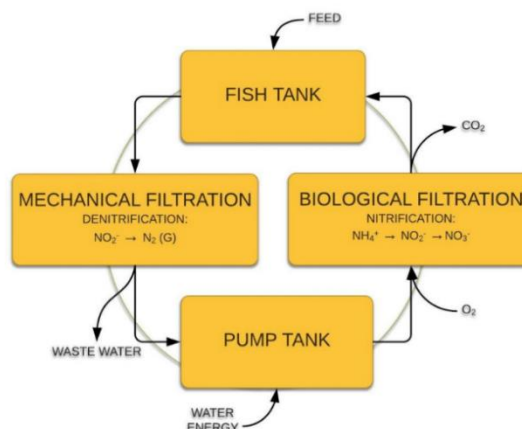
Arī oglekļa dioksīda koncentrācija ir būtisks pH stabilitātes faktors. Augsta CO₂ koncentrācija ūdenī izraisa ogļskābes veidošanos, kas pazemina pH. Savukārt mazāks CO₂ daudzums var samazināt skābumu. Visbeidzot, ūdens pH būtiski ietekmē ūdens avots (izcelsme), jo saldūdens buferespēju ietekmē tā pH un cietība. Lielāka buferespēja rada nepieciešamību izmantot lielākus pH regulējošo savienojumu daudzumus, piemēram, sālsskābi (HCl), lai palielinātu skābumu, vai nātrija hidroksīdu (NaOH) un kalcija hidroksīdu (dzēstās kaļķvielas, Ca(OH)₂), lai palielinātu pH. Nepastāvīgs pH līmenis var kavēt augu attīstību un samazināt kultūraugu ražu. Barības vielu uzsūkšanās augos ir ļoti jutīga pret pH, un, ja tas novirzās no optimālā diapazona, būtiskās barības vielas kļūst mazāk pieejamas, apdraudot augu veselību un augšanu. Arī fizioloģisko procesu, tostarp fotosintēzes, traucējumi var izraisīt barības vielu nelīdzsvarotību un samazināt auga spēju izturēt stresa faktorus. Lai gan pH monitoringu var veikt manuāli, automatizētas stacionāras sistēmas nodrošina lielāku stabilitāti un efektivitāti, atvieglojot korekcijas reāllaikā.

Ilgstoša uzturēšanās zivīm nepiemērotā pH līmenī var izraisīt stresu, novājinātu imunitāti un paaugstinātu uzņēmību pret slimībām. Fizioloģiskās funkcijas var būt traucētas, apetīte var būt samazināta, augšana var būt palēnināta, un zivis var būt jutīgākas pret ūdens ķīmiskā sastāva svārstībām, ja tās ir pakļautas pH nestabilitātei. Lai mazinātu kaitīgo ietekmi uz zivju veselību, pH svārstībām 24 stundu laikā nevajadzētu pārsniegt 0,5 vienības. Lai uzturētu līdzsvarotu akvaponikas vidi, būtiska ir konsekventa uzraudzība un precīza regulēšana, lai gan, lai nodrošinātu stabilitāti, manuālai pH regulēšanai var būt nepieciešams neliels daudzums piedevu daudzums, kas var izmainīt sistēmas stabilitāti.

2.4. Citi parametri

Ūdens plūsma un cirkulācija

Recirkulācijas akvakultūras sistēmas galvenā sastāvdaļa ir sūkņi. Sūkņiem ieteicams izmantot frekvenču modulatorus atkarībā no to specifikācijām un iespējām. Sūkņi ir energoietilpīgi, tāpēc energoefektīvāk ir izmantot vienu sūkni visas ūdens padeves cirkulācijai. Lai nodrošinātu nepārtrauktu ūdens plūsmu, ieteicams tajā pašā vietā uzstādīt otru sūkni un regulāri darbināt abus sūkņus, lai novērstu nogulšņu uzkrāšanos vai sūkņa korpusa aizsērēšanu. Iespējams, ka ekspluatācijas laikā viens no sūkņiem būs jānomaina vai jāizņem no sistēmas apkopes nolūkā. Šim nolūkam ievietojiet sūkni ar diviem vārstiem, no kuriem viens atrodas iepildes priekšā, bet otrs aizver izplūdes atveri. Projektējot sistēmu, ir svarīgi apsvērt pieticīgu pacelšanas augstumu, lai samazinātu ekspluatācijas izdevumus. Katras cirkulācijas laikā ūdens tiek pacelts tikai vienu reizi. Sūkni galvenokārt novieto pirms biofiltru iepildes atveres, kā arī pirms oksidācijas iekārtām un zivju tvertnēm, lai nodrošinātu atbilstošu spiedienu sistēmā (5. attēls).



5 attēls. Akvaponikas sistēmas ievades un izvades elementi.

Frekvences modulators arī palīdz inducēt ūdens ātrumu. Tas ir nepieciešams, jo dažām zivju sugām nepieciešams lielāks ūdens plūsmas ātrums, lai uzturētu tām piemērotu vidi. Reizēm palielinātam plūsmas ātrumam var būt papildu pozitīva ietekme, piemēram, kanibālisma samazināšanās un detrita samazināšanās uz tvertnes dibena.

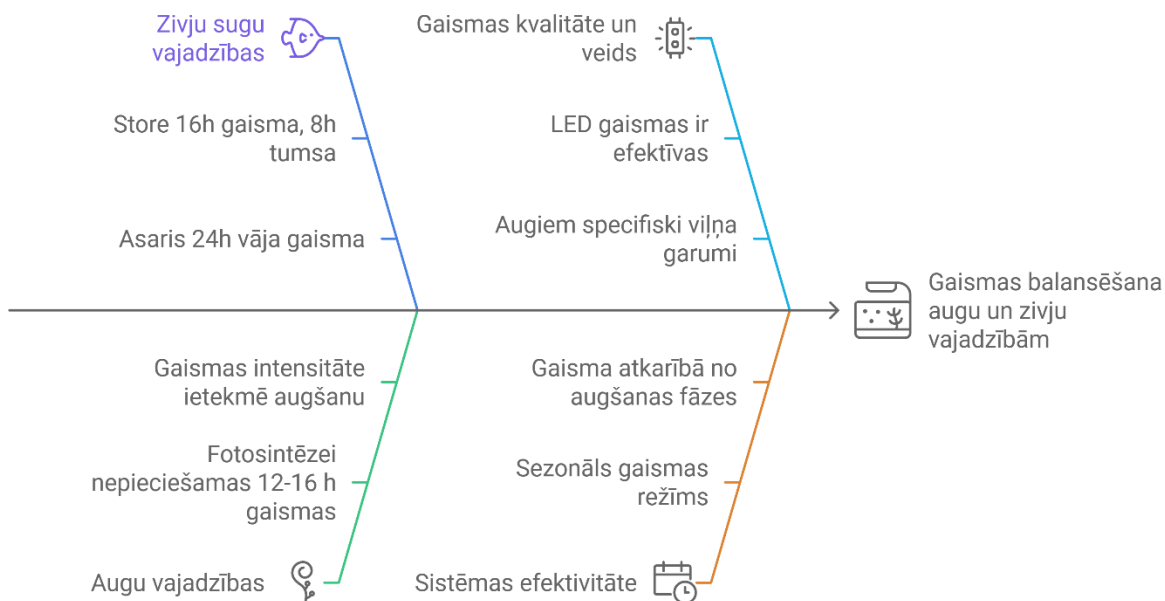
Diennakts gaismas grafiks

Kontrolētā, slēgtā recirkulācijas akvakultūras sistēmā gan zivju, gan augu veselība un augšana ir atkarīga no gaismas kontroles un uzstādītā diennakts režīma. Apgaismojums zivīm ir pielāgots katras sugas unikālajām prasībām. Piemēram, stores vislabāk attīstās 16 stundu dienas un 8 stundu nakts ciklā, kas atbilst dabiskajai videi un optimizē to augšanu. Tomēr asaru sugām ir nepieciešams nepārtraukts vājš apgaismojums (24 stundas diennaktī), lai novērstu stresu, jo jebkura gaismas maiņa var izjaukt to barošanās un atpūtas režīmu. Lai izvairītos no pārbiedēšanas, lašu sugām nepieciešama pakāpeniska pāreja no dienas uz nakti, jo tās ir jutīgākas pret straujām gaismas izmaiņām. Pēkšņas izmaiņas var izraisīt stresa reakcijas, piemēram, "viļņa" efektu, kad zivju grupas var pēkšņi iznirt no ūdens, potenciāli nodarot sev kaitējumu. Turpretī sams ir nakts zivs, un visefektīvāk to audzēšana notiek gandrīz pilnīgā tumsā, kad personāla darbībai nepieciešams tikai minimāls gaismas daudzums, lai netraucētu tā dabisko uzvedību (6. attēls).

Gaismas funkcija akvapponikas sistēmās neaprobežojas tikai ar zivīm; tā būtiski ietekmē arī augus, kuriem gaisma nepieciešama fotosintēzes nodrošināšanai. Fotosintēze ir process, kurā augi pārvērš gaismas enerģiju ķīmiskajā enerģijā, tādējādi radot zivīm nepieciešamo skābekli un no ūdens izvadot barības vielas, kas citādi uzkrājas kā detrits. Akvapponikas vidē zivju prasības pēc apgaismojuma var būt pretrunā ar augu prasībām optimālai augšanai, kam parasti nepieciešamas 12-16 stundas gaismas dienā. Lai efektīvi pārvaldītu gaismas iedarbību, lauksaimniekiem, iespējams, būs jāievieš zivju tvertņu aizēnošanas stratēģijas vai pat jānorobežo atsevišķas iekārtas zonas, izmantotot citas telpas dažādiem sistēmas elementiem. Tas palīdzēs sabalansēt šīs prasības. Zivju akvāriju aizēnošana vai fizisku barjeru izveidošana starp augiem un zivīm var nodrošināt zivīm nepieciešamo tumsu, vienlaikus nodrošinot, ka augi saņem pietiekami daudz gaismas.

Izstrādājot apgaismojuma grafikus akvapponikā, jāņem vērā arī izmantotās gaismas kvalitāte un veids. Iekštelpu sistēmās bieži vien ir nepieciešams izmantot mākslīgo apgaismojumu, lai papildinātu vai aizstātu dabisko saules gaismu. LED audzēšanas lampas bieži izmanto to energoefektivitātes, krāsu spektra pielāgošanas elastības dēļ, lai pielāgotos augu fotosintētiskajām prasībām, un minimālās siltuma emisijas dēļ. Piemēram, zilais un sarkanais viļņu garums ir īpaši labvēlīgs augu augšanai, jo stimulē fotosintētisko aktivitāti. Tomēr nepieciešamību noteikt apgaismojuma grafikus un intensitātes līmeņus vēl vairāk uzsver fakts, ka ilgstoša šo specifisko viļņu garumu iedarbība var nebūt piemērota dažām zivju sugām.

TransFarm



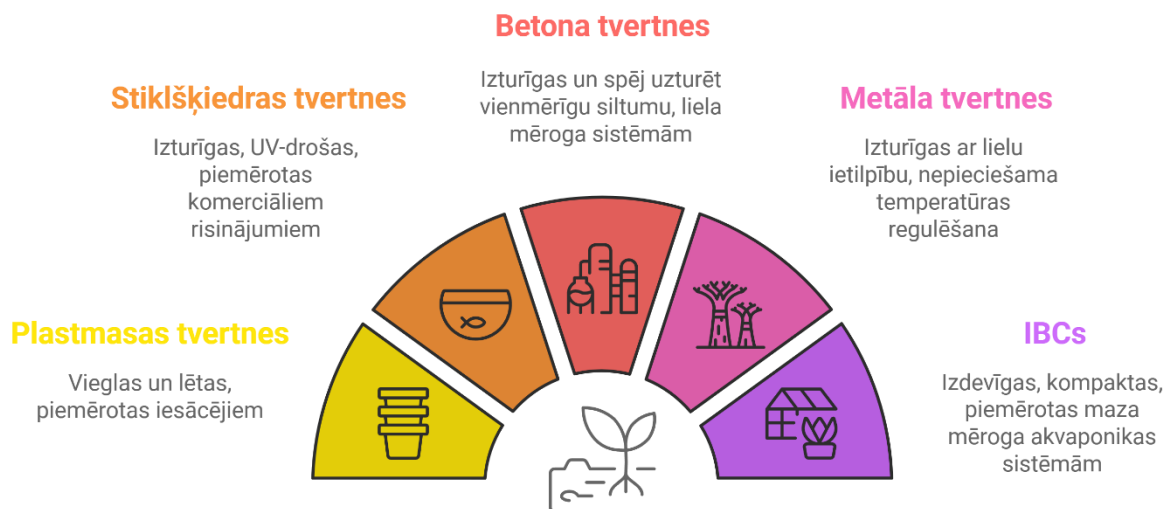
6. attēls. Apgaismojuma apstākļi un aspekti, kas ietekmē akvaponikas sistēmas gaismas režīmu.

Sistēmas efektivitāti var ievērojami uzlabot, uzraugot gaismas iedarbību un pielāgojot to sezonāli vai atbilstoši augu un zivju augšanas stadijām. Sākotnēji jauniem augiem var būt nepieciešams vairāk gaismas, lai izveidotu spēcīgu sakņu sistēmu, savukārt pieauguši augi var attīstīties ar nelielu gaismas intensitātes samazinājumu. Tāpat arī zivīm nepieciešamās gaismas intensitāte var mainīties atkarībā no to augšanas stadijas un vides faktoriem, tostarp ūdens temperatūras un barošanas režīma. Akvaponikas ražotāji var optimizēt produktivitāti un garantēt abu organismu labklājību sistēmā, izveidojot vidi, kas atbilst gan zivju, gan augu atšķirīgajām prasībām, ievērojot un pielāgojot apgaismojuma grafikus.

3. Akvakultūra akvaponikā

3.1. Zivju tvertņu izvēle un veidi

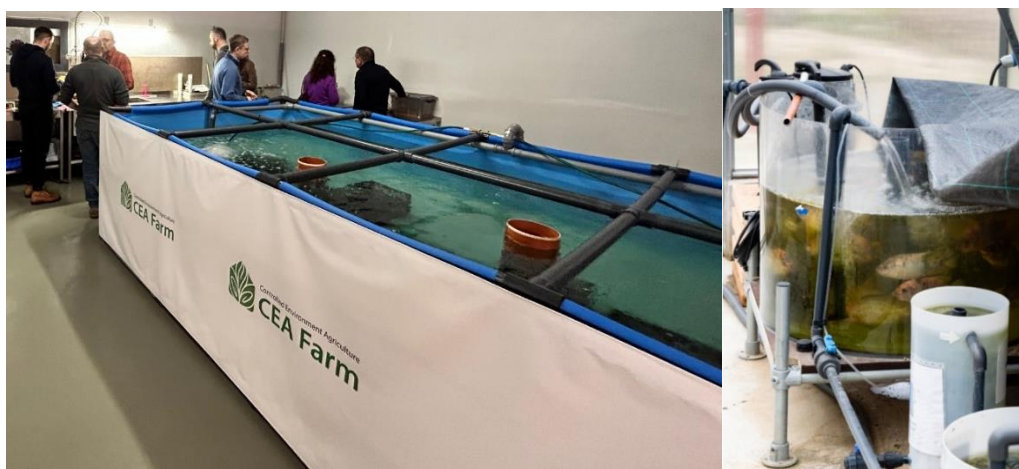
Zivju tvertne ir būtiska akvaponikas sastāvdaļa, jo tā kalpo kā mājvieta zivīm, kuru ekskrementi apgādā augus ar augšanai nepieciešamajām barības vielām. Izvēlētajā tvertne būtiski ietekmē sistēmas efektivitāti, zivju veselību un vispārējo darbību. Dažādās tvertnēs, kas paredzētas dažādām vajadzībām, var izmantot gan piemājas dārza hobiju sistēmas, gan liela mēroga komerciālas sistēmas, un katra no tām ir izstrādāta, lai apmierinātu specifiskas prasības. Lai izdarītu pamatotus secinājumus par to, kādus zivju veidus audzēt un kā maksimāli palielināt sistēmas veiktspēju, ir nepieciešama rūpīga izpratne par katra tvertnes tipa priekšrocībām un trūkumiem (7. attēls).



7. attēls. Akvaponikas sistēmā zivju audzēšanai izmantoto tvertņu veidi.

Plastmasas vai polietilēna tvertnes

Akvaponikas sistēmās plastmasas vai polietilēna tvertnes ir viens no izplatītākajiem risinājumiem, jo īpaši mazākās un vidēja izmēra iekārtās (8. attēls). Šīs tvertnes ir ieteicamas, jo tās ir vieglas, izturīgas un rentablas. Tās ir izgatavotas no augsta blīvuma polietilēna (HDPE) vai citas plastmasas, kas ir piemērota lietošanai ar pārtiku. Šīs tvertnes ir pieejamas dažādās formās, tostarp apaļas, taisnstūra un ovālas. Tās ir vienkārši lietojamas, transportējamas un uzstādāmas, tāpēc tās ir lielisks risinājums akvaponikas entuziastiem, kas tikai sāk savu darbību. Tie ir izgatavoti no nerūsējoša materiāla, kas nodrošina, ka tie nepiesārņo ūdeni. Turklāt to lieliskā siltumizolācija palīdz uzturēt nemainīgu ūdens temperatūru, kas ir ļoti svarīgi zivju veselībai. Tomēr plastmasas tvertnes ir uzņēmīgas pret skrāpējumiem, kas ar laiku var radīt vietas, kurās var attīstīties baktērijas. Turklāt tās nav tik izturīgas kā citi materiāli, piemēram, betons vai stiklšķiedra, jo īpaši, ja tās ilgstoši tiek pakļautas ultravioletās gaismas starojumam. Ņemot to vērā, lietotāji tiek mudināti apsvērt iespēju nodrošināt kādu aizsardzību pret tiešiem saules stariem, jo īpaši āra apstākļos. Plastmasas tvertnes ir lieliska izvēle tādu zivju sugu kā tilapijas, sams un foreles turēšanai, jo šīs zivis ir izturīgas un spēj pielāgoties dažādiem ūdens vides apstākļiem.



8. attēls. Plastmasas tvertnes un konteineri, ko izmanto zivju audzēšanai akvaponikas sistēmā.

Stikla šķiedras tvertnes

Tā kā stikla šķiedras tvertnes ir īpaši izturīgas un ilgmūžīgas, tās ir populāra izvēle gan komerciālām, gan augstas klases akvaponikas sistēmām (9. attēls). Tas ir tāpēc, ka stikla šķiedras tvertnes ir pazīstamas ar savu reputāciju. Stiklšķiedru stiegrotā plastmasa, ko izmanto šo tvertņu izgatavošanā, ir kompromiss starp to, ka tā ir viegla un ļoti izturīga. Stikla šķiedras tvertnes var izgatavot pēc klienta specifikācijām visdažādākajās formās un izmēros, kas ļauj tās pielāgot dažādām sistēmu konfigurācijām un zivju apjomiem. Tā kā to virsma ir gluda, tās ir viegli tīrāmas, kas samazina iespēju, ka tajās veidosies atkritumi vai uzkrāsies bioplēve, kas var ietekmēt ūdens kvalitāti. Stikla šķiedras tvertnes ir noturīgas pret ultravioletās gaismas un korozijas radītiem bojājumiem, kas nozīmē, ka tās var izmantot gan iekštelpās, gan ārpus tām, laika gaitā nepasliktinot to kvalitāti. Tā ir vēl viena būtiska stikla šķiedras tvertņu priekšrocība. Tomēr, neraugoties uz šīm priekšrocībām, stikla šķiedras tvertnes parasti ir dārgākas nekā plastmasas vai IBC tvertnes, kas var būt trūkums uzņēmējiem, kas tikko sākuši akvaponikas praktizēšanu. Turklāt, lai gan stikla šķiedra ir ilgmūžīga, tā var sašķelties vai saplaisāt, ja ar to rīkojas nepareizi vai ja tā tiek pakļauta spēcīgiem triecieniem; tāpēc, pārvietojot vai tīrot to, ir jāievēro piesardzība. Stiklašķiedras tvertnēs var audzēt tilapijas, asarus un jūras asarus, kas labi attīstās apstākļos, kuros ir nemainīga ūdens kvalitāte un stabila temperatūra.

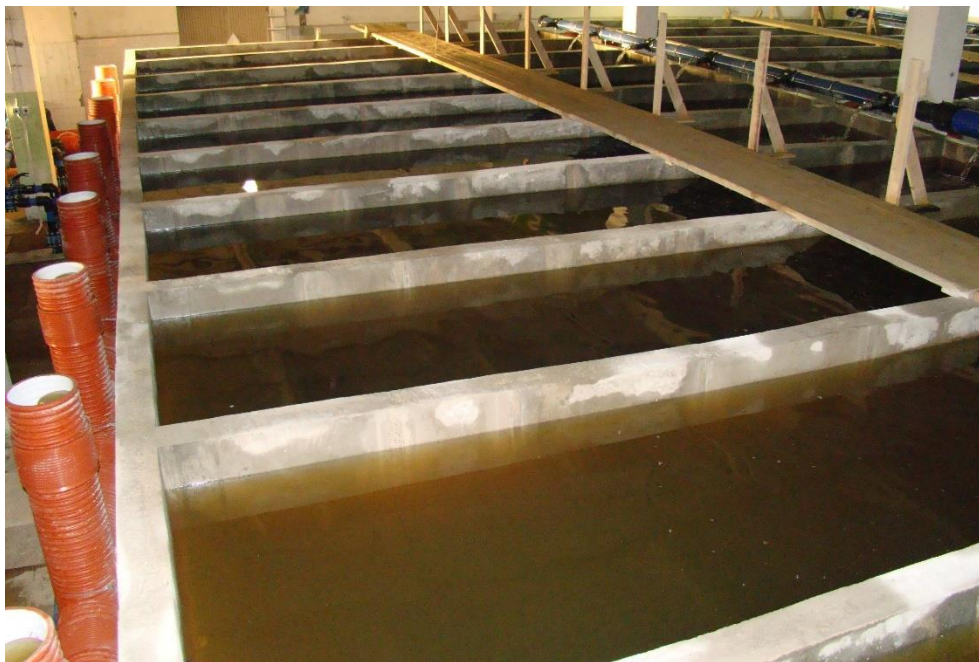


9. attēls. Stikla šķiedras zivju tvertnes izmanto zivju audzēšanai akvaponiskās sistēmās.

Betona tvertnes

Liela mēroga komerciālās akvaponikas sistēmās betona tvertnes ir neaizstājama sastāvdaļa. Tas jo īpaši attiecas uz siltām vai tropiskām vietām, kur šo tvertņu spēja regulēt temperatūru kļūst par priekšrocību (10. attēls). Dzelzsbetona izmantošana šo tvertņu konstrukcijā nodrošina tām īpaši izturīgu un ilgmūžīgu konstrukciju, kas bieži vien var kalpot desmitiem gadu, ja tās tiek pareizi uzturētas. Salīdzinot ar citiem tvertņu veidiem, betona tvertnes bieži tiek veidotas pēc pasūtījuma, lai atbilstu sistēmas prasībām. Tas ļauj nodrošināt lielāku ūdens tilpumu un lielāku zivju blīvumu nekā cita veida tvertnēs. Tās ir noderīgas arī āra teritorijās, kur temperatūras izmaiņas var radīt stresu zivīm, jo to biežās sienas nodrošina lielu siltuma masu, kas palīdz stabilizēt ūdens temperatūru, absorbējot siltumu dienas laikā un atbrīvojot to naktī. Tas ir īpaši efektīvi apstākļos, kad ūdens temperatūra svārstās. Tomēr ir daži būtiski trūkumi, kas saistīti ar betona tvertnēm. Šo sistēmu būvniecība ir dārga gan izmantoto materiālu, gan nepieciešamā darbaspēka ziņā, tāpēc tās ir mazāk piemērotas sistēmām, kas ir vai nu mazākas, vai ekonomiski izdevīgākas. No tikko uzbūvētām betona tvertnēm ūdenī var noplūst kaļķi, kas var izraisīt pH līmeņa paaugstināšanos, un pirms to izmantošanas ir nepieciešama atbilstoša žāvēšana un hermetizācija. Šis sākotnējais apkopes process ir būtisks, lai novērstu stresu zivīm. Pēc izveidošanas

betona tvertnes ir lieliski piemērotas lielu, izturīgu zivju sugu, piemēram, tilapiju un karpu, audzēšanai, kas var attīstīties stabilā vidē, ar lielu ietilpību un kontrolējamiem ūdens parametriem.



10. attēls. Betona zivju tvertnes Latvijas akvakultūras sistēmā.²

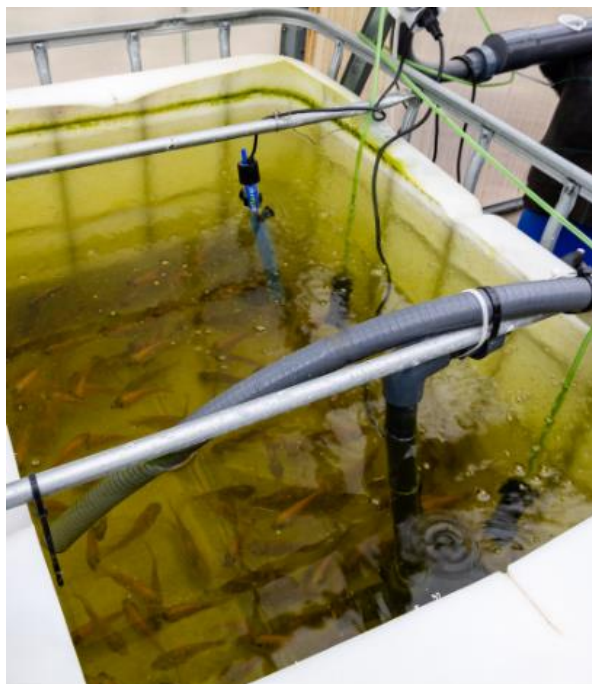
Metāla cisternas (oderētas ar pārtikas produktiem paredzētiem pārklājumiem)

Metāla tvertnes, kas bieži vien ir izgatavotas no cinkota tērauda vai alumīnija, joprojām ir dzīvotspējīga alternatīva akvapponikas sistēmām, jo īpaši tad, ja tās ir pārklātas ar pārtikai paredzētiem pārklājumiem vai oderējumu. Metāla tvertnes tiek izmantotas retāk nekā cita veida tvertnes. Metāla tvertnēm piemītošā īpašības padara tās ļoti izturīgas un noturīgas pret apkārtējās vides kaitējumu. Turklāt šo tvertņu lielais tilpums padara tās piemērotas izmantošanai komerciālās sistēmās, kurās nepieciešams lielāks ūdens daudzums. Ja telpa ir ierobežota, bet nepieciešams liels zivju blīvums, metāla tvertnes ir īpaši efektīvas, jo tajās var izvietot daudz zivju. No otras puses, tā kā metāls ir pakļauts korozijai, jo īpaši, ja tas ir pakļauts ūdens un mainīgas temperatūras iedarbībai, šīs tvertnes ir jāizklāj ar netoksiskiem, pārtikas produktiem paredzētiem materiāliem, piemēram, plastmasu vai gumiju, lai novērstu bīstamu savienojumu nokļūšanu ūdenī. Ja metāla tvertnes nav atbilstoša oderējuma, tās rada ievērojamus draudus zivju veselībai un ūdens tīrībai. Metāla tvertnēm ir slikta siltumizolācija, kas ir viena no to negatīvajām īpašībām. Metāls ir materiāls, kas viegli pārnes siltumu, un tas nozīmē, ka ūdens temperatūra var vieglāk mainīties. Īpaši tas attiecas uz dzīvotnēm, kas ir pakļautas dabas stihiju iedarbībai, kas var radīt stresu zivju sugām, kuras ir jutīgas pret temperatūru. Turklāt metāla tvertņu un to oderējuma sākotnējās izmaksas var būt diezgan ievērojamas. Neraugoties uz šiem šķēršļiem, metāla tvertnēs ir iespējams sekmīgi audzēt tādas zivju sugas kā tilapijas un foreles, ja vien ūdens temperatūra tiek pienācīgi regulēta.

² <https://bior.lv/en/node/738>

IBC konteineri

Nelielā mērogā un paštaisītajās akvaponikas sistēmās visbiežāk tiek izmantoti starpproduktu konteineri, ko dēvē par IBC (11. attēls), un tie ir vienas no visbiežāk izmantotajām tvertnēm. Konteineri, kas sākotnēji tika izstrādāti šķidrumu transportēšanai, ir izgatavoti no pārtikā izmantojamas plastmasas un iebūvēti metāla rāmī. Tas padara tos par alternatīvu, kas ir gan par pieņemamu cenu, gan viegli pieejama. IBC konteineri ir pietiekami kompakti, lai tos varētu ievietot pagalmos vai pilsētās, un vienlaikus tie nodrošina pietiekamu tilpumu dažādām zivju sugām. To parastā ietilpība ir aptuveni tūkstoš litru, tāpēc tās ir ideāli piemērotas zivju pārvadāšanai. IBC tvertnes ir ne tikai lētas, bet tās ir arī ļoti vienkārši pārveidojamas, kas ir viena no būtiskākajām to priekšrocībām. Tā kā tās var sagriezt, izurbt un aprīkot ar cauruļvadiem, tās var integrēt jebkurā sistēmas projektā bez jebkādam neērtībām. No otras puses, IBC plastmasas sienas laika gaitā var sabojāties, ja tās tiek pakļautas tiešai saules gaismas iedarbībai; tāpēc, lai pagarinātu to kalpošanas laiku, ir svarīgi nodrošināt ēnu vai pārklāt tās ar atstarojošu materiālu. IBC tvertnēm ir ierobežots tilpums, tāpēc tās ir mazāk piemērotas lielākām komerciālām sistēmām vai zivīm, kurām nepieciešams vairāk vietas. Tas ir vēl viens trūkums, ko rada IBC tvertņu ierobežotais tilpums. IBC tvertņu šaurās atveres var aprūtināt piekļuvi visām tvertnē ietilpstošajām zonām, un tas ir vēl viens iemesls, kāpēc šo tvertņu tīrīšana var būt diezgan sarežģīta. IBC tvertnes ir laba alternatīva izturīgu zivju sugu, piemēram, tilapiju, samu un koi karpu, audzēšanai, jo tās var pielāgoties samazinātam ūdens tilpumam un dažādiem apstākļiem. Neraugoties uz šiem ierobežojumiem, IBC tvertnes ir ideāla izvēle šo zivju sugu audzēšanai.



11. attēls. IBC (Euro-cube), ko izmanto zivju audzēšanai akvaponikas sistēmā.

Akvāriju atkārtota izmantošana

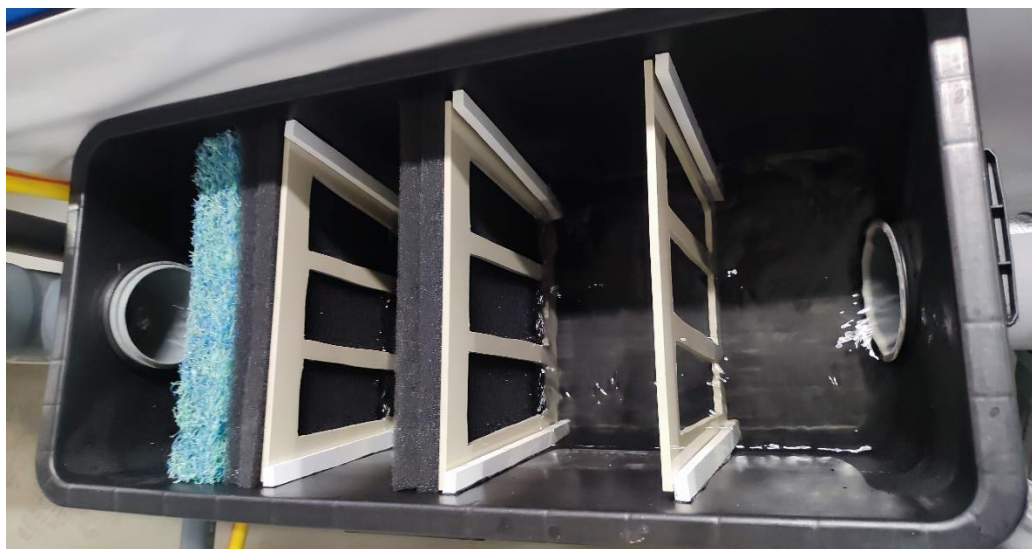
Pārbūvētus akvārijus parasti izmanto nelielās akvaponikas sistēmās, kas izvietotas telpās. Šīs sistēmas bieži vien tiek iekļautas mācību vai dekoratīvos objektos. Šo tvertņu izgatavošanā parasti izmanto gan stiklu, gan akrilu. Abi materiāli nodrošina lielisku redzamību, kas ļauj viegli pārbaudīt zivju veselību un ūdens tīrību. Akvāriju estētiskā pievilcība padara tos lieliski piemērotus demonstrējumu projektiem vai mājas sistēmām, kurās paredzēts izstādīt zivis un augus. Citi pielietojumi ietver demonstrācijas projektus. Lai gan akvāriji ir pieejami dažādos izmēros, to ietilpība parasti ir ierobežota salīdzinājumā ar citu veidu tvertnēm. Tāpēc akvāriji nav ideāli piemēroti lielāku zivju vai lielāka skaita zivju audzēšanai. Turklāt stikla akvāriji ir trausli, un, ja ar tiem nerīkojas uzmanīgi, tie var saplaisāt vai saplīst. Lai gan akrila akvāriji ir izturīgāki, tie laika gaitā var saskrāpēties, kas var mazināt to estētisko izskatu. Turklāt akvāriji ir diezgan dārgi, jo īpaši palielinoties akvārija izmēram. Tas var būt ierobežojošs faktors tiem, kuri vēlas paplašināt savu sistēmu. Neraugoties uz šiem ierobežojumiem, akvāriji ir lieliska vide mazāku un dekoratīvu zivju sugu, piemēram, zelta zivtiņu, koi karpu, zelta orfu, turēšanai. Tomēr

lielākās akvāriju sistēmās var turēt arī lielākas zivju sugas, piemēram, tilapijas, ar nosacījumu, ka tiek rūpīgi regulēta ūdens kvalitāte.

Akvaponikas sistēmai ir ļoti svarīgi izvēlēties piemērotu zivju tvertni, lai garantētu veiksmīgu darbību. Katram tvertnes veidam ir savas priekšrocības un trūkumi, kas var ietekmēt ūdens kvalitāti, zivju veselību un sistēmas uzturēšanu. Plastmasas un IBC tvertnes ir ideāli piemērotas mazākām sistēmām un nodrošina rentabilitāti, savukārt stikla šķiedras un betona tvertnes nodrošina izturību un iespēju paplašināt lielākām operācijām. Plastmasas tvertnes var ļoti ērti izmantot arī mazākās sistēmās. Lai gan metāla tvertnes ir izturīgas, atkarībā no tā veida un pielietojuma, var būt situācijas, kad tās ir jāizklāj un jāizolē. Pārbūvētie akvāriji ir lieliski piemēroti izglītojošiem vai dekoratīviem nolūkiem, jo tie ir daudzpusīgi. Zivju tvertnes izvēlei ir jāatbilst konkrētām sistēmas prasībām. Šīs prasības ietver audzējamo zivju veidu, sistēmas mērogu, sistēmas paplašināšanas elastību un pieejamo budžetu.

3.2. Dūņu aizvākšana, mehāniskie filtri

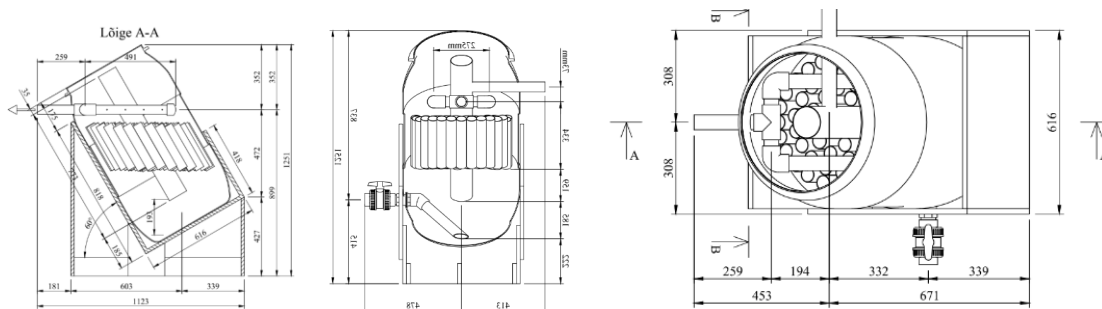
Lai nodrošinātu sistēmas veselību un ūdens kvalitāti, akvaponikas sistēmās ir svarīgi apsaimniekot organiskos atkritumus, piemēram, barības atkritumus, beigtas zivis, augu atliekas, sakņu fragmentus un fekāliju pārpalikumus. Izplūdes kaste, ko dažkārt dēvē par tvertnes tīrītāju, ir viens no galvenajiem instrumentiem atkritumu apsaimniekošanai zivju tvertnēs. Šī ierīce savāc un palīdz aizvākt cietos atkritumus, tādējādi samazinot organisko nogulšņu veidošanās iespējamību, kas var apdraudēt ūdens kvalitāti, un nodrošinot, ka ūdens paliek tīrāks. Lai gan dažas sistēmas jau sākotnēji ir projektētas ar izplūdes kastēm, šo ierīču nepieciešamība var rasties izmaiņu rezultātā, piemēram, nomainot zivju sugas, jo atsevišķas sugas var radīt vairāk atkritumu vai tām ir atšķirīgas vides prasības. Izplūdes tvertnes kalpo arī kā barības efektivitātes un zivju labturības rādītāji. Tas var liecināt par pārmērīgu barošanu, lielu zivju blīvumu, vides stresu vai zivju populācijas veselības problēmām, ja izejas tvertnē sāk uzkrāties barības pārpalikums vai beigtas zivis (12. attēls).



12. attēls. Mehāniskais filtrs nosēdumu noņemšanai akvaponikas sistēmā.

Nogulšņu aizvākšana no tvertnes ir nākamā prioritāte, un to bieži vien veic, izmantojot bungu filtrus vai lamelveida attīrītājus (13. attēls). Lamelveida attīrītāji ir īpaši izdevīgi sistēmās ar zemu ūdens apmaiņas ātrumu un samazinātu ūdens plūsmas ātrumu, jo tie ir konstruēti tā, lai palēninātu ūdens plūsmu, tādējādi veicinot efektīvu cieto daļiņu nogulsnes. Šādās konfigurācijās nogulšņu aizvākšana ir efektīvāka, tādējādi nodrošinot tīrāku vidi un samazinot slodzi uz biofiltrāciju lejup pa sistēmu. Lamelveida dzidrinātāja slīpās plāksnes veicina sedimentāciju, kas veicina cieto atkritumu atdalīšanu un uztur barības vielu līdzsvaru un ūdens dzidrumu sistēmā.

TransFarm



13. attēls. EULS (Igaunijas Dzīvības zinātņu universitātes) eksperimentālajā akvaponikas iekārtā izmantotais lamellu dzidrinātājs.

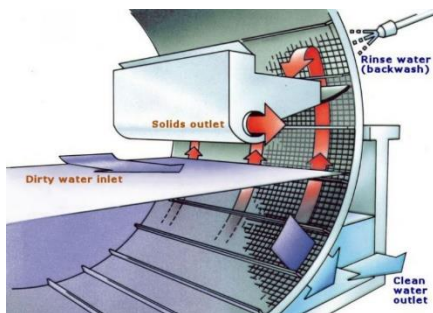
Vēl viena vērtīga iespēja kompaktākai un autonomākai filtrēšanai ir kombinētie filtri (14. attēls), kas ir paredzēti ūdens tīrības saglabāšanai, atdalot organiskās daļiņas mazākā telpā. Kombinētā filtra jaudu un izmēru nosaka zivju biomasa un akvakultūras sistēmas tilpums. Tas ir nepieciešams, jo biofilma nesējam filtrā jāuzņem maksimālā dienas barības slodze. Tāpēc kombinētie filtri ir optimāla izvēle vidēja mēroga sistēmām, kurām nepieciešama efektīva filtrēšana, lai saglabātu veselīgu ūdens kvalitāti, neraugoties uz ierobežoto pieejamo telpu.



14. attēls1. Mehāniskie filtri un biofiltri mehāniskai dūņu aizvākšanai no zivju tvertnes.

Bungu filtri ir vienas no sarežģītākajām un efektīvākajām filtrēšanas sistēmām, kas pieejamas komerciālajā akvaponikā lielākā mērogā (15. attēls). Bungu filtri ir būtiski, lai samazinātu organisko atkritumu radīto slogu akvakultūras sistēmā, jo tie mehāniski filtrē ūdeni, kas izplūst no zivju tvertnēm. Mikrofiltri ar smalkiem sietiņiem, parasti no 20 līdz 100 mikroniem, tiek izmantoti gandrīz visās mūsdienu recirkulācijas zivju audzētavās, lai likvidētu pat vismazākās organiskās daļiņas. Bungas filtrs, kas ir visizplatītākais mikrokrānu veids, ir paredzēts, lai, nepārtraukti rotējot, uzmanīgi un efektīvi atdalītu atkritumu daļiņas. Ūdens, ieplūstot bungā, pārvietojas cauri mikrokrānam, un to virza ūdens līmeņa atšķirība bungas iekšpusē un ārpusē. Organiskās daļiņas tiek aizturētas uz sieta, un, cilindram rotējot, tās tiek nogādātas atpakaļ skalošanas zonā. Augstspiediena ūdens strūkļa izsmidzina ūdeni no ārpusē, izspiežot daļiņas uz dūņu uzkrāšanas paplāti. Šīs dūņas, kas satur koncentrētu organisko vielu, var izmantot vai nu akvaponikas sistēmā kā barības vielām bagātu papildinājumu augiem, vai arī novadīt no recirkulācijas akvakultūras sistēmas tālākai apstrādei.

TransFarm



15. attēls. Bungu filtrs dūņu aizvākšanai.

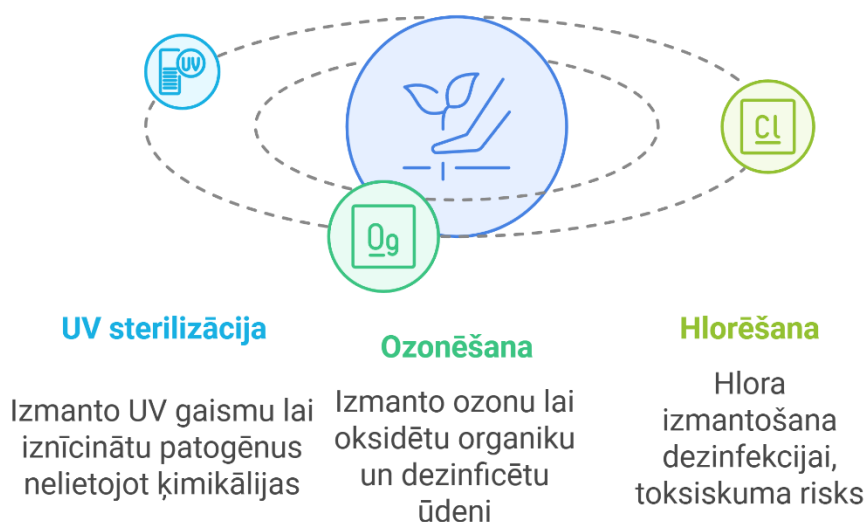
Mikrosietu filtrācija nodrošina daudzas priekšrocības, kas veicina akvaponikas sistēmu stabilitāti un efektivitāti. Šie filtri novērš aizsērēšanu un palielina biofiltrācijas procesu efektivitāti un ilgmūžību, samazinot biofiltra organisko slodzi. Turklāt ūdens attīrīšana, atdalot organiskās daļiņas, uzlabo tā dzidrumu, kas savukārt uzlabo apstākļus nitrifikācijai - kritiskam procesam, kurā amonjaks tiek pārvērsts nitrātos, ko augi izmanto kā barības vielas. Augu augšanu un zivju veselību tieši ietekmē stabilitāte, ko nodrošina efektīva mikroekrānu filtrācija, jo vispārējo ekosistēmu akvaponikas sistēmās atbalsta līdzsvarota ūdens kvalitāte, tādējādi uzlabojot produktivitāti un ilgtspēju.

3.3. Ūdens dezinfekcija un aerācija

Akvaponikas sistēmu ūdens kvalitātes uzturēšana labā stāvoklī ir ārkārtīgi svarīga, jo gan zivju, gan augu dzīve ir lielā mērā atkarīga no tīra, skābekli saturoša ūdens. Divi ūdens apsaimniekošanas paņēmieni, kas ir ārkārtīgi svarīgi, ir aerācija un dezinfekcija. Dezinfekcijas process palīdz novērst kaitīgu infekciju un toksīnu kaitējumu sistēmai, savukārt aerācija nodrošina zivīm pietiekamu skābekļa daudzumu, lai tās varētu augt. Abas stratēģijas ir ļoti svarīgas, lai veicinātu līdzsvarotu un veselīgu vidi sistēmā. Tomēr atkarībā no akvaponikas sistēmas lieluma, sarežģītības un mērķiem var izmantot alternatīvus veidus.

Ūdens dezinfekcijas metodes akvaponikā

Akvaponikā izmantojamo ūdeni dezinficē, lai novērstu bīstamu patogēnu, baktēriju un citu piemaisījumu uzkrāšanos, kas varētu kaitēt gan zivīm, gan augiem. Lai gan akvaponika ir sistēma, kas lielākoties spēj pati sevi regulēt, un noderīgās baktērijas zivju atkritumus pārstrādā augu barības vielās, tomēr ir svarīgi veikt piesardzības pasākumus, lai novērstu augiem toksisku mikroorganismu radīto apdraudējumu. Parastā prakse ir izmantot vairākas dažādas ūdens dezinfekcijas metodes, un katrai no tām ir gan pozitīvi, gan negatīvi aspekti (16. attēls).



16. attēls. Ūdens sterilizācijai izmantoto metožu kopsavilkums.

Ultravioletā (UV) sterilizācija

Akvaponikas jomā ultravioleto starojuma (UV) sterilizācija tiek uzskatīta par vienu no efektīvākajām ūdens dezinfekcijas metodēm, un to arī parasti izmanto. UV sterilizatori ir ierīces, kas darbojas,

TransFarm

pakļaujot baktērijas, vīrusus un parazītus ultravioletā starojuma iedarbībai, lai tos nogalinātu vai neitralizētu, izraisot to DNS bojājumus, kas neļauj tiem vairoties. Šī metode neietver ķīmisko vielu izmantošanu, tāpēc tā ir lieliska izvēle akvaponikas sistēmām. Tā neievieš ūdenī nekādus bīstamus elementus, kas varētu ietekmēt zivis vai augus. Tā kā tā nemaina ūdens pH, skābekļa līmeni vai citas ķīmiskās īpašības, UV sterilizācija tiek uzskatīta arī par neinvazīvu.

UV sterilizācija ir izdevīga vairāku iemeslu dēļ, no kuriem vissvarīgākais ir tas, ka tā efektīvi iznīcina dažādus patogēnus. Tas jo īpaši attiecas uz recirkulācijas sistēmām, kurās ūdens nepārtraukti tiek filtrēts caur sterilizatoru. Tas palīdz novērst tādu slimību uzliesmojumus kā kolumnāriozu un spuru puvi, kurām ir potenciāls ātri izplatīties starp zivīm. Ūdens kvalitāte ir būtisks faktors, kas nosaka UV sterilizatoru efektivitāti. Duļķains vai netīrs ūdens var kavēt ultravioletā starojuma iedarbību, kas savukārt samazina sterilizatora efektivitāti. Turklāt, lai nodrošinātu nemainīgu efektivitāti, UV sterilizatoriem jāveic regulāra apkope, kas ietver UV starojuma avota nomaiņu. Neraugoties uz to, ka ir nepieciešama apkope, ultravioletā sterilizācija ir īpaši noderīga lielākās sistēmās, kur slimību izplatīšanās varētu radīt nopietnas sekas.

Ozonēšana

Ozonēšana ir vēl viens dezinfekcijas veids, kas ir īpaši piemērots komerciālām vai liela mēroga akvaponikas sistēmām. Lai likvidētu baktērijas, vīrusus un sēnītes no ūdens, šī metode ietver ozona (O_3), kas ir ļoti reaktīvs skābekļa veids, ievadīšanu ūdenī, lai to dezinficētu. Lai veiktu savu funkciju, ozons oksidē organiskos materiālus, tādējādi pārvēršot vīrusus un piesārņotājus mazāk bīstamās ķīmiskās vielās. Ozonēšana ir laba izvēle sistēmām, kurās ir liels zivju blīvums vai kurās ir grūti uzturēt ūdens kvalitāti, jo tā ir ļoti efektīva un tai ir ātra iedarbība.

Viena no ozonēšanas priekšrocībām ir tā, ka tā var pilnībā attīrīt ūdeni, neatstājot nekādus atlikumus, kas citādi varētu būt bīstami. Pēc reakcijas ozons sadalās skābeklī, kas var nedaudz palielināt ūdenī esošā skābekļa daudzumu. No otras puses, ozonēšanas sistēmu uzstādīšanas un uzturēšanas izmaksas ir diezgan augstas. Ozona ražošanai ir jāizmanto specializētas iekārtas, un nepareiza apiešanās ar ozona gāzi var būt bīstama. Tas ir saistīts ar to, ka ozona pārmērīga koncentrācija var būt toksiska gan zivīm gan cilvēkam. Tāpēc ozonēšana bieži vien ir paredzēta tikai augstas klases komerciālām akvaponikas iekārtām. Tas ir tāpēc, ka ātras un pilnīgas dezinfekcijas priekšrocības pārsniedz sistēmas izmaksas un sarežģītību.

Hlorēšana

Neraugoties uz to, ka hlorēšana ir plaši izplatīta prakse daudzās ūdens attīrīšanas procedūrās, tā parasti netiek izmantota akvaponikas sistēmās, jo hlors negatīvi ietekmē gan zivis, gan augus. Pat neliels hlora daudzums var izraisīt ūdens organismu, tostarp zivju un augu, stresu vai pat nāvi. Hlors ir ārkārtīgi bīstams ūdens organismiem. Tomēr noteiktos apstākļos tvertņu vai aprīkojuma tīrīšanas procesa sākumposmā var izmantot hlorētu ūdeni; tomēr pirms ievadīšanas sistēmā tas ir pilnībā jādehlorē. Lai panāktu dehlorēšanu, var izmantot arī ķīmiskus neitralizatorus, piemēram, nātrija tiosulfātu, vai ļaut ūdenim kādu laiku nostāvēties, lai hlors izgaro.

Starp daudzajiem hlorēšanas trūkumiem visnozīmīgākais ir tas, ka tā apdraud akvaponikas sistēmas ekoloģisko līdzsvaru. Labvēlīgās baktērijas, kas pārveido amonjaku par nitrātiem un nitrātiem, ir ļoti jutīgas pret hloru, un pastāv iespēja, ka pat īsa hlora iedarbība var izjaukt slāpekļa ciklu. Šā iemesla dēļ hlorēšana nav vēlams dezinfekcijas paņēmiens akvaponikā, izņemot ļoti retus un kontrolētus gadījumus, kad ūdens tiek apstrādāts neatkarīgi no sistēmas un pēc tam, kad tas ir pilnībā dehlorēts pirms izmantošanas.

Aerācijas metodes akvaponikā

Akvaponikas sistēmās ir nepieciešams pietiekams skābekļa daudzums, lai uzturētu zivju veselību un bioloģiskos procesus, kas ir atbildīgi par sistēmas uzturēšanu. Papildus, ūdens kvalitāte ir jāuztur, veicot dezinfekciju. Zivīm, augiem un labvēlīgajiem mikroorganismiem ir nepieciešams skābeklis, lai tie varētu pareizi darboties, tāpēc aerācija ir ārkārtīgi svarīgs process. Nepietiekams skābekļa daudzums ūdenī var izraisīt zivju slāpšanu, augu novīšanu un slāpekļa cikla traucējumus, kas var izraisīt amonjaka uzkrāšanos, kas, savukārt, var būt kaitīgs zivīm. Atkarībā no sistēmas lieluma un sarežģītības akvaponikas sistēmās bieži izmanto vairākas dažādas aerācijas stratēģijas. Katra no šīm metodēm ir izstrādāta, lai uzturētu ideālu skābekļa līmeni sistēmā (17. attēls).



17. attēls. Akvakultūrā parasti izmantoto ūdens aerācijas metožu kopsavilkums.

Gaisa akmeņi un difuzori

Gaisa akmeņi un difuzori ir divi visizplatītākie un ekonomiski visizdevīgākie aerācijas veidi akvaponikā (18. attēls). Tās ir arī viena no izplatītākajām metodēm. Poraini akmeņi, ko dēvē par gaisa akmeņiem, kurus izmanto, lai no ūdenī iepludinātā gaisa radītu mazus burbulīšus. Šo burbulīšu klātbūtne palielina ūdens virsmas laukumu, kas pakļauts skābekļa iedarbībai, kas savukārt atvieglo skābekļa pilnīgu izšķīdināšanu ūdenī. Lai garantētu, ka skābeklis tiek vienmērīgi sadalīts visā sistēmā, gaisa akmeņus bieži savieno ar gaisa sūkņiem, izmantojot caurules, un novieto zivju tvertņu vai kartera tvertņu apakšā, izmantojot gaisa akmeņus.

Viena no būtiskākajām gaisa akmeņu priekšrocībām ir tā, ka tos ir viegli lietot un tie ir lēti. Tā kā tos ir vienkārši uzstādīt, uzturēt un nomainīt, tie ir piemēroti izmantošanai nelielās vai vidēja mēroga sistēmās. Seklās tvertnēs vai sistēmās ar ierobežotu ūdens plūsmu, kur skābekļa līmenis parasti var samazināties, gaisa akmeņi ir īpaši noderīgi, jo tie spēj papildināt skābekļa līmeni. Tomēr šo akmeņu efektivitāte var mainīties atkarībā no gaisa akmeņa izmēra un kristāla kvalitātes. Lai nodrošinātu pietiekamu aerāciju, lielākās sistēmās var būt nepieciešams izmantot daudzus gaisa akmeņus vai jaudīgākus difuzorus. Laika gaitā gaisa akmeņi var aizsērēt ar aļģēm vai nogulsniem, tāpēc, lai uzturētu to veiktspēju apmierinošā līmenī, tie periodiski jātīra vai jāmaina³.

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

TransFarm



18. attēls. Gaisa akmeņi skābekļa izkliedēšanai ūdenī.

Venturi inžektori

Venturi inžektori ir īpaši noderīgi lielākās vai sarežģītākās akvaponikas sistēmās. Venturi efekts ir princips, kas ietver ūdens iepludināšanu caur sašaurinātu cauruli, kā rezultātā rodas vakuums, kas piespiež gaisu iekļūt ūdens plūsmā. Šis procedūras rezultātā veidojas plāna gaisa burbuļu migla, kas ir ļoti efektīva metode, lai palielinātu skābekļa daudzumu ūdenī. Sistēmas ūdens plūsmā ir iespējams iestrādāt Venturi inžektorus. Šādus inžektorus bieži vien ievieto vietās, kur ūdens tiek virzīts starp tvertnēm vai caur filtriem.

Venturi inžektoru spēja aerēt ūdeni bez papildu sūkņu vai iekārtu izmantošanas ir viena no šo inžektoru izmantošanas priekšrocībām. Venturi inžektori spēj nodrošināt nepārtrauktu aerāciju ar minimālu apkopi, jo tie izmanto ūdens plūsmu, kas jau ir sistēmā. Turklāt, tā kā tie rada ļoti mazus burbulišus, tie nodrošina lielu virsmas laukumu skābekļa apmaiņai, kas padara tos efektīvākus nekā parastos gaisa akmeņus. Tomēr, lai Venturi inžektori labi darbotos, var būt nepieciešama pareiza kalibrēšana un apkope. Turklāt šie inžektori ir vispiemērotākie izmantošanai sistēmās, kurās ir jaudīgi ūdens sūkņi. Pastāv iespēja, ka šī stratēģija nebūs tik izdevīga sistēmās, kurās ir zema ūdens plūsma vai spiediens. Ir pieejama Venturi inžektoru izgatavošanas instrukcija vai arī tos var iegādāties kā gatavus risinājumus⁴.

Ūdenskrituma vai šļakatu aerācija

Ūdenskrituma vai šļakatu aerācijas gadījumā ūdens var krist no augstuma vai šļakatām pāri virsmai, tādējādi radot turbulenci un lielāku ūdens daļu pakļaujot gaisa plūsmai (19. attēls). Šis aerācijas veids ir pasīvāka aerācijas metode. Runājot par akvaponikas sistēmām, šī tehnoloģija bieži tiek organiski iestrādāta sistēmās, kurās ir kaskādes ūdens elementi vai kurās ūdens tiek virzīts starp dažādiem tvertņu līmeņiem. Labs piemērs tam varētu būt process, kad ūdens no zivju tvertnes ieplūst tvertnē vai audzēšanas gultnē, kas izraisa ūdens aerāciju un nodrošina skābekli.

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

TransFarm

Ūdenskrituma aerācija ir risinājums, kas ir gan lēts, gan izturīgs, un tas ir ļoti efektīvs sistēmās, kurās jau ir nodrošināta vertikāla ūdens kustība. Turklāt tas visefektīvāk darbojas sistēmās ar lielāku ūdens plūsmas ātrumu, kurās aerētā ūdens daudzums ir pietiekams, lai nodrošinātu zivju un augu vajadzības pēc skābekļa. Tomēr ir iespējams, ka blīvi apdzīvotās sistēmās ar to vien nepietiek, jo var būt nepieciešama papildu aerācija, lai uzturētu pietiekamu skābekļa līmeni. Turklāt ūdens, kas krīt no liela augstuma, reizēm var radīt pārmērīgu šļakatu, kas var izraisīt ūdens zudumus un prasa rūpīgu plānošanu, lai samazinātu zudumus.⁵



19. attēls. Peldošas šļakatu/ūdenskrituma aerācijas ierīces piemērs.

Lāpstīņu aeratori

Īpaši āra vai dīķa akvaponikas sistēmās lāpstīņu aeratori bieži tiek izmantoti liela mēroga komerciālās akvaponikas sistēmās (20. attēls). Šajos aeratoros izmanto mehāniskas lāpstīņas, lai sajauktu ūdens virsmu, kas palielina ūdens un gaisa kontaktu, tādējādi palielinot izšķīdušā skābekļa daudzumu. Vairumā gadījumu lāpstīņu riteņus darbina ar elektrību vai saules enerģiju, un tie var efektīvi aerēt lielu ūdens daudzumu.

Viena no būtiskākajām aeratoru ar lāpstīņu riteņiem priekšrocībām ir to spēja aptvert lielas virsmas platības. Tāpēc šie aeratori ir ļoti labi piemēroti izmantošanai sistēmās, kurās ir plašas ūdenstilpes, piemēram, zivju dīķos vai lielās tvertnēs. Tie var nodrošināt pastāvīgu un uzticamu aerāciju, kas ir īpaši svarīgi sistēmās ar lielu zivju blīvumu. Lāpstīņu aeratori ir salīdzinoši dārgi, un šo iekārtu mehāniskās daļas var būt bieži jāapkalpo, lai maksimāli paildzinātu to ekspluatācijas laiku. Šīs sistēmas ir arī labāk piemērotas izmantošanai ārpus telpām, ja pieejamā telpa un ūdens tilpums ir pietiekams, lai attaisnotu to izmantošanu.



20. attēls. Lāpstīnrīteņu aerācijas ierīces liela mēroga akvakultūras vienībās.

Attiecībā uz akvaponikas sistēmas efektivitāti ūdens dezinfekcija un ūdens piesātināšana ar skābekli ir absolūti nepieciešamas sastāvdaļas, kas veicina sistēmas vispārējos panākumus. Ozons un ultravioletā starojuma (UV) sterilizācija ir divi dezinfekcijas procesu piemēri, kas kalpo mikroorganismu

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

ierobežošanai, neizjaucot sistēmā pastāvošo trauslo līdzsvaru. Savukārt aerācijas metodes garantē pietiekamu skābekļa daudzumu, lai nodrošinātu zivju, augu un videi labvēlīgu mikrobu augšanu. Vienmēr ir jānodrošina pietiekams aerācijas līmenis neatkarīgi no tā, vai tiek izmantoti gaisa akmeņi, Venturi inžektori vai modernākas sistēmas, piemēram, aeratori ar lāpstīņriteņiem.

4. Zivju sugu izvēle

Turpmāk mēs iepazīstinām ar dažādu izvēlēto zivju sugu galvenajām īpašībām, lai palīdzētu izvēlēties sugas. Atlase ir saistīta ar vides apstākļiem un atkarīga no ekonomiskajiem apsvērumiem un tirgus izpētes.

Izmanto šādus terminus un parametrus:

➤ **SGR, īpatnējais pieauguma koeficients**

Tas ir parametrs, kas procentos parāda zivju svara pieaugumu dienā. Aprēķina pēc:

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

kur:

- W_0 [g] = svars gramos perioda sākumā;
- W_t [g] = svars gramos perioda beigās;
- $t[d]$ = periods, izteikts dienu skaitā;
- \ln = naturālais logaritms.

➤ **TGC, termiskās vienības pieauguma koeficients**

Diennakts pieauguma mērījums katrā periodā, kurā ņemta vērā temperatūra. Aprēķina pēc:

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

kur:

- W_2 = svars (g) 2. laikā (perioda beigās);
- W_1 = svars (g) 1. laikā (perioda sākumā);
- ΔD = diennakts grāddienās, dienas temperatūru summa °C no t_1 līdz t_2 (vai ilgums dienās x vidējā temperatūra periodā).

➤ **FCR, barības konversijas koeficients**

Tas ir barības daudzums, kas vajadzīgs, lai iegūtu zivju svara vienību. Aprēķina pēc:

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

kur:

W_t = nozīmē svaru noteiktā laika posmā.

4.1. Lašveidīgie

Varavīksnes forele (Oncorhynchus mykiss)

Varavīksnes forele ir lašveidīgā zivs, kas nāk no Ziemeļamerikas rietumu piekrastes. To ir relatīvi viegli audzēt, un tai ir lieliska garša. Tāpat kā visi lašveidīgie, arī varavīksnes foreles ir jutīgas pret zemu skābekļa līmeni un paaugstinātu temperatūru. To nodrošina stabila pH vērtība, augsts skābekļa saturs un nepārtraukta ūdens cirkulācija. Optimālos audzēšanas apstākļos varavīksnes foreles izmanto pārtikā pēc 10-12 mēnešiem. Šis zivis efektīvi pārvērš barību savā masā (barības koeficients), un tās ir viegli iegūstamas mazuļu vai ikru veidā. Bieži vien varavīksnes foreles tiek nokautas nedaudz virs 2 kg, bet

TransFarm

mūsdienās tās bieži audzē līdz 800-1500 g. Tas ļauj saīsināt ražošanas laiku pirms nokaušanas un samazina konkurenci ar lielajiem Atlantijas lašiem. Akvaponikā audzētās zivis tirgū konkurē ar jūras būros audzētajiem lašiem. Tāpēc ir svarīgi veikt precīzus un reālistiskus finanšu aprēķinus, lai pārliecinātos, ka pārdošanas apjomi var segt lielākas izmaksas, kas saistītas ar RAS un akvaponiku.



21. attēls. Varavīksnes forele (*Oncorhynchus mykiss*).

1. tabula. Akvaponikas sistēmā audzētu varavīksnes foreļu optimālie augšanas apstākļi un citi parametri.

| | |
|--|--|
| Audzēšanas temperatūra: | 10 - 20 °C |
| Optimālā temperatūra: | 16 °C |
| pH: | 6,5 – 8,5 |
| Skābekļa koncentrācija: | DO > 6,5 mg/l; 100% piesātinājums |
| Recirkulācijas pakāpe: | 2 - 3 reizes/h |
| Ikru/mazuļu pieejamība: | Jā |
| Uzturs un barība: | Gaļēdāju sugas. Ir īpaša barība forelēm. |
| SGR (īpatnējais pieauguma koeficients): | 1,2 – 3,0 |
| TGC (siltuma vienības pieauguma koeficients): | 2,5 – 3,0 |
| FCR (barības konversijas koeficients): | 0,9 – 1,1 |
| Blīvums: | 30 - 60 kg/m ³ |
| Laiks, lai sasniegtu kaušanas svaru: | 10-12 mēneši atkarībā no temperatūras, sākotnējā svara un vēlamā kaušanas svara. |
| Kaušanas svars: | 800 - 1500 g |
| Ūdens patēriņš dienā uz kilogramu zivju ar 2 procentiem, blīvums 50 kg/m³: | 0,4 L |

Atlantijas lasis (Salmo salar)

Laši ir ļoti garšīgas zivis, ko audzēt, un tiem ir labi augšanas rādītāji. Tomēr, ja vēlaties šīs zivis audzēt pilnā augumā, jums būs nepieciešama liela zivju tvertne, lai tās varētu labi attīstīties.

Lai laši sasniegtu kaušanas lielumu, ir vajadzīgi aptuveni divi gadi. Ūdens temperatūra ir jāuztur no 12 °C līdz 16 °C, un ūdens ir jācirkulē.



22. attēls. Atlantijas lasis (*Salmo salar*).

2. tabula. Akvaponikas sistēmā audzēto Atlantijas lašu optimālie augšanas apstākļi un citi parametri.

| | |
|--|---------------------------|
| Augšanas temperatūra: | 7 - 20 °C |
| Optimālā temperatūra: | 12 - 16 °C |
| Ikru/mazuļu pieejamība: | Jā |
| Uzturs un barība: | Jā |
| SGR (īpatnējais pieauguma koeficients): | 1,25 – 1,35 |
| TGC (siltuma vienības pieauguma koeficients): | 2,0 – 3,0 |
| FCR (barības konversijas koeficients): | 1,0 – 1,3 |
| Blīvums: | 30 - 60 kg/m ³ |
| Kaušanas svars: | 4000 - 5000 g |

Arktiskā pallija (*Salvelinus alpinus*)



23. attēls. Arktiskā pallija (*Salvelinus alpinus*).

3. tabula. Optimālie augšanas apstākļi un citi parametri akvaponikas sistēmā audzētām arktiskajām ogulāju sugām.

| | |
|--|----------------------------|
| Augšanas temperatūra: | 12 - 14 °C |
| TGC (siltuma vienības pieauguma koeficients): | 1,65 – 3,0 |
| FCR (barības konversijas koeficients): | 1,0 – 1,4 |
| Blīvums: | 30 - 80 kg/ m ³ |
| Kaušanas svars: | 1000 - 1500 g |

4.2. Percidae sugas

Asaris (Perca fluviatilis)

Asaris tiek uzskatīts par siltu ūdeņu sugu, jo optimālā temperatūra augšanai ir virs 20 °C, taču šī suga ir īpaša ar to, ka tā spēj izturēt arī aukstu ūdeni līdz 0 grādiem vai nedaudz virs 0 grādiem. Šī suga ir ļoti labi pielāgojama, tāpēc tiek uzskatīts, ka tai ir labas audzēšanas iespējas. Pašlaik Zviedrijā asarus RAS audzē nelielos apjomos, bet nedaudz plašākā mērogā tos audzē ārzemēs, piemēram, Īrijā, Beļģijā, Francijā un Šveicē. "Dzelteno asari" audzē arī lielos apjomos Amerikas Savienotajās Valstīs. Asaris, tāpat kā iepriekš aplūkotās lašveidīgās zivis, ir plēsīga zivs, un tās barībā nepieciešams liels olbaltumvielu īpatsvars. Olbaltumvielu nepieciešamība samazinās, palielinoties zivs izmēram, bet, runājot par ilgtspējīgu akvakultūru, tā tomēr ir jāpiemin. Tomēr barības rūpniecībā tiek veikti pētījumi un pilnveidošana, un barībā tiek izmantots vairāk augu olbaltumvielu. Tiek izmantoti arī citi olbaltumvielu avoti, piemēram, gliemenes, raugs, mikroorganismi, kukaiņi vai pārējās pārtikas rūpniecības atlikumi, lai samazinātu savvaļas zivju izmantošanu barībā. Nereti minētais trūkums, kas saistīts ar asaru un visu siltūdens sugu audzēšanu ziemeļu platuma grādos, ir izmaksas, kas saistītas ar ūdens uzsildīšanu līdz zivju augšanai optimālai temperatūrai. Šīs izmaksas ir mazākas, jo augstāka ir recirkulācijas pakāpe. Sūkņi, iekārtas, iekštelpu klimata kontrole un liels uzsildītā ūdens daudzums izdala siltumu audzēšanas vidē, un tas palīdz samazināt apkures izmaksas. Vēl viens risinājums, kas jāņem vērā, ir rūpnieciskā simbioze, jo īpaši iespēja izmantot citu rūpniecības nozaru pārpalikumu/atgūto siltumu, lai apsildītu akvapponikas iekārtu.



24. attēls. *Asaris (Perca fluviatilis)*

Dažās iekārtās ūdens dzesēšana var sastādīt lielākas izmaksas nekā ūdens sildīšana, jo īpaši, ja runa ir par lašveidīgajām zivīm. Visi šie aspekti padara asarus ar to augsto temperatūras toleranci par interesantāku sugu RAS. Zviedrijas tirgū ir ļoti pieprasīta asaru fileja, un tas lauksaimniekam dod lielāku pievienoto vērtību. Ja filejas iznākums ir aptuveni 35-40 %, zaudējumi ir līdz 60-65 % no saražotās produkcijas svara, taču šie zaudējumi ir iekļauti cenā, un labas kvalitātes asaru fileju var pārdot par augstu cenu, kas sedz papildu izmaksas un apmaiņas zaudējumus. Turklāt asaru cena var mainīties atkarībā no tirgū pieejamā savvaļā novejoto zivju daudzuma. Tomēr viena no RAS priekšrocībām ir tā, ka lauksaimnieks var plānot savu uzņēmējdarbību un kaušanu tā, lai tā nesakristu ar zemu tirgus cenu.

4. tabula. Akvapponikas sistēmā audzētu asaru optimālie augšanas apstākļi un citi parametri.

| | |
|--------------------------------|-----------------|
| Augšanas temperatūra: | 16 - 28 °C |
| Optimālā temperatūra: | 23 - 26 °C |
| pH: | 6,5 – 8,5 |
| Skābekļa koncentrācija: | 4,0 - 10,0 mg/l |
| Recirkulācijas pakāpe: | 1 - 3 reizes/h |

TransFarm

| | |
|---|--|
| Ikru/mazuļu pieejamība: | Nē - savāc ikrus no savvaļas īpatņiem. |
| Uzturs un barība: | Gaļēdāju sugas. Ir pieejama speciāla barība. |
| TGC (siltuma vienības pieauguma koeficients): | 0,6 – 1,6 |
| FCR (Feed Conversion Rate): | 1,1 – 1,4 |
| Bļivums: | 40 - 70 kg/m ³ |
| Laiks, lai sasniegtu kaušanas svaru: | Aptuveni 12 mēneši. |
| Kaušanas svars: | 300 - 400 g |
| Ūdens patēriņš dienā un uz kilogramu zivju ar 2 procentiem un bļivums 50 kg/m³: | 0,33 l |

Zandarts (Sander lucioperca)

Dabiskie krājumi ir sastopami gandrīz visā Eiropā un līdz pat Zviedrijas dienvidu daļai - Norrlandei. Zandarti ir saldūdens plēsīgas zivis, kas diezgan ātri pēc izšķilšanās sāk ēst citas zivis. To var uzskatīt par trūkumu audzēšanas kontekstā, jo zandarti ir kanibāli. Sistēmās, kur ir kontrolēti audzēšanas apstākļi, ir iespējams veikt pasākumus, lai mazinātu kanibālisma ietekmi. Šķirošana pēc lieluma ir pasākums, lai saglabātu vienādu ķermeņa izmēru starp indivīdiem. Vienāda lieluma zandarti, kas audzēti lielā bļivumā, uzvedas kā zivju bars, un tas kopā ar labu piekļuvi barībai samazina kanibālismu. No zandartiem iegūst daudz ikru, bet, tāpat kā no asariem, to iegūst no savvaļas krājumiem, ko mūsdienās izmanto audzēšanā. Tomēr ir labas iespējas mainīt uzvedību un/vai palielināt vienāda lieluma īpatņu skaitu, veicot audzēšanas darbus. Eiropā (piemēram, Dānijā un Nīderlandē) ir veiktas lielas investīcijas zandartu audzēšanā RAS. Tā kā šķiet, ka interese par zandartiem pieaug, tiek strādāts arī pie tā, lai izveidotu audzētu zandartu pasugas, kas būtu labāk pielāgotas audzēšanai nebrīvē, ātrāk un vienmērīgāk augtu un mazinātu kanibālismu starp īpatņiem. Zandarti, kas tipiski akvakultūrās sasniedz 1-1,5 kg, var pārdot kā attīrītas zivis bez tālākas apstrādes filejās. Tas nozīmē, ka ieguve būs līdz 85-90 % no kopējā zivju svara, un, ja pārtikas veikalā cena ir laba, tas var nodrošināt labu uzņēmuma ekonomiku. Zandartus var nokaut pēc 15-18 mēnešiem, kas cita starpā ir atkarīgi no ūdens temperatūras un mērķa lieluma. Lai sasniegtu kaujamo izmēru, tam nepieciešams nedaudz ilgāks laiks nekā asarim, taču tas arī aug ātrāk un galu galā sasniedz lielāku izmēru. Tas arī padara zandartus par interesantu zivju sugu RAS, kur audzēšanas periodu, visticamāk, var saīsināt, jo mēs vairāk uzzinām par zandartiem un to uzvedību audzēšanas apstākļos.



25. attēls. Zandarts (*Sander lucioperca*).

5. tabula. Akvaponikas sistēmā audzēto zandartu optimālie augšanas apstākļi un citi parametri.

| | |
|------------------------------|------------|
| Augšanas temperatūra: | 16 - 28 °C |
|------------------------------|------------|

TransFarm

| | |
|---|--|
| Optimālā temperatūra: | 23 - 28 °C |
| pH: | 6,5 – 8,5 |
| Skābekļa koncentrācija: | 4 - 10 mg/l |
| Recirkulācijas pakāpe: | 1 - 3 reizes/h |
| Ikru/mazuļu pieejamība: | Savāc ikrus no savvaļas īpatņiem. |
| Uzturs un barība: | Gaļēdāju sugas. Ir pieejama speciāla barība. |
| TGC (siltuma vienības pieauguma koeficients): | 0,8 – 1,7 |
| FCR (Feed Conversion Rate): | 1,1- 1,5 |
| Blīvums: | 40 - 80 kg/m ³ |
| Laiks, lai sasniegtu kaušanas svaru: | Aptuveni 6-12 mēneši 100 g līdz 600 g (16-22 °C) |
| Kaušanas svars: | 600 - 1500 g |
| Ūdens patēriņš dienā un uz kilogramu zivju ar 2 procentiem un blīvums 50 kg/m³: | 0,33 l |

4.3. Sibīrijas stores (*Acipenser baeri*)

Sibīrijas stores ir sena zivju suga, kas ir saglabājusies gandrīz nemainīga kopš tās pirmās parādīšanās fosilijās pirms aptuveni 250 miljoniem gadu. *Acipenseridae* dzimtas zivju grupā ir 27 stores sugas, kas izplatītas Ziemeļamerikas un Eirāzijas subtropu, mērenā klimata un subarktiskajos reģionos. Lielākā daļa stores sugu ir anadromās sugas, un lielāko daļu pieaugušā mūža tās pavada upju grīvās, bet peld augšup pa upi, lai pārotos un nārstotu, kas notiek tikai piemērotos apstākļos un ne katru gadu pēc pubertātes. Savvaļas populācijās tēviņiem līdz dzimumgatavības sasniegšanai var pāriet no 11 līdz 24 gadiem, bet mātītēm - no 20 līdz 28 gadiem. Sibīrijas stores, kas ir visvairāk audzētā stores suga, ikrus iegūst agrākā vecumā. Optimālos audzēšanas apstākļos Sibīrijas store dzimumgatavību sasniedz 5-8 gadu vecumā. Pēdējos gados ir palielinājusies interese par storu audzēšanu RAS. Somijā kopš 2005. gada darbojas storu audzētava, kurā izmanto papīrfabrikas atkritumu siltumu un kurā ūdens reciklēšanas līmenis ir >99 %. Tajā ražo gan Sibīrijas stores, gan belugas (melnās stores) ikrus un gaļu. Papildus Somijai Sibīrijas stores audzē arī Krievijā, Ķīnā, Polijā, Spānijā, Vācijā, Itālijā, ASV, Beļģijā, Ungārijā, Itālijā, Vācijā un citās valstīs. Zviedrijā pēdējos gados ir izveidotas divas RAS storu audzētavas. Abās audzētavās ražo gaļu un galvenokārt pieprasīto luksusa produktu - kaviāru - pārdošanai Zviedrijā, Krievijā un citur pasaulē. Storu plastiskums dažādās vidēs padara tās izturīgas audzēšanai RAS sistēmās. Storēm nepieciešams tīrs un skābekli saturošs ūdens, bet īsāku laiku tie var izturēt arī zemāku skābekļa līmeni. To var audzēt ar lielu blīvumu (līdz 80-90 kg/m²), ja var uzturēt pietiekami labu ūdens kvalitāti, bet vislabāk tas aug zemā blīvumā - aptuveni 15-25 kg/m². Tā kā stori audzē gan gaļas, gan kaviāra iegūšanai, ir svarīgi zināt zivju dzimumu. Pēc izskata ir grūti saskatīt atšķirību starp abiem dzimumiem, tāpēc tas jā dara, izmantojot ultrasonogrāfiju vai biopsiju. Pēc tam tēviņus un mātītes parasti nodala, un tēviņus audzē gaļai, nosakot agrāku kaušanas vecumu, savukārt mātītes ilgāku laiku izmanto kaviāra ražošanai. Dažās audzētavās mātītes kaviāra ražošanai izmanto vairākas reizes, savukārt citās audzētavās mātītes nokauj gaļai pēc tam, kad tās vienu reizi ir saražojušas kaviāru. Mātītes neražo ikrus katru gadu, un tās nav sinhronizētas vienā kohortā. To mātīšu procentuālais daudzums, kas ražo ikrus vienā grupā, var svārstīties no 35 līdz 63 procentiem gadā, un tas rada nevienmērīgu produkciju, kas jāņem vērā, plānojot produkcijas apjomus. Geosmīns - smarža, ko rada biofiltros esošās baktērijas un kas var radīt akvaponiķā audzēto zivju pēcgaršu (duņaina, augsnes garša) - var būt problemātisks arī attiecībā uz stores gaļu un galvenokārt kaviāru. Storēm patīk ēst no tvertnes dibena, tāpēc tvertnēm nav jābūt dziļām, pietiek ar 1-1,5 m dziļumu. Tomēr storēm ir nepieciešama vieta pie dibena, lai atrastu barību, tāpēc, blīvumu bieži aprēķina kvadrātmetros, nevis kubikmetros. Praksē, izmantojot 1 m dziļas

TransFarm

tvertnes, blīvums joprojām būs tāds pats, bet, ja jums ir nedaudz dziļākas tvertnes, var būt lietderīgi padomāt par to, kāda ir vieta uz dibena kvadrātmetros, lai stores varētu dabūt barību un normāli augt. Ir speciāla barība storēm granulu veidā, kas pēc barības sastāva ir līdzīga tai, ko izmanto, piemēram, varavīksnes forelēm. No otras puses, gribētos, lai stores granulas būtu tikpat stabilas, ātrāk nogrimtu un ne tik ātri izšķīdinātu, lai šie bezzobainie dzīvnieki tās atrastu un paceltu no grunts. No stores iegūst ārkārtīgi vērtīgu produktu - kaviāru, kas audzētājam var būt ļoti ienesīgs. Taču tas prasa laiku, un tādēļ ir vajadzīgi lieli ieguldījumi gan laika, gan naudas izteiksmē. Daži uzņēmumi sākumā izvairās no ilgā gaidīšanas perioda, iepērkot jau vairākus gadus vecas stores. Taču arī tas prasa lielus ieguldījumus, jo zivis kļūst dārgākas, jo tuvāk dzimumgatavībai tās tuvojas. Stores gaļai ir tirgus, galvenokārt Austrumeiropā un Krievijā, un to varētu pārdot arī Zviedrijā un citās Ziemeļeiropas valstīs.



26. attēls. Sibīrijas stores (*Acipenser baeri*).

6. tabula. Optimālie augšanas apstākļi un citi parametri akvaponikas sistēmā audzētām storēm.

| | |
|---|---------------------------|
| Augšanas temperatūra: | 14 - 24 °C |
| Optimālā temperatūra: | 17 - 20 °C |
| pH: | 6,5 – 7,5 |
| Skābekļa koncentrācija: | 4 - 6 mg/l |
| Recirkulācijas pakāpe: | 1 - 2 reizes/h |
| Ikru/mazuļu pieejamība: | Jā |
| Uzturs un barība: | Ir speciāla barība storēm |
| SGR (īpatnējais pieauguma koeficients): | 1,2 – 1,6 |
| FCR (Feed Conversion Rate): | 1,5 – 1,8 |
| Blīvums: | 15 - 25 kg/m ³ |
| Laiks, lai sasniegtu kaušanas svaru: | Aptuveni 1 gads no 10 g |
| Kaušanas svars: | 1300 - 1500 g |
| Ūdens patēriņš dienā un uz kg zivju pie 2 % blīvuma 50 kg/m³: | 1 L |

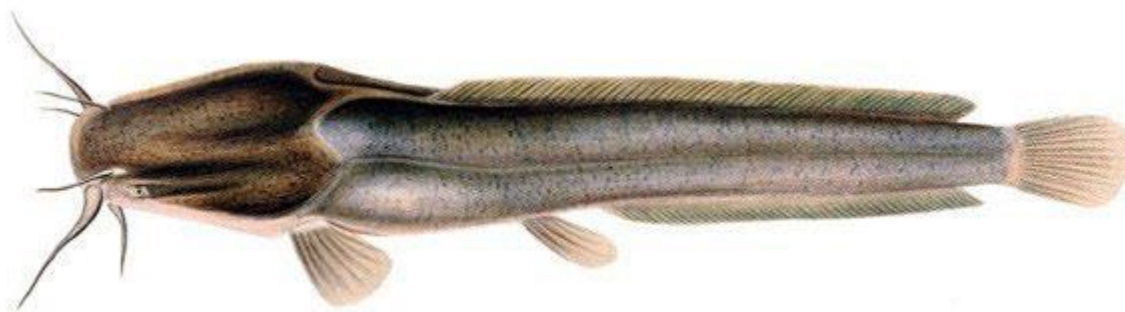
4.4. Āfrikas sams (*Clarias gariepinus*)

Sami ir zivju suga, kas tiek audzēta ne tikai Āfrikas kontinentā. 2014. gadā 237 tūkstoši tonnu samu tika audzēti ne tikai Nigērijā, bet arī Holandē, Ungārijā, Kenijā, Brazīlijā, Dienvidāfrikā un Kamerūnā (FAO, FishStat). Gan Āfrikā, gan Āzijā ir daudz dažādu samu ģints zivju sugu, un vairākas no tām izmanto zivju audzētavās. Pastāv daudz dažādu barības veidu. Kad 70. un 80. gados sākās intensīva zivju audzēšana, tropiskajos reģionos tilapijas un samus bieži audzēja vienā saimniecībā. Tas nozīmē, ka samus var barot ar Tilapijas subproduktiem, taču Zviedrijā tas var būt nelikumīgi.

Līdz šim Zviedrijā samus audzē tikai RAS. Tas, protams, ir tāpēc, ka zivīm nepieciešams silts ūdens, un tāpēc tās jāaudzē telpās. Tā ir ļoti izturīga zivs, kas ir noturīga pret daudzām izplatītām slimībām, spēj

TransFarm

izturēt zemu skābekļa līmeni un augt ļoti lielā blīvumā. Līdzīgi kā vairākas citas zivis, arī šī zivs spēj ilgāku laiku uzturēties uz sauszemes un izmanto muti kā sava veida plaušas, lai elpotu gaisu. Nosaukums cēlies no grieķu vārda "chlaros", kas nozīmē "dzīva", un tas labi raksturo, cik izturīga ir šī zivs. Sams ir visēdājs, kas nozīmē, ka tas var dzīvot, barībā saņemot lielu daļu augu izcelsmes olbaltumvielu. Tas ļoti labi aug un 6 mēnešu laikā var sasniegt 1,5-2 kg svaru, bet pēc gada sver aptuveni 3,5 kg. Barības koeficients ir nedaudz augstāks nekā, piemēram, lašveidīgajiem, taču to daļēji var izskaidrot ar to, ka ievērojama daļa barības ir augu valsts. Tāpat kā tilapijām un citām visēdāju vai zālēdāju zivīm, arī sami var patērēt barību, kuras pamatā ir, piemēram, lauksaimniecībā radušies atlikumi. Nevienmērīga augšana, jo īpaši mazuļu vidū, var radīt bažas, ja bieži neveicat šķirošanu, jo samiem ir izplatīts kanibālisms. Tomēr, kad zivis ir aptuveni 12 nedēļas vecas, to īpatņu augšana ir daudz vienmērīgāka, un, jo lielākas tās kļūst, regulāra šķirošana kļūst mazāk nepieciešama. Arī mirstība un slimības šai sugai nav liela problēma.



27. attēls. Āfrikas sams (*Clarias gariepinus*).

7. tabula. Akvaponikas sistēmā audzētu samu optimālie augšanas apstākļi un citi parametri.

| | |
|---|--------------------------|
| Augšanas temperatūra: | 21 - 34 °C |
| Optimālā temperatūra: | 26 - 30 °C |
| pH: | 6,0 – 8,5 |
| Skābekļa koncentrācija: | 3,5 - 6 mg/l |
| Recirkulācijas pakāpe: | 1 - 2 reizes/h |
| Ikru/mazuļu pieejamība: | Jā |
| Uzturs un barība: | Ir īpaša barība |
| SGR (īpatnējais pieauguma koeficients): | 2,5-3,5 |
| FCR (barības konversijas koeficients): | 1,2-1,6 |
| Blīvums: | 60-200 kg/m ³ |
| Laiks, lai sasniegtu kaušanas svaru: | 8 - 12 mēneši |
| Kaušanas svars: | 1500 - 3500 g |
| Ūdens patēriņš dienā un uz kg zivju pie 2 % blīvuma 50 kg/m³: | 0,15 L |

4.5. Tilapijas (*Oreochromis sp.*)

Tilapijas (Āfrikas cichlidi) ir pasaulē otrā visvairāk audzētā zivs ar produkciju aptuveni 3,6 miljonu tonnu apmērā 2014. gadā (FAO FishStat), un tās strauji tuvojas karpu ražošanas apjomam, kas ir pirmajā vietā. Tilapijas patiesībā ir kopīgs nosaukums lielai vairāku dzimtu zivju grupai (*Oreochromis sp.*, *Tilapia sp.*, *Sarotherodon sp.* un *Alcolapia sp.*).

Tas jāņem vērā, kad tiek meklētas šīs zivis, sevišķi, kamēr netiek mainīts vai izveidots nsokaukums to vieglākai atšķiršanai. Tilapijas tagad ir substrāta nārsta zivs pretstatā *Oreochromis.sp*, kas ir mutē nārstoša zivs. Atšķirībā no *Oreochromis.sp* *Tilapia.sp* ir ļoti agresīvas un aizsargā savu teritoriju. Tilapijas

TransFarm

audzē daudzviet pasaulē (> 100 valstīs), jo īpaši siltākos apgabalos, piemēram, Ķīnā un pārējā Āzijā, daudzās Āfrikas valstīs, Centrālamerikā un Dienvidamerikā un ASV. ASV ir lielākais tilapiju importētājs (galvenokārt no Ķīnas), bet arī pašas tās daudz audzē.



28. attēls. Tilapija (*Oreochromis sp.*).

Visbiežāk audzētā "Tilapiju suga" ir Nīlas tilapija (*Oreochromis niloticus*), taču, kā minēts iepriekš, visā pasaulē tiek audzētas daudzas dažādas sugas. Tilapijas ir vienas no visvieglāk audzējamām zivīm, un tās ļoti labi piemērotas akvaponikā. Tā ir izturīga zivs, kas var izturēt lielu blīvumu, un tā ļoti ātri izaug līdz tirgus lielumam, kas, piemēram, Zviedrijas tirgū ir 400 g-1000 g. Kā minēts iepriekš, Nīlas tilapija ir visēdājs, tāpēc atšķirībā no lašveidīgajām zivīm tā var lieliski izdzīvot un augt arī ar barību, kas satur 100 % dārzenus. Tas nav atkarīgs no zivju miltiem kā barības, kas iegūta, zvejojot savvaļā, protams, ir liela priekšrocība, runājot par ilgtspējīgu ražošanu. Tomēr gandrīz visa tilapiju barība satur zivju miltus un zivju eļļu, lai gan palielinātu augšanas tempu, gan ļautu filejās saturēt cilvēkam labvēlīgos omega-3 nepiesātinātos zivju taukus EPA un DHA. Kā jau rakstīts iepriekš, arī zivju barības rūpniecība ir centusies rast ilgtspējīgāku risinājumu pat attiecībā uz plēsīgajām zivīm, un arī šajā jomā tiek veikti pētījumi par jauniem olbaltumvielu avotiem, kas nav pārmērīgi atkarīgi no savvaļas zivīm. Ņemot vērā Nīlas tilapijas augšanas un vairošanās īpašības, tilapija var būt ļoti veiksmīga invazīva suga, ja to neierobežo. Tomēr to neuzskata par problēmu ziemeļu platuma grādos un jo īpaši ne akvaponikas sistēmās, jo zivis tiek turētas tvertnēs telpās, un, pat ja tās varētu izklūt no iekārtas, tās nespētu izdzīvot un vairoties salīdzinoši aukstā ūdenī. Tilapijas ātrā nārsta cikla (4-6 nedēļas) dēļ tās ir ļoti piemērotas tā sauktajai "pakāpeniskajai ražošanai". Tas nozīmē, ka atsevišķās tvertnēs tiek turētas dažāda vecuma zivis. Tas nozīmē, ka jūs ievietojat tikpat daudz mazuļu, cik zivju vēlaties izaudzēt. Pēc tam tās visu mūžu tiek atstātas vienā tvertnē. Tādējādi jūs izvairāties no pārāk lielas zivju pārvietošanas un iegūstat vienmērīgu un paredzamu gan zivju, gan ja attiecināms, arī zaļās biomasas produkciju.

8. tabula. Akvaponikas sistēmā audzētu tilapiju optimālie augšanas apstākļi un citi parametri.

| | |
|--|------------------------------|
| Augšanas temperatūra: | 21 - 36 °C |
| Optimālā temperatūra: | 26 - 32 °C |
| pH: | 6,0 – 8,5 |
| Skābekļa koncentrācija: | 3,5 - 6,0 mg/l |
| Recirkulācijas pakāpe: | 1 - 2 reizes/h |
| Ikru/mazuļu pieejamība: | Jā |
| Uzturs un barība: | Ir speciāla barība tilapijām |
| SGR (īpatnējais pieauguma koeficients): | 2,0 – 3,0 |
| FCR (barības konversijas koeficients): | 1,1 – 1,6 |
| Blīvums: | 60 - 160 kg/m ³ |

| | |
|---|--------------|
| Laiks, lai sasniegtu kaušanas svaru: | 6 - 7 mēneši |
| Kaušanas svars: | 400 - 800 g |
| Ūdens patēriņš dienā un uz kg zivju pie 2 % blīvuma 50 kg/m³: | 0,2 L |

4.6. Karpas (*Cyprinidae spp.*)

Karpas (*Cyprinus carpio*) un citas audzējamās karpu sugas (sudrabkarūsas (*Hypophthalmichthys molitrix*), amūri (*Ctenopharyngodon idella*)).

Karpas nāk no Austrumeiropas un Āzijas, un pašlaik tās ir pasaulē visvairāk audzētās zivju sugas. Karpu sugas zivis ir tolerantas pret salīdzinoši zemu skābekļa līmeni un sliktu ūdens kvalitāti, un tām ir daudz lielāks ūdens temperatūras tolerances diapazons. Karpas var izdzīvot temperatūrā no 4 °C līdz pat 34 °C, tāpēc tās ir ideāli piemērotas akvaponikai gan mērenā, gan tropiskā klimata apgabalos. Vislabāk aug, ja ūdens temperatūra ir no 25°C līdz 30°C. Šādos apstākļos zivis var izaugt no mazuļiem līdz kaušanai (500-600 g) mazāk nekā gada laikā (10 mēnešos). Augšanas ātrums krasi samazinās, ja temperatūra ir zemāka par 12 °C. Karpu tēviņi ir mazāki par mātītēm, taču savvaļā tie var sasniegt 40 kg un 1-1,2 m garumu. Savvaļā karpas ir visēdāji, kas barojas uz grunts un ēd visdažādāko barību. Tās labprāt barojas ar bezmugurkaulniekiem, piemēram, ūdens kukaiņiem, kukaiņu kāpuriem, tārpiem, gliemjiem un zooplanktonu. Dažas zālēdāju karpu sugas ēd arī ūdens un sauszemes augu stublājus, lapas un sēklas, kā arī pūstošu veģetāciju. Audzējamās karpas var viegli apmācīt ēst šķidro granulēto barību. Karpu ikrus vislabāk iegūt inkubatoros un specializētās audzētavās. Mazuļu audzēšanas procedūra ir sarežģītāka nekā tilapiju audzēšana, jo karpu mātīšu nārstu izraisa ar hormonu injekciju, kas ir metode, kurai nepieciešamas papildu zināšanas par zivju fizioloģiju un pieredze. Karpas var viegli audzēt kopā ar citām zivīm, un tas tiek darīts jau gadsimtiem ilgi. Šāda prakse galvenokārt ietver zālēdāju zivju (auzu karpu), planktonu barojošu zivju (sudrabkarpu) un visēdāju/detritus barojošu zivju (parasto karpu) kopīgu audzēšanu, lai aptvertu visas barības nišas. Akvaponikā šo triju sugu zivju vai vismaz zālēdājkarpu un parasto karpu kombinācija ļautu labāk izmantot barību, jo pirmās no tām barotos gan ar granulām, gan augu atliekām, bet otrās meklētu arī atkritumus, kas uzkrājas tvertnes dibenā. Kā jau minēts, karpas var audzēt arī sistēmā kopā ar citām zivju sugām, lai paplašinātu piedāvājumu patērētājam, vai, tā kā tās ir salīdzinoši viegli audzēt, kā "barības avotu" akvaponikā, kur galvenais produkts parasti ir augi. Arī sakņu, kā arī citu kultūraugu atlieku izmantošana būtu ļoti noderīga barības vielu nodrošināšanai akvaponiskās sistēmās, jo zivis tās sagremotu un pēc tam atkritumi mineralizētos, un lielākā daļa mikroelementu atgrieztos atpakaļ apritē. Citas karpu sugas Zelta vai Koi karpas galvenokārt audzē dekoratīviem nolūkiem, nevis pārtikas zivju ražošanai. Arī šīs zivis labi panes dažādus ūdens apstākļus, tāpēc tās ir piemērotas akvaponiskās sistēmas izmantošanai. Tās var pārdot privātpersonām un akvāriju veikaliem par ievērojami lielāku cenu kā dekoratīvās zivis (*Cyprinus carpio*) salīdzinājumā ar zivīm, ko pārdod pārtikā. Koi karpas un citas dekoratīvās zivis ir populāra izvēle akvārijos. Izvēloties akvaponikā audzējamo karpu sugu, papildus klimatiskajām īpatnībām un zivju apsaimniekošanas jautājumiem ir jāveic izmaksu un ieguvumu analīze, ņemot vērā to, cik ērti ir audzēt zivis, kurām parasti ir zemākas tirgus cenas nekā citām sugām.



29. attēls. Karpa (*Cyprinus carpio*).

9. tabula. Akvaponikas sistēmā audzētu karpu optimālie augšanas apstākļi un citi parametri.

| | |
|--|-------------------------|
| Augšanas temperatūra: | 15 - 32 °C |
| Optimālā temperatūra: | 26 - 30 °C |
| pH: | 6,5 – 8,5 |
| Skābekļa koncentrācija: | 3,5 - 6,0 mg/l |
| Recirkulācijas pakāpe: | 1 - 2 reizes/h |
| Ikri/mazuļu pieejamība: | Jā |
| Uzturs un barība: | Ir speciālas barības |
| SGR (īpatnējais pieauguma koeficients): | 1,2-1,4 |
| FCR (barības konversijas koeficients): | 1,5-2,8 |
| Blīvums: | 40-80 kg/m ³ |
| Laiks, lai sasniegtu kaušanas svaru: | 12 - 14 mēneši |
| Kaušanas svars: | 400 - 2000 g |

4.7. Vēžveidīgie

Vēžveidīgos var pievienot akvaponikas sistēmai kopā ar dažādām zivju sugām vai, vēl labāk, atsevišķā tvertnē. Iemesls tam ir tas, ka zivis ir tendētas uzbrukt vēžveidīgajiem un apēst tos. Protams, vēžveidīgos var audzēt arī kā barību zivīm. Vēžveidīgie apēd atmirušos organiskos augu materiālus, kas atrodas uz zivju tvertnes dibena. Tādējādi tie palīdz uzturēt iekārtu tīru no suspendētiem materiāliem. Garneles un vēžus var turēt arī dziļūdens kultūru sistēmās zem plostiem, kur tie arī uztur augu saknes tīras. Saldūdens garneļu (*Macrobrachium rosenbergii*), vēžu (*Cherax sugas*) un garneļu pievienošana akvaponiskajām sistēmām sniedz funkcionālas un ekonomiskas priekšrocības, taču tām nepieciešama precīza vides kontrole. Daudzi vēžveidīgie pārtiek no neapēstās zivju barības, biofilmas un atliekām, tādējādi samazinot atkritumu daudzumu un kalpojot par sekundāro kultūru. Vēžveidīgo barības vielu aprites funkcija samazina biofiltra slodzi, apēdot organisko detritu, tādējādi uzlabojot ūdens kvalitāti augiem un zivīm. Vēžveidīgie ir jutīgāki pret vides izmaiņām nekā daudzas akvaponikas zivju sugas, tāpēc to bioloģisko vajadzību izpratne ir ļoti svarīga, lai tos integrētu.

Vēžveidīgie ir jutīgi pret amonjaku, kas ir kaitīgs pat nelielos daudzumos, tāpēc ūdens kvalitātes pārvaldībai ir būtiska nozīme. Lai novērstu vēžveidīgo fizioloģisko stresu vai bojāeju, amonjaka līmenim jābūt mazākam par 0,5 mg/l un nitrītu līmenim - mazākam par 1 mg/l. Izšķīdušais skābeklis (DO) ir svarīgs elpošanai, attīstībai, kas nepieciešama vēžveidīgo augšanai un čaulas atjaunošanai. Lai nodrošinātu vielmaiņas vajadzības, skābekļa koncentrācijai jābūt virs 5 mg/l. Eksoskeleta veidošanas

ietekmē ūdens pH izmaiņas, tāpēc tam jābūt no 7,0 līdz 8,0. Tā kā vēžveidīgo jutīgais eksoskelets ir pakļauts stresam, pēkšņas pH izmaiņas var izraisīt čaulas anomālijas vai deformāciju.

Katrai sugai ir ideāls temperatūras diapazons, kas ietekmē augšanu, vairošanos un imunoloģisko reakciju. Saldūdens garneles vislabāk attīstās 25-30 °C temperatūrā, bet *Cherax* vēži - aptuveni 20-26 °C temperatūrā. Novirze no šīm robežām var aizkavēt augšanu, vājināt imunitāti un samazināt izdzīvotību. Ja vēžveidīgie tiek turēti kopā ar vēsūdens zivīm, piemēram, forelēm, var būt nepieciešama segmentācija vai siltuma regulatoru izmantošana, lai saglabātu šo ierobežoto siltuma diapazonu jauktu sugu sistēmās. Vēžveidīgo attīstības temperatūras uzturēšana virs 20 °C vēsās akvaponikas sistēmās ir sarežģīta, bet nepieciešama, lai izvairītos no kavētas augšanas un produktivitātes samazināšanās.

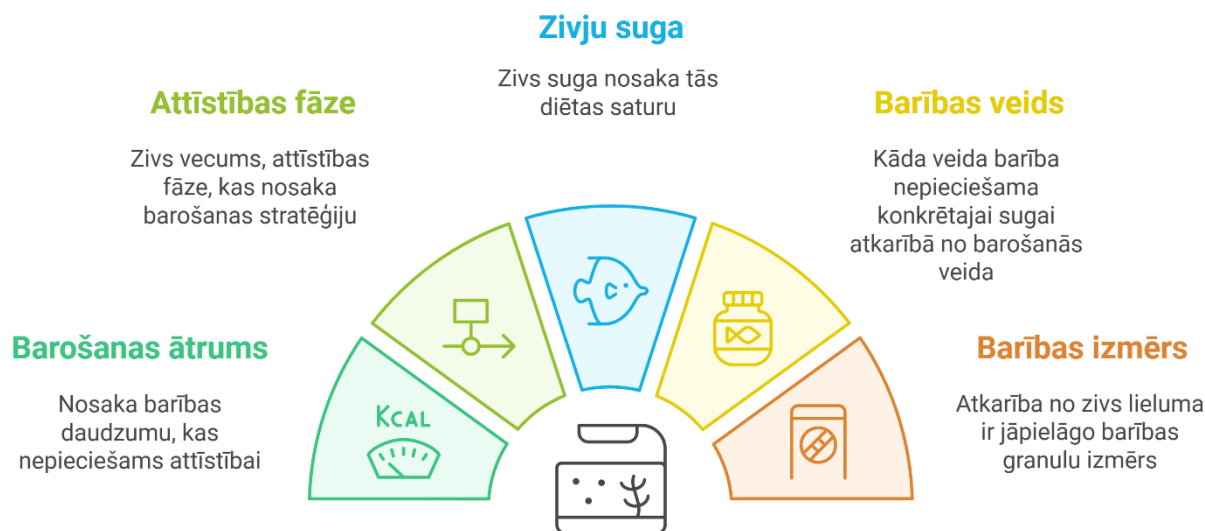
Tā kā vēžveidīgie, jo īpaši vēži, ir nakts dzīvnieki vai dod priekšroku vājai gaismai, izšķiroša nozīme ir apgaismojuma un fotoperioda pārvaldībai. Augstas intensitātes apgaismojums var radīt stresu un kavēt barošanos un augšanu. Spilgts apgaismojums bez ēnas var padarīt vēžveidīgos mazāk aktīvus un pakļautus slimībām. Slēptuves, caurules un ēnainas telpas ir ļoti svarīgas vēžveidīgajiem, jo īpaši riesta laikā, kad tie ir visneaizsargātākie. Tā kā sugas radinieki var kanibalizēt vēžveidīgos, šādas patversmes ir nepieciešamas populācijas stabilitātei.

Lai nodrošinātu spēcīgu augšanu, akvaponikas vēžveidīgie jābaro līdzsvaroti, izmantojot dabisko attīrīšanas un papildu barības vielas. Produktīvās audzēšanas sistēmās vēžveidīgie absorbē nesakošļātu zivju barību un biofilmu, bet šie avoti reti ir pietiekami, lai nodrošinātu to barības vajadzības. Saldūdens garneļu augšanai nepieciešams 35-40 % olbaltumvielu. Augšanas procesā vēžiem palīdz daudzveidīgs augu un dzīvnieku izcelsmes uzturs. Bieži vien ir nepieciešamas vēžveidīgajiem specifiskas granulas, piemēram, zivju milti vai sojas pupiņas. Kalcija bagātas maltītes, piemēram, sasmalcinātas čaumalas vai minerālvielu piedevas, palīdz veidot eksoskeletu, kas nepieciešams čaulas nomaiņai. Pārbarošana var izraisīt strauju amonjaka veidošanos, tāpēc ir nepieciešama pareiza barošanas prakse, lai nodrošinātu augšanu un novērstu atkritumu rašanos.

Vēžveidīgie ir jāuzrauga un jākontrolē bioloģiskā apaugšana un nogulsnešanās, lai novērstu skābekļa zudumu un infekcijas. Regulāri tīrot tvertni, likvidējot nogulsnes un veicot filtru apkopi, nepieļaujiet uzkrāšanos. Tā kā vēžveidīgie barojas ar barību, tvertnes dibenā rodas cietie atkritumi, kuru daudzumu var samazināt nogulšņu uztvērēji un nelieli mehāniskie filtri. Vēžveidīgo vielmaiņa un atkritumu veidošanās ir lielāka nekā zivīm, tāpēc sistēmās jāiekļauj regulāras ūdens apmaiņas metodes, lai uzturētu ideālus ūdens apstākļus.

5. Zivju barība/uzturs

Akvaponikā līdzsvarotas ekosistēmas uzturēšana ir atkarīga no zivju barības un barošanas kvalitātes. Zivju barība netieši atbalsta augu augšanu, nodrošinot nepieciešamās barības vielas caur zivju detritu, kā arī atbalstot zivju augšanu un veselību. Lai zivis saražotu pietiekami daudz atkritumu, kas nodrošina barības vielas, piemēram, amonjaku, kuru mikroorganismi pārvērš nitrātos, ko augi izmanto kā barības vielas, ir nepieciešama pareiza barošana. Optimālu zivju attīstību un imūnsistēmas darbību veicina sabalansēts uzturs, kurā ir daudz olbaltumvielu, lipīdu, vitamīnu un minerālvielu. Lai optimizētu gan zivju, gan augu produktivitāti un saglabātu sistēmas stabilitāti, ir obligāti jāregulē ūdens tīrība, zivju barošana un barošanas normas (30. attēls).



30. attēls. Svarīgāko zivju barības izvēles aspektu kopsavilkums.

5.1. Zivju barības veidi

Lai uzturētu produktīvu akvaponikas sistēmu, ir svarīgi izvēlēties piemērotu zivju barības veidu vai barības kombināciju. Akvaponika lielā mērā ir atkarīga no barības vielām, kuras zivis saņem sistēmā ar barību un kuras tās metabolizē, tāpēc ir ļoti svarīgi rūpīgi optimizēt zivju barību. Zivju barības izvēle lielā mērā ir atkarīga no audzējamo zivju sugas, augšanas stadijas (zivju lieluma) un vispārējiem mērķiem (zivju vai augu audzēšana). Parasti var izmantot trīs galvenās zivju barības kategorijas - komerciālās granulas (ar vairākām apakškategorijām), dabisko un dzīvo barību un paštaisītu papildbarību. Visas trīs minētās kategorijas var kombinēt savā starpā, lai nodrošinātu zivīm sabalansētu uzturu.

Komerčiālās zivju barības veidi

Komerčiālā zivju barība kopumā ir pielāgota, lai apmierinātu atsevišķu zivju sugu vai to augšanas posmu īpašās uztura vajadzības, optimālas barošanas normas nodrošina veselīgu attīstību un paredzamus rezultātus. Turpmāk sniegts dažādu komerciāli pieejamās zivju barības veidu sadalījums un to paredzētais pielietojums (31. attēls).



31. attēls. Granulēta komerciālā zivju barība.

Peldošās granulas

Peldošās granulas ir viens no visbiežāk izmantotajiem komerciālās barības veidiem, ko izmanto akvakultūrā un akvaponikā. Kā liecina nosaukums, granulētā zivju barība peld virs ūdens, ļaujot zivīm baroties ūdens virspusē. Tādas zivju sugas kā tilapijas un foreles dod priekšroku šāda veida barībai, jo tās barojas vidējā un augšējā ūdenī. Izmantojot peldošo barību, operators var precīzi kontrolēt, cik daudz barības tiek patērēts katrā barošanas reizē, un tādējādi var attiecīgi pielāgot barošanas devu, lai neizšķērdētu barību. Peldošās granulas veicina arī vairāku zivju sugu dabiskos barošanas instinktus, un tās var izmantot dažādos augšanas posmos. Vairākas sugas, kas tiek uzskatītas par grunts barotājiem, piemēram, stores, audzējot ierobežotā telpā, var ātri iemācīties baroties virs ūdens, tāpēc dažos izmantošanas gadījumos šāda veida barību uzskata par universālu.

Grimstošās granulas

Grimstošās granulas ir zivju barības veids, kas ir paredzēts nogrimšanai uz zivju tvertnes dibena, un tās izvēlas audzētāji, kuri audzē tādas sugas, kas barojas ar grunts barību, piemēram, samus vai noteikta veida karpas. Sistēmās, kurās ir vairāk nekā viena zivju suga, kas izmanto visu ūdens kolonnu kā savu dzīves telpu, šāda veida barība ir izdevīga, jo tā nogrimst uz grunts, un grunts barotāji nekonkurē par barību ar augšūdens barotājiem. Tāpat kā cita veida komerciālā barība, arī šīs granulas ir dažāda lieluma un sastāva, lai apmierinātu zivju vajadzības dažādos augšanas posmos. Lietojot grimstošās granulas, ieteicams rūpīgi uzraudzīt barošanas devu, jo nav redzams, kad barības pārpalikums paliek nesakošļāts, un tāpēc tas var izraisīt barības uzkrāšanos pie grunts un vēlāk problēmas ar ūdens kvalitāti.

Lēni grimstošās granulas

Lēni grimstošās granulas ir hibrīda variants, kas pakāpeniski nogrimst zivju tvertnē, tāpēc tās ir piemērotas zivīm, kuras barojas dažādos ūdens līmeņos. Šis barības veids ir universāls, ja audzē dažādu sugu zivis vai sugas, kas dod priekšroku barošanai ūdens kolonnas vidū. Salīdzinot ar grimstošām granulām, šīs granulas nodrošina zivīm vairāk laika barības apēšanai un palīdz izvairīties no barības uzkrāšanās tvertnes dibenā. Ja akvārijā ir daudz augšējā vidusdaļā barojamu zivju un ir arī tipiskas grunts barotājas, jāuzmanās, lai grunts barotājas tiktu pietiekami pabarotas un lai barību neapēstu citas akvārijā esošās zivis.

Sugām specifiska barība

Dažām sugām ir īpašas prasības attiecībā uz uzturu, un tām nepieciešama īpaša barības formula. Gaļēdāju zivīm, piemēram, asariem vai forelēm, nepieciešams vairāk tauku un olbaltumvielu nekā zālēdāju zivīm, piemēram, tilapijām, kurām nepieciešams mazāk olbaltumvielu, bet vairāk šķiedrvielu. Sugām specifiskā barība ir optimizēta, lai atbilstu zivju dabiskajam uzturam, nodrošinot optimālu galveno barības vielu līdzsvaru optimālai produkcijai. Dažas barības var saturēt arī eksotiskas piedevas, piemēram, probiotikas vai gremošanas fermentus, kas veicina gremošanu un barības vielu uzsūkšanos. Sugai specifiskajā barībā ir ņemts vērā arī tas, kāda veida barošana nepieciešama konkrētajām zivīm, tāpēc granulas ir vai nu grimstošas, vai peldošas.

Augšanas stadijai pielāgota barība

Komerčiālā zivju barība var būt veidota arī konkrētām zivju sugām, kas paredzētas konkrētiem augšanas posmiem. Zivju mazuļu barība parasti ir mazāka izmēra un satur lielāku olbaltumvielu daudzumu, lai veicinātu strauju augšanu. Pieaugošo zivju barība ir veidota tā, lai olbaltumvielu saturs būtu 30-40 %. Vaislas zivju barību izmanto, lai barotu pieaugušas zivis, kas iesaistītas vaislas procesā; šāda veida barībai parasti pievieno papildu vitamīnus, minerālvielas vai citas piedevas, lai uzlabotu

reproduktīvos rādītājus. Atkarībā no augšanas stadijas barībai ir dažādi izmēri, lai zivis varētu viegli uzņemt barību.

Dabiskā dzīvā barība

Dabiskā barība ir lielisks papildinājums komerciāli pieejamai zivju barībai, jo īpaši tām sugām, kuras dabiski barojas ar kukaiņiem, kāpuriem vai citiem ūdens bezmugurkaulniekiem. Šāda veida barība ir bagāta ar barības vielām un piedāvā augstu olbaltumvielu, tauku, minerālvielu un vitamīnu daudzumu, kas imitē barību, ko zivis patērē dabiskajā vidē. Nodrošinot dzīvu barību, var stimulēt dabisko uzvedību un nodrošināt ilgtspējīgu alternatīvu barībai, ko var audzēt slēgta cikla akvaponikas sistēmā.

Kukaiņi un kāpuri

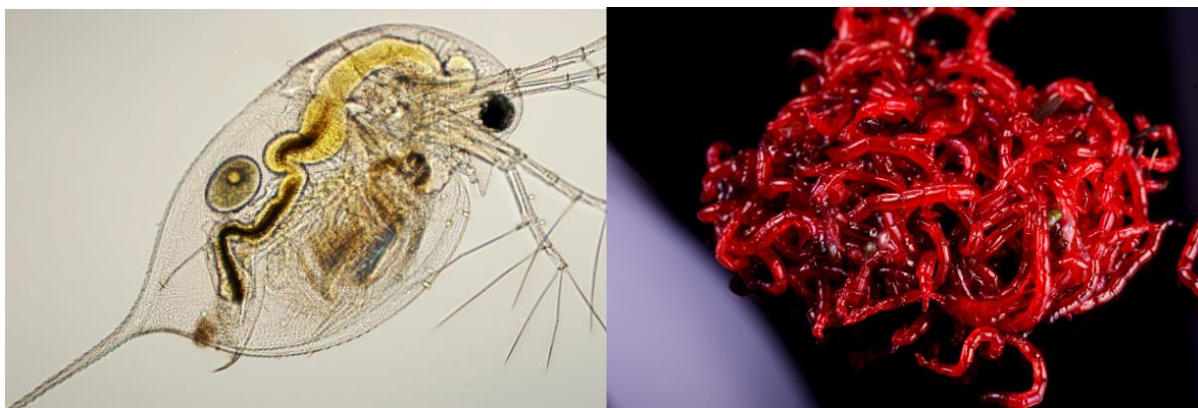
Kukaiņi un kāpuri, piemēram, melnās mušas kāpuri, miltu tārpi (32. attēls), sienāži un citi, ir lieliski olbaltumvielu un tauku avoti. Melnās mušas kāpuri ir bagāti ar olbaltumvielām (līdz 45 %) un taukiem (līdz 35 %), tāpēc tie ir ārkārtīgi bagātīgs barības vielu avots tādām zivīm kā tilapijas vai sams. Melnā kareivja mušas kāpurus (angļu val. *black soldier fly larvae*) var viegli audzēt uz jebkāda veida organiskajiem atkritumiem, pārtikas atliekām vai izmetamām kultūrām, kas rodas, darbojoties akvaponikas sistēmai. Izsmantojot atkritumus, akvaponikas sistēmas veido slēgta cikla darbību, kurā no kultūraugiem radušies atkritumi tiek pārveidoti zivju barībā. Miltu tārpi un circeņi ir īpaši bagāti ar neaizstājamām taukskābēm, vitamīniem un olbaltumvielām, kas arī ir lielisks papildinājums zivju diētai. Nodrošinot zivis ar kukaiņiem un kāpuriem, jūs būtībā veicināsit dabisko barošanās paradumu, padarot zivis aktīvākas un samazinot garlaicību, kas ir īpaši svarīgi slēgtā vidē.



32. attēls. Melnā kareivja kāpuri (pa kreisi) un miltutārpi (pa labi).

Ūdens bezmugurkaulnieki

Sālsūdens garneles, dafnijas, trīssuļodu kāpuri (33. attēls) un citi ūdens bezmugurkaulnieki ir plaši izmantotas akvaponikas zivju barības piedevas tādām zivīm kā asaris, tilapija vai dekoratīvajām sugām (koi karpas, zelta zivtiņas). Sālsūdens garneles ir bagātas ar olbaltumvielām un taukskābēm, un tās ir piemērotas zivju mazuļu vai mazāku zivju sugu patēriņam. Dafnijas (jeb ūdens blusas) ir mazi ūdens bezmugurkaulnieki, kas ir barojoši un viegli audzējami. Asins tārpus (trīssuļodu kāpurus, angļiski *bloodworms*) parasti patērē galējās zivis. Trīssuļodu kāpurus var audzēt atsevišķās zivju tvertnēs vai dīķos, lai nodrošinātu nepārtrauktu dzīvās barības padevi, tādējādi stimulējot dabisko barības meklēšanu.



33. attēls. dafnijas (pa kreisi) un trīssuļodi (pa labi).

Sliekas

Sliekas ir bagātas ar olbaltumvielām (līdz 60 %) un neaizstājamām aminoskābēm. Sliekas var audzēt kā daļu no slēgtas akvaponikas sistēmas, izmantojot vermikultūru. Vermikultūrā saražotās augu un dārzu atliekas var ievadīt vermikomposta tvertnē, sliekas šos atkritumus apēd, radot vairāk slieku un kompostu (barības vielām bagātu kompostu), ko var izmantot, piemēram, stādu audzēšanai. Lielākas zivis, piemēram, sams, karpas, asaris un citas, var izmantot šos sliekas savā uzturā - tās ir arī bagātas ar minerālvielām un vitamīniem.

Aļģes un mazlēpītes

Zālējūņu un visēdāju zivju sugas, piemēram, tilapijas, karpas un citas, var izmantot noteiktas aļģu un mazlēpīšu sugas savā uzturā. mazlēpītes ir ātri augoši maza izmēra ūdensaugi, kas var saturēt līdz pat 40 % olbaltumvielu un ir bagāti ar citām vērtīgām barības vielām, piemēram, vitamīniem un minerālvielām (34. attēls). Mazlēpītes var audzēt nelielos dīķos vai kā atsevišķu augšanas biotopu, kas integrēts akvakultūras sistēmā. Vasaras sezonā dīķi mēdz aizaugt ar mazlēpītēm, bet, barojot zivis ar ārējiem mazlēpīšu avotiem, ir jābūt uzmanīgiem, jo tie var saturēt kaitēkļus un patogēnus, kas var ietekmēt zivju un augu veselību. Zivju uzturā var iekļaut arī aļģes - tās satur mikroelementus un taukskābes, kas labvēlīgi ietekmē zivju veselību un imūnsistēmu. Aļģes var iegādāties kaltēta pulvera veidā ar ierobežotu dzīvotspēju. Aļģes caur barību var tikt pārnestas visā sistēmā, un dažkārt var notikt nevēlama aļģu savairošanās, jo īpaši, ja operators tiecas uz sterilāku vidi.

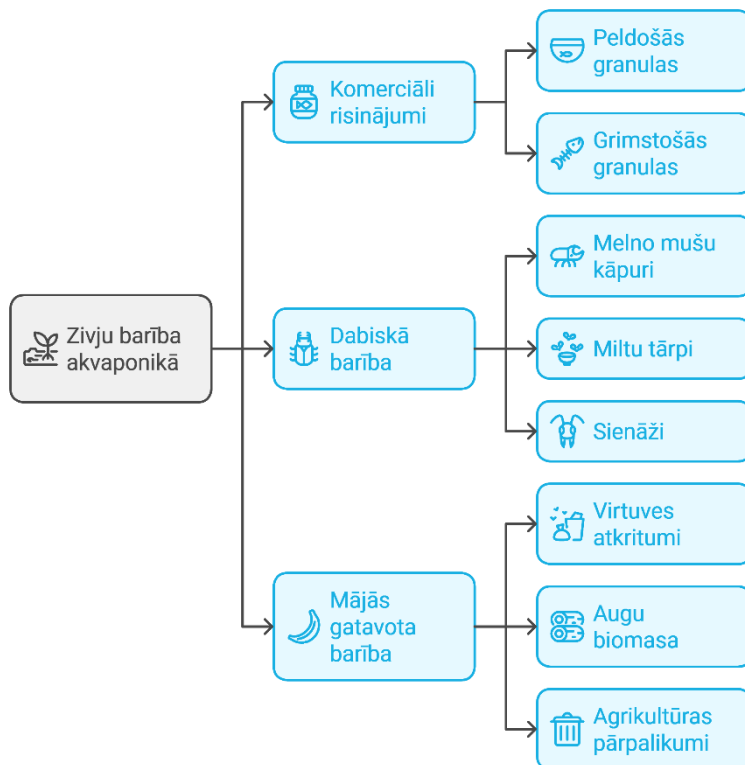


34. attēls. Ar mazlēpītēm aizaudzis dīķis.

Viena no galvenajām priekšrocībām, ko sniedz akvaponikā izmantojot dzīvās barības, ir iespēja tās audzēt uz vietas. Piemēram, slieku vermikultūras iekārtas, izmantojot augu atgriezumus un organisko

TransFarm

kompostu, vai melno mušu kāpuru audzēšana, izmantojot pārtikas atkritumus. Dafnijas un sālsūdens vēžveidīgos var audzēt nelielos, tam paredzētos konteineros vai dīķos, nodrošinot pastāvīgu barības padevi. Papildus barības izmaksu samazināšanai dzīvo barību audzēšana uz vietas rada arī slēgta cikla sistēmu, kas uzlabo sistēmas efektivitāti un samazina atkritumu daudzumu. Turklāt tā ļauj labāk kontrolēt barības kvalitāti, garantējot, ka zivis tiek nodrošinātas ar uzturvielām bagātu barību, kas nesatur pesticīdus un ir īpaši izstrādāta, lai atbilstu to unikālajām prasībām (35. attēls).



35. attēls. Akvakultūrās visbiežāk izmantotie zivju barības veidi.

5.2. Barības sastāvs

Komerčiāli pieejamā zivju barība sastāv no galveno uzturvielu (olbaltumvielu un ogļhidrātu), vitamīnu un minerālvielu maisījuma, kas nodrošina zivis ar nepieciešamajām sastāvdaļām ilgtspējīgai augšanai. Zivju vajadzības pēc barības daudz neatšķiras no citiem dzīvniekiem. Zivju barība galvenokārt sastāv no olbaltumvielām, taukiem un minerālvielām, ko iegūst no graudaugiem, sojas pupām, kukurūzas, rīsiem, kviešiem utt. Katras barības vielu grupas daudzums ir atkarīgs no audzējamās zivju sugas - konkrēto zivju barībai jābūt sabalansētai un optimizētai, lai nodrošinātu maksimālu augšanas potenciālu, garšīgai, noturīgai ūdenī un ar zivju izmēram pielāgotu granulu lielumu.

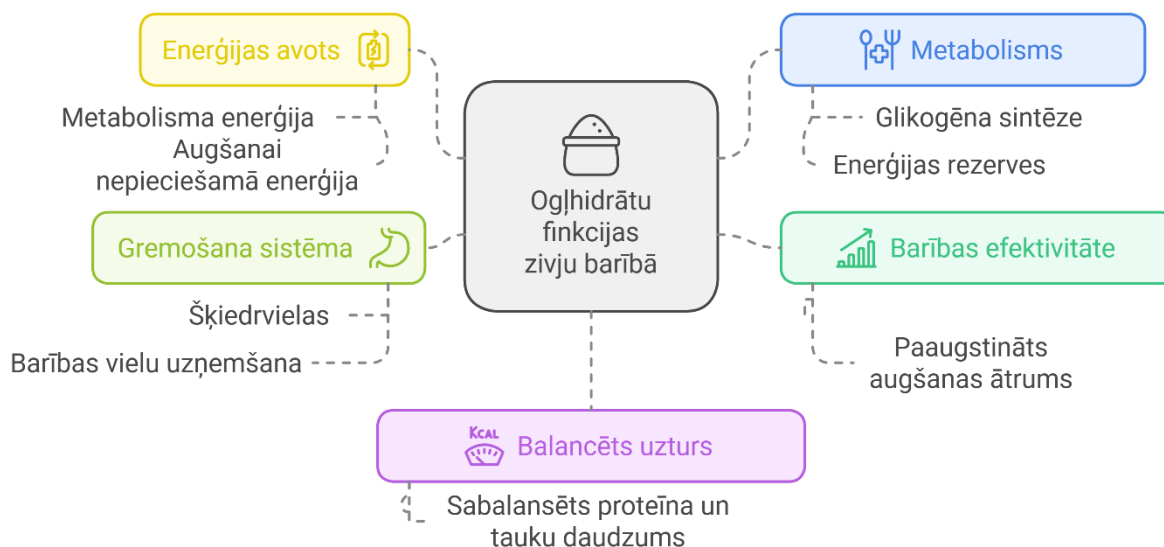
Olbaltumvielas tiek uzskatītas par vienu no galvenajām akvakultūras un akvaponikas sastāvdaļām. Olbaltumvielas ir galvenā makrouzturviela, kas ir zivju augšanas un attīstības pamatelements. Olbaltumvielas sastāv no aminoskābēm, ko visi dzīvie organismi izmanto jaunu audu, fermentu, hormonu un citu svarīgu savienojumu sintēzei. Akvaponikas sistēmā zivju barībā esošās olbaltumvielas tieši ietekmē zivju veselību un augšanas rādītājus, kā arī no barības sastāva izrietošo ūdens kvalitāti. Augstas kvalitātes un viegli sagremojami olbaltumvielu avoti nodrošina, ka zivis var efektīvi pārvērst barību savā masā. Līdzsvarots olbaltumvielu saturs barībā var arī veicināt zivju veselību - ar atbilstošu olbaltumvielu piedevu tiek uzlabota zivju imūnsistēma un spēja pretoties slimībām, kā arī izturēt vides stresu. Olbaltumvielas ir nepieciešamas zivju veselībai, kā arī vispārējai akvaponikas produktivitātei. Tā kā zivis nespēj pašas ražot noteiktas aminoskābes, šīs neizvietojamās aminoskābes ir jāpapildina ar

TransFarm

barību. Zivju metabolisma rezultātā, kas veicina olbaltumvielu sagremošanu, rodas zivju atkritumi, kurus nitrātu veidā tālāk izmanto augi. Ja zivju barībā ir nepietiekams olbaltumvielu daudzums, tas var novest pie augu augšanas aizkavēšanās un uzņēmības pret slimībām. Sistēmas līdzsvarošana, pielāgojot olbaltumvielu saturu zivju barībā, barošanas devas u. c., ir ļoti svarīga, lai nodrošinātu pareizu visas sistēmas cikliskumu un izvairītos no barības vielu uzkrāšanās, kas var kļūt toksiskas abiem galvenajiem sistēmas organismiem.

Tipiskais olbaltumvielu saturs zivju barībā lielā mērā ir atkarīgs no zivju sugas un to augšanas stadijas sistēmā. Zivju mazuliem proteīnu saturs parasti ir lielāks, lai veicinātu ātrāku augšanu, parasti 40-50 % proteīnu. Pieaugušo zivju barībā parasti ir 25-35 % olbaltumvielu. Šāds olbaltumvielu saturs ļauj uzturēt veselību un ilgtspējīgu augšanu. Gaļēdāju zivīm nepieciešama zivju barība ar augstāku olbaltumvielu saturu (40-45 %), savukārt zālēdāju sugas dod priekšroku barībai ar 25-30 % olbaltumvielu. Izvēloties barību zivīm, ieteicams izvērtēt arī olbaltumvielu avotu - vai tās ir dzīvnieku vai augu izcelsmes olbaltumvielas. Olbaltumvielu avots nosaka, cik sagremojama un barojoša ir olbaltumviela jūsu izvēlētajai zivju sugai.

Ogļhidrātus pievieno zivju barībai kā enerģijas avotu, augšanas veicinātāju un veselību kopumā veicinošu sastāvdaļu (37. attēls). Visbiežāk kā ogļhidrātus izmanto dažādu veidu graudus, piemēram, kukurūzu, kviešus, miežus un rīsus. Graudos ir daudz cietes, kas ir galvenais enerģijas avots. Arī pākšaugi, jo īpaši sojas milti vai zirņi, bieži tiek iekļauti zivju barības sastāvā, jo šie avoti ir bagāti gan ar olbaltumvielām, gan ogļhidrātiem, kas veicina vispārējo uzturvielu līdzsvaru. Citi ogļhidrātu avoti ir saknes (kartupeļi, saldie kartupeļi), jūras aļģes vai aļģes (satur polisaharīdus) vai dažādi blakusprodukti no citām rūpniecības nozarēm, piemēram, melase, alus darītāju vai spirta rūpniecību izlietotie graudi utt.



37. attēls. Ogļhidrātu funkcijas zivju barībā.

Ogļhidrātu līdzsvars zivju barībā nodrošina stabilu enerģijas nodrošinājumu (ogļhidrāti ir galvenais enerģijas avots), veicina vielmaiņu, gremošanas veselību (šķiedrvielas veicina zarnu veselību) un vispārējo barības sastāva līdzsvaru. Piemērotu ogļhidrātu avotu iekļaušana zivju barībā ir būtiska, lai apmierinātu enerģijas vajadzības, veicinātu augšanu un nodrošinātu zivju veselību kopumā. Startera barība parasti satur 25-30 % ogļhidrātu, bet pieaugušo un augošo zivju barība satur 30-40 % ogļhidrātu. Īpaša zivju barība, kas paredzēta plēsīgām sugām, parasti satur mazāk ogļhidrātu, parasti 15-25 %.

Tauki un eļļas ir būtiskas zivju barības sastāvdaļas, kas nodrošina zivis ar enerģiju un veicina vispārējo veselību un augšanu. Zivju barībai parasti pievieno taukus, kas iegūti, pārstrādājot zivju miltus. Zivju

TransFarm

barībai pievienotajās zivju eļļās (no jūras produktiem iegūtās eļļās) ir daudz omega-3 taukskābju EPA (eikozapentaēnskābe) un DHA (dokozaheksaēnskābe). Zivju barībā var izmantot arī dzīvnieku taukus, kas iegūti no māļputnu, liellopu vai cūkgaļas, tomēr tie ir mazāk bagāti ar neaizstājamajām omega-3 taukskābēm. Savukārt alģu eļļas ir bagātas ar EPA un DHA, un tās tiek uzskatītas par ilgtspējīgāku alternatīvu zivju eļļai, tomēr alģu eļļas cena ir augstāka. Var izmantot arī augu eļļas, kas parasti tiek ražotas no rapšu, kukurūzas, sojas pupām vai palmām - parasti tās tiek uzskatītas par ilgtspējīgākām un ir bagātas arī ar citām omega taukskābēm.

Pievienotie tauki tiek uzskatīti par koncentrētāku enerģijas veidu - viena eļļas vienība nodrošina tādu pašu enerģijas daudzumu kā viena ogļhidrātu vai olbaltumvielu vienība. Zivju veselībai ļoti svarīgas ir neaizstājamās omega-3 un omega-6 taukskābes - tās nodrošina šūnu membrānu integritāti, hormonu veidošanos, imūnsistēmas darbību u. c. faktorus. Piemēram, DHA veicina veselīgu smadzeņu attīstību un darbību un uzlabo zivju sirds un asinsvadu veselību. Kvalitatīvu tauku iekļaušana zivju uzturā var uzlabot barības konversiju, tādējādi veicinot to efektīvu augšanu un uzlabojot svara pieaugumu ar mazāku barības daudzumu.

Startera barība parasti satur 10-15 % tauku, bet audzējamā barība - 15-25 %. Gaļējādu zivīm nepieciešama barība ar lielāku tauku saturu, jo zivju barība satur 25-30 % tauku. Pārāk liels tauku daudzums barībā var arī nelabvēlīgi ietekmēt zivju veselību, tāpēc ir svarīgi sabalansēt uzturā olbaltumvielas un ogļhidrātus, kā arī minerālvielas un vitamīnus.

Vitamīnus un minerālvielas zivju barībai pievieno maksimāli, jo tiem ir būtiska nozīme dažādos fizioloģiskos procesos, kas saistīti ar imūnsistēmu, augšanu un vairošanos, un tie nav atrodamā citās galvenajās sastāvdaļās pietiekamā daudzumā, lai nodrošinātu zivju vajadzības. Barībai pievieno A, D, E, K un B grupas vitamīnus, lai atbalstītu dažādas funkcijas zivju organismā, tāpat arī minerālvielas Ca, P, Mg, Na, K un mikroelementus Fe, Zn, Cu, Mn, Se. Gatavojot zivju barību, minerālvielas un vitamīnus var pievienot barībai 1-2 % koncentrācijā no galīgā maisījuma, šādus gatavus produktus pārdod tirdzniecībā. Lai veicinātu zivju augšanu, maisījumam var pievienot arī citas sastāvdaļas, piemēram, aminoskābes.

Lietošanai gatava zivju barība ir ērtākais zivju barošanas veids. Kvalitātes nodrošināšana un produktu konsekvence ir ļoti svarīga, ja cenšamies uzturēt līdzsvarotu akvaponikas sistēmu. Tomēr, lai sasniegtu pilnu jūsu sistēmas ekonomisko potenciālu, ir jāizvērtē konkrētās barības izmaksas. Lai aprēķinātu konkrētās barības izmaksas, varat ņemt uzturvērtību kcal un izdalīt to ar cenu, lai iegūtu vienas barības kcal izmaksas. Lai gan pastāv lētākas iespējas, jāņem vērā arī barības kvalitāte, jo akvaponikas sistēmas ir ļoti jutīgas pret jebkādu ārēju stresu. Bieža barības maiņa var izjaukt pastāvīgu barības vielu plūsmu visā sistēmā un izjaukt izveidojušās ekosistēmas daļas. Alternatīvi ir iespējams arī izveidot savu zivju barību, taču tas prasa rūpīgu sastāvdaļu izvēli un olbaltumvielu, ogļhidrātu un tauku devas optimizāciju, lai apmierinātu jūsu sistēmas vajadzības⁶. Pēc tam barību var granulēt un izmantot tāpat kā komerciāli pieejamo barību. Zivju barības pagatavošana prasa daudz eksperimentēšanas un pielāgošanas, lai sasniegtu pilnu potenciālu un optimālu zivju un augu augšanu akvaponikas sistēmā⁷.

Tiek piedāvāti dažādi avoti⁸, ar ko aizstāt vai aizvietot zivju barības sastāvdaļas, piemēram, sēklas, augļi un dārzeņi, graudaugi, eļļas augi, barības sastāvdaļas, kas iegūtas no dzīvniekiem, un citi dažādi barības

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

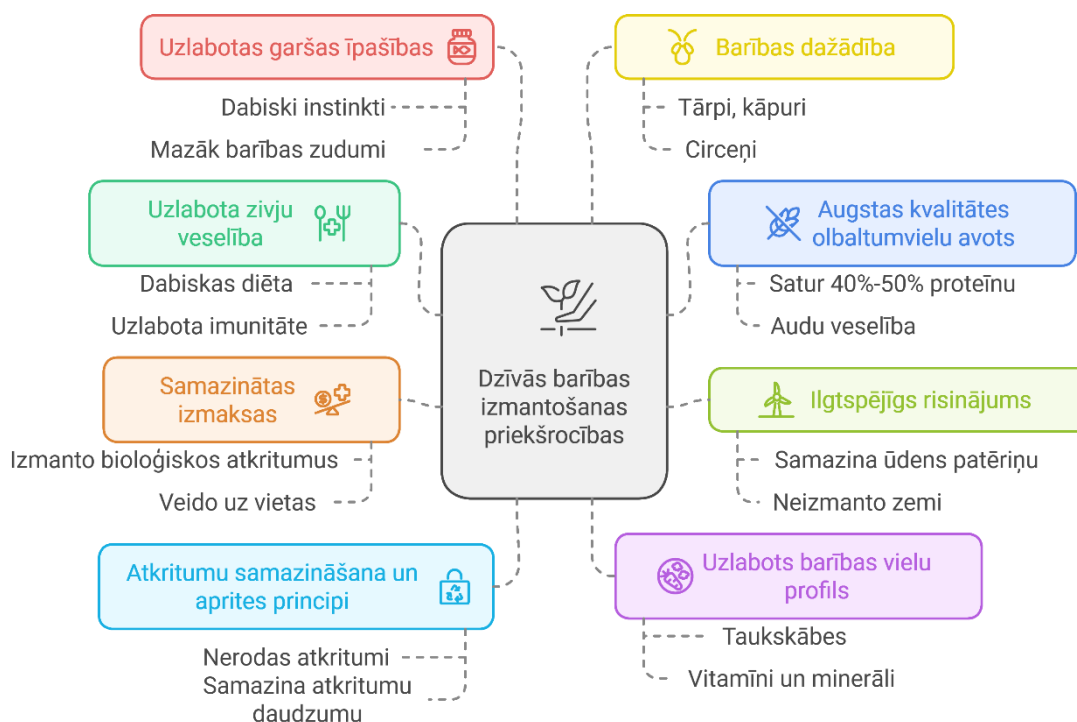
⁷ <https://fishfeedmachinery.com/Solution/nutritional-fish-feed-formulation.html>

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

TransFarm

produkti (jūras aļģes, melase, izlietotie graudi, raugs, lipīdi u. c.), kas ir blakusprodukti citās nozarēs. Sīkāka informācija par zivju barības sagatavošanu ir atrodama šeit⁹.

Zivis papildus zivju barībai var barot arī ar kukaiņiem, kāpuriem vai citiem maziem bezmugurkaulniekiem. Tas ir īpaši svarīgi visēdājiem un gaļēdājiem, kas dabiski lieto šāda veida uzturu. Kukaiņi ir bagāti ar tādām būtiskām barības vielām kā olbaltumvielas, tauki un aminoskābes, un tie var veicināt imūnsistēmas funkcijas un reproduktīvo veselību. Melnās mušas kāpuri ir bagāti ar olbaltumvielām un taukiem, kas ir labs sausās zivju barības papildinājums. Papildus augstajam olbaltumvielu saturam kukaiņi, piemēram, mušas un kāpuri, satur arī daudz neaizstājamās taukskābes, vitamīnus (tostarp B grupas vitamīnus) un minerālvielas (piemēram, kalciju, fosforu un dzelzi). Šīs uzturvielas ir ļoti svarīgas zivju vispārējai veselībai, jo veicina atbilstošu augšanu, izturību pret slimībām un zivju gaļas kvalitātes uzlabošanu. Omega-3 un omega-6 taukskābes, kas sastopamas konkrētos organismos, ir īpaši svarīgas zivīm, jo tās uzlabo reproduktīvo sistēmu un veicina sirds veselību. Salīdzinājumā ar apstrādātu daļiņu (granulētu) barību zivis bieži vien vairāk piesaista dzīvā vai dabīgā barība, piemēram, kukaiņi un vaboles. Dabiskās barības uzlabotās garšas īpašības var paaugstināt barošanas efektivitāti un augšanas rādītājus, kā arī samazināt barības izšķērdēšanu un uzlabot barības patēriņu. Zivis ir aktīvākas, un to dabisko uzvedību veicina dzīvā barība, kas stimulē to dabiskos medību instinktus.



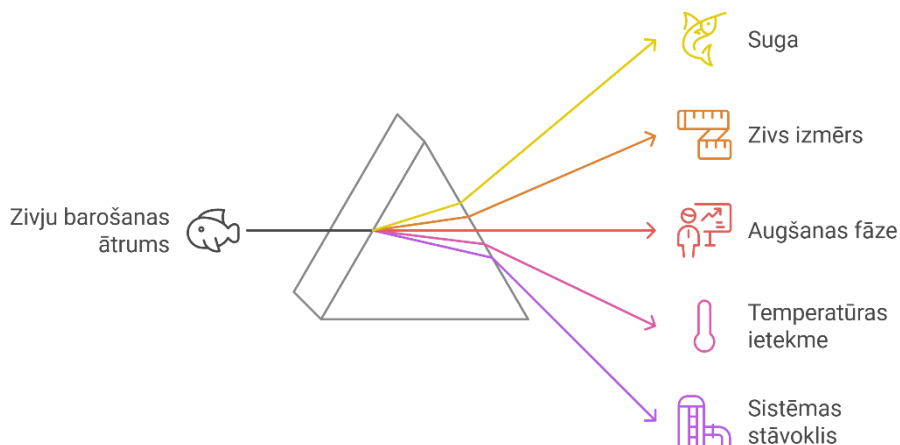
38. attēls. Dabiskās barības izmantošanas priekšrocības akvaponikas sistēmās un akvakultūrā kopumā.

Melnās mušas kāpuri pārtiek no organiskajiem atkritumiem, tostarp pārtikas atliekām un augu valsts materiāliem. Akvaponikas operatori var izveidot slēgta cikla sistēmu, kurā organiskie atkritumi tiek pārvērsti augstas kvalitātes zivju barībā, integrējot šos kukaiņus sistēmā. Tas veicina aprites un ilgtspējīgas ekosistēmas veidošanos un samazina kopējo atkritumu daudzumu saskaņā ar ilgtspējīgas lauksaimniecības un permakultūras principiem (38. attēls).

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

5.3. Barošanas biežums

Vairāki galvenie faktori var ietekmēt barošanas ātrumu un līdz ar to arī visas akvaponikas sistēmas produktivitāti. Galvenie faktori, kas jāņem vērā, optimizējot zivju barošanu, ir konkrētā zivju suga, izmērs un augšanas stadija, ūdens temperatūra, kā arī citi sistēmas apstākļi, piemēram, nitrātu un amonija koncentrācija (39. attēls).



39. attēls. Barošanas ātrumu ietekmējošo faktoru kopsavilkums.

Barošanas normas parasti izsaka procentos no zivju ķermeņa svara dienā. Parasti barošanas normas ir no 1 % līdz 5 % no zivju ķermeņa svara. Piemērs - 1 kg smagai zivij ar barošanas normu 1,5 % būtu nepieciešami 15 grami barības (10. tabula). Zivis parasti baro vienu līdz trīs reizes dienā atkarībā no sugas, ūdens temperatūras vai augšanas stadijas. Zivju pārbarošana var izraisīt pārmērīgu atkritumu daudzumu un ūdens kvalitātes problēmas, savukārt nepietiekama barošana var kavēt zivju augšanu un ierobežot barības vielu daudzumu, kas nepieciešams optimālai augu augšanai.

Tabula 1. Atkarībā no sugas dažādām zivīm ir nepieciešama dažāda barošanas deva.

| Zivju sugas | Barošanas intensitāte, % | Optimālais temperatūras diapazons norādītajai barošanas devai, °C |
|---------------|--------------------------|---|
| Tilapijas | 1-3 | 26-30 |
| Foreles | 1.5-2 | 10-18 |
| Sams | 2-4 | 22-28 |
| Jūras asari | 2-3 | 26-30 |
| Zelta zivtiņa | 1-2 | 20-24 |
| Koi | 1-2 | 18-24 |
| Asaris | 2-3 | 22-28 |
| Karpas | 1-2 | 15-25 |
| Basa | 2-4 | 20-28 |
| Sarkanie vēži | 1-2 | 24-28 |
| Stores | 1-2 | 14-20 |

Barošanas deva jāpielāgo atkarībā no zivs izmēra, augšanas stadijas un ūdens temperatūras. Parasti, kad ūdens temperatūra ir augstāka, zivis patērē vairāk barības, un otrādi, kad temperatūra ir zemāka, zivju vielmaiņa samazinās, tādējādi samazinot barības vajadzības. Zivju mazuļiem augšanas veicināšanai nepieciešama lielāka barības deva (bieži vien līdz 5 % no ķermeņa svara dienā), savukārt pieaugušām zivīm un mazuļiem nepieciešama mazāka barības deva (1-3 %).

TransFarm

Barības devas var arī pielāgot atkarībā no ierosinātās zivju barības proteīnu konversijas uz nitrātu satura, tomēr, lai gan aprēķini ir orientējoši, tie ir lielā mērā neuzticami un atkarīgi no konkrētās barības (proteīnu veida un daudzuma), zivju metabolisma (ko ietekmē zivju suga, ūdens temperatūra, augšanas stadija utt.) un citiem faktoriem. Sistēmas līdzsvarošana ir nepieciešama, lai pielāgotu barības devu un augus, kas var uzņemt radīto zivju atkritumu nitrātu daudzumu. Tiek pieņemts, ka 25-30 % no zivju barībā esošā slāpekļa (kas ir olbaltumvielu veidā) tiek pārvērsts zivju biomasā, bet pārējais tiek izvadīts un nitrificēts augu ražošanai. Šos skaitļus var izmantot, lai aptuveni aprēķinātu nitrātu vajadzību uz 1 m² jūsu augu biomasas un attiecīgi pielāgotu barošanas devu/zivju blīvumu.

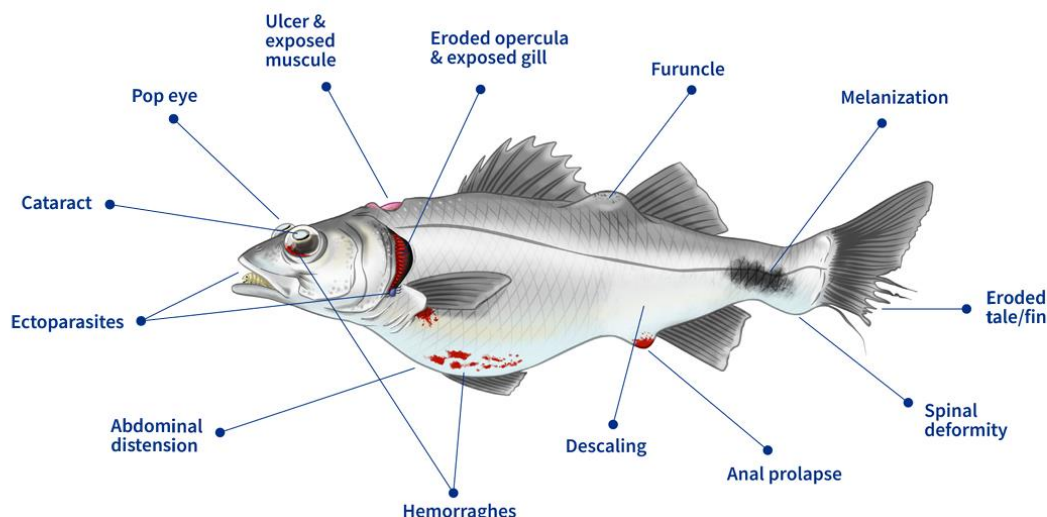
Pielāgojot barošanas devas, var rasties vairākas problēmas. Pārmērīga barošana var izraisīt barības pārpalikuma sadalīšanos un pasliktināt ūdens kvalitāti, palielinot amonjaka, nitrātu un nitrītu līmeni. Pārmērīga daudzuma gadījumā tas var izraisīt zivju stresu. Risinājums, lai no tā izvairītos, ir barot mazākās porcijās vairākas reizes dienā un sniegt tikai tik daudz barības, cik zivis spēj apēst dažu minūšu laikā pēc barības pievienošanas akvārijā. Regulāra amonjaka un nitrātu līmeņa uzraudzība ļaus jums novērtēt, vai biofiltrs darbojas pareizi un nav pārslogots ar pārmērīgu slāpekļa savienojumu daudzumu. No otras puses, nepietiekama barošana izraisa aizkavētu zivju augšanu un mazāk atkritumu veidošanos, kas samazina augiem pieejamo barības vielu daudzumu. Zivju svēršana var palīdzēt aprēķināt precīzu barības daudzumu jūsu zivju populācijai. Zivju un to aktivitātes uzraudzība var arī palīdzēt noteikt, vai zivis nav pakļautas stresam.

Ja zivis ir pārēdušās, nesakošļātā barība laika gaitā var uzkrāties un sākt sadalīties, izraisot ūdens kvalitātes problēmas - samazinātu skābekļa līmeni un paaugstinātu amonjaka līmeni. Viens no risinājumiem var būt izmantotās barības veida maiņa - tā vietā, lai izmantotu grimstošu barību, pārejiet uz lēni grimstošām vai peldošām granulām. Lai precīzāk regulētu barības daudzumu, var izmantot automātiskās barotavas - tā vietā, lai zivis barotu reizi dienā lielās porcijās, izmantojiet mazākas porcijas 2-3 reizes dienā. Akvaponiskajā sistēmā nekad nedrīkst palikt pārtikas atkritumi, kas nav patērēti. Heterotrofie mikroorganismi patērē ievērojamus daudzumus skābekļa, patērējot barības pārpalikumus, kas radušies pārmērīgas barošanas rezultātā. Turklāt barības sadalīšanās dēļ amonjaka un nitrītu līmenis samērā īsā laikā var paaugstināties līdz toksiskam līmenim. Visbeidzot, mehāniskos filtrus var aizsprostot neizēstās granulas, kā rezultātā samazinās ūdens plūsma un veidojas anoksiski apgabali. Parasti zivis visu barību izēd 30 minūšu laikā. Pēc šā laika posma izņemiet visu barību. Samaziniet barības daudzumu, ja turpmāk tiek atklāts nesakošļāts ēdiens.

6. Zivju veselība un labturība

6.1. Kaitēkļi un slimības

Zivju ārējo un iekšējo parazītu noteikšanu (40. attēls) var efektīvi veikt uz vietas akvakultūras apstākļos, kā detalizēti aprakstīts Riittas Rahkonenas (Riitta Rahkonen) (2012. g.) grāmatā Terve Kala. Bakteriālas infekcijas var diagnosticēt uz vietas, tomēr zivis, kurām ir netipiski simptomi, jānosūta uz laboratoriskām analizēm, lai apstiprinātu iespējamās slimības. Parazītu noteikšanai ir nepieciešams pamatinstrumentu komplekts, kurā ietilpst mazas šķēres, ass skalpelis, asa pincete, šķirošanas adata, mazi Petri trauciņi, kā arī pamatstikliņi un vāki mikroskopēšanai. Instrumenti ir jānotīra pēc katras lietošanas reizes, lai novērstu paraugu savstarpēju piesārņošanu.



40. attēls. Biežāk sastopamās zivju slimības skartās vietas un deformācijas.

Parazītu pētīšanai ir nepieciešams gaismas mikroskops vai stereomikroskops. Stereo mikroskops ar 10 līdz 40x palielinājumu ir piemērots lielāku vienšūņu, piemēram, *Ichthyophthirius*, kas izraisa balto plankumu slimību, *Trichodina* un dažādu daudzšūņu parazītu novērošanai. Paraugus no zivju ādas, žaunām, spurām vai citām ārējām virsmām var ņemt, izmantojot skalpeli, veicot kārtējo pārbaudi. Gļotas parasti vāc no tādiem reģioniem kā zem krūšu spuras, sāniem vai astes spuras, jo šajās vietās ir daudz potenciālo parazītu. Paraugu ņemšana no mazām zivīm rada grūtības, jo, lai iegūtu pietiekamu gļotu daudzumu, bieži vien ir nepieciešams nokasīt visu zivs sānu virsmu. Nelielu savāktu gļotu daudzumu novieto uz stikla priekšmetstikliņa ar pilienu ūdens no zivju tvertnes, pēc tam uzmanīgi uzliek pārklājplēvi. Paraugam jābūt vienmērīgi izkliedētam zem nosedzošā stikla, jo biezs gļotu slānis var traucēt parazītu skaidru novērošanu. Spuru paraugus var iegūt, atdalot spuras no zivīm ar pinceti. Mazām zivīm ir iespējams noņemt visu spuras daļu vienā pusē. Lielākām zivīm spuras izgriež ar šķērēm, lai novērstu asins piesārņojumu paraugā no grieztajiem audiem. Pēc tam spuras novieto ūdens pilienā uz mikroskopa priekšmetstikliņa, kur tās uzmanīgi izlīdzina ar adatu, pēc tam uzliek pārklājamo slāniņu. Savāktās gļotas pārbauda mikroskopā, lai noteiktu iespējamus parazītus. Lielākos protozoju parazītus, piemēram, *Ichthyophthirius* un *Trichodina*, parasti var novērot ar stereomikroskopu, bet citiem parazītiem, tostarp vienšūņiem, redzamības nodrošināšanai ir nepieciešams lielāks palielinājums. Lielākām zivīm, vācot gļotas no tādiem apgabaliem kā spuras vai āda, var iegūt vairāk parazītu.

Vairākas zivju slimības ir diezgan izplatītas, jo īpaši tajās zivju tvertnēs, kurās vienmēr tiek uzturēts liels zivju blīvums. Viena no visbiežāk sastopamajām protozoju slimībām, ar ko slimo zivis akvaponiskajās sistēmās, ir **balto plankumu slimība** (41. attēls). Galvenās pazīmes ir mazi balti plankumi (cistas), kas parādās uz slimu zivju ādas, spuras un žaunām. Inficētās zivis var arī



41. attēls. Punktiņu slimība jeb balto plankumu skarta zivs.

rikoties dīvaini, piemēram, berzties pret tvertnes malām, strauji kustināt žaunas (gāzējot gaisu) vai turēties tuvu virsmai. Slimība var apgrūtināt elpošanu, un, ja tai netiek pievērsta uzmanība, tā var izraisīt daudzu īpatņu nāvi. Ich parasti izplatās ar netīru ūdeni vai zivīm. Lai to apturētu, pārliecinieties,

TransFarm

ka visas jaunās zivis tiek turētas atsevišķā tvertnē vismaz divas nedēļas, pirms tās tiek pievienotas galvenajai sistēmai. Arī ūdens uzturēšana tīrā ūdenī (pārbaudot temperatūru, pH un izšķīdušā skābekļa līmeni) un pārlicināšanās, ka zivis nav pakļautas stresam, var samazināt risku. Ja ir uzliesmojums, ūdens turēšana aptuveni 28 °C temperatūrā dažas dienas var paātrināt parazīta dzīves ciklu, kas ļauj labāk iedarboties lietotajiem medikamentiem. Sliktākajos gadījumos var lietot arī zāles, kas paredzētas tieši pret Ich, taču jāuzmanās, lai nekaitētu augiem akvaponiskajā sistēmā, kā arī zivīm, samazinot DO līmeni¹⁰.

Trematodes ir parazītiski plakantārpi, kas dzīvo uz zivīm un piesūcās to žaunām, ādai vai spurām. Plaušu iekaisums, bāla āda, pārmērīgs gļotu daudzums un apgrūtināta elpošana ir trematodes infekcijas pazīmes. Inficētās zivis var arī šķīst nogurušas, skrāpēt priekšmetus vai peldēt tuvu ūdens virspusē, lai iegūtu vairāk skābekļa. Lielākoties trematodes izplatās ar zivīm vai ūdeni, kas jau ir inficēts. Pirms jaunu zivju pievienošanas sistēmai, tās jātur karantīnas zonā, lai novērstu inficēšanos. Bieži pārbaudiet zivis, vai nav redzamas jebkādas čūlas vai gļotu veidošanās pazīmes, kas nav normālas. Ūdens uzturēšana, zivju pasargāšana no stresa un pārāk liela to pārblīvēšanās var palīdzēt samazināt risku. Ja tiek konstatētas trematodes, zivis var apstrādāt ar formalīna vannu vai prazikvantelu (pirazīna-izohinolīna atvasinājums, ko izmanto kā plaša spektra prehelmintisku līdzekli), taču šīs ķīmikālijas jālieto uzmanīgi, lai tās nekaitētu augiem un labvēlīgajiem mikroorganismiem akvaponiskās sistēmā.

Kolumnarioze ir *Flavobacterium columnare* izraisīta slimība, kas uz zivju ādas, žaunām vai spurām parādās kā čūlas vai vatei līdzīgs veidojums (42. attēls). Inficētās zivis var zaudēt izsalkumu, neregulāri peldēt un ātri kustināt žaunas. Šī slimība biežāk sastopama zivīm, kas ir stresa stāvoklī, un parasti tā rodas sliktas ūdens kvalitātes gadījumā. No kolumnariozes var izvairīties, pārlicinoties, ka ūdens ir tīrs un ar labu filtrāciju, jo baktērijas vislabāk attīstās vietās, kur ir daudz organisko atkritumu (atkritumu sedimentācijas nozīme, mehāniskā filtrācija). Neuzstādiet pārāk daudz zivju vienā vietā, uzturiet nemainīgu pH un ūdens temperatūru. Kolumnariozes ārstēšanai var izmantot antibiotikas, piemēram, oksitetraciklīnu vai vara sulfātu, taču tās var kaitēt augiem akvaponikas sistēmā. Lai apturētu baktērijas izplatīšanos, inficētās zivis nekavējoties jāizņem no ūdens.



42. attēls. Kolumnariozes skarta zivs.¹¹

Zivīm ar **zivju tūsku** vēders ir uzbriedis, jo tās pārmērīgi aiztur ūdeni (43. attēls). Inficētās zivis var izskatīties resnas, un tām var būt izspiestas zvīņas, ko dažkārt dēvē par "adatas kauliņa" izskatu. Šī

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.



43. attēls. Zivju tūska skarta zivs.

problēma parasti liecina par dziļāku infekciju vai orgānu mazspēju, piemēram, nieru vai aknu slimību. To var izraisīt baktērijas vai vīrusi. Bieži sastopami iemesli ir slikta ūdens kvalitāte vai vīrusu infekcijas, tāpēc ir svarīgi uzturēt nemainīgus un optimālus ūdens parametrus konkrētām sugām. Zivju tūska var viegli izplatīties, tāpēc ir svarīgi izņemt slimās zivis no sistēmas tūlīt pēc infekcijas pamanīšanas. Zivju tūska nevar izārstēt tieši, taču veselu zivju imūnsistēmu vajadzētu nodrošināt ar labāku ūdens kvalitāti, mazāku stresu un sabalansētu barību.

Spuru puve ir baktēriju izraisīta slimība, kuras dēļ zivīm sabrūk spuras un aste (44. attēls). Šīs slimības pazīmes ir spuras, kas nodilst vai lūst, spuru pamatnes kļūst sarkanas un kopumā izskatās sapuvušas. Saslimušās zivis var arī izskatīties nogurušas vai mazāk ēst. Spuru puvi parasti izraisa slikta ūdens kvalitāte vai zivju fiziski bojājumi. To var novērst, uzturot tīru un filtrētu ūdeni un pasargājot zivis no ievainojumiem - akvārijā nedrīkst būt asu stūru vai šķēršļu. Zivis ar spuru puvi var ārstēt ar antibiotikām vai antibakteriāliem līdzekļiem, piemēram, sāls vannām.¹²



44. attēls. Foreles, ko skārusi spuru puve.



45. attēls. Zivju utis uz zivs.

Zivju utis (argulozes, zivju utis) ir ārēji parazīti, kas pieķeras pie zivju ādas, spuras vai plaušām, kairina, iekaisina un atstāj redzamas pēdas (45. attēls). Inficētās zivis var berties pret tvertnes malām vai ļoti ātri peldēt. Tās var arī zaudēt zvīņas vai gūt iegriezumus vietās, kur ir pieķērušās utis. Lai pasargātu zivis no utīm, ir svarīgi pirms jaunu zivju pievienošanas sistēmai tās turēt karantīnas zonā un pārbaudīt zivis, vai tām nav ārējo parazītu pazīmju. Ja zivju utis kļūst par problēmu, tās var noņemt ar rokām vai ārstēt ar noteiktiem medikamentiem, kas iznīcina parazītus. Ir svarīgi būt uzmanīgiem ar indēm, jo tās var kaitēt akvaponiskās sistēmas augiem un zivju vispārējai kvalitātei, ja tās tiek lietotas kā barība.¹³

Ir svarīgi katru dienu sekot līdzi ūdens kvalitātes faktoriem, piemēram, pH, temperatūrai, amonjakam, nitrītam, nitrātiem un izšķīdušajam skābeklim, un regulēt tos, lai pārliecinātos, ka tie ir optimālā diapazonā akvaponiskajā sistēmā audzējamo sugu vajadzībām. Jaunas zivis pirms pievienošanas sistēmai vismaz divas nedēļas jānovieto karantīnā. Tas palīdz apturēt slimību izplatīšanos. Lai novērstu zivju pārblīvēšanos, kas var izraisīt stresu un veicināt slimību izplatīšanos, ir svarīgi arī rūpīgi kontrolēt zivju skaitu katrā 100 l ūdens. Vispārējs noteikums ir 1-2 kg zivju uz 100 litriem ūdens. Filtrācijas sistēmas ir pienācīgi jāuztur, lai atbrīvotos no atkritumiem un novērstu bīstamu baktēriju uzkrāšanos.

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

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

Zivju imūnsistēma jāuztur spēcīga, izvairoties no pēkšņām ūdens kvalitātes izmaiņām vai barošanas laika izmaiņām un samazinot stresu. Arī sabalansētas, zivju sugai atbilstošas barības došana palīdz zivīm labi augt un pretoties slimībām, barība ir galvenais zivju barības sastāvdaļu avots, kas var palīdzēt uzturēt pareizu antioksidantu līmeni un imunitātes reakciju.

6.2. Zivju audzēšanas blīvums

Zivju daudzums uz vienu ūdens tilpuma vienību jeb zivju blīvums ir izšķirošs faktors veselīgas sistēmas uzturēšanai un optimālas produktivitātes sasniegšanai akvaponikā (46. attēls). Akvaponiskās sistēmas kopējo efektivitāti ietekmē zivju blīvums, kas ietekmē zivju augšanu, veselību, barības efektivitāti un ūdens kvalitāti. Optimālais zivju blīvums ir atkarīgs no sugas, ūdens apsaimniekošanas prakses un sistēmas konstrukcijas, un var būt sarežģīti panākt atbilstošu līdzsvaru. Pārāk liels blīvums var izraisīt stresu, konkurenci un atkritumu uzkrāšanos, savukārt pārāk mazs blīvums var veicināt barības vielu nepietiekamu izmantošanu un mazāk efektīvu augu augšanu. Zivju blīvumu akvaponikas sistēmā nosaka dažādi faktori, piemēram, plānotā augu produkcija, tvertnes lielums, zivju sugas un biofiltrācijas iekārtas kopējā jauda. Standarta prakse ir zivju blīvums, kas ir saderīgs ar biofiltru un augu augšanas platību. Tādējādi daudzās sistēmās zivju blīvums ir 20-40 kg uz kubikmetru ūdens. Tomēr šī dažādība ir atkarīga no zivju attīstības stadijas un sugas. Lai nodrošinātu lielāku blīvumu, ir nepieciešama biofiltrācijas sistēma, kas spēj pārstrādāt palielināto atkritumu daudzumu un uzturēt ūdens kvalitātes parametrus drošās robežās.

Atkarībā no zivju sugas zivju blīvums var būt dažāds; turpmāk ir norādītas visbiežāk akvaponikā audzētās sugas un to īpatnības, kas saistītas ar zivju blīvumu.

Tilapijas (*Oreochromis niloticus*)

Tilapijas izturība, noturība pret mainīgiem ūdens apstākļiem un straujais augšanas temps padara to par vienu no populārākajām akvaponikas zivju sugām. Tilapijas var attīstīties salīdzinoši lielā blīvumā mazās un vidēja lieluma sistēmās, neradot nelabvēlīgu ietekmi uz veselību. Recirkulācijas akvaponikas sistēmās (RAS) tilapijas bieži audzē 20-30 kg uz kubikmetru. Tomēr uzturētās sistēmās, kurās bieži uzrauga ūdens kvalitāti un veic intensīvu biofiltrāciju, tilapijas var audzēt 40-50 kg uz kubikmetru. Piemēram, sistēmā, kurā ir 1000 l ūdens, var efektīvi uzturēt aptuveni 20-30 pieaugušas tilapijas, no kurām katra sver vidēji 500 g, ja filtrēšana un aerācija ir pietiekama.

Varavīksnes forele (*Oncorhynchus mykiss*)

Varavīksnes forele ir vēsaūdens suga, kurai nepieciešama nemainīga ūdens kvalitāte un augsts skābekļa līmenis, tāpēc tās audzēšana akvaponikas sistēmās ir diezgan sarežģīta, bet lietderīga. Varavīksnes foreles parasti tiek audzētas ar mazāku blīvumu nekā tilapijas, un to jutīguma pret ūdens apstākļiem dēļ zivju blīvums ir no 10-20 kg uz kubikmetru. Foreles ir pazīstamas arī ar savu straujo augšanu, bet, lai nodrošinātu lielisku veselību, tām nepieciešama temperatūra, kas tiek uzturēta no 10 °C līdz 18 °C. Līdzsvarotu slodzi, kas nodrošina gan zivju veselību, gan augu augšanu, var panākt, 1000 l sistēmā ielaižot 15-20 varavīksnes foreles, no kurām katra sver aptuveni 400 g. Forelēm ir nepieciešama efektīva filtrēšanas sistēma un bieža uzraudzība, jo tās ir jutīgas pret amonjaka un nitrītu līmeni.

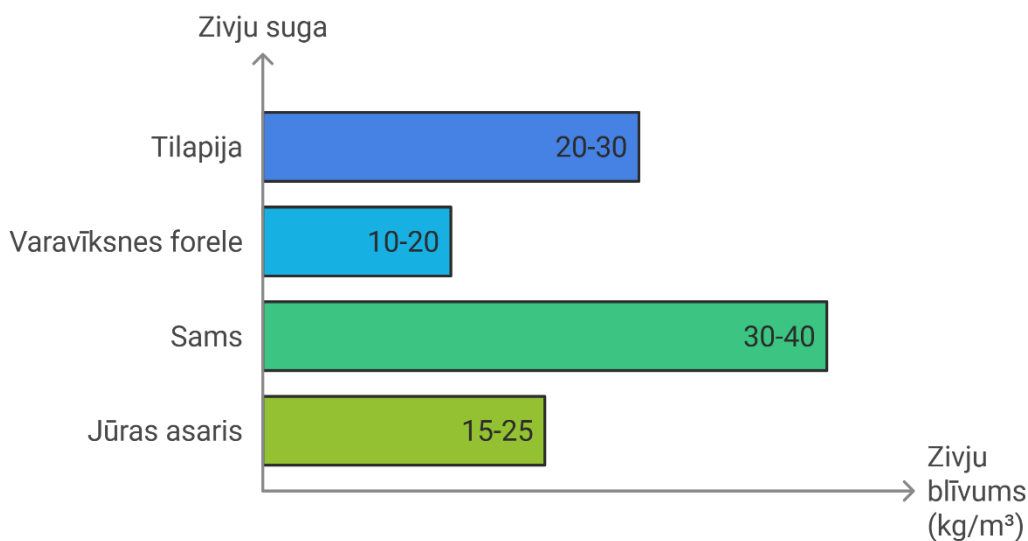
Sams (*Clarias gariepinus* un *Ictalurus punctatus*)

Gan Āfrikas sams (*Clarias gariepinus*), gan kanāla sams (*Ictalurus punctatus*) spēj izturēt mainīgu ūdens kvalitāti un pazeminātu skābekļa līmeni, tāpēc tie ir piemēroti liela blīvuma audzēšanai akvaponikā. Intensīvās sistēmās var uzturēt 30-40 kg blīvumu uz kubikmetru. Āfrikas sams spēj izturēt pat lielāku blīvumu, vienlaikus elpojot atmosfēras skābekli. Sistēmā, kuras tilpums ir 1000 l, var izaudzēt aptuveni 30-40 samus, kuru vidējais svars ir 500 g, ja sistēma ir aprīkota ar izturīgu biofiltrācijas sistēmu un

aerācijas mehānismu. Sistēmai jāspēj uzņemt papildu amonjaka slodzi, jo samiem ir augsts atkritumu ražošanas līmenis.

Jūras asaris (*Lates calcarifer*)

Jūras asaris ir siltūdens zivs, kas ir īpaši populāra akvaponikā, īpaši reģionos ar maigāku klimatu. Šis zivis ļoti labi panes ūdens kvalitātes svārstības un ātri attīstās. Tomēr, ņemot vērā to lielo atkritumu daudzumu, tās ir jāuzrauga. Sistēmās ar konsekventu uzturēšanu un spēcīgu filtrāciju jūras asaru blīvums parasti ir 15-25 kg uz kubikmetru. Ja ūdens temperatūra tiek uzturēta 26-30 °C un izšķīdušā skābekļa līmenis ir pietiekams, 1000 litru tilpnē var augt apmēram 15-20 jūras asari ar vidējo svaru 600 g.



46. attēls. Dažādu bieži audzētu zivju sugu blīvums akvaponikā.

Augiem ir jānodrošina barības vielu vajadzības, bet akvaponikā ir jāsabalansē audzēšanas blīvums, lai novērstu zivju veselības apdraudējumu. Liels zivju blīvums var palielināt amonjaka veidošanos, kas, ja nav pietiekamas biofiltrācijas, var palielināt zivju stresa līmeni un uzņēmību pret slimībām. Turklāt atkritumu veidošanos ietekmē barošanas kvalitāte un biežums, jo, lietojot augstāka proteīna satura diētu, rodas lielāks slāpekļa atkritumu daudzums. Lai nepieļautu pārmērīgu barošanu, kas var negatīvi ietekmēt ūdens kvalitāti un veicināt patogēnu attīstību, barošanas grafiks jāpielāgo atbilstoši zivju populācijas biomasai.

Piemēram, tilapijas, kuras baro ar 30-35 % olbaltumvielu saturošu barību, saražos pietiekamu slāpekļa daudzumu, lai veicinātu augu augšanu, nepārslogojot biofiltru. Tomēr forelēm un jūras asariem ir nepieciešams uzturs ar augstāku olbaltumvielu saturu (40-50 %), kas rada lielāku detrīta daudzumu. Lai saglabātu stabilus ūdens apstākļus, ieteicams šīs zivis biežāk barot mazākā daudzumā, tādējādi nodrošinot, ka atkritumu līmenis saglabājas pieņemamās robežās.

Lai noteiktu populācijas blīvumu, būtiska ir biofiltra ietilpība. Nitrificējošās baktērijas ir biofiltra galvenā funkcija, jo tās pārvērš kaitīgo amonjaku nitrītos un pēc tam nitrātos, kas ir augiem derīga barības viela. Lai noteiktu biofiltra lielumu, jāizmanto maksimālais paredzamais amonjaka daudzums, ko rada zivis pie maksimālās biomasas. Turklāt populācijas blīvumu būtiski ietekmē tvertnes konstrukcijas mainīgie lielumi, tostarp ūdens plūsmas ātrums, tvertnes dziļums un aerācija. Augsta blīvuma sistēmām optimālas ir apaļas tvertnes ar centrālo drenāžu, jo tās atvieglo atkritumu aizvākšanu un novērš atkritumu nogulsnešanos apakšā, tādējādi veicinot labāku ūdens kvalitāti.

TransFarm

Akvaponikā optimālais zivju blīvums ir atkarīgs no biofiltrācijas jaudas, sistēmas konstrukcijas un sugu īpatnībām. Ir jāpanāk līdzsvars starp nepieciešamību maksimāli palielināt zivju biomasu barības vielu ražošanai un nepieciešamību nodrošināt atbilstošu ūdens kvalitāti, lai novērstu veselības apdraudējumus. Projektējot sistēmu, jāņem vērā katras sugas atšķirīgās problēmas, piemēram, foreļu augstās prasības pēc skābekļa un tilapiju pielāgošanās spējas. Lai izveidotu ilgtspējīgu un harmonisku ekosistēmu, akvaponikas praktiķiem ir jāregulē audzēšanas blīvums, barības devas un sistēmas parametri, lai veicinātu produktīvu augu attīstību un zivju veselību.

Atsauces

Baganz, G. F., Junge, R., Portella, M. C., Goddek, S., Keesman, K. J., Baganz, D., ... & Kloas, W. (2022). The aquaponic principle—It is all about coupling. *Reviews in Aquaculture*, 14(1), 252-264.

Bernstein S. (2011). *Aquaponic Gardening: a step-by-step guide to raising vegetables and fish together*. New Society Publishers, Canada.

Bittsánszky, A., Gyulai, G., Junge, R., Schmutz, Z. & Komives, T. (2015). Plant protection in 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.

Filep, R. M., Diaconescu, S., Marin, M., Bădulescu, L., & Nicolae, C. G. (2016). Case study on water quality control in an aquaponic system. *Current Trends in Natural Sciences* Vol, 5(9), 06-09.

Folorunso, E. A., Roy, K., Gebauer, R., Bohatá, A., & Mraz, J. (2021). Integrated pest and disease management in aquaponics: A metadata-based review. *Reviews in Aquaculture*, 13(2), 971-995.

Goddek, S., Delaide, B., Mankasingh, U., Ragnarsdottir, K. V., Jijakli, H., & Thorarinsdottir, R. (2015). Challenges of sustainable and commercial aquaponics. *Sustainability*, 7(4), 4199-4224.

Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., & Dos-Santos, M. (2019). Aquaponics and global food challenges. *Aquaponics food production systems: Combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future*, 3-17.

Gosh, K., & Chowdhury, S. (2019). Review of aquaponics system: searching for a technically feasible and economically profitable aquaponics system. *Journal of Agricultural, Environmental and Consumer Sciences*, 19, 5-13.

Joyce, A., Timmons, M., Goddek, S., & Pentz, T. (2019). Bacterial relationships in aquaponics: new research directions. *Aquaponics food production systems: combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future*, 145-161.

Junge, R., Antenen, N. (2020). *Aquaponics textbook*. AquaTeach.

Kasozi, N., Abraham, B., Kaiser, H., & Wilhelmi, B. (2021). The complex microbiome in aquaponics: significance of the bacterial ecosystem. *Annals of Microbiology*, 71(1), 1-13.

Kasozi, N., Tandlich, R., Fick, M., Kaiser, H., & Wilhelmi, B. (2019). Iron supplementation and management in aquaponic systems: A review. *Aquaculture Reports*, 15, 100221.

Krastanova, M., Sirakov, I., Ivanova-Kirilova, S., Yarkov, D., & Orozova, P. (2022). Aquaponic systems: Biological and technological parameters. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 36(1), 305-316.

TransFarm

Kushwaha, J., Priyadarsini, M., Rani, J., Pandey, K. P., & Dhoble, A. S. (2023). Aquaponic trends, configurations, operational parameters, and microbial dynamics: A concise review. *Environment, Development and Sustainability*, 1-34.

Lennard, W., & Goddek, S. (2019). Aquaponics: the basics. *Aquaponics food production systems*, 113.

Licamele, J. (2009). Biomass production and nutrient dynamics in an aquaponics system (Doctoral dissertation, The University of Arizona).

Maucieri, C., Nicoletto, C., Junge, R., Schmautz, Z., Sambo, P., & Borin, M. (2018). Hydroponic systems and water management in aquaponics: A review. *Italian Journal of Agronomy*, 13(1), 1-11.

Nichols, M. A., & Savidov, N. A. (2011, May). Aquaponics: a nutrient and water efficient production system. In *II International Symposium on Soilless Culture and Hydroponics 947* (pp. 129-132).

Okomoda, V. T., Oladimeji, S. A., Solomon, S. G., Olufeagba, S. O., Ogah, S. I., & Ikhwanuddin, M. (2023). Aquaponics production system: A review of historical perspective, opportunities, and challenges of its adoption. *Food science & nutrition*, 11(3), 1157-1165.

Pinho, S. M., David, L. H., Garcia, F., Keesman, K. J., Portella, M. C., & Goddek, S. (2021). South American fish species suitable for aquaponics: a review. *Aquaculture international*, 29(4), 1427-1449.

Rakocy, J. E. (2012). Aquaponics—integrating fish and plant culture. *Aquaculture production systems*, 344-386.

Resh, H.M. (2013). *Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower* (7th edition). CRC Press, Boca Raton.

Robaina, L., Pirhonen, J., Mente, E., Sánchez, J., & Goosen, N. (2019). Fish diets in aquaponics. *Aquaponics Food Production Systems: Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies for the Future*, 333-352.

Sallenave, R. (2016). Important water quality parameters in aquaponics systems. College of Agricultural, Consumer and Environmental Sciences.

Schmautz, Z., Graber, A., Jaenicke, S., Goesmann, A., Junge, R. & Smits, T.H. (2017). Microbial diversity in different compartments of an aquaponics system. *Archives of Microbiology* 199 (4): 613-620.

Shaw, C., Knopf, K., & Kloas, W. (2022). Fish feeds in aquaponics and beyond: A novel concept to evaluate protein sources in diets for circular multitrophic food production systems. *Sustainability*, 14(7), 4064.

Shumet, A. (2021). Aquaponics: A Sustainable Solution for Health, Economy, and Society-A Comprehensive Review. *Aquaponics*, 1(2).

Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., & Lovatelli, A. (2014). Small-scale aquaponic food production: integrated fish and plant farming. *FAO Fisheries and aquaculture technical paper*, (589), 1.

Stathopoulou, P., Berillis, P., Levizou, E., Sakellariou-Makrantonaki, M., Kormas, A. K., Aggelaki, A., ... & Mente, E. (2018, 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., Daprich, P., Massart, S., & Jijakli, M. H. (2019). Plant pathogens and control strategies in aquaponics. *Aquaponics food production systems*, 353-378.

TransFarm

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

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

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

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

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

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

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

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

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

[Fiskarter-RAS.pdf \(vattenbrukscentrum.se\)](https://www.vattenbrukscentrum.se/fiskarter-ras.pdf)

Persson, B *et al* 2022 Akvaponihandboken

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

https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/531516/Loppuraportti_final.pdf?sequence=1&isAllowed=y

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

[\(PDF\) Domestication of the Eurasian Perch \(Perca fluviatilis\) \(researchgate.net\)](https://www.researchgate.net/publication/328111111)

[Västerås \(vuef.se\)](https://www.vuef.se/)

[Microsoft Word - rp348.doc \(luke.fi\)](https://www.luke.fi/)

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

https://www.fao.org/fishery/en/culturedspecies/sander_lucioperca/en

[Production of market-size European strain Atlantic salmon \(*Salmo salar* \) in land-based freshwater closed containment aquaculture systems \(sciencedirectassets.com\)](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168150120300000)

<https://alchetron.com/>

https://www.fao.org/fishery/en/culturedspecies/sander_lucioperca/en

TransFarm

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