



5 modulis. Ligos akvakultūrojē klimato kaitos kontekste ir apsaugos priemonēs



Ižanga

Diskusija:

- Kiek žuvininkystės produktų suvartojama jūsų šalyje, Europoje ir pasaulyje (kg per metus)?
- Kokia dalis visos akvakultūros produkcijos prarandama dėl ligų?
- Kokios priemonės gali būti taikomos siekiant sumažinti nuostolius, kuriuos akvakultūros ūkiuose sukelia ligos?



Ižanga. Faktai

- Apskaičiuota, kad norint išlaikyti dabartinę jūros gėrybių suvartojimą, iki 2030 m. akvakultūra turi pagaminti per 80 mln. tonų produkcijos. Tai reiškia, kad per artimiausius 15 metų reikės papildomai užauginti apie 30 mln. tonų žuvininkystės produkcijos.
- Greičiausiai tam trūksta pakankamai sausumos teritorijų arba tinkamų jūrų plotų be rimtų ekologinių sutrikimų keliuose ekosistemų.
- Vis dėlto apie 40 % visos akvakultūros produkcijos prarandama dėl ligų.
- Tai reiškia, kad net paprasčiausiais ligų poveikio mažinimo ar pašalinimo veiksmais gali būti pasiekta beveik visa reikalinga jūros gėrybių apimtis, nereikalaujant naujų teritorijų žemės ar vandenių naudojimui.

Šaltinis: Lucas et al. (2019)



Įvadas

- Pasaulinis atšilimas daro didelį poveikį vandens organizmų sveikatai ir ligų valdymui akvakultūros sistemose. Kylančios temperatūros, pakitusi vandens chemija ir augantis streso lygis sukuria sudėtingas sąlygas, **kurioms įprasti ligų valdymo metodai tampa nepakankami.**
- Dėstytojams, studentams ir kitiems suinteresuotiesiems asmenims DiBluCa projektas gali padėti gilinti žinias apie naujas akvakultūros ugdymo kryptis, susijusias su prisitaikymu prie pasaulinio atšilimo, vandens pėdsako mažinimu, veisimu, biotechnologijomis, auginimo ir šėrimo praktikomis bei ligų kontrole.
- DiBluCa projektas yra skirtas plėtoti naujus požiūrius į kovą su pasauliniu atšilimu bei sudaryti sąlygas plačiau informuoti visuomenę Europoje apie kintančias akvakultūros sąlygas, saugų ir sveiką akvakultūros produktų vartojimą.



Ivadas



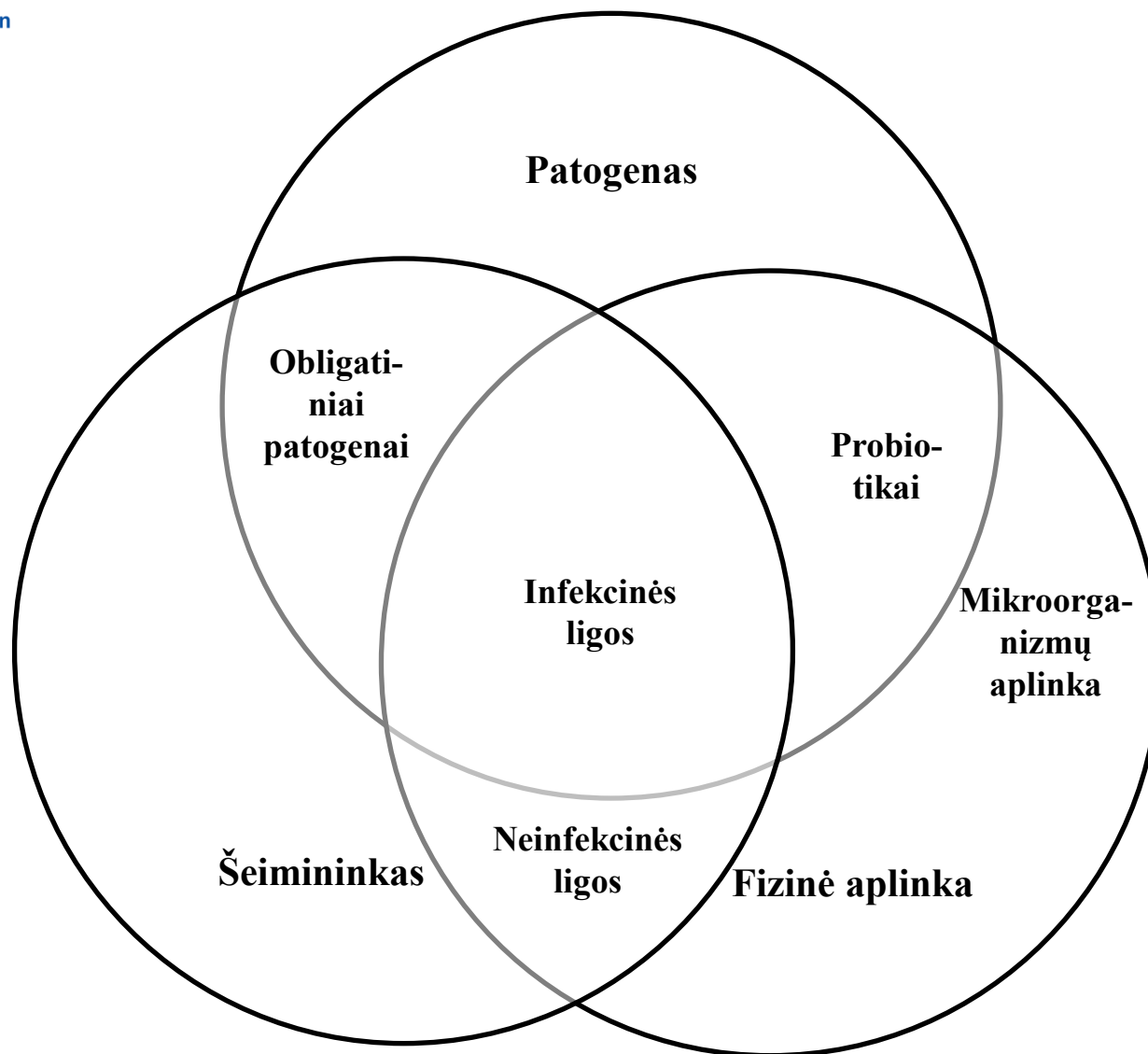
- Pasaulinis atšilimas kelia rimtų iššūkių akvakultūrai, nes keičia ligų, paveikiančių vandens organizmus, paplitimą ir sunkumą.
- **Šio modulio tikslas** – padėti studentams geriau suprasti šiuos iššūkius ir suteikti jiems gebėjimų kurti bei taikyti apsaugos priemones.
- Studentai nagrinės klimato kaitos, ligų dinamikos ir biotechnologinių apsaugos naujovių ryšius akvakultūroje, ruošiantis tolimesnėms studijoms ar karjerai aplinkos mokslų ir akvakultūros srityje.



1 dalis. Dažniausios ligos ir jų poveikis vandens organizmams



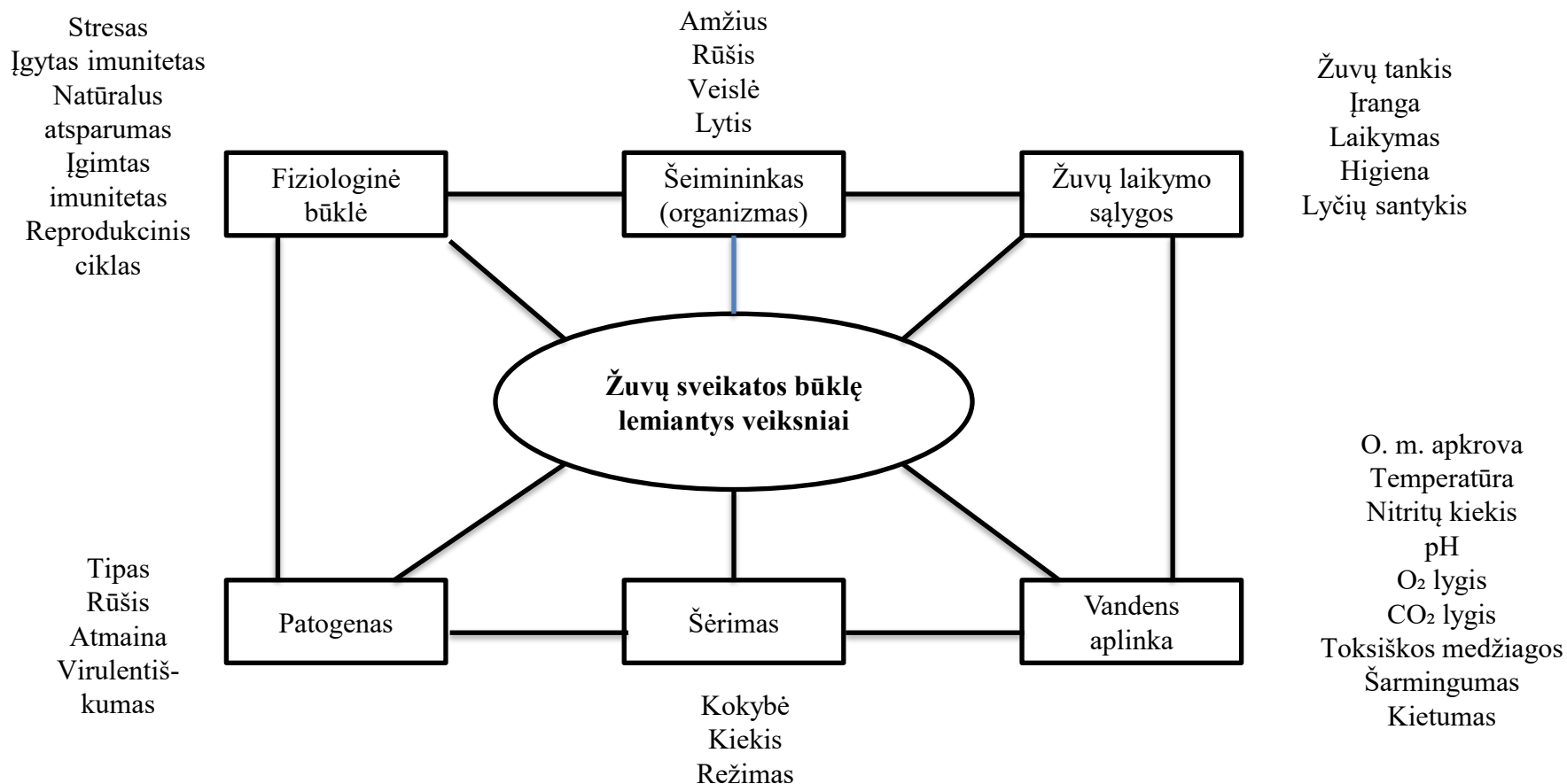
Liga – tai organizmo reakcija į nepalankius išorinės aplinkos veiksnius. Dėl šių veiksnių sutrinka normali organizmo veikla ir sumažėja prisitaikymo galimybės. Tuo pačiu metu aktyvuojamos organizmo gynybinės funkcijos. **Ligos** pasižymi tam tikrais klinikiniais reiškiniiais, simptomais, atitinkamais organizmo audinių struktūros pažeidimais ir jų funkcijų sutrikimais.



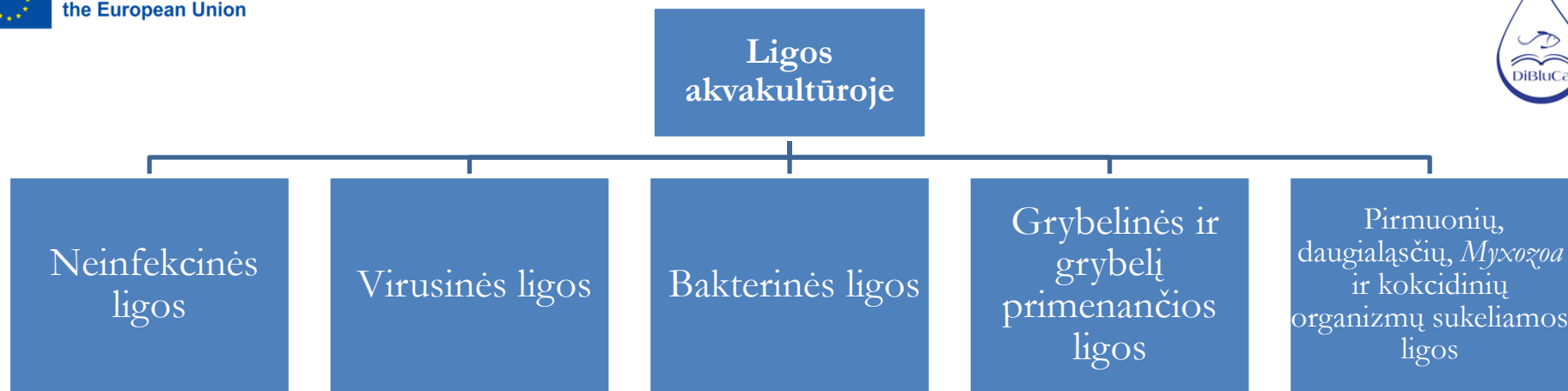
Modifikuotas Sneizko trijų žiedų modelis, vaizduojantis šeimininko, patogeno ir aplinkos sąveiką (Lucas et al., 2019)



Veiksniai, turintys įtakos žuvų sveikatos būklei



Šaltinis: Jeney, 2017.



Neinfekcinės ligos yra susijusios su vandens kokybe

(mažas ištirpusio deguonies kiekis, dujų persotinimas, barotrauma, temperatūrinis stresas, pH stresas, amoniako, nitritų, nitratų, chloro, sunkiųjų metalų, vandenilio sulfido, pesticidų ir kt. toksiškumas)

ar kitomis priežastimis

(traumos, fizinio krūvio miopatija, šoninės linijos depigmentacija, skydliaukės hiperplazija, mukometra ir kiaušidžių cistos, ikrų sulaikymas arba surišimas, distocija, katarakta, lipidų keratopatija, mikroelementų trūkumas, virškinamojo trakto svetimkūniai ir neoplazija).

Šaltinis: Klinikinis žuvų medicinos vadovas, 2021 m.



Virusinės ligos

- Dauguma žinomų žuvų virusinių patogenų priklauso trimis šeimoms:
 - *Herpesviridae, Rhabdoviridae ir Iridoviridae.*
- Šios žuvų virusinės ligos yra pavojingiausios ir apie jas privaloma pranešti Pasaulio gyvūnų sveikatos organizacijai (OIE), regioninėms ir nacionalinėms organizacijoms, atsakingoms už gyvūnų ligas:
 - Koi herpeso virusas,
 - virusinė hemoraginė septicemija,
 - infekcinė kraujodaros nekrozė,
 - pavasarinė karpių viremija,
 - epizootinė hematopoetinė nekrozė,
 - raudonpelekių ešerių iridovirusas,
 - infekcinė lašišų anemija,
 - lašišinių žuvų alfa virusas.

Šaltinis ir daugiau informacijos: Klinikinis žuvų medicinos vadovas,



Bakterinės ligos

- Daugumą bakterinių žuvų ligų sukelia oportunistinės gramneigiamos lazdelių formos bakterijos.
- Taip pat aprašytos reikšmingos gramteigiamos bakterinės infekcijos, tokios kaip *Streptococcus* ir *Renibacterium spp.*; *Mycobacterium spp.* irgi gali būti nudažomos Gramo būdu.
- Sergamumas ir mirtingumas dažnai yra antriniai ir susiję su stresoriais.
- Dažniausiai pasitaiko sisteminės infekcijos, nors gali pasireikšti ir lokalūs pažeidimai. Klinikiniai požymiai dažnai yra nespecifiniai, todėl galutinei diagnozei būtini papildomi laboratoriniai tyrimai.
- Antibiotikų skyrimas turėtų būti grindžiamas bakteriologinio pasėlio ir jautrumo

Šaltinis ir daugiau informacijos: Klinikinis žuvų medicinos vadovas,



Grybelinės ir į jas panašios ligos

Žuvis yra jautrios įvairioms grybelinėms ir jas primenančioms ligoms. Dažniausi patogenai – **oomicetai** *Exophiala spp.*, *Fusarium spp.*, mikrosporidijos ir *Mesomycetozoea*.

- **Oomycota (saprolegniozė)**

- dar vadinami oomicetais arba vandens pelėsiais, yra grybelį primenantys organizmai, galintys pažeisti žuvų odą ar žiaunas, taip pat ikrus ar bet kokią irti pradėjusią organinę medžiagą;
- dažni oportunistiniai gėlavandenių ir sūrokame vandenyje gyvenančių žuvų patogenai, ypač svarbūs akvakultūroje auginamoms šamų rūšims;
- infekcija dažniausiai išsivysto antriniu būdu po traumos arba esant temperatūriniam stresui;
- tipinius oomicetus galima gydyti medicininėmis priemonėmis ir taikant tinkamą ūkininkavimo praktiką, tačiau ligos atsinaujinimas yra dažnas reiškinys;
- netipiniai oomicetai pasižymi didesniu invazyvumu ir sukelia sunkų lėtinį uždegimą;
- *Aphanomyces invadans* yra netipinis oomicetas, tai netipinis oomicetas, galintis sukelti sezonines epizootijas tarp laukinių ir akvakultūroje auginamų gėlavandenių bei sūrokų vandens žuvų.

Šaltinis ir daugiau informacijos: Klinikinis žuvų medicinos vadovas,



Pirmuonių, daugialąsčių, Myxozoa ir kokcidinių sukeltos ligos

- *Ichthyophthirius multifiliis* tai blakstienuotasis pirmuonis ektoparazitas, infekuojantis gėlavandenių spindeliakiaulių žuvų odą ir žiaunas. Ši liga dažnai vadinama gėlavandeniu „ichu“ arba baltųjų dėmių liga.
- *Metazoa* yra daugialąsčiai eukariotiniai organizmai.
- *Monogenea* – tai plokščiosios kirmėlės (plaukagalviai), dažni žuvų ektoparazitai.
 - Kapsalidai – tai stambios, ovalo formos, kiaušinius dedančios *Monogenea*, infekuojančios jūrų žuvų odą, akis ir žiaunas.
- Dėlės – tai kraują siurbiantys daugialąsčiai parazitai, dažnai matomi ant odos ir pelekų.
- *Myxozoa* – dažni laukinėje gamtoje sugautų žuvų ir tvenkiniuose auginamų žuvų parazitai.
- Dauguma šių parazitų pasižymi netiesioginiu gyvavimo ciklu, kuriame dažniausiai dalyvauja mažašerės, daugiašerės kirmėlės ir samangyviai.

Šaltinis ir daugiau informacijos: Klinikinis žuvų medicinos vadovas,



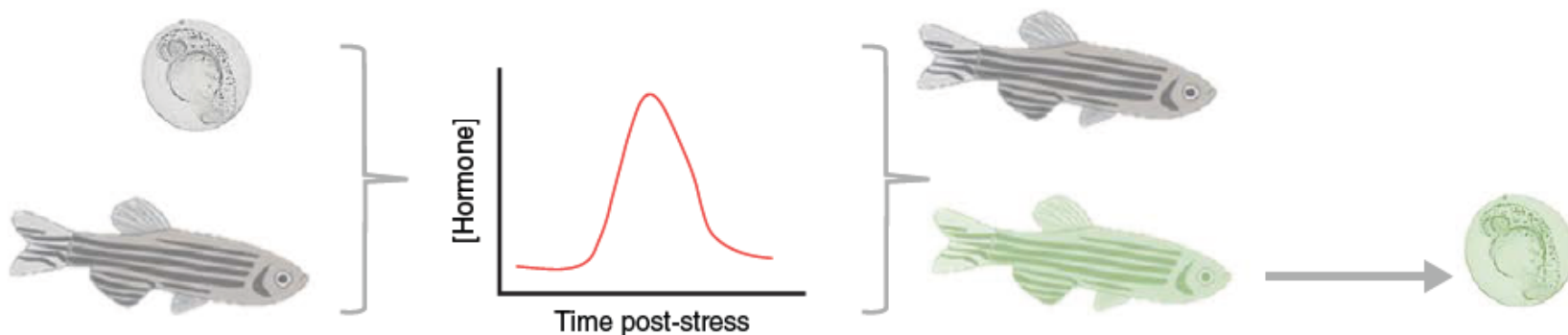
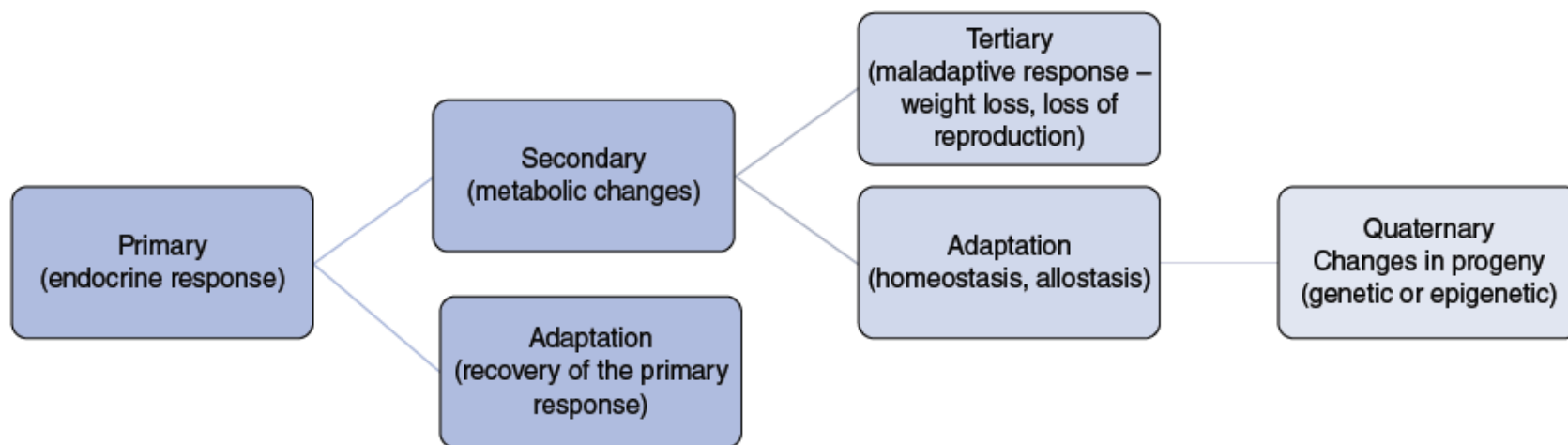
Infekcinių žuvų ligų plitimo būdai

- Ligų plitimas per užsikrėtusias žuvis (transportavimo metu, infekcijos perdavimas per paukščius ir pan.);
 - Ligų plitimas žuvų migracijos metu;
 - Ligų plitimas per vandenį (tekantis vanduo gali tiesiog mechanškai pernešti ligų sukėlėjus);
 - Ligų plitimas per dirvožemį (pvz., su tvenkinio dumblu, naudojamu tręšimui);
 - Ligų plitimas per užterštus pašarus;
 - Ligų plitimas per užkrėstą inventorių ir žvejybos įrankius.
- Šiuo atveju pirmiausia suserga žuvis, kurių oda yra pažeista.



Aplinkos streso poveikis žuvų streso reakcijai

ENVIRONMENTAL STRESS
(temperature, oxygen, light)



Šaltinis: Woo, P. T., & Iwama, G. K. (Eds.). (2019). Climate change and non-infectious fish disorders. CABI
The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247



Klimato kaitos veiksniai, prisidedantys prie ligų keliamų iššūkių

- **Intensyvinimas.** Vienos rūšies plataus masto auginimas tam tikroje gamybos aplinkoje reikalauja:
 1. greitos reakcijos į pašaro neėdančius gyvūnus, sergamumo ir mirtingumo požymius;
 2. gebėjimo izoliuoti paveiktus gyvūnus nuo sveikų populiacijų ir ūkių;
 3. gebėjimo ištuštinti (evakuoti) paveiktas vietas, kai gydymas nėra įmanomas.
- Vis dažniau intensyvią akvakultūrą veikia ekstremalūs oro reiškiniai, kurie kelia stresą auginamiems gyvūnams ir trikdo valdymo mechanizmus, pvz., trukdo išvengti gyvūnų pabėgimo (laikymo sistemų sugriovimas) bei sudaro kliūtis izoliuoti sergančius ir stresuojančius gyvūnus nuo sveikų.

Šaltinis: *Impacts of climate change on fisheries and aquaculture: synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options*, 2018.



Klimato kaitos veiksniai, prisidedantys prie ligų keliamų iššūkių

- **Rūšių ir genetinė įvairovė.** Per pastaruosius 30-40 metų akvakultūros sektorius plėtojosi didindamas auginamų rūšių įvairovę (pasirenkant rūšis, kurios geriausiai pasiteisina auginant kontroliuojamomis sąlygomis) bei vystydamas genetines veisles, sukurtas eksperimentinėmis sąlygomis komercinei gamybai.
- **Abi atrankos metodikos apima:**
 - toleranciją ligoms (užsikrėtimas be reikšmingo mirtingumo),
 - atsparumą (gebėjimą išvengti užsikrėtimo).
- Tačiau rūšių ir veislių atrankos pranašumai priklauso nuo pastovių aplinkos sąlygų gamyboje, t. y. nuo nekintančių auginimo parametrų.
 - Kai šios sąlygos tampa „ekstremalios“ (pvz., temperatūros, druskingumo, drumstumo svyravimai), atrinktos rūšys ar veislės gali būti labiau pažeidžiamos ir patirti didesnių nuostolių nei mažiau selekcionuoti, genetiškai įvairesni išteklių, ypač tie, kurie yra kilę iš vietinės aplinkos.

Šaltinis: *Impacts of climate change on fisheries and aquaculture: synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options*, 2018.



Klimato kaitos veiksniai, prisidedantys prie ligų keliamų iššūkių

- **Plitimas už natūralaus rūšių geografinio arealo ribų.** Vietinės rūšys, kurios pasižymi gerais produktyvumo rodikliais akvakultūros ūkiuose, dažnai pradedamos auginti ūkiuose, esančiuose arčiau geografinės ribos arba net už natūraliai paplitusios teritorijos ribų.
- Tokie gyvūnai gali atlaikyti nedidelius sezoninius temperatūros ar druskingumo svyravimus, tačiau susiduria su išgyvenimo sunkumais, kai ekstremalios sąlygos paveikia įprastą jų dauginimosi ar augimo ciklą.
- Kaip ir intensyvaus ūkininkavimo ar rūšių ir genetinės įvairovės atveju, tokiomis aplinkos sąlygų pokyčių situacijomis gyvūnų atsparumas oportunistinėms ar pagrindinėms patogenų infekcijoms gali reikšmingai sumažėti.

Šaltinis: *Impacts of climate change on fisheries and aquaculture: synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options*, 2018.



DISKUSIJA:

Pasaulinio atšilimo įtaka akvakultūros ligų paplitimui ir sunkumui

Koks yra minėtų klausimų, aptartų modulyje, poveikis aplinkai, klimatui ir socialinei ekonomikai?



Su modulu susijusios konkrečios šalies/Europos problemos/politika/infrastruktūra

- Pirmiausia užduokite klausimą klasei, kad mokiniai turėtų galimybę parodyti savo žinias.
- Kodėl Lietuvoje, ypač pavasarį, žūsta žuvys žuvininkystės tvenkiniuose?
- TADA įvardykite savo šaliai būdingas problemas/politiką/infrastruktūrą ir pateikite informaciją apie tai keliuose skaidriuose
- Lietuvos žuvininkystės tvenkiniuose dominuoja karpiai: karpiai yra invazinė žuvis, jautri ligoms;
- Ligos plinta kartu su karpių mailiumi, kuris perkeliamas iš vienos žuvininkystės ūkio į kitą;
- Trūksta išsilavinusių darbuotojų;
- Ribotas prevencinių priemonių ir gydymo būdų sąrašas.



2 dalis. Apsaugos priemonės ir biotechnologijos taikymas ligų poveikiui mažinti



Žuvų sveikatos valdymas

- Žuvų sveikatos valdymas apibūdina valdymo praktiką, skirtą žuvų ligų prevencijai.
- Kai žuvis suserga, ją išgelbėti sunku. Sėkmingas žuvų sveikatos valdymas prasideda nuo ligų prevencijos, o ne gydymo.
- Gera vandens kokybės vadyba, mityba ir sanitarija padeda išvengti žuvų ligų. Be šio pagrindo neįmanoma užkirsti kelio oportunistinių ligų protrūkiams.
- Žuvis nuolat maudosi potencialiai pavojingose bakterijose, grybuose ir parazituose. Prasta vandens kokybė, prasta mityba arba imuninės sistemos slopinimas, paprastai susijęs su stresinėmis sąlygomis, leidžia šiems potencialiai pavojingiems mikroorganizmams sukelti ligas.

Šaltinis: (Parker, R. (2011).



Ligos kontrolės filosofija

- Ligos kontrolė akvakultūroje dažnai grindžiama prielaida, kad optimali būklė yra patogenų nebuvimas.
- Tačiau galimybė pradėti akvakultūros veiklą visiškai eliminavus visus potencialius patogenus yra itin maža. Todėl kyla klausimas, ar ekonomiškai tikslinga siekti visiškai patogenų neturinčios aplinkos. Šis vadinamasis „visiško patogenų pašalinimo“ metodas atspindi tradicinį, **į patogenus orientuotą ligų kontrolės požiūrį.**

Šaltinis: Lucas et al. (2019)



Vandens gyvūnų ligų rizikos, darančios poveikį maisto saugai, mažinimas ir valdymas

Vandens gyvūnų ligų rizikų valdymas gali būti įgyvendinamas keliais lygmenimis, pasitelkiant skirtingas strategijas:

1. Prevencija – siekiama sumažinti rizikos įvykio tikimybę.
2. Rizikos mažinimas – siekiama sumažinti galimą rizikos įvykio poveikį, ypač kai kitomis priemonėmis nepavyko jo išvengti.
3. Prisitaikymas – taikomas jau įvykus rizikos įvykiui, siekiant sumažinti jo padarinius.

Šaltiniai: : (Holzmann, 2001), Impacts of climate change on fisheries and aquaculture: synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options, 2018.



Bendrieji ligų valdymo metodai

Pagrindinis veiksnys, lemiantis patogenų patekimą ir plitimą akvakultūros ūkiuose – gyvūnų judėjimas. Šis procesas, galintis vykti bet koku geografiniu mastu, apima:

- gyvų reprodukcinių individų (veislinių žuvų) pervežimą;
- gyvo mailiaus įveisimui transportavimą;
- alternatyvių gyvų šeimininkų pervežimą;
- užšaldytų skerdenų vartojimui transportavimą;
- pašarų akvakultūrai judėjimą;
- jaukų naudojimą.

Šaltinis: Lucas et al. (2019)

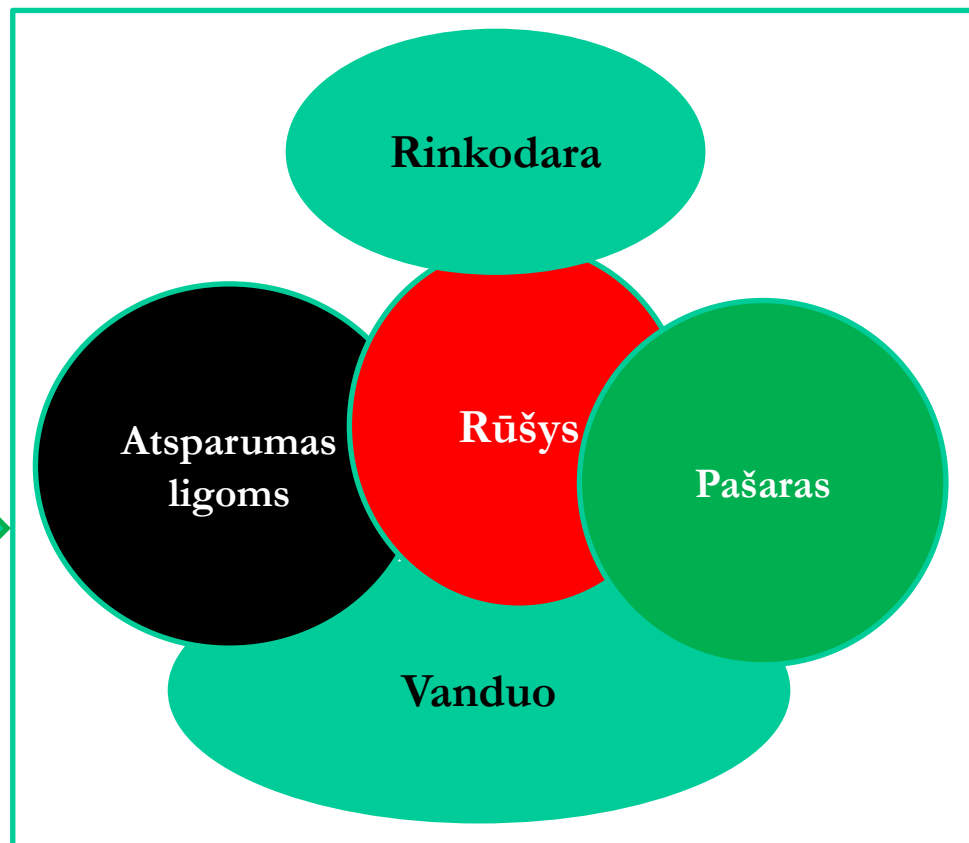


Biotechnologijos ir genetinis tobulinimas akvakultūroje

- Biotechnologijos, tokios kaip lyties kontrolė, poliploidizacija, ginogenezė ir androgenezė, svariai prisidėjo prie akvakultūros produktyvumo didinimo. Genetinis tobulinimas per selekciją buvo vienas pagrindinių veiksnių pasaulinės akvakultūros plėtros sėkmei.
- Molekulinių technologijų integravimas į esamas veisimo programas leido spartinti genetinį tam tikrų rūšių tobulinimą. Žymenimis pagrįsta atranka (MAS) jau taikoma, siekiant didinti atsparumą ligoms (pavyzdžiui, lašišų atsparumą IPN).
- Genominė selekcija (GS) – tai nauja molekulinės atrankos kryptis, kurioje daugybė genetinių žymenų naudojami kaip fenotipinių savybių prognozės priemonė, leidžianti tiksliau įvertinti veisimo vertę.
- Genomo redagavimas pasitelkiant CRISPR/Cas technologiją leidžia žymiai greičiau pasiekti genetinio tobulinimo rezultatų, ypač kai žinomi tiksliniai genai.

Šaltinis: Yue & Shen, 2021.

1. Reprodukcinio ciklo uždarymas
2. Rūšių įvairinimas
3. Gyvi ir kombinuoti pašarai
4. Atrankinis veisimas
5. Ligos valdymas
6. Vandens valdymas
7. Molekulinė tėvystė
8. Poliploidijos sukūrimas
9. Lyties kontrolė
10. Žymenimis paremta atranka



A. Akvakultūroje taikomos technologijos

B. Svarbūs akvakultūros komponentai

**Akvakultūroje taikomos technologijos, lemiančios spartų
akvakultūros produkcijos augimą**

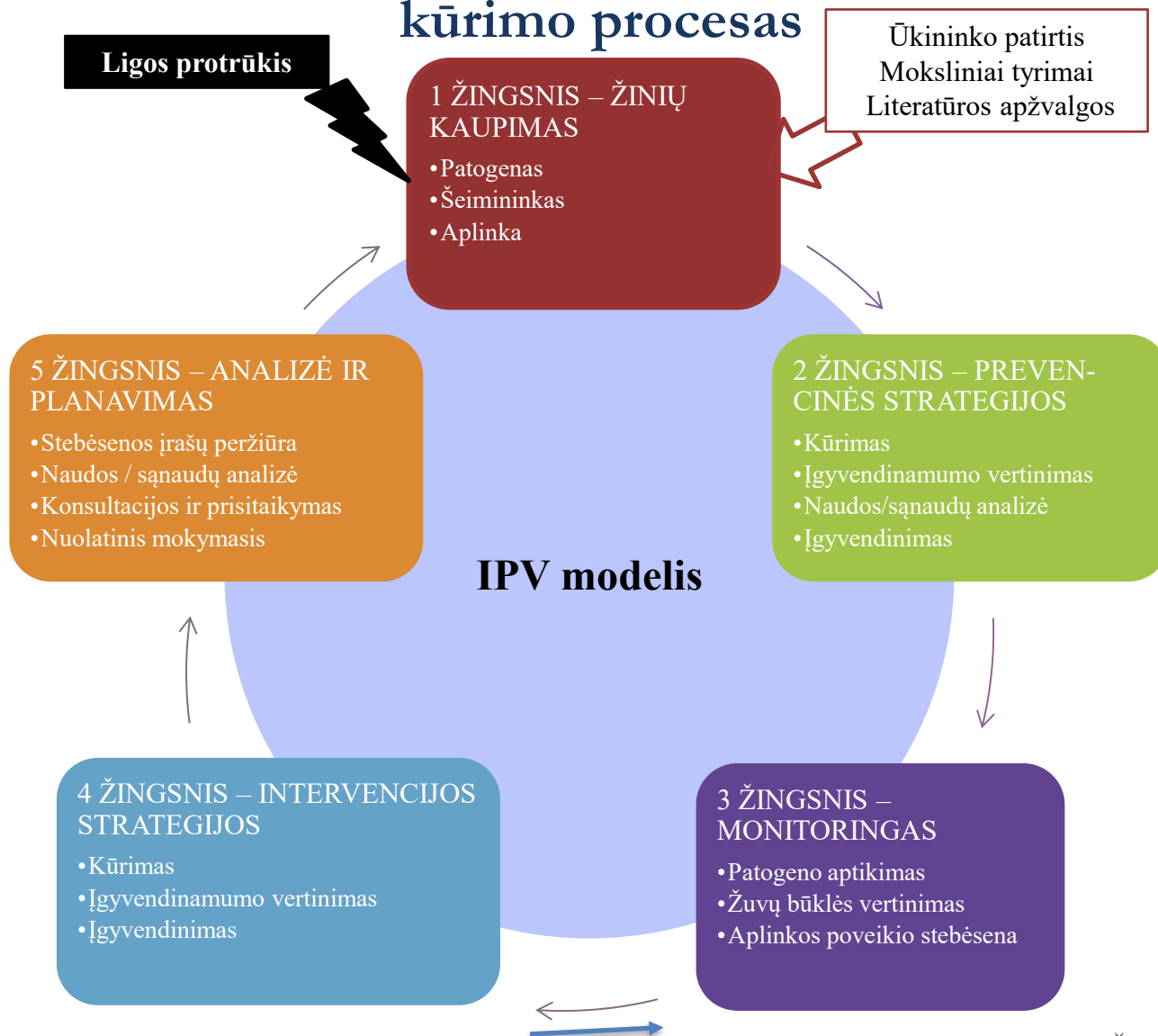
Šaltinis: Yue & Shen, 2021.

The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247



Žuvų ligų integruoto patogenų valdymo (IPM) strategijų kūrimo procesas





Pasaulinio atšilimo įtaka akvakultūros vietos parinkimui

- Priklausomai nuo auginimo sistemos tipo ir auginamos rūšies, tinkama vietos parinktis gali reikšmingai sumažinti ligų perdavimo riziką.
- Tinkamos vietos užtikrina palankias aplinkos sąlygas (vandens temperatūrą, druskingumą ir pan.), kurios mažina fiziologinį stresą, todėl sumažėja infekcinių ligų pasireiškimo ir išplitimo tikimybė ūkyje.
- Taip pat sumažėja tikimybė, kad gamtiniai reiškiniai (pvz., potvyniai, audros ar didelės bangos) sukels biosaugos pažeidimus, leidžiančius patogenams patekti į aplinką arba užkrėstoms žuvims pabėgti.
- Atsižvelgiant į pasaulinį atšilimą, gali tekti stiprinti esamą infrastruktūrą, kelti ūkius virš potvynių rizikos lygio, diegti lanksčias ir atsparias sistemas bei kurti ir palaikyti avarinių situacijų valdymo planus, skirtus infrastruktūros pažeidimų, vandens kokybės problemų ir ligų protrūkių, sukeltų ekstremalių oro sąlygų, suvaldymui.

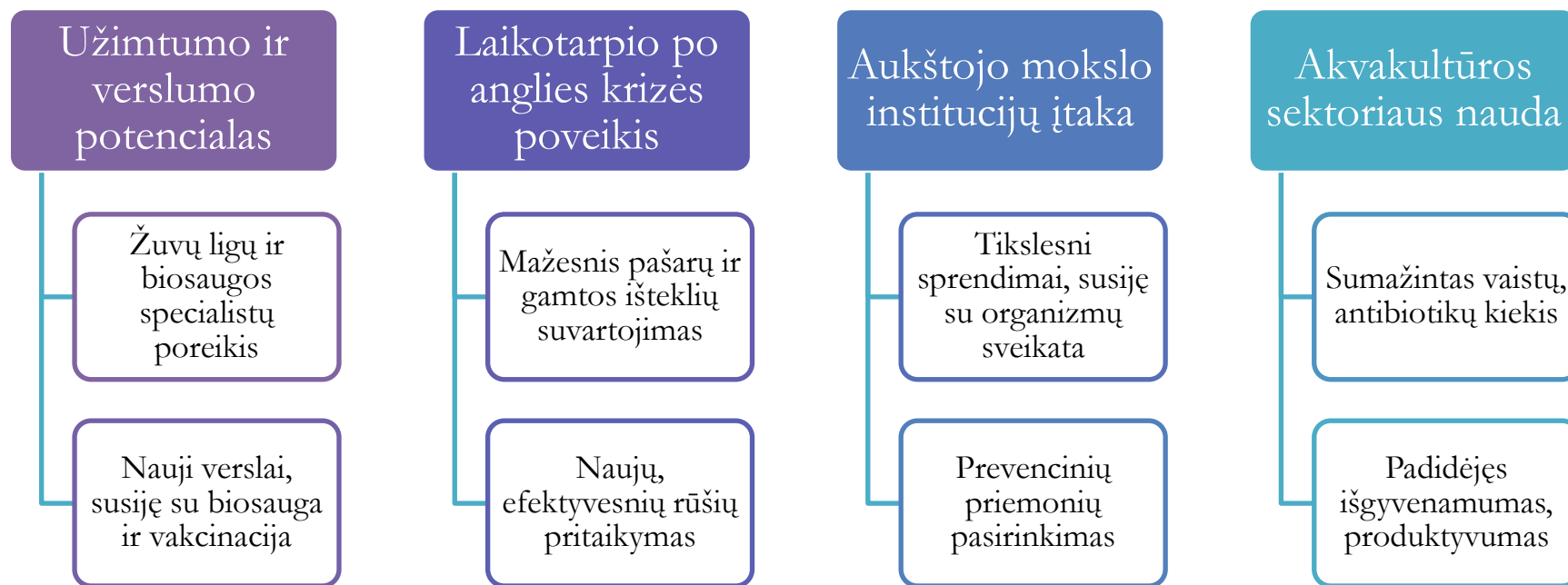


Pateikite užduočių lapus su klausimais, į kuriuos reikia atsakyti.

ATVEJO ANALIZĖ



Kaip šio modulio turinys gali skatinti:





Siūlomos veiklos idėjos:

1. Grupiniai pristatymai apie žuvų ligų atvejų analizes
2. Laboratoriniai eksperimentai taikant biotechnologinius metodus
3. Akvakultūros ūkių biosaugos priemonių vertinimas
4. Literatūros analizė ir diskusijos apie biotechnologines naujoves

KRITINIO MĄSTYMO UŽDUOTIS



Prognozuojamas pasaulinio atšilimo poveikis ligoms akvakultūroje ir apsaugos strategijos

3 DALIS



Ateities tyrimai ir plėtra

- Viena iš svarbiausių šiuolaikinių tendencijų yra spartėjanti technologinė pažanga, ypač biotechnologijų, nanotechnologijų bei informacinių ir ryšių technologijų srityse.
- „Daiktų interneto“ plėtra bus grindžiama jutiklių, automatizacijos, autonominių sistemų, dronų ir povandeninių įrenginių diegimu.
- Skaitmeninės ir robotizuotos technologijos vis dažniau papildys arba pakeis žmogiškąjį darbą įvairiose srityse.
- Pagrindinės inovacijų kryptys apima pašarų sudėtį, genetinį tobulinimą, ligų prevenciją ir kontrolę, veislinės medžiagos gamybą bei auginimo sistemų optimizavimą.
- Siekiant kurti naujas technologijas, atsparias ligoms žuvų veisles ir taikyti prisitaikančias valdymo priemones, būtinas glaudus bendradarbiavimas su mokslo ir tyrimų institucijomis. Tokios priemonės padės sušvelninti pasaulinio atšilimo padarinius ir užtikrinti veiksmingą ligų kontrolę akvakultūroje.



Veiklos idėjos:

- Suraskite vaizdo įrašų, kurie paprastai paaiškina, kaip gali atrodyti „pasaulinio atšilimo poveikis akvakultūros ligoms ir apsaugos priemonėms“ artimiausioje ateityje.
- Grupėse sukurkite visuomenės modelį, paremtą „pasaulinio atšilimo poveikio akvakultūros ligoms ir apsaugos priemonėms“ koncepcija.
 1. Grupinis projektas: parengti išsamų akvakultūros sveikatos valdymo planą.
 2. Debatai: politikos priemonės tvarioms praktikoms remti.

VAIDMENŲ ŽAIDIMAS/TYRIMO VEIKLA



Literatūra

Barange, M., Bahri, T., Beveridge, M.C.M., Cochrane, K.L., Funge-Smith, S. & Poulain, F., eds. 2018.

Fish viruses and bacteria: pathobiology and protection. (2017). In CABI eBooks.
<https://doi.org/10.1079/9781780647784.0000>

Impacts of climate change on fisheries and aquaculture: synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 627. Rome, FAO. 628 pp.

Jeney, G. (2017). Fish diseases: Prevention and Control Strategies. Academic Press.
Lal, J., Vaishnav, A., Singh, S. K., Meena, D. K., Biswas, P., Mehta, N. K., & Lucas, J. S., Southgate, P. C., & Tucker, C. S. (2019). Aquaculture: Farming Aquatic Animals and Plants. John Wiley & Sons.

Noga, E. J. (2010). Fish disease: diagnosis and treatment. John Wiley & Sons.

Parker, R. (2011). Aquaculture Science. Delmar

Timmons, M. B., & Center, N. R. A. (2013). Recirculating Aquaculture.

Tucker, C. S., & Hargreaves, J. A. (Eds.). (2009). Environmental best management practices for aquaculture. John Wiley & Sons.

Woo, P. T., & Iwama, G. K. (Eds.). (2019). Climate change and non-infectious fish disorders. CABI.