

ERASMUS+
KA220-HED - Bendradarbiavimo partnerystės aukštojo mokslo srityje

***Skaitmeninė mėlynoji karjera įveikus anglies krizę – akvakultūros
mokymo programos naujovės [DiBluCa]
(2023-1-LT01-KA220-HED-000154247)***

**Gerosios praktikos gairės akvakultūros akademinei
bendruomenei ir sprendimų priėmėjams**

Šis projektas finansuojamas Europos Komisijos. Leidinys atspindi tik autoriaus ir projekto partnerių požiūrį, o Komisija negali būti laikoma atsakinga už bet kokią joje esančios informacijos panaudojimą.

Dokumento identifikavimas	WP3A3
Dokumento pavadinimas	Gerosios praktikos gairės akvakultūros akademinei bendruomenei ir sprendimų priėmėjams
Statusas:	Galutinis
Parengė:	Prof. dr. Vlasta Bartulović, UNIDU, HR. doc. Dr.. Tatjana Dobroslavić, UNIDU, HR Prof. Dr.Halyna Krusir, ONUT, UA Prof. Dr.Maryna Mardar, ONUT, UA Doc.dr.. Olha Sahdieieva, ONUT, UA
Atlikta vietoje ir (arba) data:	Dubrovnikas, Kroatija Odesa, Ukraina <i>01.07.2025-30.09.2025</i>

Gerosios praktikos gairės akvakultūros akademinei bendruomenei ir sprendimų priėmėjams

Akvakultūra yra vienas iš kertinių pasaulinio maisto tiekimo ir ekonomikos augimo sektorių, tačiau jos tvarumui vis labiau grasina klimato kaitos procesai. Kylančios vandens temperatūros, vandenynų rūgštėjimas, druskingumo pokyčiai ir didėjanti ligų plitimo rizika daro reikšmingą poveikį šio sektoriaus plėtrai bei atsparumui. Šiame vadove pateikiamos įrodymais grįstos strategijos, skirtos akvakultūros atsparumo didinimui, atsižvelgiant į vandens kokybę, auginamų rūšių sveikatos bei aplinkosauginių aspektų iššūkius. Aptariami tokie sprendimai, kaip recirkuliacinės akvakultūros sistemos (RAS), integruota daugiapakopė akvakultūra (IDAS), biotechnologijų taikymas (pvz., CRISPR-Cas9) bei tvarių šėrimo praktikų diegimas, siekiant mažinti sektoriaus poveikį aplinkai ir prisidėti prie biologinės įvairovės išsaugojimo.

Tikslas. Šiame dokumente pateikiamos praktinės rekomendacijos, skirtos akvakultūros pritaikymui prie klimato kaitos poveikio, siekiant užtikrinti sektoriaus tvarumą ir indėlį į pasaulinį maisto aprūpinimą. Dokumento tikslas – suteikti suinteresuotiesiems subjektams priemonių, kurios padėtų spręsti aplinkosaugos iššūkius ir skatintų atsparių vandens ekosistemų vystymąsi.

Auditorija. Vadovas skirtas įvairioms tikslinėms grupėms: mokslininkams, pedagogams, studentams bei sprendimų priėmėjams, įskaitant politikos formuotojus ir pramonės atstovus. Šios grupės atlieka itin svarbų vaidmenį diegiant inovatyvią ir tvarią akvakultūros praktiką.

Naudojimo gairės. Kiekviename skyriaus skyriuje analizuojamas tam tikras klimato kaitos poveikis akvakultūrai bei aptariamos akvakultūros veiklos pasekmės aplinkai. Skyrių pabaigoje pateikiamos pagrindinės rekomendacijos ir praktiniai veiksmai. Skaitytojai raginami pasirinkti jiems aktualiausias temas, įsitraukti į diskusiją ir taikyti tvarios praktikos strategijas. Vadove derinamas teorinis pagrindas ir praktinio taikymo rekomendacijos.

DiBluCa gerosios praktikos vadovo mokymosi rezultatai

Šios gairės suteikia skaitytojams žinių ir gebėjimų, reikalingų tvariai akvakultūrai klimato kaitos kontekste, siekiant šių mokymosi rezultatų:

Suprasti klimato kaitos poveikį:

- Paaiškinti, kaip pasaulinis atšilimas veikia vandens ekosistemas ir akvakultūrą per temperatūros kilimą, druskingumo pokyčius, vandenynų rūgštėjimą ir ligų plitimą.

Taikyti atsparias sistemas:

Suprasti inovatyvias akvakultūros sistemas, tokias kaip recirkuliacinės akvakultūros sistemos (RAS), integruota daugiapakopė akvakultūra (IDAS) ir atviroji jūrinė akvakultūra, siekiant mažinti klimato kaitos keliamus iššūkius.

Tirti biotechnologijų taikymą:

Suprasti biotechnologijų, tokių kaip CRISPR–Cas9 ir genominių atrankų, potencialą didinant rūšių atsparumą, įvertinant etinius ir aplinkosauginius aspektus.

Taikyti tvarias šėrimo praktikas:

Naudoti alternatyvius pašarų šaltinius (pvz., vabzdžių miltus, dumblius) ir pažangias šėrimo technologijas siekiant sumažinti poveikį aplinkai.

Skatinti bendradarbiavimo sprendimus:

Skatinti politikos, mokslo ir praktikos sąveiką bei suinteresuotųjų šalių partnerystę, siekiant diegti tvarias akvakultūros praktikas ir stiprinti maisto saugumą.

Turinys

Pasaulinio atšilimo poveikis vandens kokybei akvakultūrai.....	6
Akvakultūros poveikis aplinkai visuotinio atšilimo požiūriu ...	Klaida! Žymelė neapibrėžta.
Pasaulinis atšilimas ir veisimas, biotechnologijos akvakultūroje	Klaida! Žymelė neapibrėžta.
Pašarų ir šėrimo praktikos pokyčiai akvakultūroje dėl visuotinio atšilimo	Klaida! Žymelė neapibrėžta.
Pasaulinio atšilimo poveikis akvakultūros ligoms ir apsaugos priemonės	Klaida! Žymelė neapibrėžta.
Akvakultūros sistemų atranka visuotinio atšilimo sąlygomis...	Klaida! Žymelė neapibrėžta.
Nuorodos.....	Klaida! Žymelė neapibrėžta.
Pagrindinės rekomendacijos dėl klimato kaitai atsparios akvakultūros.....	34

Pasaulinio atšilimo poveikis vandens kokybei akvakultūrai

Įvadas

Pasaulinis atšilimas smarkiai keičia vandens ekosistemas, dėl to kinta temperatūra, druskingumas ir maistinių medžiagų dinamika, o tai kelia grėsmę jūrų ir gėlo vandens aplinkos atsparumui. Šie pokyčiai turi įtakos vandens organizmų fiziologiniams procesams, vandens kokybei ir tokių pramonės šakų kaip akvakultūra tvarumui. Šiame skyriuje nagrinėjamas įvairiapusis klimato kaitos poveikis vandens sistemoms ir pabrėžiama prisitaikymo strategijų būtinybė siekiant sušvelninti ekologines ir socialines bei ekonomines pasekmes.

Temperatūros poveikis vandens rūšims

Visuotinis temperatūros kilimas spartina vandens organizmų medžiagų apykaitą, dėl to didėja deguonies poreikis ir dažnai sumažėja jų augimas bei reprodukcinė sėkmė. Dėl šiltesnių vandenų rūšys palieka savo optimalios temperatūros diapazoną, todėl patiria fiziologinį stresą ir didesnį mirtingumą (DeNicola et al., 2015). Šie pokyčiai veikia ekosistemas, mažina biologinę įvairovę ir destabilizuoja mitybos tinklus. Šiltesnės sąlygos taip pat sudaro palankias sąlygas patogenams ir parazitams plisti, o tai kelia dar didesnę grėsmę rūšių išlikimui ir akvakultūros produktyvumui (Moussa et al., 2025).

Druskingumo svyravimai ir ekosistemų dinamika

Su klimatu susiję pokyčiai, pavyzdžiui, poliarinio ledo tirpimas ir kritulių struktūros pokyčiai, lemia didelius druskingumo svyravimus pakrančių ir estuarijų ekosistemose. Šie svyravimai turi įtakos druskai jautrių rūšių paplitimui ir išlikimui, kelia grėsmę biologinei įvairovei ir apsunkina akvakultūros veiklą (Guimbeau et al., 2024). Pavyzdžiui, regionuose, esančiuose netoli gėlo vandens įtekėjimo, vyksta ryškūs druskingumo pokyčiai, kurie kelia iššūkį jūrų organizmų prisitaikymo gebėjimams ir keičia ekosistemų dinamiką (Mensah ir kt., 2025). Norint susidoroti su šiais pokyčiais, reikia prisitaikančio valdymo, kad būtų išlaikyta ekologinė pusiausvyra.

Maistinių medžiagų apkrova ir eutrofikacija

Dėl antropogeninės veiklos, susijusios su klimato kaita, didėja maistinių medžiagų, patenkančių iš žemės ūkio nuotekų ir miestų taršos, kiekis, o tai skatina vandens sistemų eutrofikaciją. Šis procesas lemia kenksmingų dumblių žydėjimą (HAB), deguonies išsekimą ir ekosistemų degradaciją, turinčią didelį ekologinį ir ekonominį poveikį (Zhang et al., 2024). Veiksmingos klimato kaitos švelninimo priemonės apima maistingųjų medžiagų patekimo mažinimą taikant tvaraus žemės naudojimo praktiką ir suinteresuotųjų šalių bendradarbiavimo skatinimą siekiant atkurti ekosistemų sveikatą (Mensah et al., 2025).

Vandens trūkumas ir vandens kokybės problemos

Pasaulinis atšilimas didina vandens trūkumą, nes dėl sausrų ir nenusipėjamų kritulių sutrikdo hidrologinius ciklus. Kartu dėl taršos ir netinkamo valdymo blogėja vandens kokybė ir kyla grėsmė ekosistemoms ir žmonių populiacijoms (DeNicola et al., 2015). Šie iššūkiai kelia grėsmę vandens saugumui, ypač regionuose, kurie priklauso nuo nuolatinio gėlo vandens tiekimo. Siekiant apsaugoti šį gyvybiškai svarbų išteklių, labai svarbus tvarus vandens valdymas, įskaitant inovatyvius išsaugojimo metodus ir tarptautinį bendradarbiavimą (Moussa et al., 2025).

Akvakultūra patiria iššūkių

Akvakultūra susiduria su dideliais iššūkiais dėl kylančios vandens temperatūros, besikeičiančių vandenynų srovių ir besikeičiančių kritulių struktūrų. Dėl šių veiksnių keičiasi tradicinių akvakultūros vietovių tinkamumas ir ūkius tenka perkelti į pelningesnes vietas. Šiltėjantys vandenys taip pat didina ligų ir invazinių rūšių, kurios trikdo vietines ekosistemas ir mažina derlių, paplitimą (DeNicola et al., 2015). Tradicinių ekologinių žinių integravimas su šiuolaikinėmis technologijomis gali padidinti akvakultūros atsparumą ir užtikrinti jos vaidmenį užtikrinant pasaulinį aprūpinimą maistu (Moussa et al., 2025).

Šiluminė stratifikacija ir deguonies trūkumas

Dėl pasaulinio atšilimo sustiprėjusi terminė stratifikacija mažina deguonies prieinamumą vandens sistemose, todėl susidaro hipoksinės zonos, keliančios grėsmę vandens organizmams. Šie pokyčiai sutrikdo ekologinę pusiausvyrą ir turi ekonominių pasekmių žuvininkystei ir akvakultūrai. Fizikinių, cheminių ir biologinių procesų sąveikos supratimas yra esminė sąlyga kuriant tikslines klimato kaitos švelninimo strategijas, pavyzdžiui, geresnę vandens cirkuliaciją ir tvarią valdymo praktiką.

Prisitaikymo ir klimato kaitos švelninimo strategijos

Norint spręsti klimato kaitos poveikio vandens ekosistemoms problemą, reikia laikytis holistinio požiūrio. Pagrindinės strategijos yra šios:

- Tvarią praktiką: aplinkai nekenksmingų akvakultūros metodų taikymą ir maistinių medžiagų nuotėkio mažinimą gerinant žemės valdymą.
- Politinė sistema: Sukurti patikimą politiką, skirtą vandens naudojimui reguliuoti ir biologinei įvairovei apsaugoti.
- Technologinės naujovės: Naudoti pažangias technologijas, pavyzdžiui, realiuoju laiku veikiančias stebėsenos sistemas, kad būtų galima stebėti aplinkos pokyčius.
- Suinteresuotųjų šalių bendradarbiavimas: Mokslininkų, politikos formuotojų ir pramonės lyderių partnerystės skatinimas, siekiant sukurti atsparius sprendimus.

Išvados

Klimato kaita kelia įvairialypius iššūkius vandens ekosistemoms – nuo temperatūros pokyčių sukeliama fiziologinio streso iki druskingumo svyravimų ir eutrofikacijos, kurią lemia maistinių medžiagų perteklius. Šie procesai daro neigiamą poveikį biologinei įvairovei, vandens kokybei ir akvakultūros tvarumui, o jų pasekmės apima tiek ekologinę, tiek socialinę bei ekonominę sritis. Siekiant sušvelninti šį poveikį ir užtikrinti vandens sistemų atsparumą ateities kartoms, būtina nustatyti prisitaikymo strategijų prioritetus, integruoti mokslines ir tradicines žinias bei skatinti tarptautinį bendradarbiavimą.

Pagrindinės rekomendacijos ir kontrolinis sąrašas

Iššūkiai:

- Kylanti vandens temperatūra
- Druskingumo svyravimai
- Deguonies trūkumas ir hipoksinės zonos
- Kenksmingas dumblių žydėjimas (KDŽ)

Rekomendacijos:

- **Stebėti ir reaguoti.** Nuolat stebėti vandens temperatūrą, ištirpusio deguonies kiekį ir maistinių medžiagų koncentracijas, nustatant įspėjamąsias ribas ir laiku imantis priemonių.
- **Atnaujinti sistemas.** Įrengti ir tinkamai prižiūrėti aeravimo bei vandens cirkuliacijos sistemas, siekiant išvengti hipoksijos.
- **Užkirsti kelią ištakoms.** Mažinti maistinių medžiagų nuotėkį naudojant apsaugines pakrančių juostas ir taikant tvaraus žemės ūkio praktikas.
- **Planuoti iš anksto.** Parengti nenumatytų priemonių planus karščio bangų ir ekstremalių oro reiškinių atvejais.

Kontrolinis sąrašas:

- Ar vykdoma temperatūros, ištirpusio deguonies ir maistinių medžiagų stebėsena realiuoju laiku, nustatant ribines vertes?
- Ar aeracijos ir vandens cirkuliacijos sistemos yra tinkamai įrengtos ir reguliariai prižiūrimos?
- Ar taikomos priemonės, skirtos sumažinti maistinių medžiagų nuotėkį iš aplinkinių teritorijų?
- Ar parengtas nenumatytų atvejų planas karščio bangų ir ekstremalių oro reiškinių valdymui?

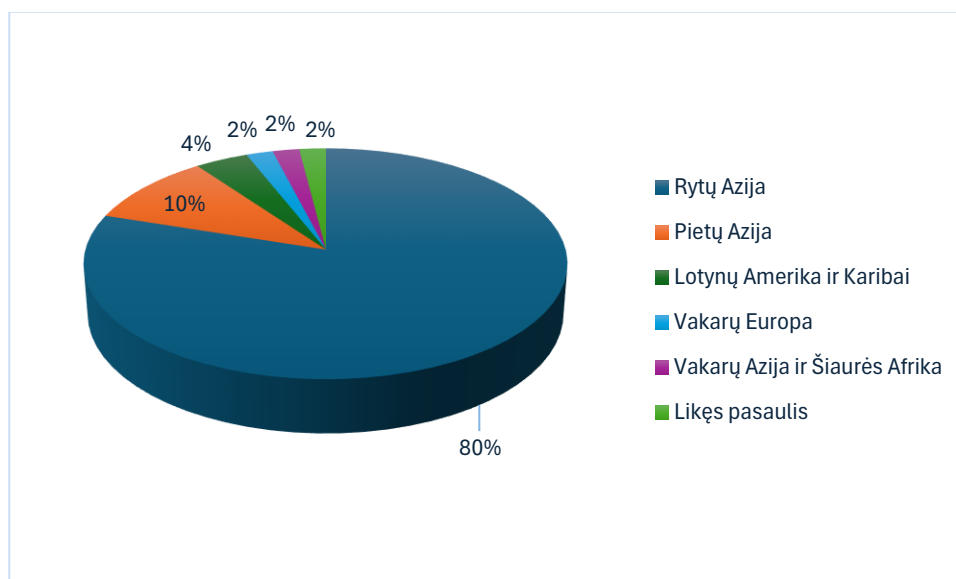
Akvakultūros poveikis aplinkai pasaulinio atšilimo požiūriu

Išvadas

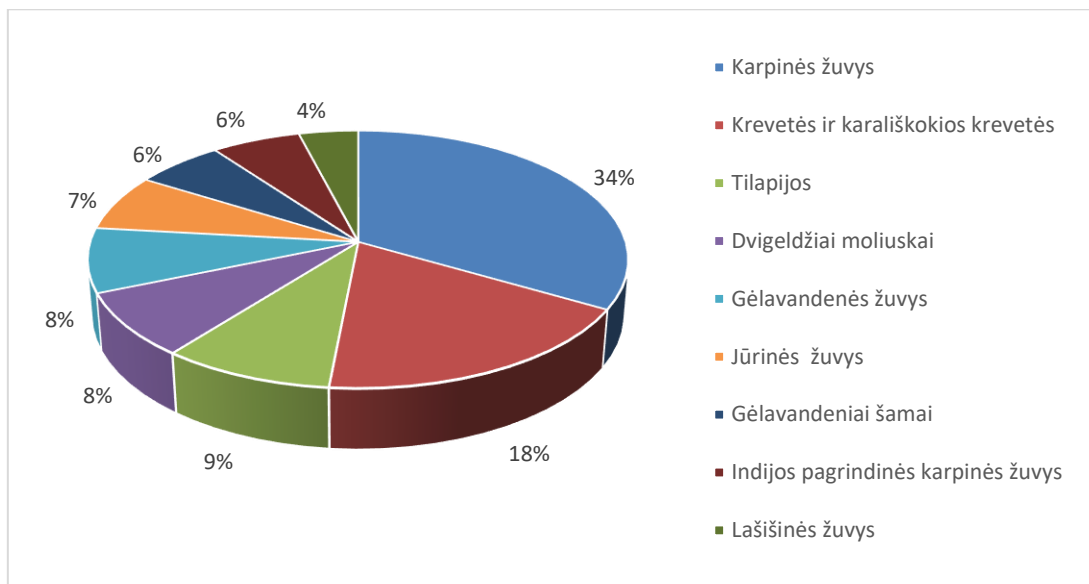
Akvakultūra yra vienas iš pagrindinių pasaulio aprūpinimo maistu sektorių, tačiau spartus jos augimas kelia vis daugiau su klimato kaita susijusių aplinkosauginių iššūkių. Ši pramonės šaka prisideda prie šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų, buveinių nykimo ir gamtinių išteklių išsekvojimo, taip didindama aplinkai tenkantį spaudimą. Šiame skyriuje analizuojamas akvakultūros poveikis aplinkai, daugiausia dėmesio skiriant šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimui, žemės naudojimo pokyčiams, pašarų gamybai ir atliekų tvarkymui. Kartu pristatomos tvarios strategijos, skirtos suderinti šios šakos plėtrą ir atsakomybę už aplinkos apsaugą.

Šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos akvakultūroje

Akvakultūros veikla yra reikšmingas šiltnamio efektą sukeliančių dujų šaltinis. Ji apima anglies dioksido (CO_2), metano (CH_4) ir azoto oksido (N_2O) emisijas, kurios sulaiko šilumą atmosferoje ir skatina pasaulinį atšilimą (Wróbel ir kt., 2023). Energijai imlūs procesai, tokie kaip aeravimas ar vandens pumpavimas, dažnai priklauso nuo elektros energijos, gaminamos naudojant iškastinį kurą, ypač regionuose, kurių energetika išlieka priklausoma nuo anglies ar naftos (Bujas ir kt., 2022). Metano emisijos atsiranda dėl anaerobinių procesų žuvų tvenkiniuose, o azoto oksidas išsiskiria perteklinio azoto turtingoje aplinkoje – dėl pašarų likučių ir trąšų naudojimo (MacLeod ir kt., 2019). Pasak TKKK, šios emisijos tiesiogiai prisideda prie klimato kaitos, jūros lygio kilimo ir biologinės įvairovės nykimo.



1 pav. Procentinė viso išmetamo ŠESD kiekio dalis pagal regionus (MacLeod et al., 2019)



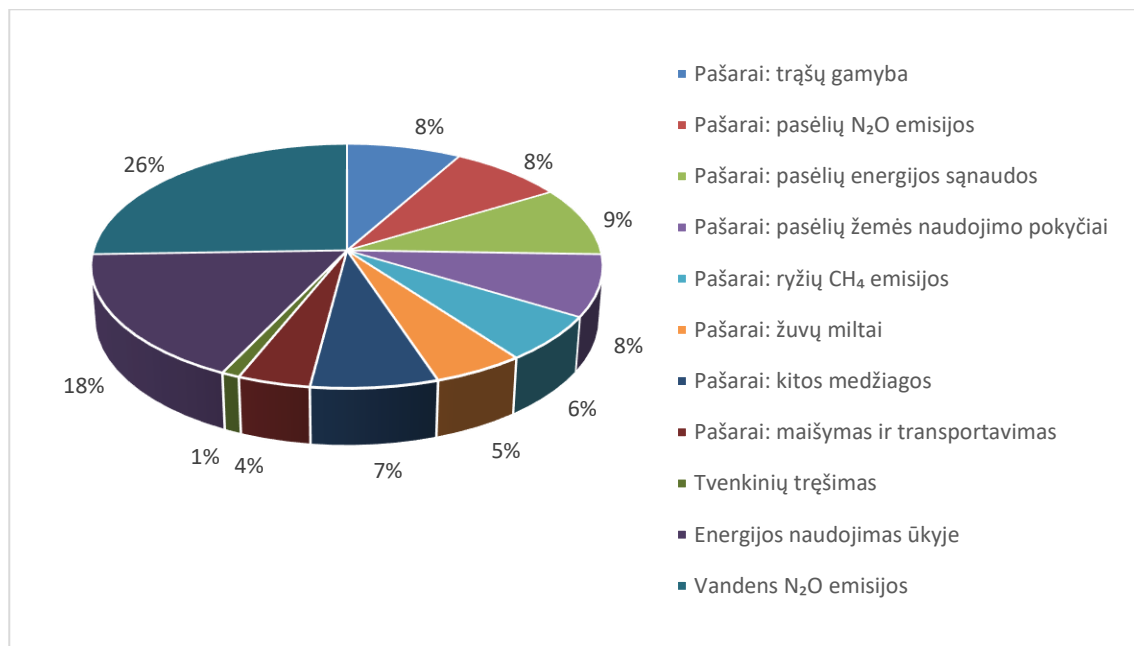
2 pav. Bendro išmetamo ŠESD kiekio procentinė dalis pagal rūšių grupes (MacLeod et al., 2019)

Buveinių nykimas ir žemės naudojimo pokyčiai

Plečiantis akvakultūrai, reikšmingai pakito buveinės, ypač ekologiškai jautrioje pakrančių ekosistemose – mangrovėse ir pelkėse. Šių teritorijų naikinimas, siekiant įrengti krevečių fermas ar žuvų tvenkinius, lemia biologinės įvairovės mažėjimą, pakrančių eroziją ir sumažėjusią anglies dioksido sekvestraciją (Barbier ir kt., 2011). Tokie pokyčiai trikdo ekosistemų funkcijas, silpnina natūralias apsaugos priemones nuo klimato poveikio ir spartina aplinkos būklės blogėjimą. Siekiant išsaugoti šias svarbias buveines, būtina taikyti atsakingo žemės naudojimo strategijas.

Pašarų gamyba kaip reikšmingas poveikio aplinkai veiksnys

Pašarų gamyba sudaro didžiausią akvakultūros poveikio aplinkai dalį ir, FAO (2022) duomenimis, yra atsakinga net už iki 90 % šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų. Žuvų miltų bei augalinių pašarų ingredientų, tokių kaip sojos, gamybai reikalingi dideli žemės, vandens ir energijos resursai, todėl prisidedama prie miškų kirtimo ir gamtinių išteklių išsekimo. Alternatyvūs sprendimai, tokie kaip vabzdžių baltymai, yra perspektyvūs, tačiau jų plėtra susiduria su ekonominiais ir logistiniais iššūkiais. Siekiant sumažinti pašarų gamybos daromą poveikį, būtina optimizuoti pašarų efektyvumą ir nuosekliai plėtoti tvarių pašarų šaltinių paiešką bei taikymą.



3 pav. Išmetamųjų ŠESD kiekio procentinė dalis pagal šaltinių kategorijas (MacLeod et al., 2019)

Atliekų susidarymas ir poveikis vandens kokybei

Akvakultūros veikloje susidaro reikšmingi atliekų kiekiai – nesuvalgyti pašarai, žuvų ekskrementai bei cheminių medžiagų likučiai. Šios medžiagos blogina vandens kokybę ir prisideda prie eutrofikacijos procesų (Wu, 1995; Dalsgaard ir Krause-Jensen, 2006). Atliekos skatina kenksmingų dumblių žydėjimą, deguonies trūkumą ir trikdo vandens ekosistemų veiklą (Holmer ir kt., 2008). Papildomą susirūpinimą kelia antibiotikų naudojimas žuvų auginime, nes jis gali skatinti antimikrobinio atsparumo vystymąsi, keliantį grėsmę aplinkai ir žmonių sveikatai. Šiam poveikiui sušvelninti būtina diegti veiksmingas atliekų tvarkymo sistemas.

Tvari akvakultūros praktika

Sprendžiant akvakultūros poveikio aplinkai problemas, būtina taikyti tvarią praktiką, įskaitant:

- Atsinaujinančiosios energijos integravimą – pereinant prie saulės, vėjo ar kitų atsinaujinančiųjų išteklių ir mažinant priklausomybę nuo iškastinio kuro.
- Pašarų optimizavimą – aplinkai draugiškų pašarų alternatyvų kūrimą ir pašarų konversijos efektyvumo gerinimą, siekiant sumažinti išteklių naudojimą.
- Atsakingą žemės valdymą – mangrovių ir pelkių ekosistemų apsaugą bei atkūrimą taikant strateginio planavimo priemones.
- Atliekų tvarkymo sprendimus – uždaro ciklo ir pažangių filtravimo sistemų diegimą, skirtą taršos ir eutrofikacijos mažinimui.

Išvada

Akvakultūros reikšmė užtikrinant pasaulinį maisto aprūpinimą yra neginčijama, tačiau jos poveikis aplinkai – šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos, buveinių nykimas, daug išteklių reikalaujanti pašarų gamyba ir atliekų susidarymas – tampa itin dideliu iššūkiu klimato kaitos sąlygomis. Teikdama pirmenybę tvariai praktikai ir stiprindama suinteresuotųjų šalių bendradarbiavimą, akvakultūros pramonė gali mažinti savo poveikį aplinkai ir kartu patenkinti augančią jūros gėrybių paklausą. Ilgalaikio akvakultūros tvarumo ir pasaulinių ekosistemų sveikatos užtikrinimas priklauso nuo novatoriškų, atsakomybę už aplinką grindžiančių sprendimų įgyvendinimo.

Pagrindinės rekomendacijos ir kontrolinis sąrašas

Iššūkiai:

- Didelis šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimas dėl energijos naudojimo ir tvenkiniuose vykstančių procesų
 - Buveinių naikinimas ir netvarus žemės naudojimas
 - Daug išteklių reikalaujanti pašarų gamyba
 - Atliekų susidarymas ir vandens tarša

Rekomendacijos:

- **Integruoti atsinaujinančius energijos šaltinius.** Aeravimo, vandens siurbimo ir šildymo sistemas perkelti prie saulės, vėjo ar kitų atsinaujinančiųjų energijos išteklių naudojimo.
- **Optimizuoti pašarų naudojimą.** Gerinti pašarų konversijos koeficientą bei taikyti tvarias alternatyvas, tokias kaip vabzdžių baltymai, dumbliai ar šalutiniai produktai.
- **Saugoti buveines.** Vengti mangrovių ir šlapžemių pertvarkymo, aktyviai remti šių ekosistemų atkūrimo iniciatyvas.
- **Efektyviai tvarkyti atliekas.** Įdiegti uždaro ciklo sistemas arba pažangias filtravimo technologijas, siekiant mažinti taršą ir eutrofikacijos riziką.

Kontrolinis sąrašas:

- Ar pagrindinėms akvakultūros operacijoms taikomi atsinaujinantys energijos šaltiniai?
- Ar pašarų gamyboje naudojami tvarūs ar alternatyvūs ingredientai?
- Ar planuojant ir vystant ūkius užtikrinama buveinių, tokių kaip mangrovės ar pelkės, apsauga ir atkūrimas?
- Ar įdiegtos veiksmingos atliekų tvarkymo sistemos, mažinančios maistinių medžiagų išmetimą ir vandens taršą?

Pasaulinis atšilimas ir veisimas, biotechnologijų taikymas akvakultūroje

Ivadas

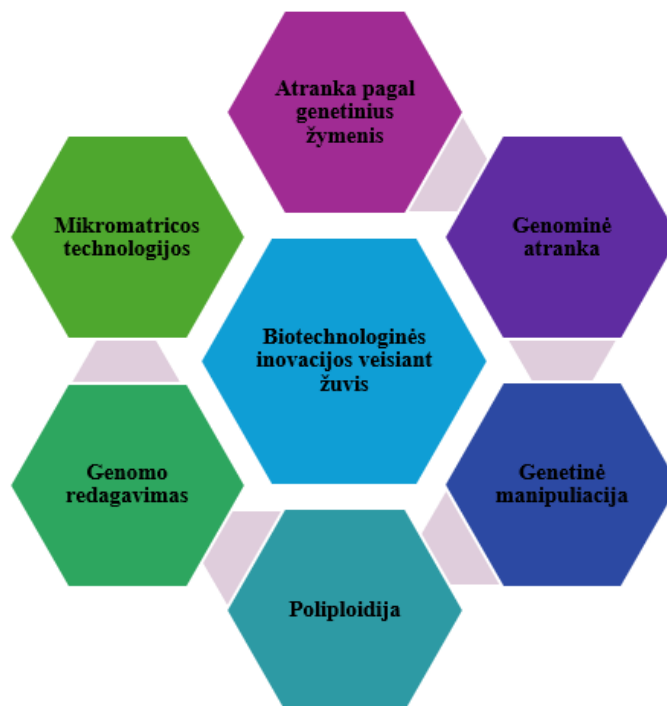
Vandens ekosistemos, kurios yra itin svarbios biologinei įvairovei ir žmonių pragyvenimo šaltiniams, patiria reikšmingą pasaulinio atšilimo poveikį. Klimato kaita lemia vandens organizmų dauginimosi ciklą, išgyvenamumo bei genetinės įvairovės pokyčius. Atsižvelgiant į tai, kad akvakultūros sektorius siekia patenkinti augančią pasaulinę maisto paklausą, biotechnologinės inovacijos tampa perspektyvia priemone didinant sistemos atsparumą ir tvarumą. Šiame skyriuje nagrinėjamas klimato kaitos poveikis vandens rūšims bei pažangių biotechnologijų – atrankinio veisimo, genominių atrankų, CRISPR-Cas9 genų redagavimo ir kriokonservavimo – vaidmuo sprendžiant šiuos iššūkius. Taip pat aptariami etiniai, aplinkosauginiai ir reguliaciniai aspektai, kurie yra būtini užtikrinant atsakingą inovacijų taikymą (Tompkins ir kt., 2017).

Klimato kaitos poveikis vandens rūšims

Kylanti vandens temperatūra trikdo akvakultūros rūšių dauginimosi ir vystymosi procesus. Šiltesniuose vandenyse neršto sezonai keičiasi taip, kad atsiranda neatitikimas tarp maisto prieinamumo ir tokių rūšių kaip menkės bei ešeriai lervų išgyvenamumo. Be to, aukštesnė temperatūra mažina ištirpusio deguonies koncentraciją, sukeldama stresą žuvų jaunikliams ir neigiamai veikdama jų augimo tempus. Nors kai kurios rūšys pasižymi genetinio prisitaikymo galimybėmis, spartūs klimato pokyčiai dažnai viršija šias ribas, taip keldami grėsmę populiacijų stabilumui ir ekosistemų funkcionavimui (Durant ir kt., 2007).

Atrankinis veisimas ir genominė atranka

Selekcinis veisimas akvakultūroje taikomas siekiant pagerinti tokius požymius kaip atsparumas aukštai temperatūrai, ligoms ar augimo efektyvumas. Genominė atranka leidžia paspartinti šį procesą, nes identifikuojami genetiniai žymenys, susiję su pageidautinomis savybėmis, ir sudaromos sąlygos greičiau dauginti atsparias populiacijas. Pavyzdžiui, atlantinės lašišos atmainos buvo sukurtos taip, kad galėtų toleruoti aukštesnę temperatūrą ir žemą deguonies koncentraciją, o vaivorykštinių upėtakių veislės tapo atsparesnės įvairiems patogenams. Tokie pasiekimai didina produktyvumą bei organizmų gebėjimą prisitaikyti prie sudėtingų aplinkos sąlygų (Houston ir kt., 2018).



4 pav. Biotechnologinės inovacijos žuvų veisimo srityje

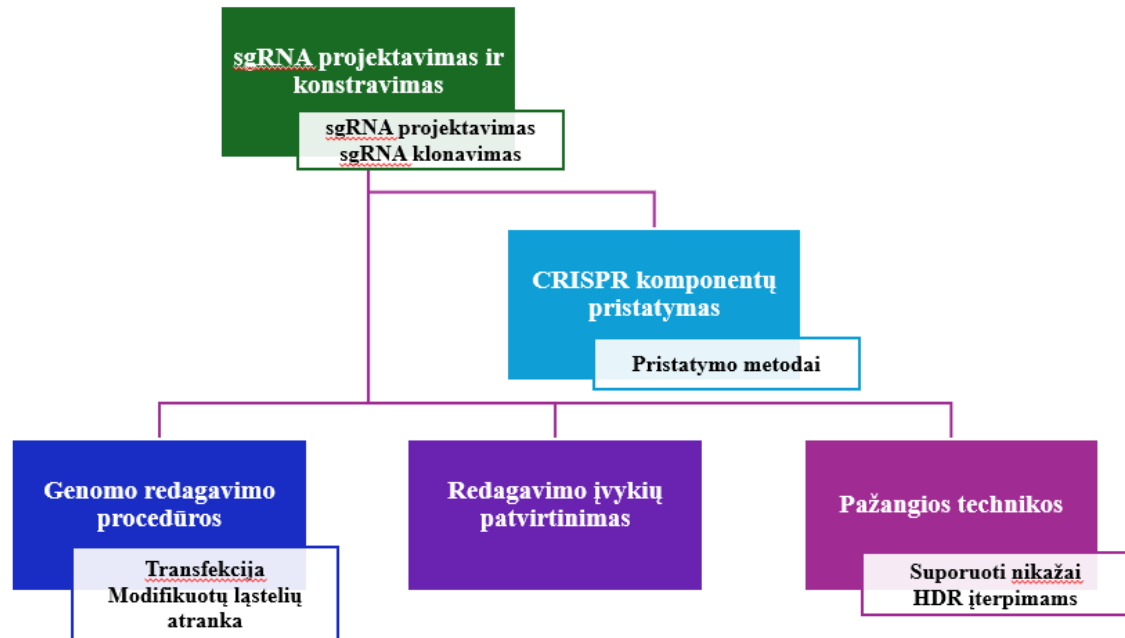
CRISPR-Cas9: paradigmos pokytis akvakultūroje

CRISPR-Cas9 genų redagavimo technologija sudaro galimybes tiksliai modifikuoti žuvų genomą, gerinant akvakultūros tvarumui svarbias savybes. Tikslinant tokius genus kaip miostatinas (mstn), mokslininkams pavyko paspartinti Nilo tilapijos ir kanalinių šamų augimo tempus bei pagerinti raumenų kokybę. Analogiškai, modifikuojant su imuninėmis funkcijomis susijusius genus, padidintas atlantinių lašišų ir amūrinių karpių atsparumas ligoms. CRISPR taip pat suteikia galimybes kontroliuoti lyties nustatymą ir užtikrinti sterilumą, taip mažinant ekologinę riziką, kylančią dėl pabėgusių ūkiuose auginamų žuvų kryžminimosi su laukinėmis populiacijomis. Vis dėlto, dėl galimų netikslinių (angl. off-target) efektų būtina nuolatinė stebėseną ir tolimesni moksliniai tyrimai (Yang ir kt., 2021).

Kriokonservavimas genetiniam išsaugojimui

Kriokonservavimas – tai gametų ir embrionų išsaugojimo itin žemoje temperatūroje technologija, sudaranti prielaidas išsaugoti biologinę įvairovę ir įgyvendinti lanksčias veisimo programas. Šis metodas suteikia galimybę vykdyti veisimą ištisus metus bei užtikrinti genetinės įvairovės išlaikymą skirtinguose regionuose. Nepaisant didelio potencialo, ši technologija susiduria su iššūkiais: daugelis ląstelių pasižymi dideliu jautrumu šalčiui, o krioprotektoriai gali būti toksiški

kiaušialąstėms ir embrionams. Todėl būtina nuolat optimizuoti kriokonservavimo protokolus, siekiant padidinti jų veiksmingumą (Betsy ir kt., 2022; Sankaran ir Mandal, 2024).



5 pav. CRISPR-Cas9 genų redagavimas (Sankaran & Mandal, 2024)

Etiniai ir ekologiniai aspektai

Biotechnologijų plėtra kelia reikšmingų etinių ir ekologinių klausimų. Į laukines ekosistemas patekę genetiškai modifikuoti organizmai (GMO) gali turėti neigiamą poveikį genetiniam vientisumui ir biologinei įvairovei. Todėl rizikos vertinimui, poveikio stebėsenai ir suinteresuotųjų šalių įtraukimui būtinos patikimos reguliavimo sistemos. Ne mažiau svarbu prioritetą teikti gyvūnų gerovei – genetinės modifikacijos neturi kelti grėsmės žuvų sveikatai ar gerovės standartams. Skaidrus valdymas ir viešasis dialogas tampa esminėmis sąlygomis siekiant suderinti inovacijas su atsakomybe už aplinką (Fletcher ir Rise, 2012).

Tvarus biotechnologijų integravimas

Norint užtikrinti ilgalaikį akvakultūros gyvybingumą, biotechnologijos turi būti diegiamos kaip tvarios praktikos dalis. Pagrindinės strategijos apima:

- Optimizuotas veisimo programos – genomikos priemonių taikymą, didinant atsparumą nedarant neigiamo poveikio ekologinėms sistemoms.
- Pažangią stebėseną – realaus laiko technologijų diegimą, skirtą GMO poveikiui ekosistemoms vertinti.
- Etišką valdymą – politikos formavimą, kurioje pirmenybė teikiama gyvūnų gerovei ir biologinės įvairovės apsaugai.

- Bendradarbiavimą su suinteresuotosiomis šalimis – mokslininkų, reguliavimo institucijų ir vietos bendruomenių partnerystės skatinimą, siekiant suderinti inovacijas su tvarumo tikslais.

Išvados

Tokios biotechnologinės inovacijos kaip atrankinis veisimas, genominė atranka, CRISPR-Cas9 genų redagavimas ir kriokonservavimas turi transformacinį potencialą sprendžiant klimato kaitos keliamus iššūkius akvakultūroje. Šios technologijos, didindamos rūšių atsparumą ir produktyvumą, prisideda prie pasaulinio aprūpinimo maistu bei biologinės įvairovės išsaugojimo. Tačiau jų sėkmė priklauso nuo etiško taikymo, patikimo reglamentavimo ir tarpdisciplininio bendradarbiavimo, siekiant sumažinti galimą riziką aplinkai ir užtikrinti tvarius rezultatus. Todėl akvakultūra gali atlikti pagrindinį vaidmenį sprendžiant dvigubą klimato kaitos ir maisto saugumo krizę.

Pagrindinės rekomendacijos ir kontrolinis sąrašas

Iššūkiai:

- Sutrikę reprodukcijos ciklai ir sumažėjęs rūšių prisitaikymo gebėjimas klimato kaitos sąlygomis.
- Biotechnologijų taikymo keliami etinė ir ekologinė rizika (genetiškai modifikuotų organizmų pabėgimas į natūralias ekosistemas, biologinės įvairovės nykimas, gyvūnų gerovės klausimai).
- Netikslinio poveikio (angl. off-target effects) ir neapibrėžtumo rizika taikant CRISPR-Cas9 technologiją.

- Reguliacinės kliūtys ir ribotos galimybės taikyti pažangiąsias biotechnologijas praktikoje.

Rekomendacijos:

- **Stiprinti veislininkystę.** Plėsti selekcinio veisimo ir genominių priemonių taikymą, siekiant didinti rūšių atsparumą šilumai, pagerinti augimo efektyvumą ir atsparumą ligoms.
- **Kontroliuoti genų redagavimą.** Įgyvendinti griežtus CRISPR-Cas9 stebėsenos bei patvirtinimo protokolus, kad būtų kuo labiau sumažinta netikslinio poveikio rizika.
- **Išsaugoti genetinę įvairovę.** Investuoti į kriokonservavimo tyrimus ir technologijų tobulinimą, siekiant užtikrinti gametų, embrionų ir biologinės įvairovės išsaugojimą.
- **Užtikrinti atsakingą valdymą.** Kurti teisines ir reguliavimo sistemas, kuriose prioritetą teikiama etikos principams, biologinės įvairovės apsaugai ir gyvūnų gerovei.

- **Skatinti bendradarbiavimą.** Plėtoti mokslininkų, reguliavimo institucijų ir vietos bendruomenių dialogą, siekiant atsakingų ir tvarių biotechnologinių inovacijų.

Kontrolinis sąrašas:

- Ar įgyvendinamos selekcinio veisimo ar genominių atrankų programos, skirtos rūšių atsparumui klimato kaitai didinti?
- Ar CRISPR-Cas9 taikymo programos stebimos dėl netikslinio poveikio ir ekologinės rizikos?
- Ar taikomi krikonservavimo metodai genetiniams ištekliams išsaugoti?
- Ar biotechnologiniuose procesuose nuosekliai laikomasi etikos ir galiojančių reguliavimo sistemų?
- Ar bendradarbiaujant su suinteresuotosiomis šalimis užtikrinamas atsakingas ir skaidrus biotechnologijų naudojimas

Kaip dėl pasaulinio atšilimo turėtų keistis žuvų mityba ir šėrimo praktika akvakultūroje

Įvadas

Akvakultūra - sparčiai besiplečiantis sektorius, kuris yra labai svarbus tenkinant pasaulinę maisto paklausą ir, palyginti su kitais baltymų šaltiniais, daro palyginti nedidelį poveikį klimatui. Prognozuojama, kad iki 2030 m. žuvų auginimas išaugs 32 % (FAO, 2020), todėl labai svarbu užtikrinti tvarumą ir kartu spręsti klimato kaitos keliamas problemas. Šiame skyriuje nagrinėjamas akvakultūros poveikis aplinkai, visų pirma anglies pėdsakas, ir nagrinėjamos naujoviškos pašarų strategijos, kuriomis siekiama padidinti atsparumą ir sumažinti ekologinę žalą. Integruojant pažangias technologijas ir alternatyvius ingredientus, akvakultūra gali pasiekti darnaus vystymosi tikslus ir grynojo nulio tikslą.

Akvakultūros poveikis aplinkai

Akvakultūros sektorius yra reikšmingas šiltnamio efektą sukeliančių dujų šaltinis – pasaulinė žuivaisa kasmet sugeneruoja apie 250 mln. tonų CO₂ ekvivalento (MacLeod ir kt., 2020). Lašišų auginime apie 75 % emisijų sudaro pašarų gamyba, o vien Norvegijoje šis kiekis siekia apie 10 mln. tonų CO₂ ekvivalento per metus (Ziv-Douki, 2020). Nors jūros gėrybių gamybos anglies pėdsakas yra mažesnis nei jautienos, klimato kaita paaštrina su ja susijusias problemas: mažėja maistinių medžiagų prieinamumas, blogėja vandens kokybė, didėja patogenų virulentiškumas (Cheung ir kt., 2023). Šie procesai kelia grėsmę šaltųjų vandenų rūšių augimui ir sveikatai bei silpnina vandenynų gebėjimą absorbuoti anglies dioksidą, todėl ypač svarbu diegti tikslingas intervencines priemones pašarų gamybos grandinėje.



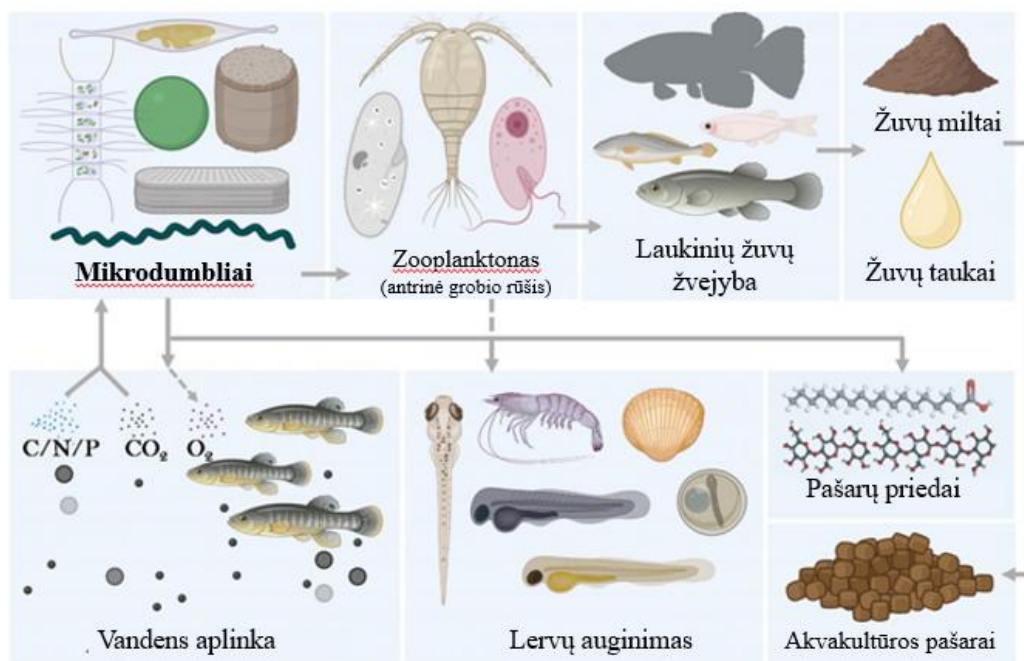
6 pav. Intervenciniai sektoriai, skirti anglies dioksido išmetimui vandens kultūrose mažinti (adaptuota pagal Zhang et al., 2024)

Su klimato kaita susiję pašarų sudėties iššūkiai

Kylant vandens temperatūrai, spartėja akvakultūros rūšių medžiagų apykaita, todėl būtina koreguoti pašarų sudėtį, kad būtų patenkinti didesni maistinių medžiagų poreikiai. Optimalus baltymų, lipidų ir angliavandenių santykis tampa esminis užtikrinant organizmų augimą ir sveikatą šiltesnėmis sąlygomis (Zhang ir kt., 2024). Be to, vandenynų rūgštėjimas daro poveikį virškinimo fiziologijai, todėl siekiant šį poveikį sušvelninti, būtina naudoti pašarų priedus, pavyzdžiui, buferines medžiagas. Klimato kaita taip pat trikdo tradicinių žuvų miltų ir žuvų taukų tiekimą, todėl ryškėja poreikis plėtoti tvarias alternatyvas, kurios užtikrintų pašarų kokybę ir saugumą (Ma ir Hu, 2023).

Tvarių pašarų ingredientų inovacijos

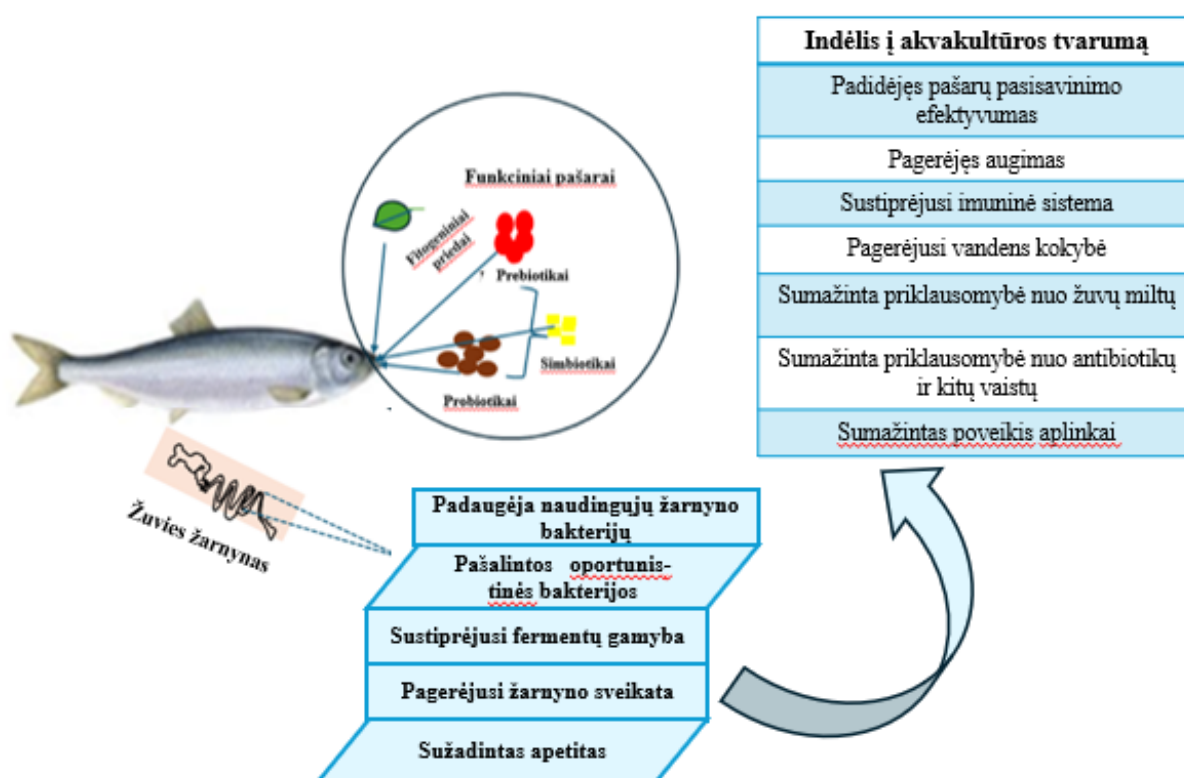
Siekdami sumažinti priklausomybę nuo žuvų miltų, mokslininkai ir pramonės atstovai vis daugiau dėmesio skiria alternatyviems baltymų šaltiniams, tokiems kaip vabzdžių miltai, dumbliai ir augalinės kilmės baltymai. Šie ingredientai padeda mažinti ekologinį pėdsaką, nes mažina spaudimą jūrų bei sausumos ištekliais. Pašarų gamybai naudojami šalutiniai maisto pramonės produktai dar labiau didina tvarumą, nes mažina pirminių išteklių naudojimą. Fermentiniai papildai gerina maistinių medžiagų įsisavinimą, o prebiotikai ir probiotiniai mikroorganizmai palaiko žarnyno sveikatą, imuninę sistemą ir stiprina atsparumą klimato kaitos sąlygomis kylantiems stresoriams (Messeder, 2021).



7 pav. Su akvakultūra susijusių mikrodumblių vaidmenys, Biorender.com (Wu ir Hu, 2023)

Pažangios šėrimo technologijos

Akvakultūros tvarumui ypač svarbu efektyviai valdyti pašarų tiekimą. Automatizuotos šėrimo technologijos ir realiuoju laiku veikiančios stebėsenos sistemos suteikia galimybę tiksliai paskirstyti pašarus, sumažinti atliekų kiekį ir pagerinti pašarų konversijos rodiklius. Pritaikant šėrimo dažnumą ir kiekius prie kintančio žuvų apetito šiltesnio vandens sąlygomis, užtikrinamas racionalus išteklių naudojimas. Be to, mineralinių medžiagų ir vitaminų įtraukimas į pašarus didina organizmų atsparumą stresui, ypač rūgštėjant aplinkai, bei skatina bendrą sveikatą ir produktyvumą (Zhang ir kt., 2024).



8 pav. Funkcinių pašarų priedų poveikis akvakultūroje (adaptuota pagal Onomu ir Okuthe, 2024).

Tvarios akvakultūros strategijos

Siekdami suderinti akvakultūros plėtrą su aplinkosaugos ir tvarumo tikslais, būtina įgyvendinti šias strategijas:

- **Alternatyvūs pašarų šaltiniai.** Mažinti priklausomybę nuo žuvų miltų didinant vabzdžių, dumblių ir augalinių baltymų naudojimą.
- **Pašarų optimizavimas.** Įtraukti fermentus, prebiotikus ir buferines medžiagas, gerinančias virškinamumą ir didinančias atsparumą stresui.
- **Technologinė integracija.** Taikyti automatizuotas šėrimo ir stebėsenos sistemas, siekiant sumažinti atliekų kiekį ir padidinti efektyvumą.

- **Politinė parama.** Skatinti reguliacines priemones, kurios remia tvarią pašarų gamybą ir mažai anglies dioksido išskiriančių technologijų diegimą.

Išvada

Akvakultūra yra svarbi pasaulinio aprūpinimo maistu grandis, tačiau pašarų gamyba išlieka vienu iš didžiausių jos aplinkosaugos iššūkių šiltėjančio klimato sąlygomis. Integruodama alternatyvius pašarų ingredientus, pažangias technologijas ir pritaikytas receptūras, pramonė gali sumažinti emisijas, padidinti rūšių atsparumą ir prisidėti prie tvarumo tikslų įgyvendinimo. Ilgalaikės sėkmės pagrindas – mokslininkų, gamintojų ir politikos formuotojų bendradarbiavimas, siekiant užtikrinti tvarią akvakultūros plėtrą ir sveikesnę planetą.

Pagrindinės rekomendacijos ir kontrolinis sąrašas

Iššūkiai:

- Didelis šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekis, susijęs su pašarų gamyba
- Mažėjantis žuvų miltų ir žuvų taukų prieinamumas ir didėjančios jų kainos
- Didėjantys auginamų rūšių medžiagų apykaitos poreikiai klimato šiltėjimo sąlygomis
- Vandenyne rūgštėjimas, bloginantis pašarų virškinimas ir maistinių medžiagų įsisavinimas

Rekomendacijos:

- **Plėsti alternatyvas.** Investuoti į vabzdžių miltų, dumblių, augalinių baltymų ir šalutinių produktų naudojimą, siekiant sumažinti priklausomybę nuo žuvų miltų.
- **Automatizuoti šėrimą.** Įdiegti tiksliojo šėrimo technologijas, kad būtų optimizuojamas pašarų naudojimas ir mažinamas atliekų kiekis.
- **Didinti atsparumą.** Naudoti funkcinis priedus (fermentus, prebiotikus, probiotikus, buferines medžiagas), stiprinančius virškinamumą ir organizmų atsparumą stresui.
- **Remti politiką.** Kurti paskatų sistemas ir reguliavimą, skatinantį tvarią pašarų gamybą bei mažai anglies dioksido išskiriančių technologijų diegimą.
- **Skatinti bendradarbiavimą.** Įtraukti gamintojus, mokslininkus ir politikos formuotojus, kad būtų užtikrinti tvarūs pašarų ištekliai.

Kontrolinis sąrašas:

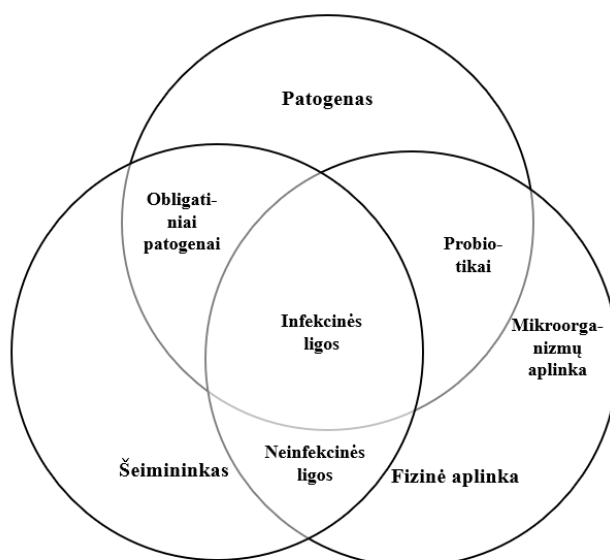
- Ar alternatyvūs pašarų ingredientai (pvz., vabzdžiai, dumbliai, šalutiniai produktai) integruojami į pašarų tiekimo grandines?

- Ar naudojamos automatizuotos arba tiksliojo šėrimo sistemos, siekiant sumažinti atliekų kiekį ir pagerinti pašarų konversiją?
- Ar taikomi funkciniai priedai, skirti gerinti virškinamumą, žarnyno sveikatą ir atsparumą stresui šiltėjančio ir rūgštėjančio vandens sąlygomis?
- Ar įgyvendinama politika ir bendradarbiavimo iniciatyvos, skatinančios tvarią pašarų gamybą ir anglies pėdsako mažinimą?

Ligos akvakultūroje klimato kaitos kontekste ir apsaugos priemonės

Išvadas

Klimato kaita daro reikšmingą poveikį vandens ekosistemoms ir kelia grėsmę akvakultūros gebėjimui patenkinti didėjančią pasaulinę jūros gėrybių paklausą, kuri, kaip prognozuojama, iki 2030 m. padidės dar 30 mln. tonų (Lucas ir kt., 2019). Kylanti vandens temperatūra, vandenynų rūgštėjimas, druskingumo svyravimai bei ekstremalūs meteorologiniai reiškiniai spartina ligų plitimą, blogina vandens kokybę ir kelia papildomą stresą akvakultūros rūšims. Šiame skyriuje analizuojami pagrindiniai šie iššūkiai ir pateikiamos adaptyvaus valdymo strategijos, skirtos atsparumui didinti. Ypatingas dėmesys skiriamas ligų kontrolei, aplinkos stebėsenai ir tvarios praktikos diegimui, siekiant užtikrinti sektoriaus gyvybingumą ilgalaikėje perspektyvoje..



9 pav. Modifikuotas Sneizko trijų žiedų modelis, vaizduojantis šeimininko, patogeno ir aplinkos sąveiką (Lucas et al., 2019)

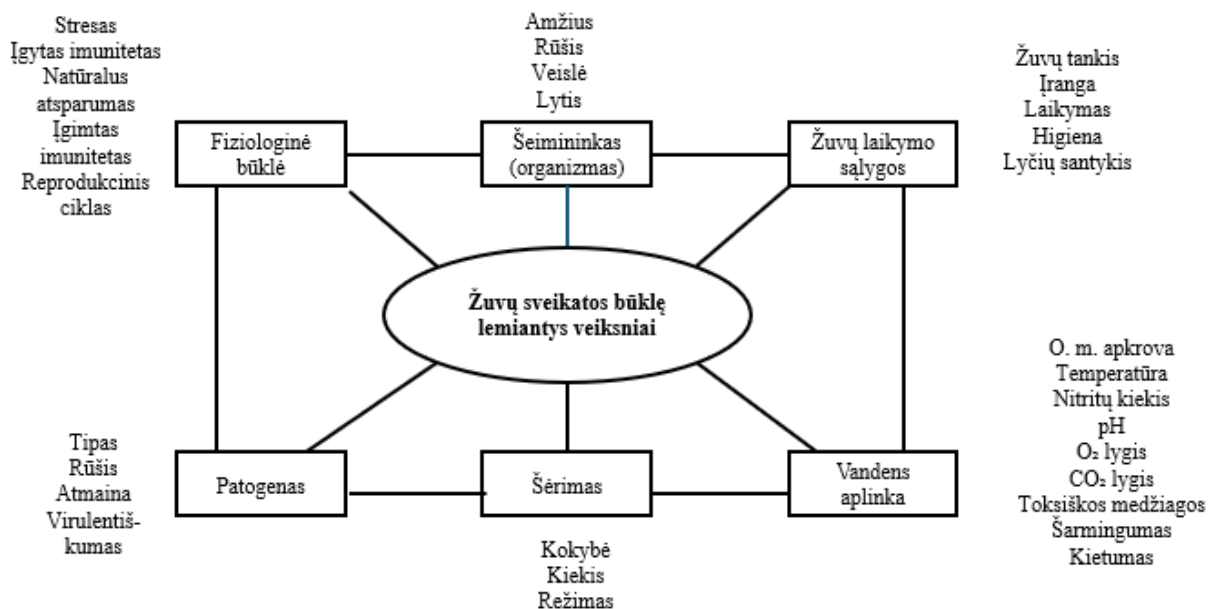
Klimato nulemti aplinkos pokyčiai

Dėl pasaulinio atšilimo vandens ekosistemos patiria įvairių streso veiksnių. Prognozuojama, kad iki 2100 m. vandenyno paviršiaus temperatūra pakils nuo 0,6 iki 2,0 °C, o jūros lygis iki 2050 m. dėl šiluminio plėtimosi ir tirpstančio ledo pakils 10–35 cm (IPCC, 2022). Šie pokyčiai, kartu su padidėjusia CO₂ absorbcija (20–35 % visų išmetamų teršalų), lems vandenynų rūgštėjimą, kuris silpnins kalcifikuojančius organizmus, tokius kaip vėžiagyviai ir koralai (Lucas ir kt., 2019). Kritulių režimo ir paviršinio nuotėkio pokyčiai sukelia druskingumo svyravimus, o didėjanti maistinių medžiagų apkrova spartina eutrofikacijos procesus ir kenksmingų dumblių žydėjimą (KDŽ). Šie

reiškiniai lemia hipoksines sąlygas, kurios blogina vandens kokybę ir sudaro palankias sąlygas patogenų dauginimuisi (Cheung ir kt., 2023).

Klimato kaitos sąlygoti patogenų plitimo veiksniai.

Padidėjusi vandens temperatūra pagreitina patogenų gyvybinius ciklus ir didina bakterijų, virusų bei parazitų paplitimą ir virulentiškumą (Woo & Iwama, 2019). Daugelis akvakultūros rūšių, pasižyminčių siauru temperatūros tolerancijos intervalu, patiria imuninės sistemos susilpnėjimą, lėtesnį augimą ir mažesnę reprodukcinę sėkmę esant terminiam stresui. Vandenynų rūgštėjimas trikdo dvigeldžių moliuskų kiaušto formavimąsi, o druskingumo svyravimai sukelia osmosinį stresą, didinantį jautrumą ligoms. Be to, dėl maistinių medžiagų nuotėkio paastrėję kenksmingų dumblių žydėjimai (KDŽ) gamina toksinus, kurie daro žalą žuvims ir sudaro palankias sąlygas ligų protrūkiams (Lucas ir kt., 2019).



10 pav. Žuvų sveikatos būklei įtaką darantys veiksniai (Jeney, 2017)

Ligų iššūkiai ir nauji patogenai

Klimato kaita didina ligų riziką akvakultūroje, nes atogrąžų ligų sukėlėjai, plintantys šiltesniais vandenimis, gali patekti į vidutinio klimato regionus ir įgyti didesnę atsparumą gydymo priemonėms. Keičiantis šeimininkų ir parazitų dinamikai, atsiranda naujų ligų pernešėjų, o ligų kontrolė tampa sudėtingesnė (Woo & Iwama, 2019). Skaičiuojama, kad dėl ligų prarandama apie 40 % akvakultūros produkcijos, todėl tai yra viena pagrindinių kliūčių užtikrinant pasaulinės jūros gėrybių paklausos patenkinimą (Lucas ir kt., 2019). Šių grėsmių įveikai būtina stiprinti stebėseną ir taikyti adaptyvų ligų valdymą.

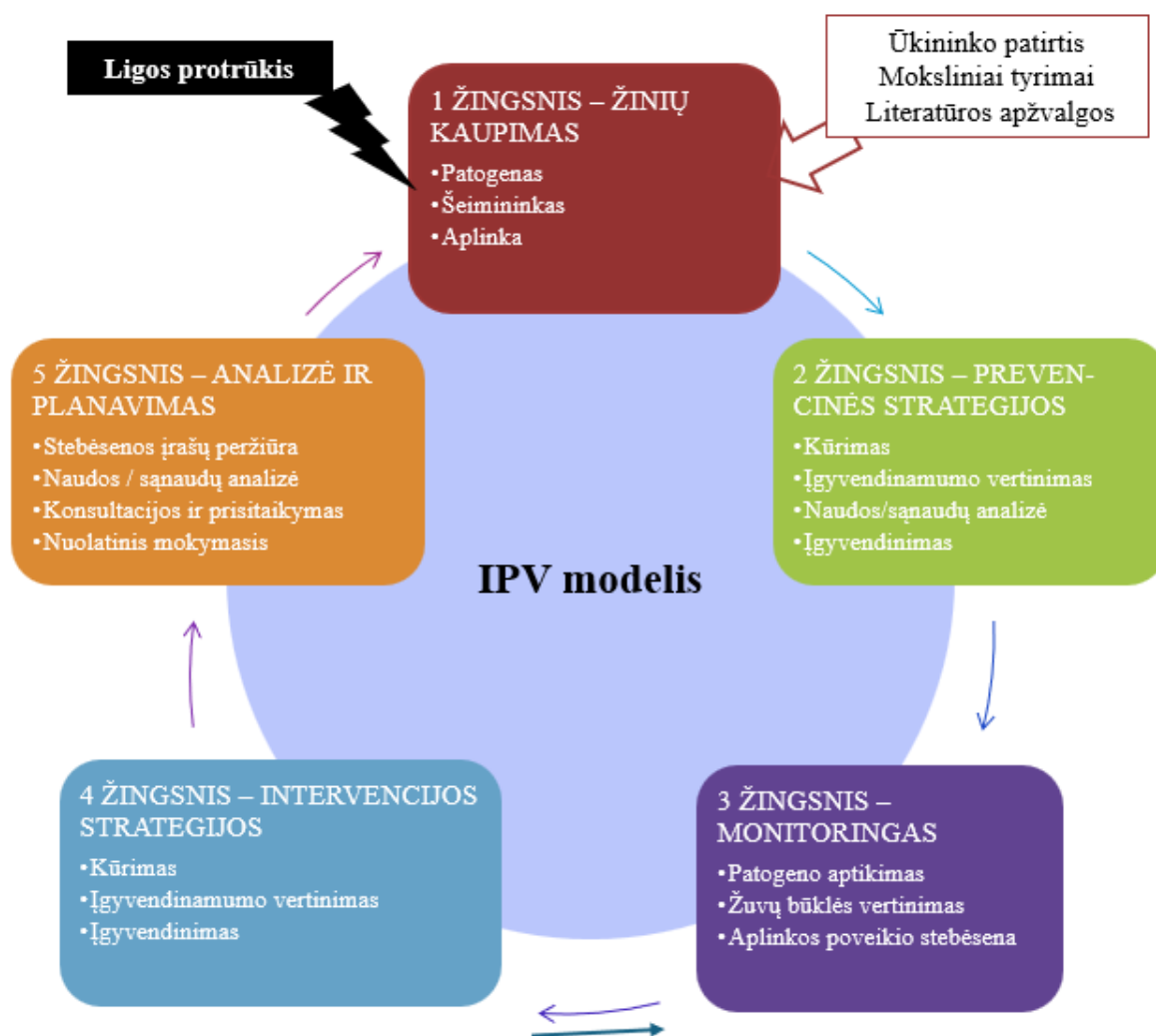
Infrastruktūros ir ekosistemos pažeidžiamumas

Ekstremalūs meteorologiniai reiškiniai, tokie kaip audros ar potvyniai, daro tiesioginę žalą akvakultūros infrastruktūrai – pakrančių krevečių tvenkiniams ir žuvų narveliams, ypač Azijoje (Lucas ir kt., 2019). Kylantis jūros lygis ir pakrančių erozija kelia grėsmę trapioms ekosistemoms, tokioms kaip koraliniai rifai, bei mažina tinkamų buveinių prieinamumą auginamoms rūšims. Dažnėjant sausroms, prastėja gamybos sąlygos tvenkiniuose, o dėl mažėjančio pašarų ingredientų derliaus didėja sąnaudos, todėl pramonė patiria dar didesnę spaudimą (Cheung ir kt., 2023).

Prisitaikančios valdymo strategijos

Norint sušvelninti klimato kaitos poveikį, akvakultūros sektoriuje būtina taikyti kompleksines strategijas:

- **Geresnė ligų priežiūra.** Įdiegti realiuoju laiku veikiančias patogenų stebėsenos sistemas, leidžiančias laiku aptikti ir kontroliuoti naujai atsirandančias ligas.
- **Vandens kokybės valdymas.** Naudoti aeravimo ir filtravimo technologijas, skirtas hipoksijos ir eutrofikacijos prevencijai.
- **Atspari infrastruktūra.** Kurti narvus ir tvenkinius, atsparesnius audroms bei kitiems ekstremaliems meteorologiniams reiškiniams.
- **Pritaikomi šėrimo metodai.** Integruoti alternatyvius pašarų ingredientus, pavyzdžiui, dumblius ar vabzdžių miltus, siekiant kompensuoti pašarų trūkumą ir palaikyti rūšių sveikatą kintančiomis sąlygomis.
- **Aplinkos kontrolė.** Reguluoti druskingumą ir temperatūrą kontroliuojamose sistemose, kad būtų sumažintas gyvūnų patiriamas stresas.



11 pav. Žuvų ligų integruoto patogenų valdymo (IPM) strategijų kūrimo procesas (Jeney, 2017)

Išvada

Klimato kaita kelia reikšmingus iššūkius akvakultūrai – nuo dažnėjančių ligų ir rūšių sveikatos sutrikimų iki infrastruktūros pažeidžiamumo bei ekosistemų degradacijos. Integruojant pažangias stebėsenos priemones, atsparią infrastruktūrą ir tvarias pašarų praktikas, akvakultūros sektorius gali prisitaikyti prie šių pokyčių ir kartu patenkinti augančią pasaulinę jūros gėrybių paklausą. Ypač svarbus tampa mokslininkų, gamintojų ir politikos formuotojų bendradarbiavimas, siekiant kurti novatoriškus sprendimus, kurie užtikrintų akvakultūros tvarumą ir atsparumą sparčiai besikeičiančio klimato sąlygomis.

Pagrindinės rekomendacijos ir kontrolinis sąrašas

Iššūkiai:

- Didėjantis vandens ligų paplitimas ir virulentiškumas šiltesnėmis sąlygomis.

- Aplinkos streso veiksniai (rūgštėjimas, druskingumo pokyčiai, eutrofikacija, kenksmingų dumblių žydėjimas), silpninantys rūšių sveikatą.
- Akvakultūros infrastruktūros pažeidžiamumas dėl audrų, potvynių ir sausrų.
- Didėjanti maistinių medžiagų apkrova ir blogėjanti vandens kokybė, skatinanti patogenų plitimą.

Rekomendacijos:

- **Stiprinti priežiūrą.** Įgyvendinti realiuoju laiku veikiančią patogenų stebėseną ir integruotas ligų valdymo sistemas.
- **Kontroliuoti aplinką.** Naudoti aeracijos, filtravimo ir vandens kokybės kontrolės priemonės hipoksijos ir eutrofikacijos prevencijai.
- **Didinti atsparumą.** Projektuoti ir diegti audroms atsparius tvenkinius, narvus bei kitą adaptyvią infrastruktūrą, galinčią atlaikyti ekstremalias oro sąlygas.
- **Palaikyti gyvūnų sveikatą.** Įtraukti alternatyvius pašarus (vabzdžių ir dumblių baltymus, funkinius priedus), kurie didina atsparumą stresui.
- **Taikyti adaptyvų valdymą.** Derinti stebėseną, nenumatytų atvejų planavimą ir ekosistemomis grindžiamą praktiką, kad būtų užtikrintas ilgalaikis atsparumas.

Kontrolinis sąrašas:

- Ar įdiegta realiuoju laiku veikianti ligų stebėsenos ir pranešimų sistema?
- Ar taikomos aeracijos, filtravimo ar kitos vandens kokybės kontrolės priemonės, skirtos hipoksijos ir eutrofikacijos prevencijai?
- Ar akvakultūros infrastruktūra suprojektuota arba atnaujinta taip, kad būtų atspari ekstremaliems meteorologiniams reiškiniams?
- Ar naudojami alternatyvūs arba funkciniai pašarai, skirti rūšių sveikatai stiprinti klimato kaitos sąlygomis?
- Ar taikomos adaptyvios ligų valdymo strategijos, apimančios stebėseną, nenumatytų atvejų planus ir ekosistemų apsaugą?

Akvakultūros sistemų pasirinkimas atsižvelgiant į pasaulinį atšilimą

Įvadas

Akvakultūra, kaip vienas iš svarbiausių pasaulinio aprūpinimo maistu sektorių, susiduria su didėjančiais klimato kaitos iššūkiais, įskaitant vandens temperatūros kilimą, vandenynų rūgštėjimą, druskingumo svyravimus ir ligų plitimą. Šie veiksniai kelia grėsmę rūšių sveikatai, ekosistemų stabilumui ir pramonės tvarumui. Šiame skyriuje analizuojamos naujoviškos akvakultūros sistemos – recirkuliacinės akvakultūros sistemos (RAS), integruota daugiapakopė akvakultūra (IDAS) ir atviros jūros akvakultūra – kaip atsparumo stiprinimo priemonės klimato kaitos poveikiui sušvelninti. Taip pat aptariamas politikos, vartotojų įsitraukimo ir mokslinių tyrimų vaidmuo siekiant skatinti tvarią praktiką ir užtikrinti ilgalaikį sektoriaus gyvybingumą (Boyd ir kt., 2022).

Klimato kaitos poveikis akvakultūrai

Pasaulinis atšilimas vandens ekosistemas veikia įvairiais mechanizmais. Kylanti temperatūra didina auginamų rūšių medžiagų apykaitos poreikius, silpnina imuninę sistemą ir mažina augimo bei reprodukcijos sėkmę (Boyd & McNevin, 2015). Vandenynų rūgštėjimas, kylantis dėl padidėjusios CO₂ koncentracijos, trikdo kalcifikuojančių organizmų, tokių kaip dvigeldžiai moliuskai, kiauto formavimąsi, keldamas grėsmę jų išlikimui ir ekonominiam potencialui (Cooley ir kt., 2009). Kintant kritulių režimui ir tirpstant ledui, druskingumo svyravimai trikdo rūšių pasiskirstymą, o maistinių medžiagų nuotėkis spartina kenksmingų dumblių žydėjimą (KDŽ), hipoksijos procesus ir blogina vandens kokybę (Diaz ir Rosenberg, 2008). Šie reiškiniai rodo būtinybę diegti adaptyvias akvakultūros sistemas.

Ligų plitimas šiltesniuose vandenyse

Šiltesnės sąlygos spartina patogenų vystymosi ciklus, didina ligų protrūkių dažnį ir sunkumą. Pavyzdžiui, *Vibrio* spp. geriau dauginasi aukštesnėje temperatūroje ir gali sukelti reikšmingų nuostolių akvakultūrai (Bondad-Reantaso ir kt., 2005). Klimato kaitos sąlygoti streso veiksniai, tokie kaip hipoksija ir rūgštėjimas, papildomai silpnina rūšių imunitetą ir didina jų jautrumą infekcijoms (Holmer, 2010). Efektyviai ligų kontrolei būtina diegti pažangią priežiūrą ir kurti atsparias akvakultūros sistemas.

Inovatyvios akvakultūros sistemos

Klimato kaitos keliamus iššūkius padeda spręsti trys inovatyvios akvakultūros sistemos, užtikrinančios didesnę atsparumą ir tvarumą:

- **Recirkuliacinės akvakultūros sistemos (RAS).** Tai uždaros sistemos, kurios leidžia tiksliai reguliuoti temperatūrą, druskingumą ir vandens kokybę, mažina priklausomybę nuo išorinių vandens šaltinių ir apsaugo rūšis nuo klimato svyravimų (Martins ir kt., 2010).
- **Integruota daugiapakopė akvakultūros sistema (IDAS).** Kartu auginamos tarpusavyje viena kitą papildančios rūšys, o tai užtikrina efektyvesnę maistinių medžiagų apytaką, stiprina ekosistemų stabilumą, mažina poveikį aplinkai ir didina išteklių naudojimo efektyvumą (Handisyde ir kt., 2017).
- **Akvakultūra atviroje jūroje.** Giliavandenės sistemos, veikiančios stabilesnėse sąlygose, sumažina pakrančių ekosistemų apkrovą ir riziką, susijusią su eutrofikacija bei KDŽ, ir sudaro prielaidas tvariai gamybai (Pereira ir kt., 2024).

Politika ir finansinė parama

Perėjimui prie atsparių akvakultūros sistemų būtinos tvirtos politikos priemonės ir finansinės paskatos. Vyriausybės bei tarptautinės organizacijos gali skatinti šį procesą taikydamos subsidijas, mokesčių lengvatas ir dotacijas, ypač smulkiesiems ūkininkams, kurie yra labiausiai pažeidžiami klimato kaitos poveikio. Tarptautiniai susitarimai ir žinių dalijimosi platformos sudaro sąlygas technologijų bei gerosios praktikos perdavimui ir užtikrina teisingą prieigą prie klimato kaitai atsparių sprendimų (Froehlich ir kt., 2018).

Vartotojų įtraukimas ir rinkos paskatos

Vartotojų paklausa tvarioms jūros gėrybėms skatina pokyčius akvakultūros sektoriuje. Sertifikavimo sistemos ir ekologiniai ženklai motyvuoja gamintojus taikyti aplinkai draugišką praktiką, o atsekamumo technologijos, tokios kaip blokų grandinės, didina skaidrumą ir pasitikėjimą produktais (Boyd ir kt., 2022). Švietėjiškos kampanijos gali stiprinti visuomenės informuotumą ir skatinti rinkos transformaciją link ekologiškai tvarių produktų, ypač regionuose, kuriuose akvakultūra yra pagrindinė ekonominė veikla.

Moksliniai tyrimai ir technologinė plėtra

Investicijos į mokslinius tyrimus ir technologines inovacijas yra būtinos, siekiant tobulinti atsparias akvakultūros sistemas. Pagrindinės prioritetinės sritys:

- **RAS energijos efektyvumo didinimas**, siekiant sumažinti eksploatacijos sąnaudas.
- **Įperkamu IDAS modelių kūrimas**, kad šios sistemos galėtų būti plačiau pritaikomos.
- **Patogenų aptikimo ir kontrolės strategijų tobulinimas**, siekiant sumažinti ligų plitimą.
- **Ilgalaikės aplinkos stebėsenos įgyvendinimas**, leidžiantis geriau prisitaikyti prie kintančių klimato sąlygų.

Išvada

Klimato kaita kelia rimtą grėsmę akvakultūrai – nuo terminio streso ir ligų protrūkių iki vandenynų rūgštėjimo bei buveinių nykimo. Atsparios sistemos, tokios kaip RAS, IDAS ir jūrinė akvakultūra, siūlo naujoviškus sprendimus tvarumui ir produktyvumui didinti. Pasitelkus griežtą politiką, aktyvų vartotojų įsitraukimą ir tikslines mokslinių tyrimų investicijas, šios sistemos gali užtikrinti akvakultūros vaidmenį pasaulinio maisto aprūpinime, kartu mažinant poveikį aplinkai. Esminę reikšmę čia turi suinteresuotųjų šalių bendradarbiavimas, kuriantis klimato kaitai atsparią akvakultūros ateitį.

Pagrindinės rekomendacijos ir kontrolinis sąrašas

Iššūkiai:

- Kylanti vandens temperatūra ir druskingumo svyravimai, keliantys stresą auginamoms rūšims.
- Vis dažnėjantys ekstremalūs meteorologiniai reiškiniai, darantys žalą infrastruktūrai.
- Atliekų ir maistinių medžiagų tarša, mažinanti ekosistemų stabilumą ir ūkių produktyvumą.
- Ribotas tvarių sistemų pritaikomumas ir didelės diegimo sąnaudos.

Rekomendacijos:

- **Įdiegti RAS.** Naudoti recirkuliacines akvakultūros sistemas vandens kokybei kontroliuoti, atliekoms mažinti ir biologiniam saugumui užtikrinti.
- **Plėtoti IDAS.** Taikyti integruotą daugiapakopę akvakultūrą, siekiant efektyviau perdirbti maistines medžiagas ir sumažinti poveikį aplinkai.
- **Plėsti akvakultūrą atviroje jūroje.** Kurti sistemas gilesniuose vandenyse, kad būtų sumažintas pakrančių ekosistemų pažeidžiamumas klimato veiksnių poveikiui.
- **Stiprinti infrastruktūrą.** Investuoti į audroms atsparius narvus ir tvenkinius, pritaikytus ekstremalioms oro sąlygoms.
- **Užtikrinti palankų valdymą.** Skatinti politikos priemones, finansines paskatas ir suinteresuotųjų šalių bendradarbiavimą, siekiant platesnio tvarių sistemų diegimo.

Kontrolinis sąrašas:

- Ar recirkuliacinės akvakultūros sistemos (RAS) naudojamos vandens kokybei valdyti ir atliekoms mažinti?
- Ar taikoma integruota daugiapakopė akvakultūros sistema (IDAS), siekiant perdirbti maistines medžiagas ir stabilizuoti ekosistemas?

- Ar apsvarstyta akvakultūros atviroje jūroje galimybė, siekiant sumažinti pažeidžiamumą pakrančių klimato veiksnių poveikiui?
- Ar akvakultūros infrastruktūra suprojektuota arba atnaujinta taip, kad būtų atspari ekstremalioms oro sąlygoms?
- Ar egzistuoja politikos ir finansinės paramos mechanizmai, padedantys diegti tvarias sistemas?

Literatūra

- Barbier, E.B., Hacker, S.D., Kennedy, Koch, E.W., Stier, A.C., Silliman, B.R. (2011). The Value of Estuarine and Coastal Ecosystem Services. *Ecological Monographs*, 81(2), 169–193.
- Betsy, C. J., C, S., & Sampath Kumar, J. S. (2022). Cryopreservation and its application in aquaculture. In *Cryopreservation and Its Application in Aquaculture*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.99629>
- Bondad-Reantaso, M. G., et al. (2005). Disease and health management in Asian aquaculture. *Veterinary Parasitology*, 132(3–4), 249–272.
- Boyd, C. E., & McNevin, A. A. (2015). *Aquaculture, resource use, and the environment*. John Wiley & Sons.
- Boyd, C. E., D'Abramo, L. R., Glencross, B. D., Huyben, D. C., Juarez, L. M., Lockwood, G. S., ... & Valenti, W. C. (2020). Achieving sustainable aquaculture: Historical and current perspectives and future needs and challenges. *Journal of the World Aquaculture Society*, 51(3), 578–633
- Bujas, T., Koričan, M., Vukić, M., Soldo, V., Vladimir, N., & Fan, A. (2022). Review of energy consumption by the fish farming and processing industry in Croatia and the potential for zero-emissions aquaculture. *Energies*, 15(21), 8197.
- Cooley, S. R., et al. (2009). Ocean acidification's potential to alter global seafood supply. *Oceanography*, 22(4), 172–181.
- Cheung, W. W. L., Maire, E., Oyinlola, M. A., Robinson, J. P. W., Graham, N. A. J., Lam, V. W. Y., McNeil, M. A., & Hicks, C. C. (2023). Climate change exacerbates nutrient disparities from seafood. *Nature Climate Change*, 13, 1242–1249. <https://doi.org/10.1038/s41558-023-01822-1>
- Dalsgaard, T., & Krause-Jensen, D. (2006) Monitoring nutrient release from fish farms with macroalgal and phytoplankton bioassays. *Aquaculture*, 256, 302–310.
- DeNicola, E., Aburizaiza, O. S., Siddique, A., Khwaja, H., & Carpenter, D. O. (2015). Climate change and water scarcity: The case of Saudi Arabia. *Annals of Global Health*, 81(3), 342–353. <https://doi.org/10.1016/j.aogh.2015.08.005>
- Diaz, R. J., & Rosenberg, R. (2008). Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *Science*, 321(5891), 926–929.
- Durant, J. M., et al. (2007). "Trophic Match-Mismatch and Climate Change." *Ecology*.
- Fletcher, G. L., & Rise, M. L. (Eds.). (2012). *Aquaculture biotechnology*. Chichester: Wiley-Blackwell.
- Froehlich, H. E., Gentry, R. R., & Halpern, B. S. (2018). Global change in marine aquaculture production potential under climate change. *Nature Ecology & Evolution*, 2(11), 1745–1750.
- Guimbeau, A., Ji, X. J., Long, Z., & Menon, N. (2024). Ocean salinity, early-life health, and adaptation. *Journal of Environmental Economics and Management*, 125, 102954. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2024.102954>
- Handisyde, N. T., Ross, L. G., Badjeck, M. C., & Allison, E. H. (2006). The effects of climate change on world aquaculture: A global perspective. *Aquaculture and Fish Genetics Research Programme, Stirling Institute of Aquaculture. Final Technical Report, DFID, Stirling*, 151pp.
- Holmer, M. (2010). Environmental issues of fish farming in offshore waters: Perspectives, concerns, and research needs. *Aquaculture Environment Interactions*, 1(1), 57–70.
- Holmer, M., Duarte, C. M., & Marbà, N. (2007). Sediment biogeochemical changes associated with fish farms in coastal Mediterranean regions. *Environmental Pollution*, 118(2), 313–319.
- Houston, R. D., et al. (2018). "Selective breeding for disease resistance in aquaculture species: challenges and progress." *Fisheries Research*.
- Lucas, J. S., Southgate, P. C., & Tucker, C. S. (2019). *Aquaculture: Farming Aquatic Animals and Plants*. John Wiley & Sons.
- Martins, C. I., et al. (2010). New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. *Aquacultural Engineering*, 43(3), 83–93.
- Mensah, V., Chen, Y.-C., & Ohshima, K. I. (2025). Multidecadal decline in sea ice meltwater volume and implications for nutrient dynamics. *Progress in Oceanography*, 230, 103377. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2024.103377>
- Messeder, T. (2021). *Innovation opportunities in European Aquaculture*. KTN AgriFood and EIT Food. March 2021.
- Ma, M., & Hu, Q. (2024). Microalgae as feed sources and feed additives for sustainable aquaculture: prospects and challenges. *Reviews in aquaculture*, 16(2), 818–835. <https://doi.org/10.1111/raq.12869>
- MacLeod, M., Hasan, M. R., Robb, D. H. F. & Mamun-Ur-Rashid, M. (2019). Quantifying and mitigating greenhouse gas emissions from global aquaculture. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 626*. Rome, FAO.
- MacLeod, M. J., Hasan, M. R., Robb, D. H., & Mamun-Ur-Rashid, M. (2020). Quantifying greenhouse gas emissions from global aquaculture. *Scientific reports*, 10(1), 11679. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68231-8>
- Moussa, L. G., Mohan, M., Arachchige, P. S. P., Rathnasekara, H., Abdullah, M., & Abulibdeh, A. (2025). Impact of water availability on food security in GCC: Systematic literature review-based policy recommendations for a sustainable future. *Environmental Development*, 54, 101122. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2024.101122>
- Pereira, R., Yarish, C., & Critchley, A. T. (2024). Seaweed aquaculture for human foods in land-based and IMTA systems. In *Applications of seaweeds in food and nutrition* (pp. 77–99). Elsevier.

- Sankaran, G. B., & Mandal, A. (2024). Genetic improvements in aquaculture. *The Trout Journal of Atatürk University*, 2(1–2), 16–25. <https://doi.org/10.62425/tjau.1570599>
- Tompkins, E. M., et al. (2017). "Effects of Warming on Fish Breeding Patterns." *Global Change Biology*.
- Woo, P. T., & Iwama, G. K. (eds.). (2019). *Climate change and non-infectious fish disorders*. CABI.
- Wróbel, J., Gałczyńska, M., Tański, A., Korzelecka-Orkisz, A., & Formicki, K. (2023). The challenges of aquaculture in protecting the aquatic ecosystems in the context of climate changes. *Journal of Water and Land Development*, 57, 231–241.
- Wu, R. S. S. (1995). The environmental impact of marine fish culture: Towards a sustainable future. *Marine Pollution Bulletin*, 31(4–12), 159–166.
- Yang, Z., Yu, Y., Tay, Y. X., & Yue, G. H. (2021). Genome editing and its applications in genetic improvement in aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 00(1), 1–14. <https://doi.org/10.1111/raq.12591>
- Zhang, T., Liu, H., Lu, Y., Wang, Q., & Loh, Y. C. (2024). Impact of climate change on coastal ecosystem and outdoor activities: A comparative analysis among four largest coastline covering countries. *Environmental Research*, 250, 118405. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118405>
- Ziv-Douki, H. (2020). Combining strengths for greater impact. *Cargill aqua nutrition sustainability report 2020. Healthy seafood for future generations*. <https://www.cargill.com/doc/1432196768685/cargill-aqua-nutrition-sustainability-report-2020.pdf>

Pagrindinės rekomendacijos dėl klimato kaitai atsparios akvakultūros

Šiame skyriuje apibendrinamos svarbiausios visų temų rekomendacijos, padedančios suinteresuotosioms šalims pritaikyti akvakultūrą prie klimato kaitos:

Stebėti vandens kokybę.

- Naudoti realaus laiko stebėsenos sistemas temperatūrai, deguonies, druskingumo ir maistinių medžiagų pokyčiams nustatyti.

Mažinti atliekų ir taršos kieki.

- Riboti maistinių medžiagų nuotėkį, įdiegti veiksmingą nuotekų tvarkymą ir užkirsti kelią eutrofikacijai.

Saugoti vandens ekosistemas.

- Išsaugoti svarbias buveines (mangroves, pelkes) ir remti biologinės įvairovės apsaugą.

Naudoti tvarius pašarus.

- Įtraukti vabzdžių miltus, dumblius, šalutinius produktus ir funkcinius priedus, mažinančius aplinkos poveikį.

Didinti rūšių atsparumą.

- Taikyti atrankinį veisimą, genomines priemones ir kriokonservavimą, stiprinant rūšių gebėjimą prisitaikyti prie klimato pokyčių.

Užtikrinti etišką biotechnologijos taikymą.

- Griežtai reguliuoti CRISPR-Cas9 naudojimą, teikiant pirmenybę gyvūnų gerovei ir biologinei saugai.

Diegti pažangias akvakultūros sistemas.

- Plėtoti recirkuliacines akvakultūros sistemas (RAS), integruotą daugiapakopę akvakultūrą (IDAS) ir akvakultūrą atviroje jūroje.

Kurti atsparią infrastruktūrą.

- Investuoti į audroms atsparius narvus, tvenkinius ir patalpas, pritaikytas klimato poveikio rizikai.

Skatinti bendradarbiavimą ir politinę paramą.

- Užtikrinti finansines paskatas, sertifikavimo sistemas bei skatinti aktyvų suinteresuotųjų šalių bendradarbiavimą.