

VYTAUTO DIDŽIOJO UNIVERSITETAS

TVIRTINU:

l.e.p. VDU Žemės ūkio akademijos kanclerė

Aušra Blinstrubienė

2025 m. lapkričio mėn. 10 d.

ŽEMĖS, MAISTO ŪKIO IR ŽUVININKYSTĖS
MOKSLINIŲ TYRIMŲ IR EKSPERIMENTINĖS PLĖTROS 2023–2027
METŲ PROGRAMA

**Tvarų vandens naudojimą gerinančių, aplinkos taršą mažinančių
priemonių ir technologinių inovacijų,
tinkamų įdiegti uždaroje apytakinėse žuvų auginimo sistemose
Lietuvos klimato sąlygomis, tyrimas**

2025 M. GALUTINĖ ATASKAITA

Tyrimo vadovė

Gražina Žibienė

Kaunas, Akademija

2025

Santrumpos

As – arsenas (mg/kg)

BDS – biocheminis deguonies suvartojimas

BSM – bendrosios skendinčios medžiagos (g/paraą, kg/paraą)

ChDS – cheminis deguonies suvartojimas

Cd – kadmis (mg/kg)

Cr – chromas (mg/kg)

Cu - varis (mg/kg)

Hg – gyvsidabris (mg/kg)

KD – kietosios dalelės (%)

N_B – bendrasis azotas (mg/l)

Ni – nikelis (mg/kg)

Mn – manganas (mg/kg)

OM – organinės medžiagos (g)

P_B – bendrasis fosforas (% nuo KD)

Pb – švinas (mg/kg)

PKK – pašarų konversijos koeficientas

TSS – bendras skendinčių medžiagų kiekis

SM – sausa masė (g, kg)

UAS – uždaros akvakultūros (apytakinės) sistemos (žuvų auginimo)

Zn – cinkas (mg/kg)

ŽAD – žuvų auginimo dumblas

TURINYS

1.	ĮVADAS.....	6
2.	TYRIMŲ OBJEKTAI IR METODAI.....	8
2.1.	Tyrimų objektai.....	8
2.2.	Dumblo mėginių paėmimas	8
2.3.	Dumblo mėginių tyrimų sudėtis ir fizikinių-cheminių rodiklių vertinimo metodika	9
3.	MTEP PROJEKTO REZULTATAI, JŲ APTARIMAS IR REKOMENDACIJOS ...	10
3.1.	Duomenys, kaip nuo sunaudotos pašarų sudėties (skirtingo baltymų ir riebalų kiekio) UAS dumble kinta užterštumo rodikliai (BDS ₇ , bendro azoto, bendro fosforo, sunkiųjų metalų (Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Hg) koncentracijos.....	10
3.1.1	Dumblo susidarymas akvakultūroje ir šio dumblo charakteristikos	10
3.1.2.	Pašarų sudėties ir UAS dumblo užterštumo rodiklių koreliacija	14
3.1.3.	Atskirų UAS dumblo užterštumo rodiklių priklausomybė nuo pašarų sudėties	14
	a) Biocheminis deguonies suvartojimas (BDS₇).....	14
	b) Bendras azoto kiekis (N_b)	14
	c) Bendras fosforo kiekis (P_b)	15
	d) Sunkieji metalai (Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Hg)	15
3.4	lent. Sunkiųjų metalų koncentracijų ribos UAS dumble (parengta pagal įvairią literatūrą, pateiktą literatūros sąrašė).....	17
3.5	lentelė. Pašarų sudėtis ir dumblo kokybės parametrai (BDS, N _b , P _b , Cu, Zn, Cd)	18
3.6	lentelė. Dumblo, susidarancio UAS, kuriose auginami upėtakai, kokybės apžvalgos santrauka (parengta pagal įvairius šaltinius)	19
3.6	lentelė. Pašaruose esančių baltymų ir (arba) riebalų įtaka dumblo kokybės rodikliams BDS ₇ , N _b , P _b ir sunkiesiems metalams.....	20
3.1.4.	Vaivorykštinių upėtakių ir afrikinių šamų UAS susidarancio dumblo sudėties palyginimas	21
3.7	lentelė. Dumblo kokybės rodikliai (vaivorykštinių upėtakių ir afrikinių šamų UAS).21	
3.2.	UAS susidarancio dumblo panaudojimo reglamentavimas ES ir Lietuvoje.....	23
3.3.	Lietuvos akvakultūros sistemose susidarancio dumblo tvarkymo praktika.....	28
3.4.	Sunkiųjų metalų tyrimų rezultatai Lietuvos akvakultūros ūkiuose susidariusiame dumble	33

3.5.	Bendrojo azoto, bendrojo fosforo, bendrojo kalio bei organinės medžiagos tyrimų rezultatai Lietuvos akvakultūros ūkiuose susidariusiame dumble	36
3.6.	Lietuvos UAS naudojami pašarai, jų kiekiai, sudėtis, iš pašarų į dumblą patenkančių N ir P procentinės dalys	38
3.7.	Duomenys, kaip diegiamos tvarų vandens naudojimą gerinančios, aplinkos taršą mažinančios priemonės ir technologinės inovacijos UAS	42
3.7.1.	Robotai, skirti atlikti sunkius ir laikui imlius fizinius darbus bei žuvų stebėjimui	44
3.7.2.	Dronai ir povandeniniai dronai duomenų rinkimui	44
3.7.3.	Jutikliai vandens kokybės rodikliams matuoti, šėrimo bei sveikatos būklės stebėjimui	45
3.7.4.	Dirbtinis intelektas, suteikiantis galimybę priimti greitus ir tikslius sprendimus	46
3.7.5.	Papildytoji realybė (AR) gamybos efektyvumo gerinimui ir akvakultūros švietimo stiprinimui, virtuali realybė (VR) mokymams ir konsultavimui.....	46
3.7.6.	3D spausdinimo technologijos akvakultūros sistemų elementams gaminti	47
3.7.7.	Blokinės grandinės kaip patikimos atsekamumo priemonės	48
3.7.8.	Daiktų internetas skirtingų akvakultūros elementų sujungimui ir tarpusavio bendravimui	49
3.7.9.	Modernių UAS bei atsinaujinančių energijos šaltinių naudojimas	49
3.7.10.	Daugiatrofinių akvakultūros (IMTA) sistemų diegimas	50
3.7.11.	Biodribsnių technologijos (BFT) naudojimas.....	51
3.8.	Išnagrinėti galimus tvarius technologinius sprendimus į UAS gražinamo išvalyto vandens dezinfekcijai ar gerinimui	53
3.8.1.	Į UAS gražinamo vandens apdorojimas UV spinduliais	54
3.8.2.	Į UAS gražinamo vandens apdorojimas ozonu	54
3.8.3.	Į UAS gražinamo vandens apdorojimas chloruojant.....	54
3.8.4.	Į UAS gražinamo vandens apdorojimas kombinuotais būdais.....	55
3.8.5.	Į UAS gražinamo vandens apdorojimas naudojant pažangius oksidacijos procesus	55
3.8.6.	Į UAS gražinamo vandens apdorojimas naudojant membranine filtraciją.....	55
3.8.7.	Į UAS gražinamo vandens temperatūros reguliavimas	55
3.8.	UAS eksploatacijos metu susidarancio perteklinio vandens ir dumblo (nuosėdų) panaudojimo žiedinės ekonomikos principu galimybės.....	57
4.	Rekomendacijos	63
4.1.	Rekomendacijos praktiniam tvarų vandens naudojimą gerinančių, aplinkos taršą mažinančių priemonių ir technologinių inovacijų taikymui UAS	63

4.2. Rekomendacijos, kokios cheminės sudėties (leistinos normos) ir kokia tvarka UAS susidaręs dumblas gali būti panaudojamas tręšimui	66
IŠVADOS.....	72
LITERATŪRA.....	74
MTEP PROJEKTO REZULTATŲ POPULIARINIMAS.....	83

1. ĮVADAS

Įgyvendinant Lietuvos žuvininkystės sektoriaus 2021–2027 m. programą užsibrėžta padidinti uždarų apytakinių sistemų (toliau - UAS) skaičių, jų tūrį, užauginamos produkcijos kiekį. UAS plėtra kasmet reikalauja daugiau vandens jų eksploatacijai, tuo pačiu daugiau išleidžiama į aplinką UAS panaudoto vandens (išvalyto iki maksimalių leistinų taršos rodiklių reikšmių) bei susidaro dumblas, kurio panaudojimas taip pat kelia problemų.

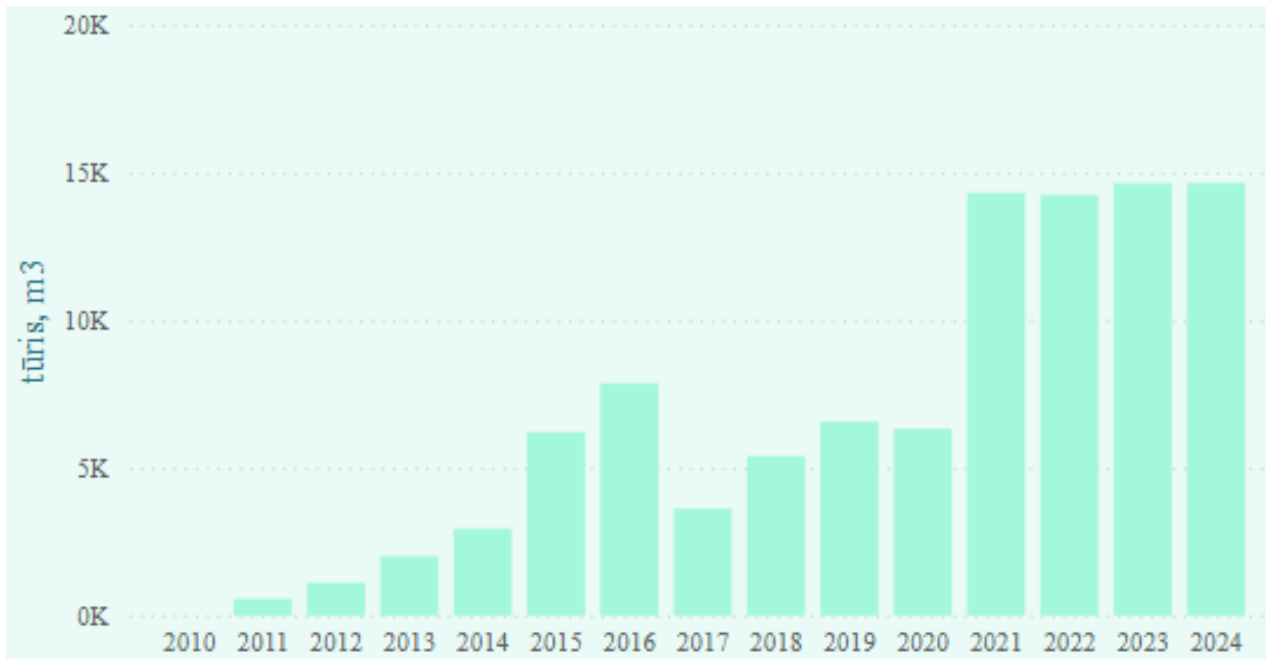
Analizuojant UAS tūrį Lietuvoje (žr. 1.1 pav.) matoma, UAS tūris 2021 metais ženkliai padidėjo (nuo 6321 m³ 2020 m. iki 14306 m³), tačiau 2021 – 2024 m. laikotarpiu šis tūris padidėjo tik nežymiai (2024 m. siekė 14637 m³) (šaltinis - Lietuvos nacionalinė žuvininkystės duomenų rinkimo programa). Akvakultūros veiklą deklaravusių ūkio subjektų, naudojančių UAS sistemas, skaičius Lietuvoje sumažėjo nuo 34 2020 m. iki 22 2024 m.

Atitinkamai kasmet didėja ir susidarančio dumblo kiekis. UAS susidarančio dumblo kiekį prognozuoti yra sunkiau, nes šis kiekis priklauso nuo sušeriamų pašarų kiekio ir sudėties, auginamų žuvų rūšies, dydžio ir tankio, naudojamų mechaninių ir biologinių įrenginių, nusausinimo būdų, dumblo drėgnumo ir kitų veiksnių.

2022 m. spalio 31 d. Europos Komisijos sprendimu Nr. C(22)80088 patvirtino Lietuvos žuvininkystės sektoriaus 2021-2027 metų programą. Šioje programoje akcentuojama, kad „didelis potencialas numatomas Lietuvoje sparčiai augančioje gamyboje gamtos išteklius taupančiose uždaroje akvakultūros sistemose (toliau – UAS), pirmumas teikiamas žemesnio trofinio lygio rūšių (vėžiagyvių ir kitų bestuburių, dumblių) gamybai, integruotos daugiatrofinės akvakultūros vystymui. Siekiama, kad iki 2030 m. Lietuvoje per metus pagaminamas akvakultūros produkcijos kiekis sudarytų ne mažiau 8,5 tūkst. t. Tad sparčiai augant gamybai UAS, vis aktualesnis taps ir šiose sistemose susidarančio dumblo bei naudojamo vandens efektyvus panaudojimas.

Žuvininkystės tvenkiniuose ir UAS susidarančio dumblo panaudojimo klausimai nagrinėti MTEP projekte „Rekomendacijų dėl inovatyvių sprendimų, mažinančių gamtos išteklių naudojimą akvakultūroje bei akvakultūros tvenkiniuose ir uždarosiose akvakultūros sistemose susidarančio dumblo panaudojimo galimybes, parengimas“ 2022-2023 metais. 2025 metais rengtos šios MTEP projekto ataskaitos metu buvo pasinaudota 2023 m. ataskaitoje pateiktais duomenimis, pastarieji duomenys palyginti su gautaisiais 2025 m.

Dumblo panaudojimas šiuolaikinėje gilėjančios ekonominės ir energetinės krizės situacijoje yra labiau aktualus, nei bet kada. Dirbtinių trąšų gamyba stoja dėl energijos kainų augimo, trąšos tampa ūkininkams ir bendrovėms neįperkamos, tad gali būti daug norinčių paimti dumblą iš akvakultūros įmonių.



1.1 pav. Uždarų akvakultūros sistemų tūris 2010-2024 m. laikotarpyje

(šaltinis - Lietuvos nacionalinė žuvininkystės duomenų rinkimo programa)

. Panaudojimas biodujų gamybai taip pat gali būti technologiškai ir ekonomiškai patrauklus, tačiau efektyviai gamybai reikalingi didesni dumblo ir organinių atliekų kiekiai. Dumblo panaudojimas gali tapti vienu iš žiedinės ekonomikos pavyzdžių.

MTEP projekto tikslas - Lietuvos klimato sąlygomis tinkamų tvarų vandens naudojimą gerinančių, aplinkos taršą mažinančių priemonių ir technologinių inovacijų, galimų įdiegti uždaroje apytakinėse žuvų auginimo sistemose, rekomendavimas ir tikėtino efektyvumo įvertinimas.

MTEP projekto uždaviniai:

1. Išanalizuoti užsienio šalių ir/ar Lietuvos patirtį:
 - 1.1. surinkti duomenis, kaip nuo sunaudotos pašarų sudėties (skirtingo baltymų ir riebalų kiekio) UAS dumble kinta užterštumo rodikliai (BDS₇, bendrojo azoto, bendrojo fosforo, sunkiųjų metalų (Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Hg) koncentracijos);
 - 1.2. kaip diegiamos tvarų vandens naudojimą gerinančios, aplinkos taršą mažinančios priemonės ir technologinės inovacijos UAS;
2. Išnagrinėti galimus tvarius technologinius sprendimus į UAS grąžinamo išvalyto vandens dezinfekcijai ar gerinimui;
3. Įvertinti UAS eksploatacijos metu susidarancio perteklinio vandens ir dumblo (nuosėdų) panaudojimo žiedinės ekonomikos principu galimybes;
4. Pateikti mokslinių tyrimų rezultatais grįstas rekomendacijas:
 - 4.1. praktiniam tvarų vandens naudojimą gerinančių, aplinkos taršą mažinančių priemonių ir technologinių inovacijų taikymui UAS;

4.2. kokios cheminės sudėties (leistinos normos) ir kokia tvarka UAS susidaręs dumblas gali būti panaudojamas tręšimui.

5. Supažindinti UAS ūkių ir/ar juos vienijančių asociacijų atstovus su gautais tyrimų rezultatais bei pateikti siūlymus dėl praktinių inovatyvių priemonių ir technologinių sprendimų naudojimo.

2. TYRIMŲ OBJEKTAI IR METODAI

2.1. Tyrimų objektai

Dėl vykdomo MTEP projekto kreiptasi į akvakultūros įmones, turinčias uždaras apytakines sistemas (UAS). Vadovaujantis „Nuotekų dumblo tvarkymo ir panaudojimo reikalavimų“, patvirtintų Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2001 m. birželio 29 d. įsakymu Nr. 349 (Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2020 m. liepos 3 d. įsakymo Nr. D1-410 redakcija), 15 punktu, visi UAS dumblo turėtojai privalo registruoti apdoroto dumblo (taip pat laikomo dumblo) kokybės ir naudojimo duomenis. Tačiau, kaip pasirodė, tik dalis UAS įmonių atlieka dumblo kokybės tyrimus (ypač mažai - mikrobiologinių-parazitologinių tyrimus), registruoja dumblo kokybės ir naudojimo duomenis.

Kreipiantis į UAS turinčias įmones buvo akcentuota, kad UAS susidarancio dumblo užterštumas cheminėmis medžiagomis, sunkiaisiais metalais bei mikrobiologinis-parazitologinis užterštumas yra ženkliai mažesnis, nei buitinių nuotekų valymo įrenginių dumblo, ir UAS dumblo panaudojimui turėtų būti taikomi mažesni reikalavimai. Buvo paprašyta pateikti per pastaruosius 5 metus UAS susidarancio dumblo užterštumo tyrimų rezultatus. Į šį kvietimą atsiliepė tik kelios įmonės, todėl buvo pasinaudota ankstesnių projektų metu surinkti duomenimis.

MTEP projekto ataskaitoje panaudoti duomenys, surinkti iš UAS turinčių įmonių (tačiau kai kurios jų dėl įvairių priežasčių šiuo metu nebevykdo veiklos arba vykdo ne pilnu pajėgumu - UAB „Fishnet“ (auginami vaivorykštiniai upėtakiai), buv. ŽŪB „Žemelė“ (auginami europiniai unguniai), UAB „Noras LT“ (auginta alpinė šalvis, arba kitaip arktinė palija), afrikinius šamus auginančių įmonių UAB „Baisogalos bioenergija“ (UAB Žuvėja), UAB „Akvapona“. Taip pat paimti mėginiai iš UAB „Žuvies kultas“, VDU ŽŪA Akvakultūros centro sistemų, kuriose afrikiniai šamai bandomi auginti biodribsnių aplinkoje.

2.2. Dumblo mėginių paėmimas

Dumblo mėginiai imti vadovaujantis ISO standartais:

- Vandens kokybė. Mėginių ėmimas. 13 dalis. Nurodymai kaip imti dumblo mėginius. ISO 5667-13:2011;
- Vandens kokybė. Mėginių ėmimas. 15 dalis. Dumblo ir nuosėdų mėginių konservavimo ir apdorojimo vadovas. ISO 5667-15:2009.

Gauti akvakultūros ūkių nuotekų dumblo kokybės tyrimų rezultatai apdoroti naudojantis „IBM SPSS Statistics 27“ programa.

2.3. Dumblo mėginių tyrimų sudėtis ir fizikinių-cheminių rodiklių vertinimo metodika

Dumblo mėginių tyrimus atliko Lietuvos Agrarinių ir miškų mokslų centro Žemdirbystės instituto Agrocheminių tyrimų laboratorijos Analitinį skyrius. Papildomi tyrimai buvo atlikti Lietuvos žemės ūkio konsultavimo tarnybos laboratorinių tyrimų laboratorijoje

Buvo nustatomos dumble esančių maistingųjų medžiagų (biogenų N; P; K; C), pH, sausos medžiagos kiekis, BDS₇, bichromatinė oksidacija, sunkiųjų metalų (švino, gyvsidabrio, kadmio, arseno, mangano, chromo, cinko, vario ir nikelio.) koncentracijos.

Šiems tyrimams naudojami metodai:

Tyrimų parametras	Tyrimo metodai (žymuo)
Natūralioje medžiagoje :	
pH	LST EN 10390:2022
Sausos medžiagos %	LST EN 12880:2002
BDS ₇ mg O ₂ /l	LAND 47-1:2007
Bichromatinė oksidacija mg O ₂ /l	LAND 83-2006
Sausoje medžiagoje:	
Bendras azotas (N) mg/kg	LST EN ISO 13342-2000
Bendras fosforas (P) mg/kg	LAND 78:2006
Bendras kalis (K) mg/kg	LST ISO 9964-3:1998
Organinė anglis (C) %	ISO 10694:1995
Kadmis (Cd) mg/kg	LST EN 16174-2012, LST EN ISO 15586:2004
Arsenas (As) mg/kg	LST EN 16174-2012, LST EN 16170:2016
Chromas (Cr) mg/kg	LST EN 16174-2012, LST EN 16170:2016
Nikelis (Ni) mg/kg	LST EN 16174-2012, LST EN 16170:2016
Švinas (Pb) mg/kg	LST EN 16174-2012, LST EN 16170:2016
Manganas (Mn) mg/kg	LST EN 16174-2012, AOAC 974.27
Varis (Cu) mg/kg	LST EN 16174:2012, LST CEN/TS 16188:2012
Cinkas (Zn) mg/kg	LST EN 16174:2012, LST CEN/TS 16188:2012
Gyvsidabris (Hg)	LST EN 16174-2012, LST EN ISO 16175-1:2016

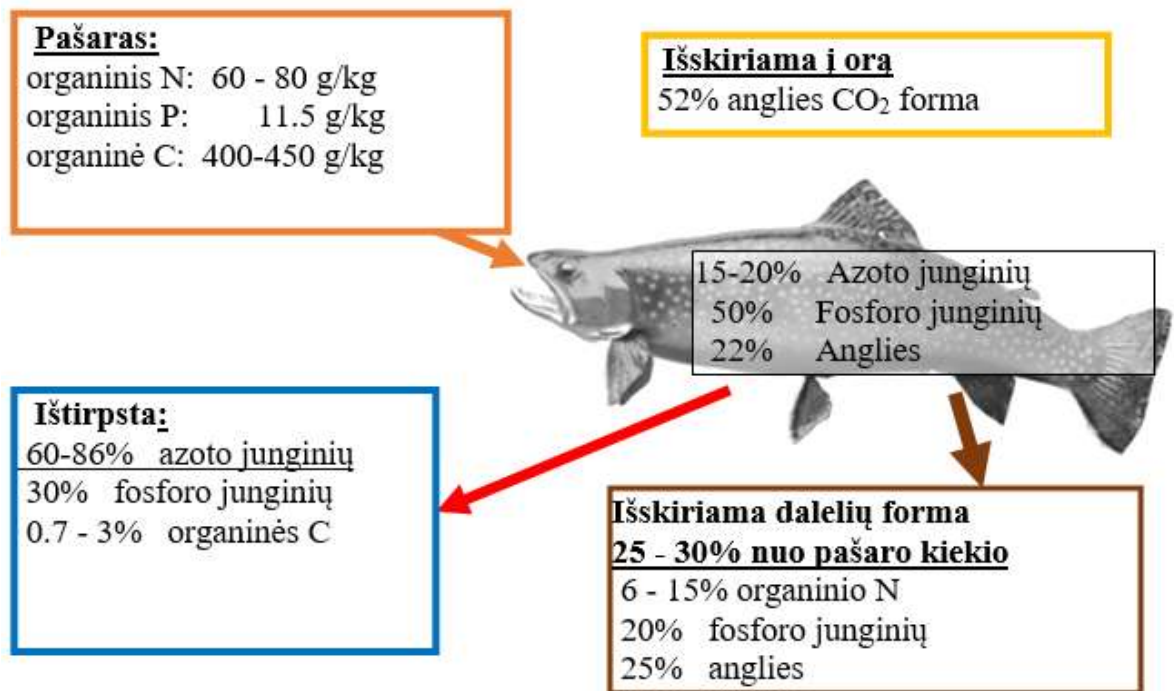
Gautos dumble esančių sunkiųjų metalų koncentracijų reikšmės lyginamos su reikšmėmis, nurodytomis dokumente „Nuotekų dumblo tvarkymo ir panaudojimo reikalavimai“ (žr. 3.4 lent.).

3. MTEP PROJEKTO REZULTATAI, JŲ APTARIMAS IR REKOMENDACIJOS

3.1. Duomenys, kaip nuo sunaudotos pašarų sudėties (skirtingo baltymų ir riebalų kiekio) UAS dumblo kinta užterštumo rodikliai (BDS₇, bendro azoto, bendro fosforo, sunkiųjų metalų (Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Hg) koncentracijos

3.1.1 Dumblo susidarymas akvakultūroje ir šio dumblo charakteristikos

Žuvų pašaras, patekęs į vandenį yra įsisavinamas auginamų žuvų, o nesunaudota jo dalis lieka vandenyje ir toliau skaidoma mikroorganizmų. Pagrindiniai žuvų metabolizmo produktai yra anglies dioksidas, amonio azotas ir fekalinės medžiagos (3.1 pav.).



3.1 pav. Teorinis su pašaru gautų medžiagų suvartojimas bei išskyrimas (pagal Chen, 1993; Timons M.B., Ebeling J.M. Recirculating Aquaculture, 2013)

Tai orientacinės reikšmės, kadangi pašaro suvartojimas, metabolizmo produktų išskyrimas priklauso ir nuo žuvies rūšies, ir nuo vandens temperatūros bei kitų veiksnių.

Paprastai UAS yra du pagrindiniai vandens srautai. Mažesnę tūrį sudaro dumblas, susidarantis iš nusodinimo sistemų, dalelių filtravimo ir biofiltro atbulinio praplovimo, jame yra didelis fosforo ir organinių medžiagų kiekis. Didesniame vandens tūryje kietųjų dalelių kiekis yra mažesnis, tačiau

jame yra didžioji dalis azoto išleidimo. Šie du srautai – „dumblas“ ir „recirkuliacinis vanduo“ – paprastai apdorojami atskirai, siekiant sumažinti iš UAS išleidžiamų maistinių medžiagų kiekius (Vielma ir kt., 2022).

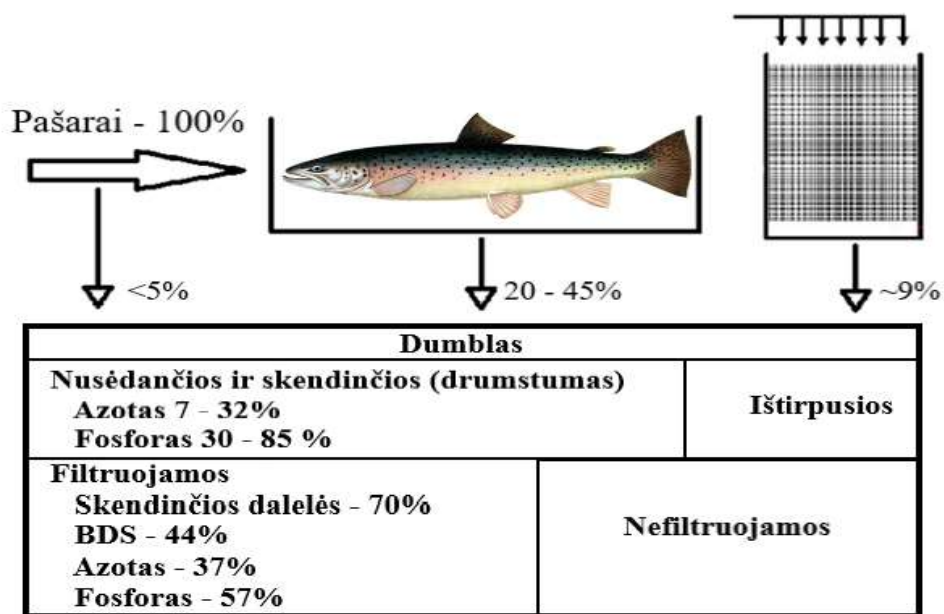
Dumblas toliau koncentruojamas sedimentacijos arba filtravimo procesais, paprastai naudojant chemines medžiagas. UAS ūkis gali turėti sedimentacijos baseiną arba tvenkinį, kuriame sumaišomas dumblas ir pH stabilizuojančios cheminės medžiagos. Dumblo baseinas dažnai ištuštinamas ir dumblas naudojamas kaip trąša lauke, išvežamas į biodujų gamyklą ar tvarkomas kitaip. Daugumoje intensyvių UAS ūkių dumblo tirštinimo procesas atliekamas uždaroje sistemoje. Įprasti komunaliniai koagulantai ir flokulantai sumaišomi su dumblu, o po to koncentruotas dumblas atskiriamas juostiniais filtrais, flotacija arba sraigtais. Priklausomai nuo reguliavimo, sedimentacijos tvenkinio perpildymo arba dumblo koaguliacijos, iš dumblo atskirtas vanduo gali būti išleidžiamas be papildomo apdorojimo arba nukreipiami į nitratų išleidimo valymą. Danijos modelio žuvų ūkio koncepcijoje didesnis vandens srautas ir iš dumblo atskirtas perpildymas nukreipiami į dirbtines pelkes ir (arba) medžio drožlių reaktorius, kurie efektyviai šalina azotą. Kompaktiškuose denitrifikacijos reaktoriuose su išoriniu anglies šaltiniu procesui valdyti taip pat galima sumažinti azoto išleidimą. Vandens recirkuliacijos procentas naudojamas vandens naudojimo intensyvumui apibūdinti, tačiau tikslesnis būdas būtų apskaičiuoti naujo vandens kiekį, tenkantį žuvims šeriamų pašarų kiekiui. Tipiniuose UAS ūkiuose sunaudojama apie 500–1000 litrų naujo vandens vienam kilogramui sunaudoto pašaro. Danijos modelio ūkiai yra mažiau intensyvūs, sunaudoja apie 3000–5000 l/kg. Labai intensyvi nulinės mainų RAS sistema pakeičia tik vandenį, prarastą dėl dumblo pašalinimo ir garavimo, o vandens sunaudojimas gali sumažėti iki 50–100 l/kg (Vielma ir kt., 2022).

3.1 lentelėje apibendrinamos koncentruotos TSS, gaunamos iš UAS, atliekų susidarymo charakteristikos ir palyginamos su buitinio dumblo charakteristikomis. Palyginti su įprastu komunaliniu dumblu, akvakultūros dumblas turi santykinai mažesnį kietųjų medžiagų kiekį ir BDS₅ koncentraciją. Bendras amoniako azoto (N_B) kiekis šviežiam akvakultūros dumble yra gana mažas, tačiau gali smarkiai padidėti, jei dumblas tam tikrą laiką paliekamas netrikdomas ir vyksta mineralizacija anaerobinėmis sąlygomis. Akvakultūros dumble yra didesnis azoto ir fosforo kiekis nei buitiniame dumble. Vidutinė bendrojo fosforo (P_B) vertė yra 1,3% sausos kietos medžiagos masės, o tipiniame buitiniame dumble yra tik 0,7%.

3.1 lentelė. Akvakultūros sistemose susidarancio dumblo ir buitinių nuotekų valyklose susidarancio dumblo užterštumo rodiklių palyginimas (pagal Timons, 2013)

Rodiklis	Akvakultūros dumblas		Buitinių nuotekų dumblas	
	Ribos	Vidurkis	Ribos	Vidurkis
Bendras skendinčių medžiagų kiekis (%)	1.4–2.6	1.8	2.0–8.0	5.0
BDS ₅ (mg/L)	1,590–3,870	2,760	2,000–30,000	6,000
N _B (mg/L)	6.8–25.6	18.3	100–800	400
pH	6.0–7.2	6.7	5.0–8.0	6.0
Šarmingumas	284–415	334	500–1,500	600

Mokslinėse publikacijose bei specializuotuose literatūros šaltiniuose pastaraisiais metais dažniausiai nagrinėjami UAS susidarancio dumblo klausimai. UAS susidarantis dumblas, o tuo pačiu ir generuojama tarša, priklauso nuo sušeriamo pašarų kiekio. Ją galima suskirstyti į priklausančią nuo auginamų organizmų metabolizmo, biofiltro mikroorganizmų veiklos ir pašarų nuostolių keliamos taršos. 3.2 pav. parodytas UAS susidarantis dumblas, skaičiuojant nuo sunaudoto pašarų kiekio. Matyti, kad visuminis kietųjų medžiagų kiekis gali viršyti pusę sušeriamų pašarų kiekio.



3.2 pav. UAS susidarantis dumblas

Pramoniniams projektiniams skaičiavimams priimama, kad vienas kilogramas sušertų pašarų generuoja 300 g dumblo. Tyrimai pramoninėmis sąlygomis pateikia reikšmes nuo 200 g iki 400 g kilogramui pašarų ir pažymima, kad tikėtis mažiau kaip 200 g realiomis auginimo sąlygomis yra nerealu, o reikšmių, viršijančių 450 g taip pat nepasitaiko, nes tai rodytų ypatingai neekonomišką

pašarų naudojimą ir labai didintų produkcijos savikainą, kadangi pašarų kaina UAS produkcijos savikainoje paprastai sudaro 50-60%. Dėl tos pačios priežasties reikia laikytis gerųjų šėrimo praktikų, siekiant maksimaliai sumažinti pašarų nuostolius, kurie UAS gali būti 1 – 5%. Taip pat nustatyta, kad apie 9% dumblo sistemoje susidaro dėl biofiltro mikroorganizmų gyvybinių procesų (dauginimosi ir to pasėkoje negyvos bioplėvelės atitrūkimo nuo biofiltro užpildo).

Nuotekų šalinimas UAS paprastai vyksta per koncentruotą srautą, gaunamą iš mechaninio filtro praplovimo (0,2- 2% bendro apytakinio UAS debito) ir srauto, gaunamo iš akumuliacinės talpos persipylimo, kuris yra lygus sistemoje atnaujinamam vandens debitui ir kurio teršalų koncentracija paprastai nesiskiria nuo cirkuliuojančių sistemoje medžiagų koncentracijos. Tokiose UAS nuotekose dumblo koncentracija yra 300 - 500 mg/l. Dėl mažų skendinčių medžiagų koncentracijų, UAS dumblą neekonomiška transportuoti didesniais atstumais. Todėl siūlomi įvairūs papildomi dumblo tankinimo būdai.

Skirtingų žuvų rūšių ir sistemų dumblo sudėties duomenys yra pateikti 3.2 lentelėje. Bendrai, dumblas iš pratekančių sistemų sėdinimo baseinų paprastai pasižymi didelėmis skendinčiųjų medžiagų ir mažomis azoto ir fosforo koncentracijomis. Dėl didelės organinių medžiagų koncentracijos ši dumblą galima naudoti anaerobiniam pūdymui.

3.2 lentelė. Įvairaus akvakultūros dumblo charakteristikos (Piedrahita, 2003)

Dumblo šaltinis	Sudėtis (g/l)						
	Kietos dalelės	Lakiosios medžiagos	Bendrasis azotas	Bendrasis Kjeldalio azotas	Bendrasis fosforas	ChDS	BDS ₅
Upėtakių rezervuaro skaidrintuvas	22	17	0,2				
Šamų rec. sistemos granulių filtras				0,039	0,007	1,0	0,2
Dryžuotųjų ešerių rec. sistemos skaidrintuvas	40-60	3,5-5,5	2,5-3,5			75-95	
Upėtakių kanalo sėdinimo baseinas	50-120	25-90	0,7-6		0,8-4		
Tilapijų rec. sistemos granulių filtras	14-26	10-23	0,5-1,2		0,08-0,7		1,6-3,9
Upėtakių kanalo sėdinimo baseinas (nuosėdos akumuliuojamos mažiau nei 8 dienas)	36-84	27-62		2,1-3,7	0,7-2,4	78-113	

3.1.2. Pašarų sudėties ir UAS dumblo užterštumo rodiklių koreliacija

Uždaroje akvakultūros sistemose tokie taršos rodikliai kaip biocheminis deguonies suvartojimas (BDS_7), bendras azoto junginių kiekis (N_B), bendras fosforo junginių kiekis (P_B) ir sunkiųjų metalų koncentracijos dumble reikšmingai koreliuoja su žuvų suvartojamo pašaro sudėtimi.

Įvairūs pašarų mišiniai su skirtingu baltymų ir riebalų kiekiu daro įtaką žuvų augimo greičiui ir daro didelę įtaką akvakultūros dumblo kokybei bei sudėčiai, o tai galiausiai daro įtaką aplinkos taršos lygiui.

UAS dauguma kietųjų dalelių susidaro iš nesuvartotų pašarų ir išmatų; jų kiekis ir fizikinės ir cheminės savybės (pvz., dalelių dydis, nusėdimas, bendras kietųjų medžiagų kiekis, maistinės medžiagos) yra glaudžiai susijusios su pašaro sudėtimi. Literatūroje nurodoma, kad fosforo (P) mažinimas pašare akivaizdžiai sumažina P išsiskyrimą, o lipidų kiekis ir ingredientų pasirinkimas turi įtakos išmatų stabilumui, dalelių dydžio pasiskirstymui ir surinkimo efektyvumui. Rišikliai, tokie kaip guaro derva (~0,3%), nuolat stabilizuoja išmatas ir pagerina kietųjų dalelių pašalinimą. Upėtakių UAS dumble paprastai yra 20–100 g/l bendras kietųjų dalelių kiekis (SM) atgalinio plovimo koncentratuose, 60–80% lakiųjų kietųjų dalelių ir ~2–4% P sausos masės pagrindu, o tikslios vertės priklauso nuo pašaro sudėties ir kietųjų dalelių surinkimo įrenginių (Ebeling ir kt., 2003, Ebeling ir kt., 2004, Brinker, 2005).

Pašarai yra dominuojantis azoto N, P ir organinių medžiagų šaltinis UAS; neįsisavinta frakcija tampa suspenduotomis arba nusėdančiomis kietosiomis medžiagomis ir galiausiai "dumblu". Todėl pašaro sudėtis lemia ne tik žuvų augimą, bet ir dumblo kokybę (pvz., maistinių medžiagų tankį, dalelių nusėdimą ir kt.) ir mechaninio / cheminio apdorojimo etapų atlikimą (Letelier-Gordo ir kt., 2021).

3.1.3. Atskirų UAS dumblo užterštumo rodiklių priklausomybė nuo pašarų sudėties

a) Biocheminis deguonies suvartojimas (BDS_7)

- Daugiau baltymų ir mažiau riebalų turinčios dietos → daugiau išmatų ir organinių medžiagų išplovimo → didesnę BDS_7 kiekius tiek vandenyje, tiek dumble.
- Daug riebalų turinčios dietos (daug energijos reikalaujančios) → žuvis sunaudoja mažiau pašaro vienam vienetui svorio → mažesnė bendra BDS_7 apkrova, nepaisant didesnės lipidų frakcijos dumble.
- Tipinis upėtakių UAS dumblas: 20–80 g/l bendras kietųjų medžiagų kiekis; lakiosios kietosios medžiagos 60–80% SM; BDS_7 dažnai 200–800 mg O_2/g SM, priklausomai nuo pašaro virškinamumo ir surinkimo būdo.

b) Bendras azoto kiekis (N_B)

- Kiekis priklauso nuo baltymų kiekio pašare.
- Upėtakiai sulaiko tik ~25–35% pašaro N, likusi dalis išsiskiria ištirpusio amoniako (~60–70%) ir kieto N (~30–40%) pavidalu.
- Didesnio baltymų kiekio pašarai → ↑ N_B dumble (daugiau nesuvirškintų baltymų + mikrobu biomase).
- Tipiškas N_B UAS dumble: 4–10% sausų kietųjų dalelių.

c) Bendras fosforo kiekis (P_B)

- Fosforo sulaikymui didelę įtaką daro pašare esančio P virškinamumas ir B/E santykis.
- Daug baltymų, mažai riebalų turinti dieta su nesubalansuotu P lemia didesnę P išsiskyrimą ir dumblo P_B (iki 4% SM).
- Daug energijos turinti mažai baltymų turinti dieta (geresnis PKK) ir virškinami P šaltiniai (pvz., monokalcio fosfatas) sumažina dumblo P_B.
- Tipiškas upėtakių dumblas: 2–4 % P_B (SM).

d) Sunkieji metalai (Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Hg)

- Pašarai yra pagrindinis sunkiųjų metalų šaltinis UAS dumble.
- Metalų kiekis didėja su pašarų baltymais, ypač iš žuvų miltų ir žuvų taukų, kuriuose gali būti padidėjęs Zn, Cu ir Hg kiekis.
- Augalinės kilmės baltymai sumažina Cu/Zn/Hg sąnaudas, tačiau gali padidinti Ni arba Cd, priklausomai nuo pasėlių šaltinio.
- Daug riebalų turinčios dietos (jei naudojami jūriniai aliejai) gali pridėti Hg pėdsakų, bet sumažinti pašaro tūrį ir bendrą apkrovą.
- Tipiniai upėtakių dumblo koncentracijos intervalai (mg/kg SM):

3.3 lentelėje pateikta informacija apie skirtingo baltymų ir riebalų kiekio, esančio žuvų pašare įtaką akvakultūros dumblo sudėčiai. Rodyklės rodo parametro kiekio didėjimą (rodyklė aukštyn) arba mažėjimą (rodyklė žemyn) dumble.

Apžvelgiant mokslinius šaltinius, galima nustatyti pagrindinius žuvų mitybos svertus ir preliminariai numatyti, kokie taršos parametrai dominuos akvakultūros dumble:

- **Fosforas pašare:** sumažinus bendrą / prieinamą P subalansuotoje mityboje, padidėja P sulaikymas žuvyse ir sumažėja P atliekų srautuose; tyrimas su upėtakiais rodo, kad mažesnis kiekis pašare sumažina P išsiskyrimą, o lipidai sąveikauja su P, moduliuodami pašaro suvartojimą ir augimą (Green ir kt., 2002, Coloso ir kt., 2003).

- **Riebalai pašare:** didesnis riebalų kiekis (neviršijant rūšiai tinkamų ribų) dažnai sumažina pašaro suvartojimą vienam prieaugio vienetui, sumažina išmatų masę ir organinę apkrovą; (Green ir kt., 2002).

3.3 lent. Baltymų ir riebalų kiekio žuvų pašare įtaka akvakultūros dumblo užterštumo rodikliams

Parametras	Poveikis	Įtaka dumblo sudėčiai
Didesnis baltymų kiekis (≥ 45 –50%)	Padidina bendrą N suvartojimą; perteklius, neišsivertęs \rightarrow išskiriamas kaip amoniakas ir išmatos N	$\uparrow N_B$ dumble (daugiau kietųjų dalelių baltymų likučių); \uparrow ištirpusio N, jei virškinamumas mažas
Mažesnis baltymų kiekis (≤ 35 –40%)	Riboja augimą arba padidina PKK; daugiau pašarų tai pačiai biomasei	Gali padidinti bendrą atliekų kiekį (jei PKK pablogėja), bet sumažinti %N dumblo kietosiose dalelėse
Didesnis riebalų kiekis (≥ 18 –22%)	Pagerina PKK, sumažina pašarų suvartojimą vienam vienetui; sumažina išmatų kietųjų dalelių kiekį	$\downarrow BDS_7$, $\downarrow N_B$, $\downarrow P_B$ augimo vienetui; dumblas turi daugiau energijos (lipidų), bet mažesnio tūrio
Mažesnis riebalų kiekis (≤ 10 –12%)	Prastas energijos tankis \rightarrow didesnis pašarų suvartojimas \rightarrow daugiau išmatų ir medžiagų apykaitos atliekų	$\uparrow BDS_7$, $\uparrow N_B$, $\uparrow P_B$ apkrova
Daug baltymų + mažai riebalų turinčios dietos	Dažnai taikomas greito augimo režimuose; didelis N ir P išsiskyrimas	Didelis BDS_7 , N_B , P_B dumble ir nuotekose
Subalansuotas baltymų ir energijos santykis (B/E)	Maksimaliai padidina išlaikymo efektyvumą	Mažiausias bendras dumblo maistinių medžiagų ir BDS_7 kiekis

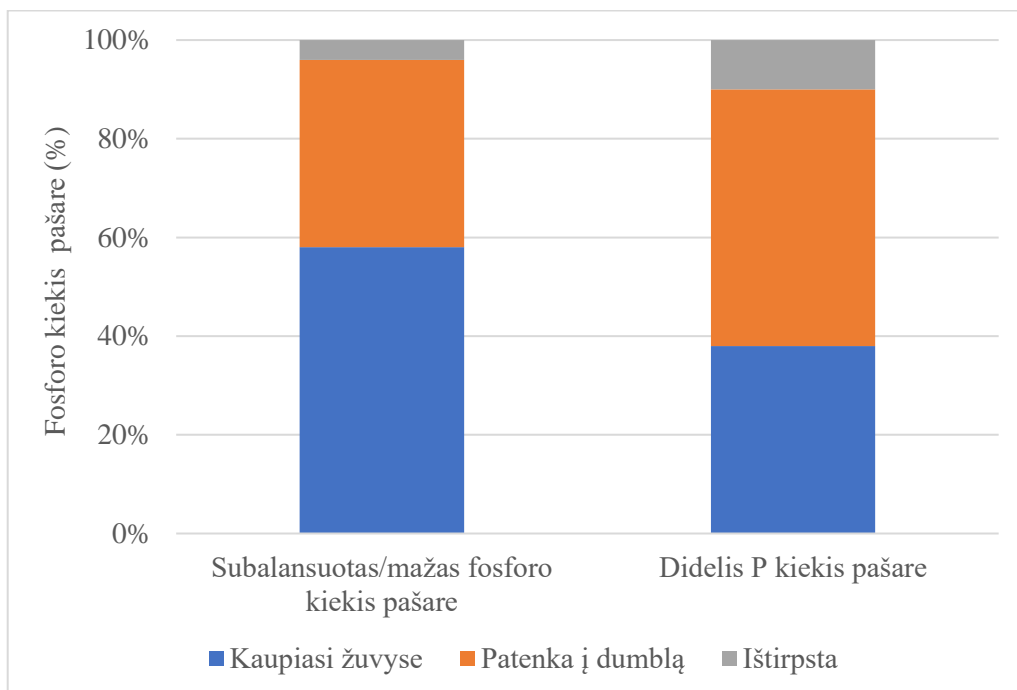
• **Sudedamųjų pašaro dalių šaltinis (gyvūninės ar augalinės kilmės):** didesnis augalinių ingredientų įtraukimas pakartotinai siejamas su mažiau stabiliais išmatomis ir daugiau smulkių / suspenduotų kietųjų dalelių, apsunkinančių surinkimą ir padidinant kietųjų dalelių poveikį (Prakash, 2023).

• **Rišikliai** (pvz., ~0,3% guaro dervos): Patikimi tyrimai rodo, kad rišikliai padidina išmatų stabilumą ir pagerina skaidrintuvo/mikrofilto efektyvumą (Brinker, 2005).

Apdorojimas (tirštikliai, granuliuojamumas): gali pagerinti išmatų tankumą ir nusėdimą ir taip koncentruoti kietąsias medžiagas, kurias lengviau „sugauti“ ir nukreipti į dumblo surinkimo įrenginius (Brinker, 2005).

3.3 paveiksle parodytas fosforo atliekų susidarymas, kai naudojamas pašaras, kuriame yra mažas/subalansuotas ir didelis fosforo kiekis.

Sumažinus su pašaru patenkančią P kiekį (iki poreikio), sumažėja tirpaus P kiekis ir P koncentracija dumble; gerinant išmatų stabilumą ir surinkimą, iš ištirpusio dumblo išsiskiriantis P patenka į dumblą Green ir kt. 2002, Coloso ir kt., 2003).



3.3 pav. UAS susidarančių fosforo atliekų balansas

3.4 lentelėje pateikta apibendrinta informacija apie sunkiųjų metalų koncentracijas akvakultūros dumble, nustatytas moksliniais tyrimais. Informacija surinkta iš skirtingų mokslinių straipsnių, kurie pateikti literatūros sąrašė.

3.4 lent. Sunkiųjų metalų koncentracijų ribos UAS dumble (parengta pagal įvairią literatūrą, pateiktą literatūros sąrašė)

Sunkusis metalas	Koncentracijos intervalas (mg/kg SM)	Pagrindiniai šaltiniai	Pastabos
Pb	0.5–5	Ingredientų užteršimas; Dulkės / dirvožemis	Ribos labai skiriasi priklausomai nuo pašaro sudėties ir vandens kokybės;
Cd	0.1–1	Fosfato trąšos augaliniuose ingredientuose	Kai kuriuose augaliniuose ingredientuose gali būti padidėjęs Cd kiekis
Cr	1–10	Užteršimo pėdsakai; įranga	Cr lygis gėlavandenių UAS dumble dažnai yra žemas
Cu	20–150	Mineralinis premiksas; žuvų miltai	Cu gali kauptis esant mažos apykaitos sąlygoms
Ni	1–5	Augaliniai ingredientai	Ni kiekis paprastai mažas
Zn	100–500	Mineralinis premiksas; žuvų miltai	Zn kiekis dažnai didėja dėl premiksų ir žuvų miltų
Hg	0.05–0.5	Jūriniai aliejai ir žuvų miltai	Hg kiekis paprastai mažas, bet aptinkamas naudojant jūrinės kilmės priedus

3.5 lentelėje pateikta išsamesnė informacija apie pašarų sudėties ir dumblo kokybės rodiklių sąsajas., paremtas moksliniuose straipsniuose paskelbtais negausių tyrimų rezultatais.

3.5 lentelė. Pašarų sudėtis ir dumblo kokybės parametrai (BDS, N_B, P_B, Cu, Zn, Cd)

Pašaro sudėties elementas	Galima įtaka BDS kiekiui dumble	Galima įtaka N _B kiekiui dumble	Galima įtaka P _B kiekiui dumble	Galima įtaka sunkiųjų metalų kiekiui dumble	Šaltiniai
Fosforo kiekis pašare (bendras / esamas)	Mažas P kiekis turi nedidelį tiesioginį poveikį BDS ₇ kiekiui; netiesioginis sumažinimas dėl geresnio PKK → mažiau išmatų OM vienam prieaugio vienetui	Mažas P kiekis tiesiogiai nekeičia N; tačiau geresnis augimo efektyvumas gali sumažinti N _B vienam prieaugio vienetui	Stiprus: mažas esamas P sumažina P _B kiekį; daugiau P išlieka žuvyse; P _B dumble mažėja	Tiesioginio poveikio nėra; metalų kiekis priklauso nuo pašaro sąnaudų ir vandens kokybės; Sumažinus žuvų miltų kiekį, gali sumažėti kai kurių metalų koncentracijos dumble.	Green ir kt., 2002; Colossus ir kt., 2003
Riebalų (lipidų) kiekis pašare	Didesnis lipidų kiekis (neviršijant poreikio) dažnai sumažina pašarų poreikį vienam prieaugio vienetui → mažesnę BDS ₇ apkrovą dumble	Didesnis lipidų kiekis sumažina baltymų katabolizmą vienam prieaugio vienetui → mažina N _B atliekų kiekį vienam prieaugio vienetui	Netiesioginis: geresnis PKK → mažesnis P _B už pelną;	Tiesioginio poveikio nėra;	Green ir kt., 2002
Baltymų šaltinis (gyvulinės ir augalinės kilmės)	Didelis augalų įtraukimas linkęs sumažinti išmatų stabilumą → daugiau smulkių dalelių ir sustabdyto OM, didinant kietųjų dalelių BDS ₇ surinktas pasroviui	Augaliniai baltymai gali pakeisti virškinamumą; jei PK pablogėja, N _B apkrova padidėja; daugiau smulkių dalelių padidina kietųjų dalelių N _B	Augalų turtinga dieta gali sumažinti išmatų stabilumą; daugiau surinktų kietųjų dalelių gali padidinti P _B dumblo masėje; P _B % priklauso nuo P suvartojimo	Augalinių ir jūrinių ingredientų buvimas pašare padidina Cu/Zn kiekius; žuvų miltai / žuvų taukai gali prisidėti prie metalų kaupimosi; augaliniai priedai gali kitų metalų (pvz., Cd) atsiradimo priežastimi, priklausomai nuo šaltinio	Brinker, 2005; Wong ir Piedrahita, 2000 m.
Rišiklio intarpas (pvz., ~0,3% guaro dermos)	Stabilizuoja išmatas, padidina surinkimo efektyvumą; gali perkelti kietųjų dalelių BDS ₇ iš vandens į dumblą (pagerina pašalinamumą)	Rišiklis turi mažai N; pagerina N _B surinkimą kietosiose dalelėse.	Pagerina išskiriamų kietųjų dalelių surinkimą (didesnis nusėdimas)	Tiesioginio poveikio nėra;	Brinker, 2005 (lauko bandymas)

Mineralinių premiksų (Cu, Zn) ir žuvų miltų/žuvų taukų kiekis	Mikroelementai nedidina BDS ₇ bet gali turėti įtakos mikrobu aktyvumui; didelio tiesioginio BDS ₇ poveikio nestebima	Netaikoma tiesiogiai; mikroelementai nėra N šaltiniai	Cu/Zn priedai neturi įtakos P; žuvų miltai / žuvų taukai padidina maistinį P → daugiau P _B dumble, nebent naudojamas subalansuotas pašaras	Tiesioginis: didesnis Cu/Zn premikse padidina Cu/Zn kaupimąsi UAS ir dumble	van Bussel ir kt., 2014; Ende ir kt., 2024 m.
Granulių perdirbimas (tirštinimas, granulių vientisumas)	Patobulintas vientisumas sumažina smulkių dalelių ir išplovimo kiekį → sumažina ištirpusią BDS ₇ ir perkelia OM į nusėdančias / sugaunamas kietąsias medžiagas	Mažesnis skilimas sumažina ištirpusių N formų išplovimą; daugiau N lieka kietosiose dalelėse, surinktose kaip dumblas	Geresnis vientisumas sumažina tirpų P išplovimą; padidina kietųjų dalelių P surinkimą dumble	Tiesioginio poveikio nėra; Patobulintas surinkimas koncentruoja visus metalus į dumblą	Brinker, 2005; Wong ir Piedrahita, 2000 .

3.6 lentelė. Dumblo, susidarancio UAS, kuriose auginami upėtakiai, kokybės apžvalgos santrauka (parengta pagal įvairius šaltinius)

Parametras	Reprezentatyvus intervalas / vertė	Pastabos	Šaltiniai
BDS ₇ dalis upėtakių atliekose (kietųjų dalelių ir ištirpusių dalelių) (pagrindas ≈ organinė frakcija)	≈ 50% kietųjų dalelių / 50% ištirpusių	Dalelių kiekis ir dydis skiriasi priklausomai nuo pašaro; rišklio/apdorojimo naudojimas – geresnis kietųjų dalelių surinkimas.	Dalsgaard ir Pedersen, 2011
ChDS dalis (kietosios dalelės) upėtakių UAS dumble	≈ 70–75 % kietųjų dalelių pagrindu	Didesnis kietųjų dalelių kiekis skatina efektyvų mechaninį surinkimą	Dalsgaard ir Pedersen, 2011
Bendras fosforo kiekis upėtakių dumble (% sausųjų kietųjų dalelių)	≈ 2,2–4,0 % sauso dumblo	Atgalinis plovimas / dumblo koncentratai priklauso nuo vieneto operacijų; Fosforo % sauso dumblo priklauso nuo P kiekio pašare	Stewart et al., 2006
Tipiškas N _B ir P _B , randamas kietosiose medžiagose (išsiskiriančių maistinių medžiagų masės dalis)	Kietasis P ≈ 30–50% su pašaru esančio P išsiskiria kietųjų medžiagų pavidalu; kieta N mažesnė dalis nei P	Dietinis P ir išmatų stabilumas padidina kietojo P surinkimą; N daugiau ištirpsta kaip N _B	Coloso, 2003; Dalsgaard ir Pedersen, 2011
Lakiosios kietosios medžiagos (% SM)	60-80%	Akvakultūros dumblui būdingas didelis organinių medžiagų kiekis; skiriasi priklausomai nuo pašaro sudėties ir sugaudymo būdo	Choudhury ir kt. 2023

Kietųjų dalelių surinkimo efektyvumas priklauso nuo dalelių nusėdimo greičio pasiskirstymo. Upėtakių įrenginiuose paprastai išmatos nusėda vidutiniu greičiu, t.y. apie 0,7 cm/s; sėdinimo greičio sumažinimas nuo 2 → 1 → 0,5 cm/s padidino modeliuoto pašalinimo efektyvumą nuo ~61% → ~73% → ~81% (Prakash, 2023) tyrime. Naudojant pašarų gamyboje rišiklius, paprastai gaminamos rišlesnės išmatos, padidinamos kietosios dalelės ir jos stabilizuojamos, pagerindamos pašalinimą ir maistinių medžiagų koncentravimą į dumblą. Ir atvirkščiai, augalų turtinga mityba dažnai duoda nestabilių išmatų, daugiau smulkių dalelių ir didesnę kietųjų dalelių poveikį (Wong ir Piedrahita, 2000, Prakash, 2023, Brinker, 2005).

Siekiant, kad UAS būtų draugiški aplinkai, reikėtų naudoti pašarus, į kurių sudėtį įeitų rišiklis ir tiksliai nustatytas augalinės dalies procentas, kad išlaikyti išmatų vientisumą. Taip pat svarbu išlaikyti ir P lygį, suderintą su reikalavimu apriboti P apkrovas. (Ebeling, 2004)

3.6 lentelė. Pašaruose esančių baltymų ir (arba) riebalų įtaka dumblo kokybės rodikliams BDS₇, N_B, P_B ir sunkiesiems metalams

Tiekimo kintamasis	BDS ₇ dumble	N _B dumble	P _B dumble	Sunkieji metalai dumble	Šaltiniai
Baltymų kiekis (% pašare)	↑ su didesniu baltymų kiekiu, jei pablogėja virškinamumas / PKK (daugiau išmatų OM); geresnis virškinamumas vidutiniškai padidėja	↑ su didesniu baltymų suvartojimu; dalis pasirodo kaip dalelės N (nesuvirškinti baltymai, mikrobai)	↑ su didesniu baltymų kiekiu, jei padidėja ir P maiste (dažna, kai padidėja žuvų miltai)	Didesnis žuvų miltų kiekis dažnai padidina Cu, Zn, Hg sąnaudas; augaliniai baltymai gali keisti Ni/Cd priklausomai nuo šaltinio	Green ir kt. 2002; Dalsgaard ir Pedersen 2011; Coloso ir kt. 2003
Riebalų kiekis (lipidai, % pašare)	↓ su didesniu riebalų kiekiu (geresnis PKK → mažiau pašarų vienam prieaugiui → mažiau OM dumblui)	↓ su didesniu riebalų kiekiu dėl geresnio PKK ir mažesnio baltymų katabolizmo vienam prieaugiui	↓ netiesiogiai su didesniu riebalų kiekiu (mažesnis pašaras vienam prieaugio vienetui)	Tiesioginio poveikio nėra, tačiau didesnis riebalų kiekis iš jūrinių aliejų gali pridėti Hg pėdsakų; bendra apkrova mažėja didėjant PKK.	Green ir kt. 2002; Dalsgaard ir Pedersen 2011
Baltymų ir energijos (B/E) balansas	Optimalus P/E sumažina BDS ₇ apkrovą, maksimaliai padidindamas sulaikymą ir išmatų stabilumą	Subalansuota B/E sumažina N _B dumble; daugiau N išlieka žuvyse	Subalansuoti B/E ir virškinami P šaltiniai mažina P _B apkrovą ir %SD	Subalansuota formulė leidžia išvengti perteklinio mikroelementų premiksų (Cu/Zn) kaupimosi	Coloso ir kt. 2003; Ebeling ir kt. 2003/2004

3.1.4. Vaivorykštinių upėtakių ir afrikinių šamų UAS susidarančio dumblo sudėties palyginimas

Vaivorykštinių upėtakių ir afrikinių šamų UAS dumblo lyginamoji analizė rodo ryškius bendro kietųjų dalelių, azoto ir fosforo kiekio skirtumus. Upėtakių dumblas paprastai turi didesnį kietųjų dalelių kiekį ir kietųjų dalelių maistinių medžiagų frakcijas, o afrikinių šamų dumblas yra labiau praskiestas, o fosforas daugiausia egzistuoja kaip mineralinės formos (žr. 3.7 lent.).

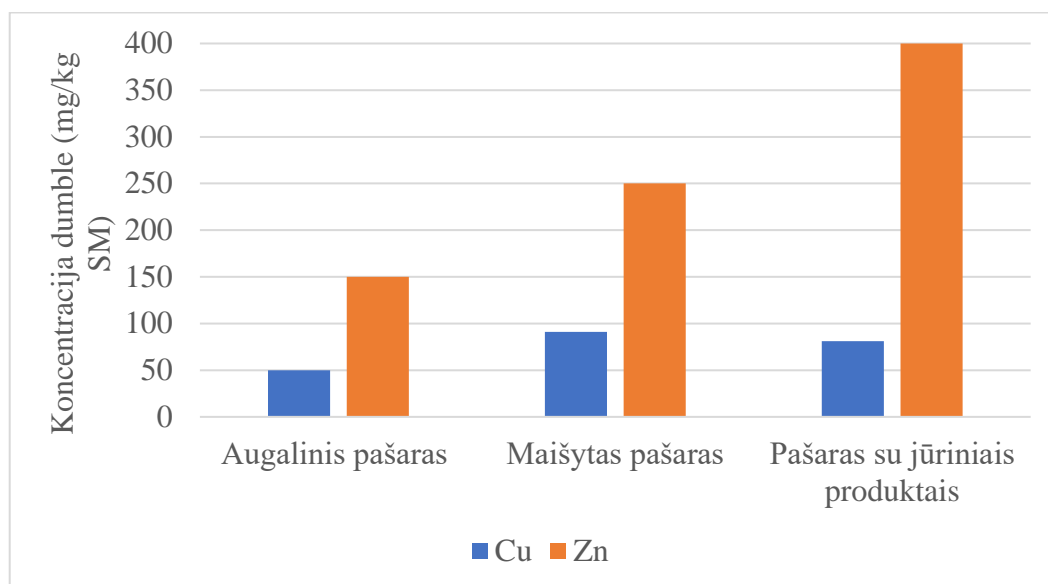
Lentelėje pateikta informacija apie akvakultūros dumblo, susidarančio auginant vaivorykštinius upėtakius ir afrikinius šamus, sudėties skirtumus.

3.7 lentelė. Dumblo kokybės rodikliai (vaivorykštinių upėtakių ir afrikinių šamų UAS)

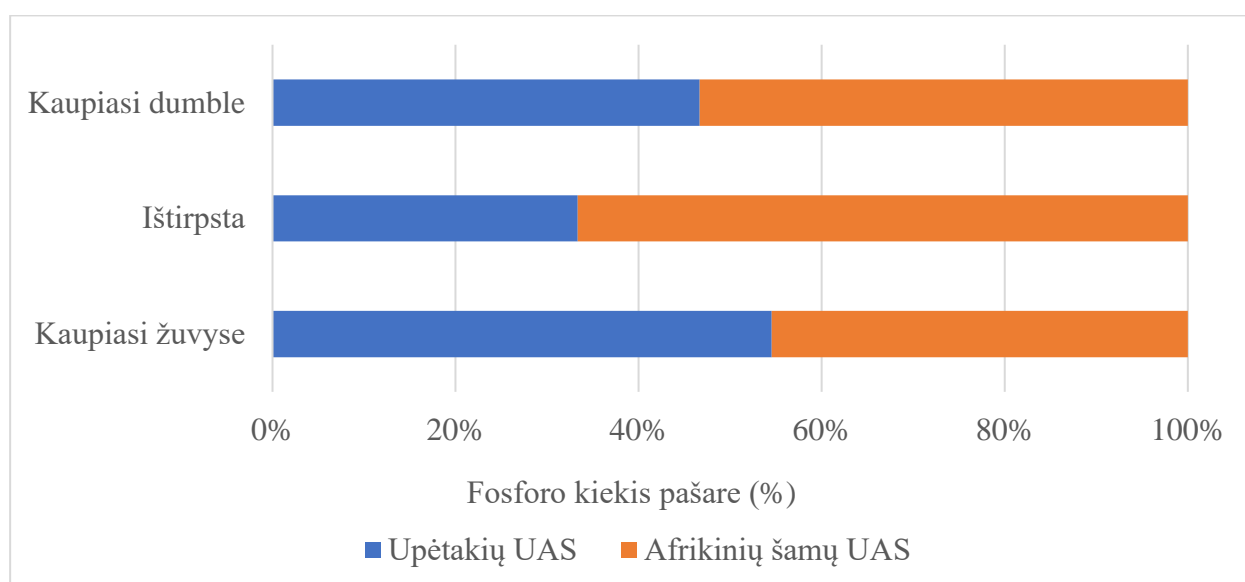
Žuvų rūšis / sistema	Bendras kietųjų dalelių kiekis	Lakiosios kietosios medžiagos (%SM)	N _B (%SD)	P _B (%SD)	Pastabos	Šaltiniai
Vaivorykštinių upėtakių UAS	~20–100 g/l praplovimo vandenyje;	~60–80%	~5–10	~2–4	Vidutinis išmatų nusėdimo greitis ≈0,7 cm/s; kietųjų dalelių COD ≈70–75%	Wong ir Piedrahita 2000; Dalsgaard ir Pedersen 2011; Ebeling ir kt. 2003/2004
Afrikinių šamų UAS	Neapdorotas dumblas paprastai 1–2% SM; po vandens pašalinimo 3,7–5,2 % SD	C/N santykis dažnai nepalankus	— (skiriasi; dažnai mažas N, palyginti su C paklausa)	P jungiamas daugiausia kalcio fosfatų pavidalu	Didelis vandens kiekis; dumblas dažnai nukreipiamas į saugojimo aikšteles; Energijos atgavimas pagerintas kartu su skaidymu	Klein ir kt. 2024 (Sienos); Prüter ir kt. 2020; Strauch ir kt. al. 2018

Kai kurių metalų koncentracijos akvakultūros dumble priklauso nuo naudojamo pašaro sudėties. 3.4 paveiksle pateiktos Cu ir Zn koncentracijos dumble, kai šėrimui naudojami skirtingi pašarai.

3.5 paveiksle pateikiamas vaivorykštinių upėtakių ir afrikinių šamų UAS susidarančiame dumble esančio fosforo masės balansas.



3.4 pav. Vario ir cinko koncentracija dumble naudojant skirtingus pašarus (parengta pagal įvairius šaltinius



3.5 pav. Fosforo masės balanso pasiskirstymas vaivorykštinių upėtakių ir afrikinių šamų UAS

Ryšys tarp pašarų sudėties ir dumblo kokybės pabrėžia subalansuoto baltymų ir energijos santykio svarbą. Daug baltymų ir mažai riebalų turinti dieta padidina atliekų susidarymą ir maistinių medžiagų praradimą, o subalansuoti arba daug energijos turintys pašarai pagerina maistinių medžiagų sulaikymą ir sumažina BDS₇ bei maistinių medžiagų išsiskyrimą. Metalų pėdsakai turėtų būti valdomi kontroliuojant mineralų papildus ir ingredientų tiekimą.

3.2. UAS susidarančio dumblo panaudojimo reglamentavimas ES ir Lietuvoje

Tiek Europos Sąjungoje, tiek ir Lietuvoje trūksta teisės aktų, kuriais nustatomas konkrečiai akvakultūroje susidarančio dumblo panaudojimas. Tiek ES, tiek ir Lietuvoje naudojamosi nuotekų dumblo panaudojimo žemės ūkyje reglamentavimu.

Europos Sąjungoje (ES) nuotekų dumblo naudojimą žemės ūkyje šiuo metu reglamentuoja tik sunkiųjų metalų (Cd, Cu, Hg, Ni, Pb ir Zn) ribinės vertės, išvardytos Tarybos direktyvoje 86/278/EEB. Šiam dokumentui jau daugiau nei 30 metų. Kelios Europos šalys nustatė griežtesnius reikalavimus, palyginti su direktyva, ir patvirtino kitų sunkiųjų metalų, sintetinių organinių junginių ir mikrobų taršos koncentracijos ribas. Straipsnyje „Present restrictions of sewage sludge application in agriculture within the European Union“, (Hudcová, Hh, 2019) pateikiama šių medžiagų dabartinių ribinių verčių nuotekų dumble ir sunkiųjų metalų koncentracijos dirvožemyje, skirtame dumblui naudoti, apžvalga, taip pat taikomi įstatymai ir reglamentai Europos Sąjungos šalyse. Tačiau reikalavimai konkrečiai UAS dumblui ten neaptarti.

Lietuvoje dumblo panaudojimas šiuo metu yra reglamentuotas dokumentu „Nuotekų dumblo tvarkymo ir panaudojimo reikalavimai“, patvirtintu Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2001 m. birželio 29 d. įsakymu Nr. 349 (Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2020 m. liepos 3 d. įsakymo Nr. D1-410 redakcija).

Nuotekų dumblo tvarkymo ir panaudojimo reikalavimų (toliau – Reikalavimai) tikslas – reguliuoti nuotekų dumblo apdorojimą, naudojimą žemės ūkyje, energinių augalų auginimui, žaliavinių medžių ir krūmų plantacijų, plantacinių miško želdinių ar žėlinių, įveistų buvusiose žemės ūkio naudmenose, auginimui, pažeistų teritorijų (pavyzdžiui, karjerų, išeksploatuotų durpynų, uždromų sąvartynų, kelių sankasų ir pan.), miesto žaliųjų erdvių ir pakelių rekultivavimui taip, kad nebūtų daromas neigiamas poveikis paviršiniams ir požeminiams vandenims, dirvožemiui, augmenijai, gyvūnams ir žmonėms.

Šie Reikalavimai taikomi nuotakynu surenkamų buitinių ir komunalinių (buitinių, paviršinių, gamybinių, infiltracinio vandens ir pan.) ir gamybinių nuotekų valymo metu susidarančiam dumblui.

Šių Reikalavimų 3.1 papunktyje apibrėžta, kad **apdorotas nuotekų dumblas** (toliau – apdorotas dumblas) – **ne trumpiau kaip vienus metus laikytas arba biologiniu, cheminiu ar terminiu būdu paveiktas nuotekų dumblas arba kitaip paveiktas nuotekų dumblas, kurio savybė fermentuotis ir keliamas sveikatai ir aplinkai pavojus jį naudojant yra sumažintas.**

UAS susidariusio dumblo atveju, norint panaudoti šį dumblą, jį reikia arba paveikti (biologiniu, cheminiu ar terminiu būdu ar kitaip), arba laikyti ne trumpiau kaip vienerius metus.

Paveikimas terminiu ar kitais būdais yra brangus sprendimas. Kita vertus, dumblo laikymui ne mažiau kaip vienerius metus reikalingos kelios didelio tūrio talpos arba nemažas žemės plotas, o dumblo sutankinimui naudojami koagulantai arba speciali tankinimo įranga.

3.6 papunktyje apibūdintas **nuotekų dumblas** (toliau – dumblas) – septiniuose ir kitokiuose buitinių ir kitų panašios sudėties nuotekų valymo įrenginiuose susidarantis dumblas. Prie nuotekų dumblo nepriskiriamos medžiagos ir elementai, sulaikomi grotomis, sietais, riebalų gaudyklėmis, naftos gaudyklėmis, smėliagaudėmis, flotatoriais ir pan. (pvz., šiukšlės, smėlis, riebalai, naftos produktai).

Vadovaujantis šiuo papunkčiu galima būtų teigti, kad iš UAS nuotekų mechaniniais (būgniniais ir pan.) filtrais, floatatoriais atskirtos dalelės galėtų būti nepriskiriamos nuotekų dumblui, galėtų būti surenkamos ir tvarkomos atskirai. Tačiau dumblas, susidarantis biologiniuose filtruose, priskiriamas nuotekų dumblui ir šiam dumblui taikomi nagrinėjami Reikalavimai. Tačiau galima būtų ženkliai sumažinti UAS susidarančio ir pagal Reikalavimus tvarkomo nuotekų dumblo kiekį, jei būtų atskirai būtų kaupiamos ir panaudojamos mechaniniuose filtruose, floatatoriuose atskirtos dalelės.

Reikalavimų 9 punkte nurodyti reikalavimai dumblo turėtojui: **dumblo turėtojas**, norėdamas perduoti apdorotą dumblą tręšimui, vadovaudamasis Reikalavimų nuostatomis, dumblo naudotojo pateiktu galiojančiu tręšimo planu bei numatomų naudotojui perduoti apdoroto dumblo tyrimų rezultatais, **privalo apskaičiuoti tręšimo apdorotu dumblo normas** (tonomis sausųjų medžiagų į hektarą), **galimą numatomame tręšti lauke panaudoti apdoroto dumblo kiekį** (natūrinį bei sausosiomis medžiagomis) ir **skaičiavimo rezultatus, patvirtintus atsakingo asmens parašu, pateikti naudotojui**. Dumblo turėtojas negali per metus pateikti naudotojui didesnio apdoroto dumblo kiekio už apskaičiuotą galimą panaudoti einamaisiais metais apdoroto dumblo kiekį. Dumblo naudotojas negali viršyti dumblo turėtojo pateiktų tręšimo apdorotu dumblo normų.

UAS dumblo turėtojų atveju, šio reikalavimo taikymas reikalauja papildomų žinių, skaičiavimų, kuriuos ne visi UAS eksploatuojantys specialistai turi galimybes atlikti.

Reikalavimų 14 punkte nurodoma, kad „**Dumblo turėtojas privalo vykdyti dumblo ir apdoroto dumblo apskaitą** pagal Atliekų susidarymo ir tvarkymo apskaitos ir ataskaitų teikimo taisyklėse, patvirtintose Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2011 m. gegužės 3 d. įsakymu Nr. D1-367 „Dėl Atliekų susidarymo ir tvarkymo apskaitos ir ataskaitų teikimo taisyklių patvirtinimo“, nustatytus reikalavimus. Dumblo apskaitos duomenys teikiami perskaičiuoti į sausąsias medžiagas“.

Reikalavimų 15 punkte nurodoma, kad „**Dumblo turėtojas privalo registruoti apdoroto dumblo (taip pat laikomo dumblo) kokybės ir naudojimo duomenis**. Apdoroto dumblo kokybės ir naudojimo duomenų suvestinės forma (toliau – Suvestinė) pateikta Reikalavimų 1 priede.

Paaikškinimai dėl Suvestinės pildymo pateikti Reikalavimų 2 priede. Apdoroto dumblo kokybės ir naudojimo duomenų suvestinėje registruojami duomenys apie:

15.1. dumblo apdorojimo būdą;

15.1.1. dumblo sausinimo būdą;

15.2. apdoroto dumblo kokybinius rodiklius:

15.2.1. sausų medžiagų kiekį (%);

15.2.2. organinių medžiagų kiekį (%);

15.2.3. azoto (N), fosforo (P) koncentraciją (mg/kg sausųjų medžiagų);

15.2.4. Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Hg koncentracijas (mg/kg sausųjų medžiagų);

15.2.5. mikrobiologinių-parazitologinių tyrimų rezultatus;

15.2.6. apdoroto dumblo pH;

15.3. kiekvieną dumblo naudotoją, kuriam buvo tiekiamas apdorotas dumblas:

15.3.1. dumblo naudotojų vardus, pavardes ar juridinio asmens pavadinimus, juridinio asmens kodus, adresus, informaciją apie vietą, kur bus naudojamas apdorotas dumblas (adresas, sklypas, paskirtis);

15.3.2. apdoroto dumblo panaudojimo pagrindą (nurodomas tręšimo planas, rekultivacijos projektas ar panašiai);

15.3.3. kiekvienam dumblo naudotojui perduoto apdoroto dumblo natūrinį kiekį ir apdoroto dumblo kiekį sausosiomis medžiagomis.

Pagal šį punktą, visi UAS dumblo turėtojai privalo registruoti apdoroto dumblo (taip pat laikomo dumblo) kokybės ir naudojimo duomenis. Tačiau, kiek žinome, tik dalis UAS įmonių atlieka dumblo kokybės tyrimus (ypač mažai - mikrobiologinių-parazitologinių tyrimus), registruoja dumblo kokybės ir naudojimo duomenis.

Reikalavimų 16 punkte nurodyta, kad „15 punkte nurodyti apdoroto dumblo kokybės ir naudojimo duomenys ir Suvestinė saugomi 10 metus nuo suvestinės užpildymo dienos, o vėliau sunaikinami įstatymų nustatyta tvarka“.

Reikalavimų 17 punkte nurodyta, kad „Dumblo turėtojai, perduodantys apdorotą dumblą naudoti tręšimui žemės ūkyje, praėjusių kalendorinių metų apdoroto dumblo kokybės ir naudojimo Suvestinės duomenis ne vėliau kaip iki einamųjų metų vasario 1 d. pateikia Aplinkos apsaugos agentūrai per informacinę sistemą „Aplinkos informacijos valdymo integruota kompiuterinė sistema“ (toliau – IS „AIVIKS“)“.

Reikalavimų 18 punkte nurodyta, kad „**Dumblo turėtojas, perduodamas apdorotą dumblą dumblo naudotojui, privalo išduoti dumblo kokybės pažymėjimą**, kuriame būtų nurodoma: perduodamo apdoroto dumblo kiekis, dumblo apdorojimo technologijos, apdoroto dumblo klasė (1

lentelė) ir kategorija (2 lentelė), sausųjų medžiagų kiekis, organinių medžiagų kiekis, pH, bendrojo azoto ir fosforo bei sunkiųjų metalų koncentracijos. Perduodant dumblo kompostą ir dumblo raugą nepageidaujamų priemaišų kiekis turi neviršyti 3 lentelėje nustatytų reikalavimų“.

Toliau pateikiamos Reikalavimų 18 punkte minimos 1-3 lentelės (žr. šios ataskaitos 3.8-3.10 lent.).

3.8 lentelė. Apdoroto dumblo skirstymas į klases pagal mikrobiologinius-parazitologinius parametrus

Dumblo klasė	Fekalinė žarnyno lazdelė (<i>Escherichia coli</i>), ksv/g	Anaerobinės klostridijos (<i>Clostridium perfringens</i>), ksv/g	Helmintų kiaušinėliai ir lervos, vnt./kg	Patogeninės enterobakterijos, ksv/g
A	≤ 1000	≤ 100 000	0	0
B	1001–100 000	100 001–10 000 000	1–100	0
C	> 100 000	>10 000 000	> 100	≥1

3.9 lentelė. Apdoroto dumblo skirstymas į kategorijas pagal sunkiųjų metalų koncentraciją

Dumblo kategorija	Sunkiųjų metalų koncentracija, mg/kg						
	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Zn	Hg
I	<140	<1,5	<140	<300	<50	<800	<1,0
II	140–150	1,5–5	140–170	300–1000	50–70	800–2500	1–1,5
III	>150	>5	>170	>1000	>70	>2500	>1,5

3.10 lentelė. Nepageidaujamų priemaišų leistinos ribos dumblo komposte ir dumblo rauge

Pavadinimas	Leistina riba
Stiklas, metalai, plastikas, kai jų dalelių dydis didesnis nei 2 mm	≤0,5% SM
Daigos augalų sėklos tarp jų gyvybingos piktžolės, šakniastiebiai	≤2 vnt./l
Akmenys, didesni nei 10 mm, skaičiuojant sausu svoriu	≤5%

Tolimesniuose Reikalavimų skyriuose nurodyti:

- dumblo laikymo, kompostavimo ir anaerobinio apdoravimo įrenginių įrengimo reikalavimai;
- reikalavimai dumblo kompostavimui ir anaerobiniam apdorojimui;
- dumblo komposto, dumblo raugo laikymo apdoravimo įrenginyje reikalavimai;
- apdoroto dumblo tyrimai;
- dirvožemio tyrimai;

- bendrieji reikalavimai apdoroto dumblo naudojimui;
- specialieji reikalavimai apdoroto dumblo naudojimui tręšimui žemės ūkyje;
- specialieji reikalavimai apdoroto dumblo naudojimui pažeistoms teritorijoms, miesto žaliosioms erdvėms ir pakelėms rekultivuoti;
- specialieji reikalavimai apdoroto dumblo naudojimui energiniams augalams, žaliavinėms medžių ir krūmų plantacijoms, plantaciniams miško želdiniams ar želdiniams tręšti;
- dirvožemio ir apdoroto dumblo analizės metodai;
- dumblo komposto, dumblo raugo priskyrimo tręšiamiesiems produktams kriterijai ir naudojimo reikalavimai.

Šių specifinių Reikalavimų punktų turi laikytis ir UAS dumblo turėtojai - labiausiai aktualūs reikalavimai dumblo laikymo, kompostavimo ir anaerobinio apdoravimo įrenginių įrengimui, dumblo kompostavimui ir anaerobiniam apdorojimui (šių reikalavimų šioje ataskaitoje detaliau neaptariame – tokie reikalavimai UAS dumblo turėtojams turėtų būti labiau pritaikyti, atsižvelgiant į UAS ir jose susidarančio dumblo specifiką, rengiant naujos UAS ar modernizuojamos UAS techniniame projekte).

3.3. Lietuvos akvakultūros sistemose susidarančio dumblo tvarkymo praktika

Lietuvos įmonės, turinčios uždaras apytakines žuvų auginimo sistemas, dumblą nusašina ir kaupia rezervuaruose ar aikštelėse tol, kol jį pasiima ūkininkai, kad panaudotų kaip trąšą. Vėlgi, norint dumblą atiduoti kaip trąšą ūkininkams, akvakultūros įmonės turi pateikti ištirti dumblo mėginius į laboratorijas, kad nustatyti, ar dumblo užterštumas neviršija normatyvų, nustatytų Nuotekų dumblo tvarkymo ir panaudojimo reikalavimuose. Tokia praktika šiuo metu taikoma visose aplankytose akvakultūros įmonėse (išskyrus UAB „Žuvies kultas“, kuri pradėjo auginti afrikinius šamus naujai įrengtoje UAS ir šiuo metu reikšmingo dumblo kiekio sukaupti dar neturi). Kai kurios kitos įmonės, turinčios UAS bei žuvų perdirbimo įrangą, galvoja apie žuvų atliekų panaudojimo galimybes.

Skirtingose akvakultūros įmonėse, turinčiose UAS, vykdant MTTP projektą Nr. MTE-22-6 (Rekomendacijų .., 2023) paimti dumblo mėginiai buvo atiduoti tyrimams LAMMC Žemdirbystės instituto Agrocheminių tyrimų laboratorijos Analitiniam skyriui, kur nustatomos dumble esančių maistingųjų medžiagų (biogenų N; P; K; C), cheminių junginių, sunkiųjų metalų (švino, gyvsidabrio, kadmio, arseno, mangano, chromo, cinko, vario ir/ar kt.) koncentracijos.

Toliau (3.6 – 3.12 pav.) pateikiame keletą nuotraukų iš dumblo mėginių paėmimo skirtingose UAS.



3.6 pav. Būgninio filtro praplovimo vandens surinkimo talpa su surinktais riebalais



3.7 pav. Imamas dumblo mėginys iš sėdintuvo, kur surinktas ir sutankėjęs būgninio filtro praplovimo vanduo, paveiktas koaguliantų



3.8 pav. Kombinuoto veikimo daugiasekciniai valymo įrenginiai



3.9 pav. Mėgininio ėmimas iš dumblo kaupimo ir nusausinimo rezervuaro



3.10 pav. Paruošto išvežti dumblo rezervuaras



3.11 pav. Tvenkinys su iš UAS išleistu panaudotu vandeniu, valomu gamtai artimu būdu



3.12 pav. Paruošto išvežti dumblo rezervuaras prie upėtakius auginančios UAS

Paminėtina, kad UAS nuotekų bei dumblo detalesni tyrimai buvo atlikti 2017 metais ataskaitos autoriams bei kolegoms įgyvendinant projektą „UAB „Baisogalos bioenergija“ (UAB Žuvėja) šamų auginimo ūkyje susidarančių nuotekų nukenksminimo ir panaudojimo galimybės“ .

Pastarojo MTD metu Baisogalos UAS (UAB Žuvėja) nuotekų bandymai buvo atlikti tris kartus, buvo išmatuoti pagrindiniai parametrai, apsprendžiantys nuotekų užterštumą - organinio užterštumo rodiklis (BDS₇) bei ištirpę azoto ir fosforo junginiai.

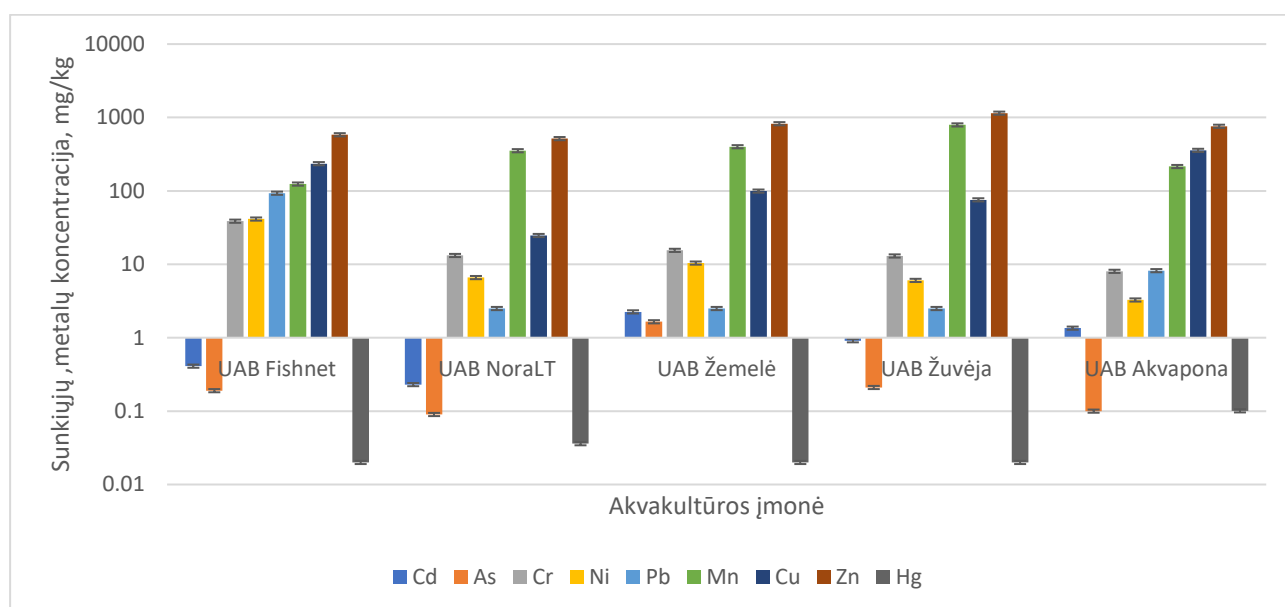
Apibendrinant tuometinių bandymų rezultatus, galima paminėti, kad:

- Biologinis deguonies sunaudojimas (BDS₇), rodantis nuotekų užterštumą organinėmis medžiagomis siekė 106 mg/l. Leidus nuotekoms nusistovėti kelias valandas, nusistojusio skysčio BDS rodiklis – 50 mg/l, t.y. daugiau kaip pusę (53%) organinio užterštumo galima pašalinti kartu su nusistovėjusiu dumbliu.
- Amonio azoto koncentracija buvo 29 mg/l, o sutrikus mechaninio filtro darbui trečio matavimo metu – 72 mg/l. Tai gerokai viršija literatūroje nurodomą 12 mg/l reikšmę, tačiau, kadangi sistemos vandens pH rodiklis svyravo tarp 6,27 ir 6.7, tai tokia vandenyje esant sistemos vandens temperatūrai 23⁰C nedisocijavusio amonio dalis sudaro tik 0,2%, t.y. absoliučios jo reikšmės būtų nuo 0,0576 mg/l iki 0,144 mg/l ir tai gerokai mažiau už nepageidautiną afrikiniams šamams augimą stabdančią reikšmę lygią 0,34 mg/l. Tokios pH reikšmės (rūgštus vanduo) yra privalumas amonio toksiškumo požiūriu ir gerai tinka augalų auginimui akvaponinėje sistemoje, tačiau amonio šalinimo efektyvumas biofiltre labai sumažėja.
- Nitritų reikšmės buvo 0,38 mg/l, trečio matavimo metu – 0,69 mg/l ir neviršijo kenksmingų koncentracijų, kurių reikšmės šiltavandenėms žuvims yra nuo kelių mg/l.
- Literatūroje afrikinių šamų UAS jo koncentracija nurodoma nuo 20 iki 220 mg/l. Bandymų metu nustatytas jų kiekis UAS svyravo nuo 33 iki 45 mg/l. Kadangi UAS jis šalinamas periodiškai pakeičiant sistemos vandenį, vienareikšmiškų išvadų daryti negalima – tai priklauso nuo pakeičiamo vandens kiekio
- Nusistovėjusiame vandenyje azoto junginių koncentracija ženkliai nekito, nes dauguma azoto UAS yra tirpioje formoje.
- Fosforas ir jo junginiai tiesiogiai neveikia žuvų (fosfatų koncentracija iki 52 mg/l niekaip nepaveikė auginamų žuvų (van Bussel et al., 2013)), tačiau tai pagrindinis mitybinis elementas skatinantis gėlų vandens telkinių eutrofikaciją (žydėjimą). Išmatuotos UAS fosfatų reikšmės svyravo nuo 12 iki 14 mg/l, kas atitiktų fosforo koncentraciją lygią 3,9 – 4,6 mg/l. Nusistovėjusiame vandenyje fosfatų neženkliai sumažėjo – iki 11 mg/l.

3.4. Sunkiųjų metalų tyrimų rezultatai Lietuvos akvakultūros ūkiuose susidariusiame dumble

3.13 pav. pateikti UAS akvakultūros ūkių dumble nustatytų sunkiųjų metalų duomenys. Galima matyti, kad UAS dumble vyrauja cinkas, daugumoje ūkių po to – manganas, išskyrus UAB „Žemelė“: mangano koncentracijos yra labai mažos.

Išanalizavus UAS susidariusio nuotekų dumblo kokybę pagal jame esančias sunkiųjų metalų koncentracijas galima matyti kad cinko koncentracija svyruoja tarp 516 – 1146 mg/kg, Didžiausia cinko koncentracija rasta UAS ūkyje UAB „Žuvėja“ – 1146 mg/kg. Ši koncentracija yra didesnė už leistiną I klasės dumblo reikšmę (<800 mg/kg), bet ši reikšmė yra II kategorijos dumblo cinko koncentracijos ribose, kuri yra 800-2500 mg/kg. Mažiausia UAS cinko koncentracija buvo UAB „NorasLT“ – 516 mg/kg.

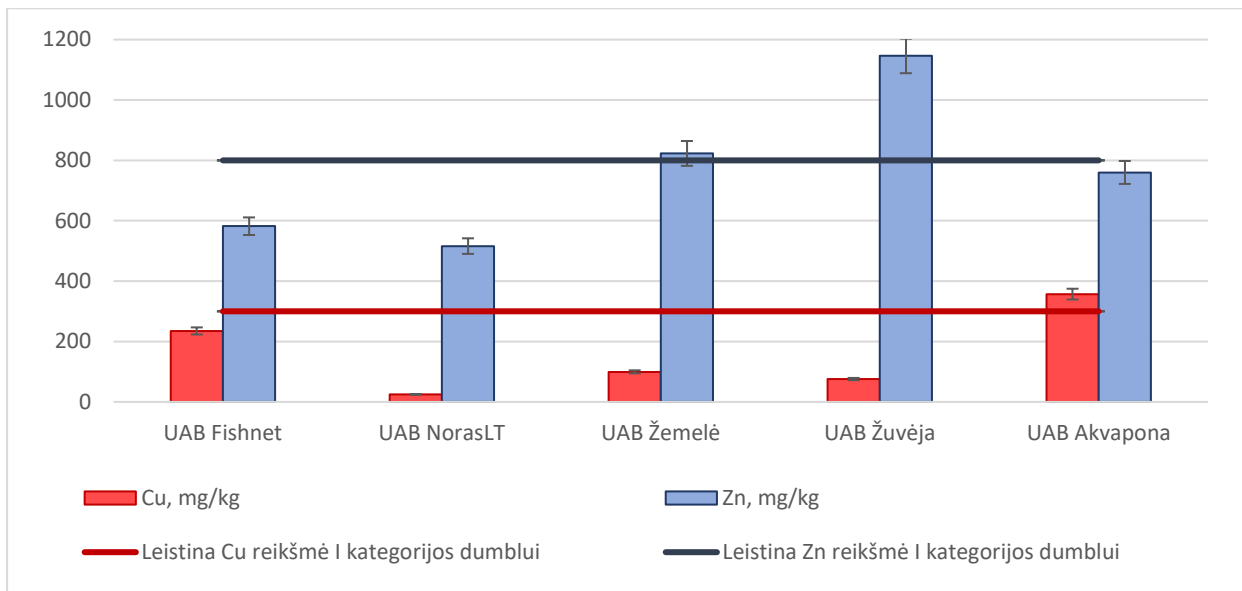


3.13 pav. Sunkiųjų metalų koncentracijos tirtame UAS ūkių dumble

UAS ūkiuose vario koncentracija svyruoja tarp 24,7 – 357 mg/kg (3.14 pav.). Didžiausia vidutinė vario koncentracija nustatyta UAB „Akvapona“ – 357 mg/kg, ši reikšmė taip pat yra didesnė už nustatytą leistiną vario reikšmę I klasės dumbliui (<300 mg/kg). Todėl pagal šį rodiklį UAB „Akvapona“ dumblas priskiriamas II kategorijos dumbliui, kurio vario koncentracija gali svyruoti nuo 300 iki 1000 mg/kg. Mažiausia vario koncentracija UAS ūkyje UAB „NorasLT“ – 24,7 mg/kg..

Pagal UAS įmonių dumble nustatytą cinko koncentraciją UAB „Žuvėja“ dumblas priskiriamas II kategorijos dumbliui.

UAB „Akvapona“ dumblas taip pat priskiriamas II kategorijos dumbliui dėl per didelės vario koncentracijos.



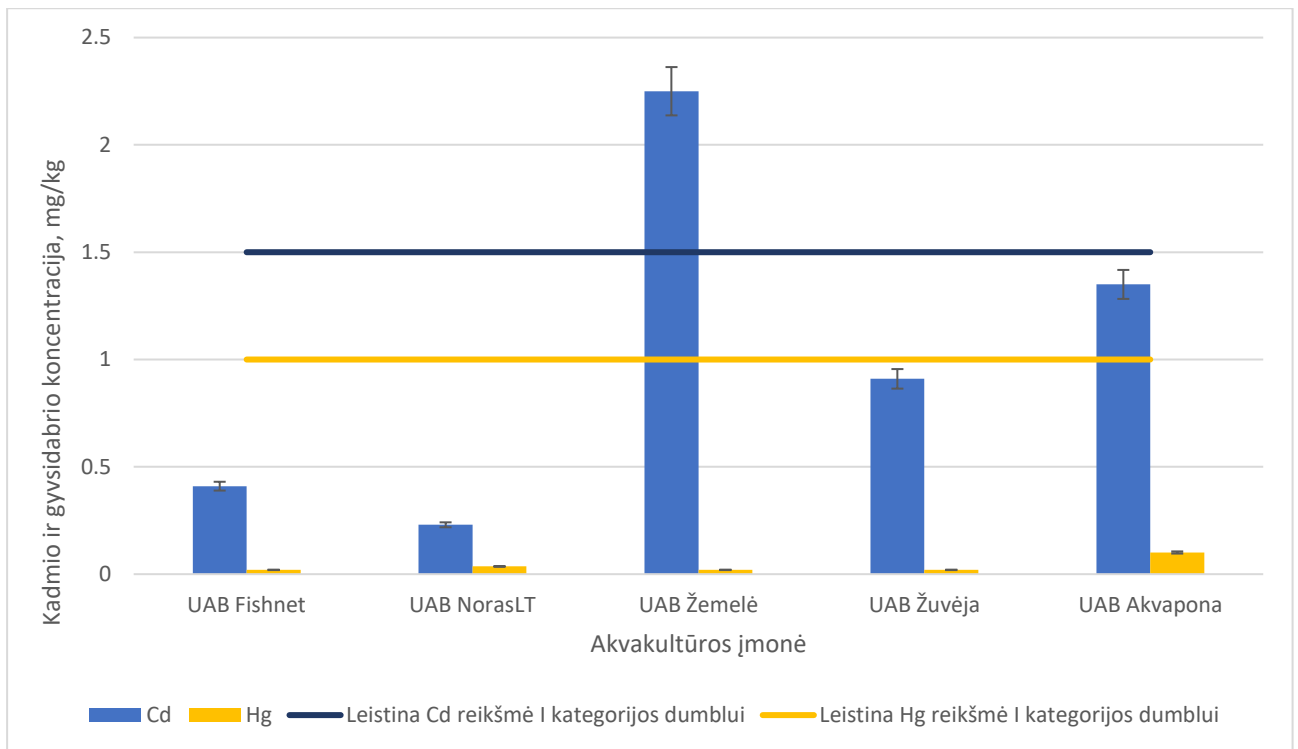
3.14 pav. Vario ir cinko koncentracijos tirtame UAS dumble

Išanalizavus UAS susidariusio nuotekų dumбло kokybę pagal jame esančias kadmio koncentraciją, nustatyta (3.15 pav.), kad ji neviršija leistinos reikšmės I kategorijos dumblui, kuri yra <math><1,5 \text{ mg/kg}</math>. UAS ūkiuose vidutinė kadmio koncentracija svyruoja tarp 0,23 – 1,35 mg/kg. Didžiausia kadmio koncentracija rasta UAS ūkyje UAB „Akvapona“ – 1,35 mg/kg (36,98% nuo bendro visų UAS dumble nustatyto kiekio), o mažiausia - UAB „NorasLT“ – 0,23 mg/kg (6,58% nuo bendro visų UAS dumble nustatyto kiekio).

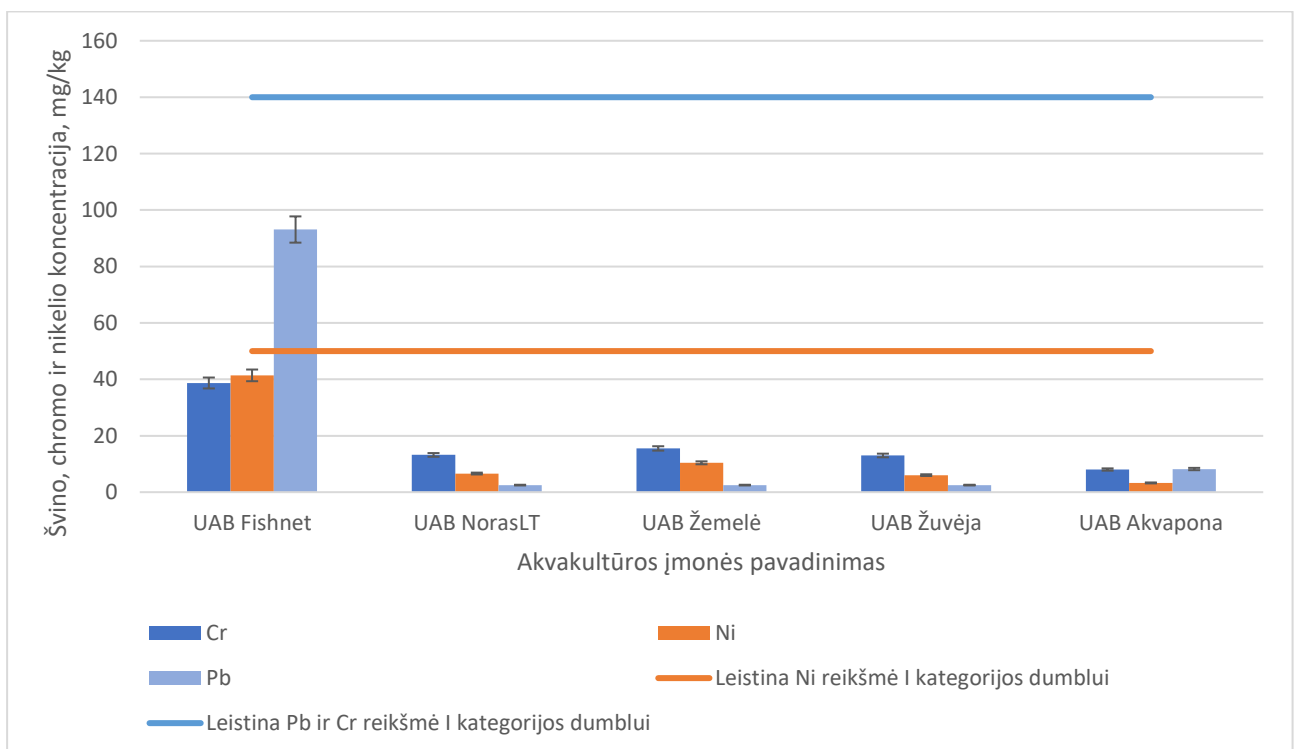
Gyvysidabrio vidutinė koncentracija UAS ūkiuose susidariusiame nuotekų dumble svyruoja nuo <math><0,008</math> iki 0,10 mg/kg. Visų akvakultūros ūkių dumble gyvysidabrio koncentracija buvo mažesnė už leistiną I kategorijos dumblui (<math><1,0 \text{ mg/kg}</math>).

Akvakultūros ūkių nuotekų dumble susidariusios sunkiųjų metalų švino, chromo ir nikelio vidutinės koncentracijos pateiktos 3.16 pav. UAS ūkiuose didžiausios chromo ir nikelio koncentracijos nustatytos UAB „Fishnet“ – chromo - 38,7 mg/kg, nikelio – 41,4 mg/kg. Nei viename UAS ūkyje šių trijų metalų koncentracijos nėra didesnės už leistiną reikšmę I klasės dumblui: švino leistina koncentracija yra <math><140 \text{ mg/kg}</math>, chromo - <math><140 \text{ mg/kg}</math> ir nikelio - <math><50 \text{ mg/kg}</math>.

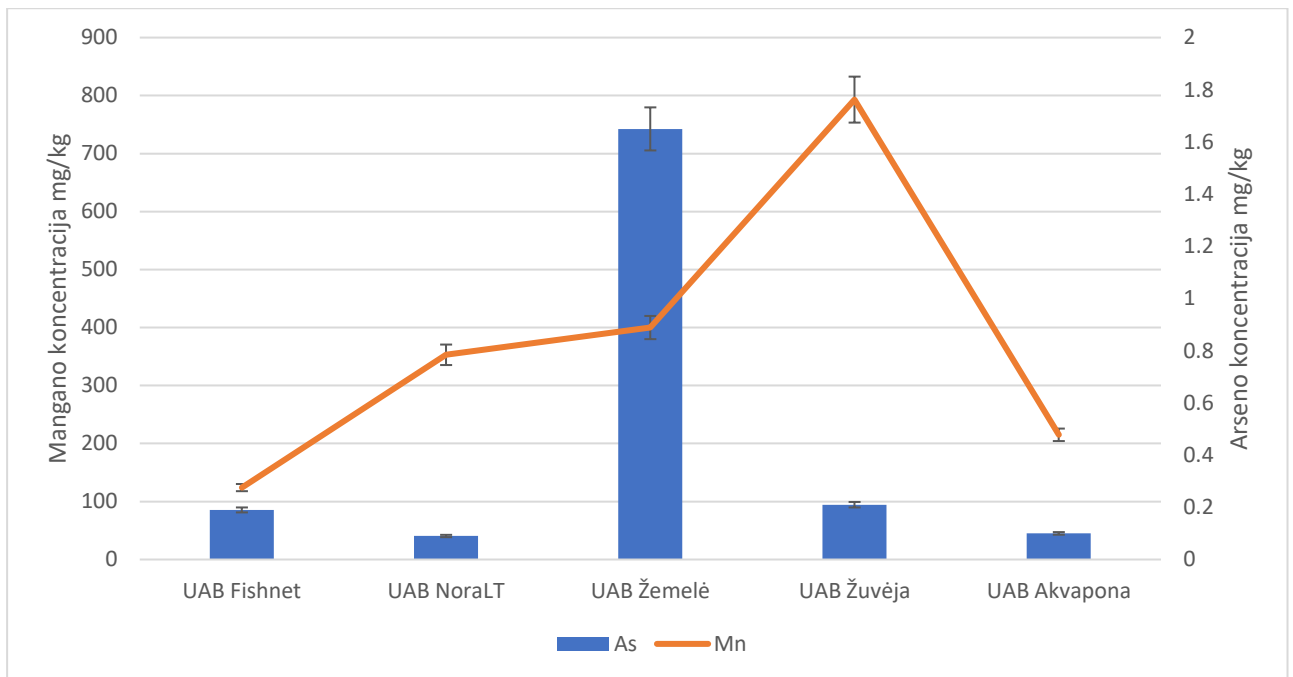
Akvakultūros ūkių nuotekų dumble susidariusio mangano ir arseno vidutinės koncentracijos pateiktos 3.17 pav. UAS ūkiuose didžiausios mangano koncentracija nustatyta UAB „Žuvėja“ – 793 mg/kg, o arseno – 0,21 mg/kg. Likusiuose UAS ūkiuose arseno koncentracijos gana žemos.



3.15 pav. Kadmio ir gyvsidabrio koncentracijos UAS dumblė



3.16 pav. Chromo, švino ir nikelio koncentracijos UAS dumblė



3.17 pav. Mangano ir arseno koncentracijos tirtame UAS dumble

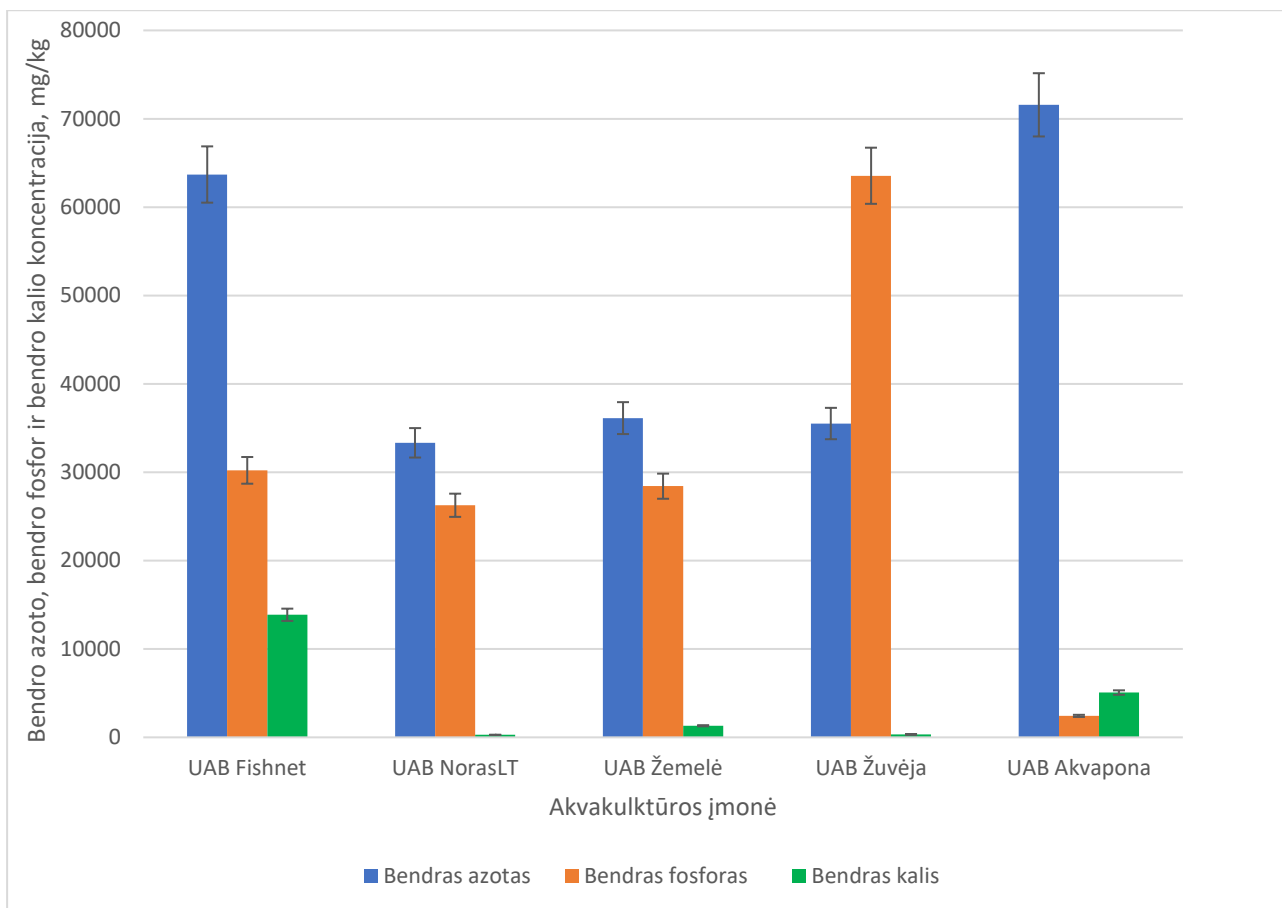
3.5. Bendrojo azoto, bendrojo fosforo, bendrojo kalio bei organinės medžiagos tyrimų rezultatai Lietuvos akvakultūros ūkiuose susidariusiame dumble

Analizuojant bendrojo azoto, bendrojo fosforo ir bendrojo kalio duomenis (žr. 3.18 pav.), didžiausia bendrojo azoto koncentracija nustatyta UAB „Žemelė“ ūkio dumble (auginami europiniai unguriai). Ji siekia 112768 mg/kg. Mažiausia bendrojo azoto koncentracija nustatyta UAB „NorasLT“ ūkio dumble – 33330 mg/kg (auginama arktinė palija).

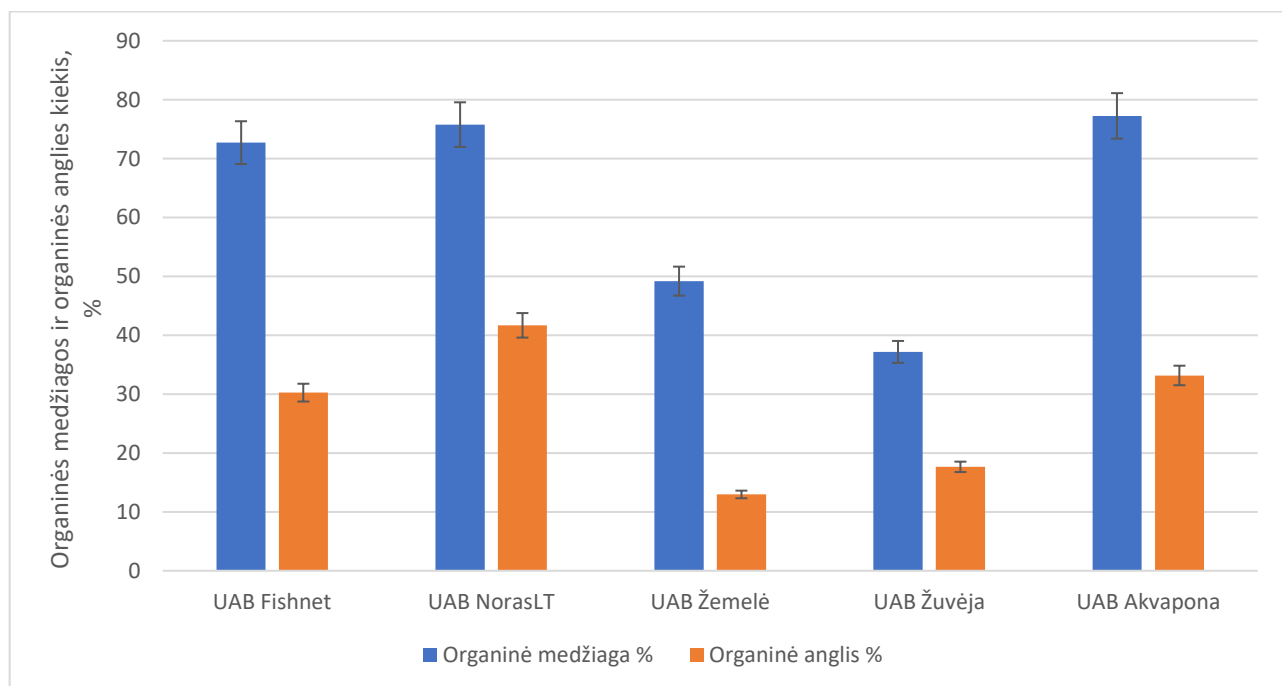
Bendrojo fosforo didžiausia koncentracija nustatyta UAB „Žuvėja“ dumble – 63551 mg/kg, o mažiausia UAB „Akvapona“ - 2430 mg/kg.

Bendrojo kalio daugiausiai rasta UAB „Fishnet“ ūkio dumble – 13869 mg/kg, o mažiausia koncentracija nustatyta UAB „Žemelė“ ūkio dumble – 1294 mg/kg.

Organinės medžiagos kiekis (žr. 3.19 pav.) nustatytas panašus visų tirtų UAS ūkių dumble, išskyrus UAB „Žuvėja“. Šio ūkio dumble organinės medžiagos nustatyta mažiausiai, t.y. 37,17%, kai kituose ūkiuose organinės medžiagos kiekis svyravo nuo 66,05% iki 77,25%. Mažesnis organinės anglies kiekis nustatytas dviejų UAS ūkių dumble – UAB „Žemelė“ (17,77%) ir UAB „Žuvėja“ (17,67%). Kitų UAS ūkių dumble organinės anglies kiekis svyravo nuo 30,5% iki 41,68%.



3.18 pav. Bendrojo azoto, bendrojo fosforo ir bendrojo kalio koncentracijos tirtame UAS dumble



3.19 pav. Organinės medžiagos ir organinės anglies kiekis procentais UAS dumble

3.6. Lietuvos UAS naudojami pašarai, jų kiekiai, sudėtis, iš pašarų į dumblą patenkančių N ir P procentinės dalys

Remiantis Lietuvos nacionalinė žuvininkystės duomenų rinkimo programa, Lietuvos akvakultūros įmonėse ir ūkiuose kasmet sunaudojama 11-14 tūkst.t pašarų (2024 m. sunaudota apie 12,8 tūkst.t pašarų), iš jų UAS sunaudojama apie 1 tūkst. t. kombinuotų pašarų (2024 m., kaip ir 2022 – apie 1,05 tūkst.t., nors 2023 m. sunaudojama buvo žymiai daugiau, net 1,73 tūkst.t.) (3.20-3.21 pav.).



3.20-21 pav. Akvakultūros gamybai sunaudotų pašarų kiekis, tipas ir vertė (šaltinis - Lietuvos nacionalinė žuvininkystės duomenų rinkimo programa)

Kaip minėta 3.1.1 poskyryje, žuvų pašaras, patekęs į vandenį yra įsisavinamas auginamų žuvų, o nesunaudota jo dalis lieka vandenyje ir toliau skaidoma mikroorganizmų. Pagrindiniai žuvų metabolizmo produktai yra anglies dioksidas, amonio azotas ir fekalinės medžiagos (3.1 pav.).

Iš sušerto 1 kg pašarų žuvis išskiria 25-30% nuo pašarų kiekio fekalijų forma (jos didžiaja dalimi patenka į dumblą). Su fekalijomis išskiriama 6-15% organinio azoto junginių, 20% fosforo junginių, 25% anglies, patekusių su pašarais. Taip pat nustatyta, kad apie 9% dumblo sistemoje susidaro dėl biofiltro mikroorganizmų gyvybinių procesų (dauginimosi ir to pasėkoje negyvos bioplėvelės atitrūkimo nuo biofiltro užpildo).

Tai orientacinės reikšmės, kadangi pašaro suvartojimas, metabolizmo produktų išskyrimas priklauso ir nuo žuvies rūšies bei amžiaus, ir nuo vandens temperatūros bei kitų veiksnių.

Pramoniniams projektiniams skaičiavimams priimama, kad vienas kilogramas sušertų pašarų generuoja 300 g dumblo. Tyrimai pramoninėmis sąlygomis pateikia reikšmes nuo 200 g iki 400 g kilogramui pašarų ir pažymima, kad tikėtis mažiau kaip 200 g realiomis auginimo sąlygomis yra nerealu, o reikšmių, viršijančių 450 g taip pat nepasitaiko, nes tai rodytų ypatingai neekonomišką pašarų naudojimą.

Nustatant teorinį UAS susidarancio dumblo kiekį, reikalinga turėti žuvų biomasę sistemoje ir realiai nustatytą pašarų konversijos koeficientą. Siekiant labai tikslių rezultatų, reikėtų įvertinti šėrimų grafiką, pašarų gamintojų rekomendacijas, pašarų sudėtį.

Vizitų į Lietuvos tvenkininės žuvininkystės ūkius bei akvakultūros įmones, turinčias UAS, metu, buvo siekiama surinkti informaciją apie žuvų šėrimui naudojamus pašarus bei šių pašarų gamintojų deklaruojamoje sudėtyje nurodytas N ir P reikšmes.

Ne visos įmonės noriai dalijosi informacija apie naudojamus pašarus, o mūsų lankymosi įmonėse metu surinkti duomenys pateikiami 3.11 lentelėje.

Analizuojant Lietuvos UAS žuvų šėrimui naudojamus pašarus ir jų sudėtis, galima matyti, kad fosforo junginių ir azoto junginių (kaip ir kitų sudedamųjų dalių) procentinės dalys yra skirtingos – tai priklauso nuo gamintojo, šeriamų žuvų rūšies ir jų dydžio. Kai kurie gamintojai net nepateikia bendro P ir/ar bendro N procentinių dalių. Tikslius skaičiavimus galima būtų atlikti tik konkrečioms sistemos ar konkrečiam UAS ūkiui.

Skaičiavimams taip pat taikytini maistinių medžiagų (azoto ir fosforo junginių) sulaikymo ir išskyrimo rodikliai (procentais nuo suvartoto pašaro) (3.12 lent.).

Lietuvos akvakultūros įmonių ir ūkių sunaudotų pašarų kiekis ir vertė pagal gamybos tipą ir akvakultūros metodą						
Metai	2019		2020		2021	
	Gamybos tipas	Sunaudotų pašarų kiekis t	Sunaudotų pašarų vertė Eur, be PVM	Sunaudotų pašarų kiekis t	Sunaudotų pašarų vertė Eur, be PVM	Sunaudotų pašarų kiekis t
⊖ Ekologinė produkcija	433.46	103,303.16	616.68	124,587.99	719.21	120,843.38
⊖ Tvenkiniai, baseinai ir kanalai	433.46	103,303.16	616.68	124,587.99	719.21	120,843.38
Grūdai	423.46	99,625.38	606.73	119,230.74	716.15	119,190.98
Kombinuoti žuvų pašarai	10.00	3,677.78	9.95	5,357.25	3.06	1,652.40
⊖ Įprastinė produkcija	13,736.87	4,631,170.94	12,701.04	4,361,998.97	11,828.60	4,437,009.08
⊖ Tvenkiniai, baseinai ir kanalai	12,895.03	3,432,071.53	11,789.21	3,101,523.83	10,817.78	3,105,636.27
Grūdai	7,849.99	1,344,254.63	7,088.67	1,127,637.47	6,329.50	1,129,799.71
Kombinuoti žuvų pašarai	5,045.04	2,087,816.90	4,700.54	1,973,886.36	4,488.28	1,975,836.56
⊖ Uždarosios akvakultūros sistemos	841.83	1,199,099.41	911.83	1,260,475.14	1,010.82	1,331,372.81
Kombinuoti žuvų pašarai	841.83	1,199,099.41	911.83	1,260,475.14	1,010.82	1,331,372.81
Iš viso	14,170.33	4,734,474.10	13,317.72	4,486,586.96	12,547.81	4,557,852.46

Lietuvos akvakultūros įmonių ir ūkių sunaudotų pašarų kiekis ir vertė pagal gamybos tipą ir akvakultūros metodą						
Metai	2022		2023		2024	
	Gamybos tipas	Sunaudotų pašarų kiekis t	Sunaudotų pašarų vertė Eur, be PVM	Sunaudotų pašarų kiekis t	Sunaudotų pašarų vertė Eur, be PVM	Sunaudotų pašarų kiekis t
⊖ Ekologinė produkcija	317.16	83,689.08	458.98	130,908.90	712.40	148,655.20
⊖ Tvenkiniai, baseinai ir kanalai	317.16	83,689.08	458.98	130,908.90	712.40	148,655.20
Grūdai	317.16	83,689.08	458.98	130,908.90	712.40	148,655.20
Kombinuoti žuvų pašarai						
⊖ Įprastinė produkcija	10,554.83	5,463,329.17	11,011.90	5,228,801.91	12,082.10	4,566,798.57
⊖ Tvenkiniai, baseinai ir kanalai	9,505.05	3,972,059.71	9,279.19	3,281,855.75	11,036.27	3,111,206.77
Grūdai	5,247.85	1,457,966.13	4,992.38	1,059,136.00	7,241.21	1,339,122.87
Kombinuoti žuvų pašarai	4,257.20	2,514,093.58	4,286.81	2,222,719.75	3,795.07	1,772,083.90
⊖ Uždarosios akvakultūros sistemos	1,049.78	1,491,269.46	1,732.71	1,946,946.16	1,045.83	1,455,591.80
Kombinuoti žuvų pašarai	1,049.78	1,491,269.46	1,732.71	1,946,946.16	1,045.83	1,455,591.80
Iš viso	10,871.99	5,547,018.25	11,470.88	5,359,710.81	12,794.50	4,715,453.77

3.22 pav. Akvakultūros gamybai sunaudotų pašarų kiekis ir vertė pagal gamybos tipą ir akvakultūros metodą (šaltinis - Lietuvos nacionalinė žuvininkystės duomenų rinkimo programa)

3.11 lent. Lietuvos UAS žuvų šėrimui naudojami pašarai ir jų sudėtis

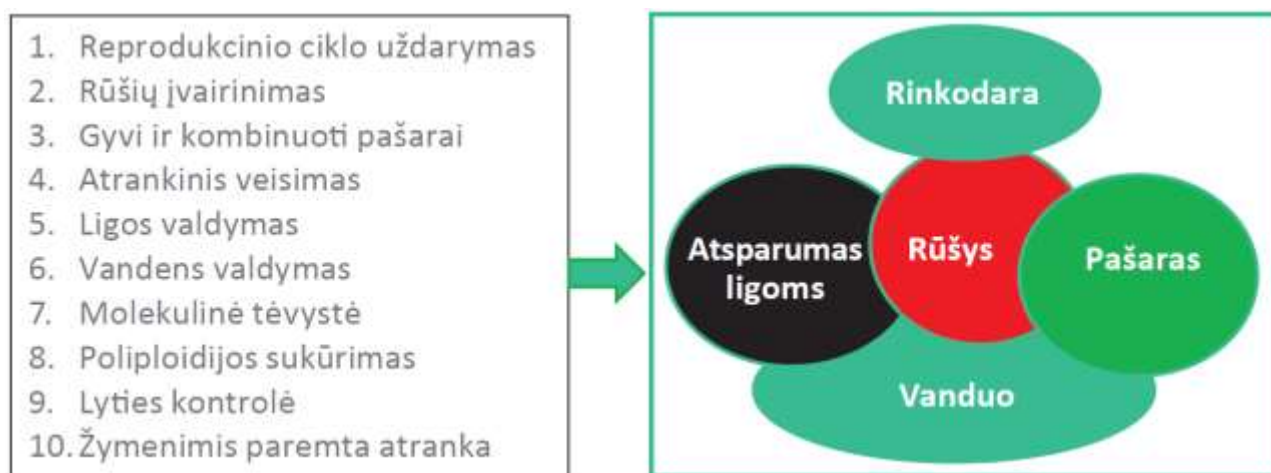
Šeriamų žuvų rūšis	Pašarų gamintojas	Pašarų pavadinimas	Dydis, mm	Analitinės sudedamosios dalys, %						Pastabos	
				Baltymai	Riebalai	Lašteliena	P	K	N		Pelenai
Vaivorykštinis upėtakis (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	ALLTECH COPPENS	CRYSTAL HEALTH	4,5	40,8	30	1,3	0,94	1,1	0,3		
Alpinė šalvis (<i>Salvelinus alpinus</i>)	SKRETTING	T-XL Optiline HE RC A80 SF	8,0	39	28	1,8	0,9	0,2	1,5	7	Anksčiau naudojo BIOMAR pašarus
Afrikinis šamas (<i>Clarias gariepinus</i>)	ALLTECH COPPENS	PRE GROWER 15 EF	2,0	50	15	0,5	1,11			7,5	Lervutėms - BIOMAR
Ungurys (<i>Anguilla anguilla</i>)	ALLTECH COPPENS	EXTREME	2,0	48	28	0,2	1,35			10,2	Anksčiau naudojo BIOMAR pašarus

3.12 lent. Maistinių medžiagų (azoto ir fosforo) sulaikymo ir išskyrimo rodikliai (procentais nuo suvartoto pašaro) (pagal Piedrahita, 2003)

Sunaudota kūno energijai		Nesuvirškintas (kietosios dalelės)		Išskirtas (ištirpusi forma)		Žuvies rūšis	Šaltinis
N	P	N	P	N	P		
49	36	14	55	37	9	Atlantinė lašiša	Johnsen, Hillestad, & Austreng, 1993; Bergheik & Asgard, 1996
	17-19		48-54		28-34	Atlantinė lašiša	Holby and Hall, 1994
11	32					Karpis	Avnimelech & lacher, 1979
27	30					Kanalinis šamas	Boyd, 1985
30		13		57		Vaivorykštinis upėtakis	Beveridge, Phillips & Clarke, R. M., 1991
25	30	15	70	60	0	Vaivorykštinis upėtakis	Hakanson, 1988; Pillay, 1992
21-22	18,8	3,6-5,4	19-22	59-72	60-62	Tilapijos hibridas	Siddiqui & Al-Harbi, 1999

3.7. Duomenys, kaip diegiamos tvarų vandens naudojimą gerinančios, aplinkos taršą mažinančios priemonės ir technologinės inovacijos UAS

Per pastaruosius 50 metų mokslo taikymas ir naujų technologijų diegimas akvakultūros plėtroje paskatino spartų akvakultūros vystymąsi pasaulyje. Kalbant apie rūšis, pašarus, gamybos sistemas, ligas, produktus, verslo struktūras ir rinkodarą, akvakultūra yra labiau įvairi nei kiti žemės ūkio sektoriai (FAO, 2020). Mokslo ir technologijų pažanga buvo naudinga beveik kiekvienam akvakultūros veiklos aspektui. Daugybė technologijų ir technologinių inovacijų (žr. 3.23 pav.) reikšmingai prisidėjo prie akvakultūros gamybos intensyvinimo.



A. Akvakultūroje diegiamos technologijos

B. Svarbūs akvakultūros komponentai

3.23 pav. Akvakultūroje taikomos technologijos, lemiančios spartų akvakultūros produkcijos augimą (Yue & Shen, 2021)

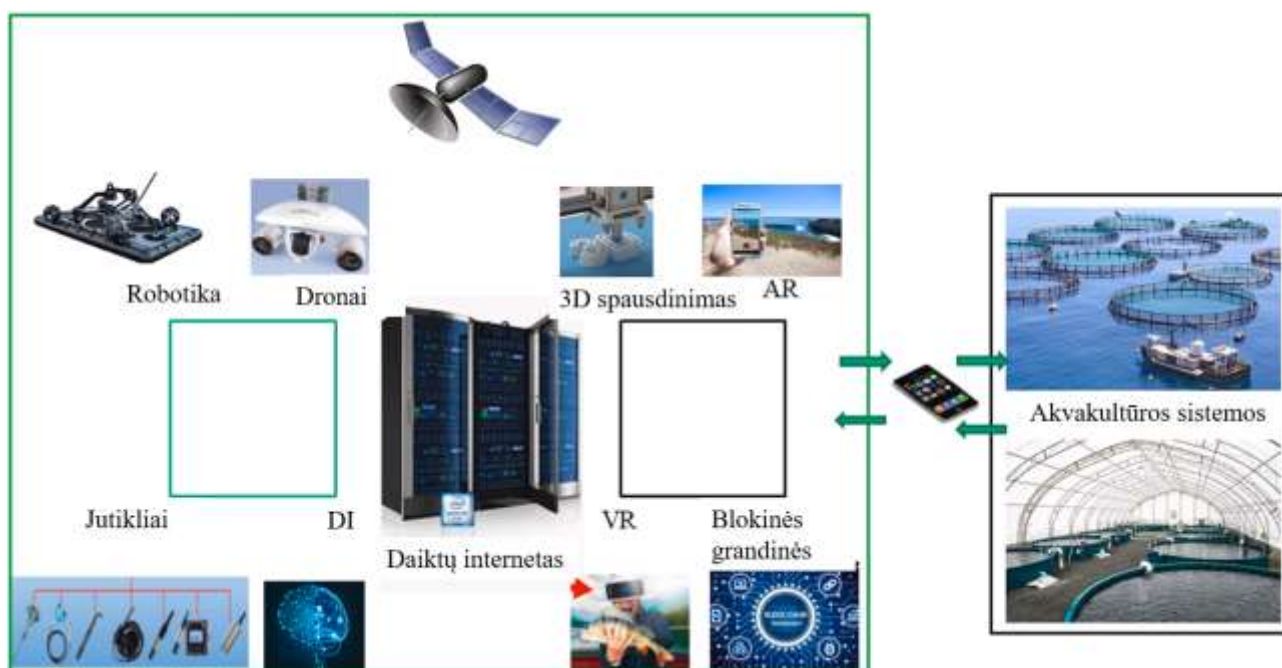
Akvakultūros plėtrai padeda naujos ir novatoriškos technologijos. Kelios naujos ir novatoriškos technologijos turi potencialą ženkliai pakeisti akvakultūros gamybą. Šios technologijos apima robotiką, informacines / skaitmenines technologijas, modernias UAS, žuvų miltų ir taukų pakeitimą alternatyviais baltymais ir žuvų taukais bei girdomąsias vakcinas.

Nors akvakultūros sektorius yra vienas lėčiausiai diegiančių naujas technologijas, šios srities žmonės suprato, kad naujausi technologijų pasiekimai gali atverti galimybes tvariai ir pelningai akvakultūrai. Visos šios technologijos buvo patvirtintos (santykinai nedideliu mastu), kad galėtų revoliucionizuoti kai kurias akvakultūros sritis. Tačiau yra didelių skirtumų tarp naujų ir revoliucinių technologijų prieinamumo ir jų realaus pritaikymo akvakultūros pramonėje.

Įvairių technologijų integravimas į skirtingas akvakultūros sistemas yra sudėtingas procesas. Tam reikia įvairių tipų ir kiekių akvakultūros įrangos, įskaitant deguonies sodrinimo įrenginius,

šerimo įrangą, skirtingų tipų jutiklius ir vandens valymo įrangą. Šiems įrenginiams reikalinga panaši darbinė elektros įtampa, ryšio sąsajos, perdavimo režimas ir kiti įvairios įrangos parametrai. Todėl norint integruoti įvairią įrangą, reikia nustatyti vienodą vandens įrenginių parametru projektavimo standartą ir parinkti įrangą pagal šį standartą. Integruotos akvakultūros sistemos įrenginių išdėstymas turėtų būti optimizuotas, siekiant maksimaliai padidinti jų efektyvumą. Tada visų tipų įranga bus prijungta prie daiktų interneto (angl. IoT) platformos stebėjimui ir valdymui. Dėl visų šių veiksmų vienam ūkininkui ar akvakultūros įmonei atlikti šią sudėtingą užduotį yra labai sunku. Todėl žuvų augintojai, žuvų mokslininkai, inžinieriai, programinės įrangos kūrėjai ir ekonomistai turėtų bendradarbiauti, kad veiksmingai integruotų šias technologijas į kiekvieną akvakultūros pramonės dalį, kad pramonė taptų tvaresnė ir pelningesnė. Naujos ir novatoriškos technologijos leidžia ženkliai padidinti akvakultūros pramonės išteklių ir energijos vartojimo efektyvumą (Yue & Shen, 2021).

Lietuvos žuvininkystės sektoriaus 2021-2027 metų programoje numatyta, kad „siekiant pereiti prie neutralaus poveikio klimatui, žiedinės ir atsparios ekonomikos – taikomas skaitmeninimas ir diegiamos inovacijos (gamyboje, perdirbime, realizacijoje)“. Būtent tokios inovacijos ir skaitmeninės technologijos, kurios aptariamos šios ataskaitos tolimesniuose poskyriuose, tikėtina, kad netolimoje ateityje bus diegiamos ir Lietuvos UAS.



3.24 pav. Naujos ir novatoriškos informacinės / skaitmeninės technologijos, taikomos siekiant dar labiau padidinti akvakultūros produkciją Informacinės / skaitmeninės technologijos apima robotiką, dronus, jutiklius, dirbtinį intelektą (DI), 3D spausdinimą, argumentuotą realybę (AR), vizualinę realybę (VR) ir blokines grandines. Šios technologijos su ūkiais (akvakultūros sistemomis) sujungtos per palydovus, daiktų internetą (IoT) ir mobiliuosius telefonus. (Yue & Shen, 2021)

3.7.1. Robotai, skirti atlikti sunkius ir laikui imlius fizinius darbus bei žuvų stebėjimui

Akvakultūros gamyba yra sudėtingas procesas. Daugelis etapų, įskaitant šėrimą, tvenkinių ir rezervuarų valymą, elgesio stebėjimą ir sergančių žuvų šalinimą, yra daug darbo reikalaujantys ir brangūs, o tai gali būti sunku įgyvendinti nenaudojant mechanizmų. Be to, akvakultūros pramonėje yra nedaug pritaikytų sistemų, kurios galėtų universaliai veikti visoms akvakultūros rūšims ir kultūros sistemoms dėl didelės akvakultūros rūšių ir sistemų įvairovės.

Kaip teigiama Yue & Shen, 2021, technologiniu požiūriu, šių sudėtingų akvakultūros užduočių sprendimai egzistuoja. Robotai gali būti naudojami žuvų šėrimui, rezervuarų ir gaudymo įrangos valymui, vakcinų švirkštimui ir sergančių žuvų šalinimui ir pan.. Todėl jie turi potencialą atlikti kai kurias sunkias ir rizikingas užduotis akvakultūroje. Robotai jau yra naudojami žuvų sveikatai stebėti, ūkiuose auginamoms žuvims stebėti ir užkirsti kelią jų pabėgimui. Iš tiesų, robotai gali padidinti akvakultūros pelningumą, nes robotai gali dirbti nuolat be pertrūkių net ir blogomis aplinkos sąlygomis ir be žmogaus pagalbos. Žuvų elgesį galima stebėti realiuoju laiku.

Daugelis tyrimų institutų ir įmonių, įskaitant „Robotfish“ (<http://www.qdlbf.com/>), „Cermaq“ (<https://www.cermaq.com/>), „Innovasea“ (<https://www.innovasea.com/>), „SINTEF“ (<https://www.sintef.no/en/>), „SeaVax“ (<https://www.theexplorer.no/>), „Subblue“ (<https://store.subblue.com/>) ir Masačusetso technologijos instituto (MIT) AUV laboratoriją (<https://seagrant.mit.edu/auv-lab/>), sukūrė ir kuria įvairių tipų robotus akvakultūrai. Kai kurie tipai buvo išbandyti ir pasirodė esą veiksmingi (Yue & Shen, 2021).

Nepaisant visų šių įdomių robotinių produktų, svarbu pažymėti, kad visiškai automatizuota akvakultūra šiuo metu vis dar neįmanoma ir gali būti neįgyvendinta artimiausiu metu (pvz., per 5–10 metų). Tačiau neabejotina, kad per ateinančius 5–10 metų įvyks esminių pokyčių, kaip žuvis auginamos padedant robotams. Taip pat reikėtų atkreipti dėmesį, kad bet kokia automatizacija, naudojant robotiką, turi atsižvelgti į kiekvienos rūšies, kultūros sistemų ir įvairios aplinkos ypatumus.

3.7.2. Dronai ir povandeniniai dronai duomenų rinkimui

Kaip ir aukščiau minėti robotai, dronai gali atlikti daug darbų virš vandens ir po vandeniui akvakultūros pramonei. Dronai gali stebėti žuvininkystės ūkius sausumoje ir, ypač, jūroje. Daugelį darbų, įskaitant pažeidimų rezervuaruose, varžose tikrinimą, gali atlikti dronai. Daugelis mokslinių tyrimų institucijų ir įmonių, įskaitant „Subblue“ (<https://www.subblue.com/>), „Qifai“ (<https://qifeizn2020.en.made-in-china.com/>), „Apium Swarm Robotics“ (<http://apium.com/>), „Blueye Pioneer“ (<https://www.avetics.com/>), „SeaDrone“ (<https://seadronepro.com/>) ir daugelį kitų, kuria ir gamina dronus akvakultūrai (Yue & Shen, 2021). Dar svarbiau, kad dronai gali rinkti naują

informaciją, kurią žmonėms sunku gauti. Ši informacija gali būti panaudota algoritmams generuoti, siekiant toliau plėtoti technologijas, skirtas akvakultūros gamybos efektyvumui gerinti.

VDU ŽŪA Vandens inžinerijos katedroje 2025 metais buvo įsigytas ir MTEP projektų vykdymui naudotas povandeninis dronas. Šis dronas nėra tiesiogiai pritaikytas akvakultūrai, tačiau dideliuose UAS rezervuaruose gali būti išbandytas žuvų stebėjimui, kritusių žuvų pastebėjimui ir surinkimui, dumblo ar nesunaudotų pašarų stebėjimui, sistemos elementų gedimų nustatymui ir pan. Dronai kartu su dirbtiniu intelektu (DI) ir debesų kompiuterija sumažins akvakultūros pramonės išlaidas ir pagerins jos veiklą.

3.7.3. Jutikliai vandens kokybės rodikliams matuoti, šėrimo bei sveikatos būklės stebėjimui

Jutikliai gali būti panaudojami UAS vandens kokybės rodikliams - ištirpusio deguonies, anglies dvideginio lygi, pH koncentracijos, druskingumas, drumstumas, įvairių teršalų koncentracijoms ir kt. matuoti. Daugelis minėtų robotų ir dronų naudoja tokius jutiklius, kad realiuoju laiku gautų duomenis.

Kaip minima Yue & Shen, 2021 straipsnyje, akvakultūros pramonėje yra sukurti ir taikomi biojutikliai ištirpusio deguonies lygiui, vandens druskingumui ir temperatūrai analizuoti. Lašišų auginimo įmonėse galima stebėti ir registruoti individų širdies ritmą ir medžiagų apykaitą. Naudojant prie interneto prijungtus povandeninius jutiklius, galima stebėti auginamų žuvų alkio būseną, todėl galima atitinkamai maitinti. Tinkamas šėrimas pagal alkio būseną gali gerokai padidinti pašarų naudojimą ir sumažinti jų švaistymą, taip sumažinant bendras gamybos sąnaudas. Tai pirmiausia taikoma jūrinėje akvakultūroje, kur žuvis auginamos varžose, tačiau po to tokie jutikliai bus panaudojami ir UAS.

Norvegijos AKVA grupė (<https://www.akvagroup.com>) pastatė didžiulį narvą jūrinei akvakultūrai su jutikliais ir kameromis. Kinija sukūrė keletą giliavandenių narvų su daugybe jutiklių, skirtų vandens kokybei, žuvų išsekimo būsenai, tinklų būklei ir žuvų judėjimui stebėti (Yue & Shen, 2021).

Vandenyje sumontuoti jutikliai kartu su debesijos valdymu ir mobiliuoju ryšiu leis palaikyti optimalią žuvų auginimo aplinką ir užtikrinti optimalų maitinimą augimui ir pašarų konversijai, ypač UAS.

Kuriami realaus laiko jutikliai, skirti matuoti atskirų žuvų streso lygį ir aptikti patogenus vandenyje, šie jutikliai turėtų būti lengvai įstatomi į gyvas žuvis arba įleidžiami į vandenį ir geba siųsti stiprius signalus, kuriuos galima aptikti sausumoje, laivuose ar palydovuose esančiais įrenginiais (Yue & Shen, 2021).

3.7.4. Dirbtinis intelektas, suteikiantis galimybę priimti greitus ir tikslus sprendimus

Nors robotai, dronai ir jutikliai leidžia greitai ir realiuoju laiku rinkti duomenis, vis dar labai sunku priimti teisingus sprendimus naudojant surinktus duomenis dėl didelio duomenų kiekio. Ne vienas tyrimų institutas ir akvakultūros technologijų startuolis tiria ir taiko dirbtinį intelektą (DI), kad galėtų priimti geresnius ir greitesnius sprendimus. Pasitelkiant DI, akvakultūros gamybą galima greitai padidinti per trumpą laiką, nes akvakultūra tampa mažiau darbo reikalaujančia sritimi. Tai gali būti bet koks veiksmas ar sistemos elementas, pavyzdžiui, automatinių šėryklų naudojimas, vandens kokybės kontrolė, produkcijos sugaudymas ir perdirbimas bei pan. Akvakultūroje sąnaudas galima valdyti naudojant DI, o išlaidas galima sumažinti iki 30 % (Yue & Shen, 2021).

Dirbtinis intelektas suteikia visišką žuvų auginimo sistemų kontrolę, reikalaujant mažiau priežiūros ir sumažinant sąnaudas.

Tačiau dirbtinis intelektas vis dar turi apribojimų dėl ribotų duomenų. Duomenų rinkiniai tampa vis svarbesni. Todėl žuvų ūkiai ir didelės akvakultūros įmonės turėtų dalintis savo duomenimis apie akvakultūros produkciją ir rinkodarą. Tik turėdami pakankamai duomenų apie kiekvienos rūšies akvakultūros produkciją skirtingomis auginimo sąlygomis ir sukūrę viešai prieinamas duomenų bazes, tyrėjai ir UAS turėtojai galės naudoti platesnį imties duomenų spektrą, kad sukurtų patobulintus algoritmus, kurie priimtų tikslesnius ir geresnius sprendimus.

VDU ŽŪA Akvakultūros centras, bendraudamas su VDU Informatikos fakulteto darbuotojais taip pat ketina panaudoti dirbtinį intelektą turimų UAS valdymui, kartu su UAB „Aquaculture“ teikta paraiška LMT, kurioje tarp kitų veiklų numatytas išmanių sprendimų (daiktų interneto, jutiklių, dirbtinio intelekto) priėmimas ir taikymas su biodribsnių technologija žuvų auginimui gėlo vandens UAS, parengtų galutinių UAS veikimo rodiklių stebėjimas ir duomenų kaupimas dirbtinio intelekto panaudojimui.

3.7.5. Papildytoji realybė (AR) gamybos efektyvumo gerinimui ir akvakultūros švietimo stiprinimui, virtuali realybė (VR) mokymams ir konsultavimui

Papildytosios realybės (AR) bei virtualios realybės (VR) sprendimai UAS tiesiogiai pritaikomi mažai, jie populiariesni jūrinėje akvakultūroje, o dar labiau pritaikomi akvakultūros švietimui, mokymui, konsultavimui

AR yra interaktyvi patirtis realaus pasaulio aplinkoje. Realiame pasaulyje esantys objektai yra sustiprinami kompiuteriu generuojamos suvokimo informacijos pagalba. AR sistemoje kompiuterio sukurti objektai naudojami siekiant pagerinti realaus pasaulio patirties įspūdį, pridėdant aiškumo ir

duomenų. Akvakultūros veikla yra labai kintama, nenuspėjama, daug darbo reikalaujanti ir priklausoma nuo rūšies, vietos ir akvakultūros sistemų (FAO, 2020). AR gali sumažinti išlaidas, sutaupyti laiko ir palengvinti povandeninių dronų ir robotų operacijas, įskaitant žuvų elgesio, rezervuarų ar varžų pažeidimų ir negyvų žuvų stebėjimą. Pasitelkę AR UAS turėtojai gali geriau apžvelgti gamybos vietas ir efektyviau bei be rizikos atlikti operacijas. AR naudojama akvakultūros pramonėje, siekiant padidinti lauko gamybos efektyvumą, stebėti ir analizuoti mirtingumą, sveikatos būklę ir matuoti vandens kokybės rodiklius.

Norvegijos mokslo ir technologijų universitetas (NUST) sukūrė ir pritaikė AR ir virtualiąją realybę (VR) studentų mokymui apie žuvų gerovę, ligų prevenciją, pabėgančias žuvis ir pavojingas darbo sąlygas. AR taip pat gali prisidėti prie optimalaus žuvų ūkių valdymo, įskaitant vandens kokybės valdymą, nuotolinį bendradarbiavimą ir diskusijas posėdžių salėse. Tačiau tokių sistemų įperkamumas visada yra labai svarbus klausimas naudojant šią technologiją mažuose žuvų ūkiuose. Be to, akvakultūros pramonei svarbu sukurti paprastą ir ekonomišką AR programinę įrangą (Yue & Shen, 2021).

Virtuali realybė (VR) gali paversti aplinkos situacijas skaitmenine sąsaja, perkeldama virtualius objektus į realų pasaulį. VR galima stebėti įvairiais būdais, o tai leidžia vartotojams rasti natūralaus dydžio 3D modelius savo aplinkoje ir (arba) rodyti kontekstinę informaciją. Akvakultūros pramonėje yra keletas potencialių VR taikymo sričių, įskaitant mokymą ir švietimą. Pavyzdžiui, VR buvo taikoma, siekiant paskatinti jaunų žmonių susidomėjimą akvakultūra Norvegijoje (Prasolova-Førland ir kt., 2019). Norvegijos nacionalinė technologijų universitetas (NUST) sukūrė VR sistemą, kuri leidžia studentams matyti realią žuvų ūkio veiklą ir situacijas (Boe ir Prasolova-Forland, 2015).

VR taip pat galėtų būti naudojama konsultavimo tikslais akvakultūros pramonėje. VR ir daiktų interneto (DI) derinys išplės VR taikymą mokymo, švietimo ir konsultavimo srityse (Yue & Shen, 2021).

3.7.6. 3D spausdinimo technologijos akvakultūros sistemų elementams gaminti

3D spausdinimas leidžia pagaminti 3D kietąjį objektą iš skaitmeninio failo. Galutinis 3D spausdinimo produktas yra objektas, kuris spausdinamas naudojant papildomus procesus. Spausdinimo proceso metu objektas generuojamas klojant kelis medžiagų sluoksnius, kol jis užbaigiamas. Tobulėjant skaitmeninėms ir spausdinimo technologijoms, 3D spausdintuvai tampa vis labiau prieinami.

Akvakultūroje 3D spausdinimas pradėtas taikyti ir netolimoje ateityje gali būti gan plačiai pritaikomas UAS, pavyzdžiui, spausdinant UAS įrenginių dalis, sugedusius elementus. Kaip teigiama

Yue & Shen straipsnyje, 3D spausdinimas buvo naudojamas spausdinant hidroponines sistemas, žuvų robotus, vandens kokybės jutiklius.

3D spausdinimo pritaikymas akvakultūroje susiduria su keliais iššūkiais, įskaitant įrangos kainą, gamybos sąnaudas, papildomo apdorojimo reikalavimus ir ribotas medžiagas, kurias galima naudoti vandenyje ir kitose vietose. Norėdami išspręsti šiuos iššūkius, akvakultūros mokslininkai, žuvų augintojai, inžinieriai ir programinės įrangos kūrėjai turi dirbti kartu, kad 3D spausdinimo technologija atitiktų produktus ir verslo modelius, ir kad būtų sukurti ekonomiškai produktai akvakultūros pramonei (Yue & Shen, 2021).

Lietuvoje taip pat jau yra bandymų akvakultūroje panaudoti 3D spausdinimo technologiją. NAŽPGA seminare 2022 metais buvo pristatoma 3D spausdintuvu atspausdintas naujos konstrukcijos inžektorius.

3.7.7. Blokinės grandinės kaip patikimos atsekamumo priemonės

Akvakultūros pramonė sugeneruoja ir surenka didžiulius duomenų kiekius skirtingose įmonėse ir ūkiuose. Tačiau šiais duomenimis paprastai nesidalija skirtingi dalyviai. Todėl šie duomenys gali būti panaudoti naudojant blokinių grandinių skaitmeninę technologiją. Pasitelkus blokinių grandinių technologiją, akvakultūros pramonės tiekimo grandinė gali tapti skaitmeninė, o tai įgalina visišką atsekamumą nuo ūkio iki vartotojų ir sujungia pasaulio suinteresuotąsias šalis. Blokinės grandinės technologija leidžia saugiai ir efektyviai rinkti, dalytis ir analizuoti didžiulius duomenų rinkinius iš skirtingų akvakultūros pramonės dalių. Ši technologija galėtų būti labai naudinga akvakultūros pramonei, sprendžiant problemas, susijusias su maisto atsekamumo išlaidomis, maisto sukčiavimu, maisto švaistymu ir su maistu susijusiomis ligomis (Altoukhov, 2020). Blokų grandinė akvakultūroje gali sumažinti operacijų apdorojimo laiką, sustiprinti patikimumo ir pasitikėjimo santykius tarp gamintojų, mažmenininkų, vartotojų, vyriausybių ir sertifikavimo įstaigų. Skaitmeninis atsekamumas yra labai svarbus žingsnis siekiant užtikrinti maisto saugą. Blokų grandinės pagrindu sukurtos priemonės yra kuriamos ir taikomos akvakultūros pramonėje (Altoukhov, 2020).

Norint naudotis blokinių grandinių privalumais, reikia investuoti į šią besiformuojančią technologiją, skirtą akvakultūros pramonės ūkininkams, perdirbėjams, siuntėjams, platintojams ir mažmenininkams. Blokinių grandinių sprendimo taikymas akvakultūros pramonėje iš esmės yra panašus į didelį programinės įrangos kūrimo projektą, kuriam reikia visko – nuo programinės įrangos pagrindo iki aparatinės įrangos jutiklių, apdorojimo galios ir dar daugiau (Yue & Shen, 2021).

3.7.8. Daiktų internetas skirtingų akvakultūros elementų sujungimui ir tarpusavio bendravimui

Daiktų internetas (DI) vaidina svarbų vaidmenį daugelyje pramonės šakų. DI akvakultūroje yra gana nauja sritis (Jothiswaran ir kt., 2020). Jis gali sujungti didžiuosius duomenis (t. y. didžiulį srautinių duomenų kiekį) visoje akvakultūros pramonėje. Be duomenų iš ūkių, gamybos vietų ir maisto perdirbimo gamyklų, pramonei svarbūs tampa ir didieji duomenys iš socialinės žiniasklaidos. DI technologijos taikymas akvakultūros pramonėje turi keletą privalumų. Pirma, aplinkos sąlygas akvakultūros vietose galima efektyviai stebėti realiuoju laiku ir didesniu aprėpties lygiu, įjungiant daug povandeninių kamerų ir jutiklių keliose sistemose. Antra, daiktų interneto panaudojimas leidžia geriau valdyti aplinką, nuolat ir laiku stebint akvakultūros ūkių poveikį aplinkai. Trečia, daiktų internetas kartu su mašininio mokymusi ir laikui bėgant surinktais duomenimis gali būti taikomas prognozavimo modeliams generuoti. Šie prognozavimo modeliai leis priimti geresnius ir tikslesnius sprendimus, o tai leidžia laiku įspėti apie galimą riziką. Daiktų internetas su didžiųjų duomenų sprendimais gali pakeisti akvakultūros pramonę, padarydamas ją produktyvesnę, tvaresnę ir pelningesnę, saugesnę ir lengviau valdomą riziką. Todėl jis labiau sujungia perdirbimo sistemas ir tiekimo grandines. Tačiau daiktų interneto technologijų taikymas priklauso nuo interneto ryšio galimybių, reikalauja specifinių techninių sprendimų (Yue & Shen, 2021).

3.7.9. Modernių UAS bei atsinaujinančių energijos šaltinių naudojimas

Technologinė pažanga ir novatoriškos priemonės UAS yra labai svarbios skatinant tvarų vandens naudojimą ir mažinant aplinkos taršą. UAS veikia filtruodama ir pakartotinai naudodama vandenį, taip žymiai sumažindama priklausomybę nuo gėlo vandens, o tai yra labai svarbu atsižvelgiant į didėjančią pasaulinę vandens maisto paklausą mažėjant vandens ištekliams (Yokoyama ir kt., 2022; Martins ir kt., 2010). RAS gebėjimas perdirbti vandenį ir efektyviai tvarkyti atliekas ne tik optimizuoja žuvų gamybą, bet ir padeda sušvelninti su tradiciniais akvakultūros metodais susijusią taršą (Almeida ir kt.).

Moderniose UAS žuvys auginamos kontroliuojamomis sąlygomis, artimomis optimalioms. Pagrindiniai UAS privalumai: mažesnis vandens sunaudojimas, biologinis saugumas ir didelis produktyvumas. Tačiau yra keletas didelių iššūkių, įskaitant nepakankamas žinias apie technologijas, didelį energijos poreikį, dideles pradines investicijas ir sunkumus šalinant patogenus, jei jie patenka į UAS (Badiola ir kt., 201). Atlikti tyrimai, siekiant pagerinti recirkuliacinį ciklą ir atliekų apdorojimą bei sumažinti energijos sąnaudas naudojant atsinaujinančiąją energiją (Badiola ir kt., 2018).

Kai kurie UAS ūkiai naudoja atsinaujinančiąją energiją, įskaitant saulės ir vėjo energiją (He ir kt., 2017). Tačiau esama saulės kolektorių sistema akvakultūroje turi problemų dėl didelių pradinių investicijų ir lėto sąnaudų atsigavimo (He ir kt., 2017). Buvo sukurtos nebrangios saulės kolektorių sistemos karšto vandens tiekimui akvakultūros sistemai. Eksperimentų rezultatai parodė, kad vidutinis dienos kolektoriaus našumas gali siekti 49,6 % (He ir kt., 2017).

Atsinaujinančiosios energijos gamybos pažanga mažina UAS eksploatavimo sąnaudas. Tačiau, turint omenyje dabartines UAS žinias ir technologijas, labai tikėtina, kad UAS ūkiuose pelno gali gauti tik didelės vertės produktų rūšių kultūra. Norint sumažinti UAS sąnaudas, žuvų auginėjimui, žuvų mokslininkai ir inžinieriai privalo bendradarbiauti, kad efektyviai suprojektuotų kiekvieną UAS elementą (Yue & Shen, 2021).

Efektyvus įvairių abiotinių stresorių, tokių kaip temperatūra ir ištirpusio deguonies kiekis, valdymas yra būtinas siekiant maksimaliai padidinti UAS efektyvumą. Prognozavimo modeliai, imituojantys vandens kokybės parametrus UAS, gali optimizuoti šias sąlygas, o tai lemia sveikesnius vandens organizmus ir didesnę bendrą produkcijos kiekį (Fiesta, 2024).

3.7.10. Daugiatrofinių akvakultūros (IMTA) sistemų diegimas

Novatoriški metodai, tokie kaip daugiatrofinių akvakultūros (IMTA) sistemų integravimas, didina akvakultūros praktikos tvarumą. IMTA sistemose auginamos įvairios vandens rūšys skirtinguose trofiniuose lygmenyse, taikant žiedinės ekonomikos principus, o tai leidžia efektyviai perdirbti maistines medžiagas, sumažinti energijos sąnaudas ir atliekų išleidimą į aplinką (Correia ir kt., 2020).

Šis metodas naudoja organines atliekas iš šeriamų akvakultūros augalų, siekiant skatinti tokių išgaunamųjų rūšių kaip jūros dumbliai ir vėžiagyviai augimą, skatinant biologinę įvairovę ir ekosistemų atsparumą. IMTA gali skatinti akvakultūros tvarumą, suteikdama aplinkosauginių, ekonominių ir socialinių privalumų.

Yra kelios IMTA sistemų konfigūracijos, integruojančios stuburinių ir bestuburių rūšių bei makrodumblių gamybą. Kultivuojami organizmai maitinami vandens rūšimis, tokiomis kaip žuvis ar krevetės, ir rūšimis, kurios iš vandens išgauna organines ir neorganines medžiagas. Rūšys, išgaunančios organines medžiagas, gali būti midijos, austrės, moliuskai, jūros ežiai arba polichetos. Šios rūšys minta organinėmis atliekomis, pvz., nesuvalgytu maistu ir išmatomis. Rūšys, išgaunančios neorganines medžiagas, pvz., makrodumbliai (pvz., *Ulva*, *Gracilaria*, *Saccharina*, *Laminaria* genčių rūšys), surenka ir panaudoja neorganines maistinių medžiagų atliekas. IMTA leidžia kurti tvaresnes

gamybos sistemas, nes žuvų/krevečių gamybos atliekos vertinamos kaip išteklius, o ne laikomos našta ar tarša. Tai prisideda prie aplinkos tvarumo ir efektyvesnio išteklių naudojimo, kartu skatinant ekonominę diversifikavimą (produktų diversifikavimą, įmonės stabilumo užtikrinimą mažinant riziką) ir socialinį priimtinumą (geriausia valdymo praktika) (Correia ir kt., 2020).

3.7.11. Biodribsnių technologijos (BFT) naudojimas

Biodribsnių technologijos (BFT) naudojimas yra dar vienas reikšmingas žingsnis į priekį. BFT auginimo sistemoje sukuria tankią naudingų mikroorganizmų biomasę, kuri pagerina žuvų sveikatą ir augimą, kartu žymiai sumažindama išorinių pašarų poreikį (Arifin, 2024). Ši technologija yra aplinkai nekenksmingo požiūrio pavyzdys, nes sumažina maistinių medžiagų išleidimą ir pagerina vandens kokybę, taip prisidedant prie produktyvumo ir tvarumo (Arifin, 2024).

Biodribsniai yra baltymais ir lipidais turtingas natūralus maisto šaltinis, visą laiką prieinamas vietoje vykstant sudėtingai sąveikai tarp organinių medžiagų, fizinio substrato ir didelės mikroorganizmų įvairovės (Emerenciano et al., 2017).

Biodribsnių technologija - žuvims ir vėžiagyviams toksinės medžiagos (amoniakas, nitritai, nitratai) sistemoje vykstančių gyvybinių procesų metu paverčiamos baltymingais pašarais.

Biodribsnius vandenyje sudaro natūralios nitrifikuojančių bakterijų, organinių medžiagų, neorganinių flokulantų (kurie padeda skaidrinti vandenį) ir suspenduotų dumblių sankaupos. Biofloc sistemoje dominuojančios bakterijos yra heterotrofinės, bet neretai sistemoje būna perteklius nitrifikaciją vykdančių bakterijų, kurias reikia pašalinti.

Susidarę dumbliai tarnauja kaip maistas gyvybei, o bakterijos verčia azotines atliekas paprastesniais junginiais. Toks ciklas palaiko ir pagerina vandens kokybę auginimo metu, sumažina vandens keitimo kaštus. Tai lemia tvarią veiklą, kuri sumažina vandens bei pašaro išlaidas.

Biodribsnių panaudojimo galimybės šiltavandenių žuvų auginimui VDU ŽŪA Akvakultūros centre nagrinėjamos nuo 2022 metų. 2025 m. apgintas Manto Brazausko magistro darbas, kurio tema - „Skirtingų žuvų auginimo technologijų parametrų palyginimas“.

Šio MTEP projekto vykdytojas Mantas Brazauskas turi daugiametės praktinės patirties taikant BFT krevečių (lot. *Litopenaeus vannamei*) augimui pramoniniais kiekiais įmonėje „Local Ocean“ (kurioje kelis metus dirbo technologu) ir pabandė pritaikyti šią technologiją žuvų auginimui uždaroje apytakinėse sistemose. VDU ŽŪA Akvakultūros centre sukurta, sumontuota, paleista ir ne kartą tobulinta sistema šiltavandenių žuvų auginimui biodribsnių aplinkoje. Sistemą kuriant ir tobulinant pritaikyti ir panaudoti įvairūs Akvakultūros centre esantys bei idėjos autorių pačių sukurti ir pagaminti elementai.

Optimizuojant pilotinę sistemą bei taikytinos biotechnologijos aspektus buvo tiriami biodribsnių aplinkos rodikliai Ph, KH (šarmingumas), drumstumas, temperatūra, ORP, NH₄, NO₂, NO₃, druskingumas, SS (suspended solid), DGR (dienos žuvies prieauglis), PKK (pašarų konversija), mirštamumas.

Trumpai apžvelgiant lig šiol VDU ŽŪA Akvakultūros centre atliktus biodribsnių technologijos tyrimus galima išskirti šiuos BFT panaudojimo privalumus:

1. Galima sukurti esamose UAS.
2. Suformuojama savireguliuojanti gyvybinių procesų grandinė.
3. Tausojantis energetinių išteklių naudojimas (mažesnis kW kiekis/kg produkcijos).
4. Nereikalinga nuolatinė vandens apykaita.
5. Nereikalingi įprastiniai mechaniniai ir biologiniai filtrai (reikalingi tik nedideli sėsdintuvai pertekliniams dribsniams šalinti).
6. Didesnis produktyvumas (padidina išgyvenamumą, pagerina augimo rodiklius), tolygesnis augimas.
7. Galima sutaupyti iki 20% suvartoto pašaro kiekio kg žuvies (nesuvartotą maistą, išsiskyrusį šlapalą, fekalias bakterijas paverčia baltyminiais pašarais).
8. Galima palaikyti didelį akvakultūros gyvūnų tankį.
9. Padidinamas biologinis saugumas (sukuriama „gerųjų“ mikroorganizmų dominacija).
10. Sumažinamas neigiamas poveikis aplinkai (mažesni išmetimai į aplinką).

Galima išskirti tokius BFT panaudojimo trūkumus:

1. Tinka ne visų žuvų, vėžiagyvių auginimui (turi toleruoti didelį drumstumą).
2. Sistemos „užkūrimui“ reikalingas ilgesnis laikas, specifinės žinios, medžiagos, bakterijos.
3. Stebima daugiau rodiklių, reikia mikrobiologijos, biochemijos žinių.
4. Reikalinga intensyvi aeracija.
5. Reikalinga bent 20 laipsnių temperatūra.
6. Reikalingas papildomas medžiagų - anglies šaltinių – įterpimas.

Taikant biodribsnių technologiją gaunama itin aukšto intensyvumo sistema, kurioje šviežio vandens suvartojimas per parą nuo bendro vandens tūrio yra itin mažas ir siekia 0,1 – 0,5 %.

Tinkamos modernios UAS ar BFT sistemos pasirinkimas priklauso nuo konkrečių augintojo tikslų, išteklių prieinamumo ir rinkos poreikių. Šių technologijų taikymas ir jų tobulinimas turi potencialą didinti našumą, tvarumą ir spręsti aprūpinimo maistu bei tvaraus išteklių naudojimo klausimus.

3.8. Išnagrinėti galimus tvarius technologinius sprendimus į UAS gražinamo išvalyto vandens dezinfekcijai ar gerinimui

Tiek pasaulyje, tiek ir Lietuvoje siekiama statyti didesnio našumo UAS arba didinti jau esamų UAS pajėgumus, kad užauginamos produkcijos savikaina gautųsi kuo mažesnė dėl masto ekonomikos.

Lietuvos žuvininkystės sektoriaus 2021-2027 metų programoje akcentuota, kad „didelis potencialas numatomas Lietuvoje sparčiai augančioje gamyboje gamtos išteklius taupančiose uždaroje akvakultūros sistemose (toliau – UAS), pirmumas teikiamas žemesnio trofinio lygio rūšių (vėžiagyvių ir kitų bestuburių, dumblių) gamybai, integruotos daugiatrofinės akvakultūros vystymui. Siekiama, kad iki 2030 m. Lietuvoje per metus pagaminamas akvakultūros produkcijos kiekis sudarytų ne mažiau 8,5 tūkst. t.“. Programoje taip pat numatyta, jog „Siekiama, kad iki 2030 m. ne mažiau kaip 25% akvakultūros įmonių gamyboje naudotų atsinaujinančių išteklių energiją (pirmumas teikiamas gamybai UAS). Šie veiksmai prisidės įgyvendinant Tarybos rekomendaciją dėl energijos ir išteklių naudojimo efektyvumo didinimo. Prisidedant prie akvakultūros atsparumo klimato pokyčiams stiprinimo, skatinamos investicijos didinančios atsparumą ekstremalioms oro sąlygoms ir įvairioms sąlygoms, kurios daro įtaką akvakultūrai“.

Taip pat Programoje atkreipiamas dėmesys, kad „iššūkis yra ne tik naujus pajėgumus sukurti, bet ir esamus tinkamai išlaikyti ar efektyviau panaudoti“.

Lietuvoje veikiančiose UAS žuvys auginamos kontroliuojamoje aplinkoje, tačiau tenka prisitaikyti prie klimatinių sąlygų ypatumų. Skirtingais metų sezonais yra skirtingos oro temperatūros, šviesaus paros laiko ilgis, kritulių kiekis ir tipas, todėl UAS turėtojams tenka taikyti įvairius technologinius sprendimus, leidžiančius UAS aplinkoje išlaikyti daugumą nekintančius aplinkos rodiklius, nors už UAS pastato ribų šie rodikliai gali ženkliai skirtis.

Lietuvoje veikiančios UAS daugiausia naudoja gręžinių vandenį, kadangi Lietuvoje požeminio vandens atsargos didelės, požeminio vandens kokybė daugeliu atveju tinkama žuvų auginimui (pašalinus geležies junginius bei ištirpusias dujas). Tačiau iš UAS, ypač – didesnių, išleidžiami reikšmingi UAS panaudoto vandens kiekiai, kurios reikia apvalyti (dažniausiai - gamtai artimais nuotekų valymo įrenginiais, kaip nendrių filtrai, grunto – šaknų filtrai ir pan.), prieš išleidžiant į aplinką. Tačiau kai kurios UAS jau siekia šį išvalytą, apytakinėse žuvų auginimo sistemose naudotą vandenį ne išleisti į aplinką, o gražinti dar kartą į UAS arba panaudoti ūkio – buities tikslais.

Į UAS gražinamas vanduo biosaugos tikslais turi būti dezinfekuojamas, o siekiant užtikrinti auginamoms žuvims tinkamus vandens kokybės rodiklius – vanduo gali būti gerinamas. Tam

naudojami įvairūs technologiniai sprendimai, įrenginiai ar priemonės. Dažniausiai naudojami technologiniai sprendimai – švitinimas UV spinduliais, ozono įterpimas, rečiau – vandenilio peroksido panaudojimas, elektrocheminis vandens valymas ar kt. Šie būdai ir technologiniai sprendimai aptarti sekančiuose ataskaitos poskyriuose.

3.8.1. Į UAS gražinamo vandens apdorojimas UV spinduliais

UV spinduliavimas yra populiarus dezinfekavimo metodas UAS sistemose dėl jos veiksmingumo inaktyvuojant įvairius patogenus neįvedant kenksmingų cheminių šalutinių produktų. Įrodyta, kad UV apdorojimas yra ypač veiksmingas prieš virusus ir pirmuonis, todėl jis tinka užtikrinti mikrobu saugą akvakultūros nuotekose (Augsburger ir kt., 2021). Tyrimai rodo, kad UV dezinfekcija yra naudinga, nes ji nekeičia vandens cheminių savybių, o tai yra labai svarbu palaikant subtilią UAS aplinkos pusiausvyrą.

3.8.2. Į UAS gražinamo vandens apdorojimas ozonu

Ozonas (O₃) yra dar vienas galingas oksidantas, naudojamas akvakultūroje vandeniui dezinfekuoti ir nuotekoms valyti. Ozonavimas veiksmingas prieš bakterijas, virusus ir kai kuriuos pirmuonių patogenus, todėl tai yra patikimas pasirinkimas siekiant užtikrinti recirkuliacinio vandens mikrobu saugą (Shi ir kt., 2021; Phatai ir kt., 2022). Tačiau ozonavimas gali sukelti toksiškų dezinfekcijos šalutinių produktų susidarymą, todėl labai svarbu stebėti ozono lygį ir užtikrinti tinkamą naudojimą. Ozono veiksmingumą taip pat gali paveikti vandenyje esančios ištirpusios organinės anglies kiekis (Huber ir kt., 2005). Dažnai tiriamas ozono integravimas su kitais valymo metodais, tokiais kaip biologinis filtravimas, siekiant pagerinti bendrą vandens kokybę (Ye ir kt., 2017).

3.8.3. Į UAS gražinamo vandens apdorojimas chloruojant

Chloras ir jo dariniai, tokie kaip chloro dioksidas, yra dažnai naudojami dezinfekantai akvakultūros sistemose dėl savo plataus spektro veiksmingumo prieš įvairius patogenus. Chloravimas yra veiksmingas valant vandenį su didele organinių medžiagų koncentracija; tačiau jis kelia problemų, susijusių su kenksmingų dezinfekcijos šalutinių produktų susidarymu, kurie gali turėti įtakos žuvų sveikatai ir vandens aplinkai (Golfiopoulou ir kt., 2024; Hatanaka ir kt., 2021). Reguluojant veikimo parametrus, tokius kaip pH, galima optimizuoti dezinfekcijos efektyvumą ir sumažinti kenksmingų šalutinių produktų kiekį (Macauley ir kt., 2006).

3.8.4. Į UAS gražinamo vandens apdorojimas kombinuotais būdais

Taikant kombinuotus metodus, apimančius kelis dezinfekavimo metodus, galima pagerinti patogenų kontrolę ir sumažinti dezinfekcijos šalutinių produktų susidarymą. Pavyzdžiui, patvirtinta, kad UV apdorojimo ir chlorinimo derinimas yra veiksmingas siekiant maksimaliai padidinti patogenų inaktyvumą, kartu ribojant chlorintų šalutinių produktų susidarymą (Wang ir kt., 2012). Toks sinerginis poveikis sustiprina dezinfekcijos procesų veiksmingumą valant nuotekas prieš jas gražinant į akvakultūros sistemas.

3.8.5. Į UAS gražinamo vandens apdorojimas naudojant pažangius oksidacijos procesus

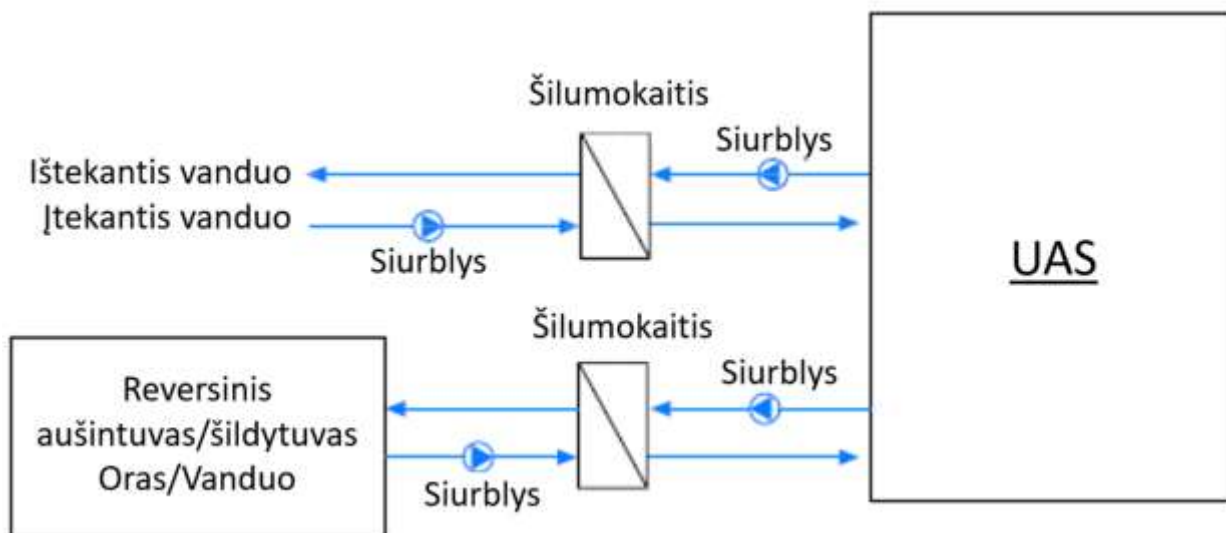
Pažangūs oksidacijos procesai (PAP) apima tokius metodus kaip UV ozonavimas, vandenilio peroksidas ir foto-Fentono reakcijos, siekiant sukurti hidroksilo radikalus, užtikrinančius didelio efektyvumo dezinfekciją. Šie procesai yra ypač veiksmingi šalinant sudėtingus organinius teršalus kartu su patogenais (Collivignarelli ir kt., 2017; Landsman ir kt., 2007). Nors jie gali būti daug išteklių reikalaujantys, jų veiksmingumas skaidant sunkius teršalus daro juos patraukliu pasirinkimu pažangiam nuotekų valymui akvakultūroje.

3.8.6. Į UAS gražinamo vandens apdorojimas naudojant membraninę filtraciją

Patogenams iš vandens fiziškai pašalinti taip pat naudojami tokie metodai kaip mikrofiltravimas ir ultrafiltravimas. Nors membraninis filtravimas daugiausia naudojamas kaip išankstinio apdorojimo metodas, jis gali žymiai sumažinti mikrobu ir kietųjų dalelių kiekį, taip pat sumažinti cheminės dezinfekcijos metodų naštą (Mohana ir kt., 2025; Shu ir Chang, 2005). Tačiau tai gali būti brangu ir gali prireikti išankstinio apdorojimo, kad būtų galima suvaldyti užsiteršimą.

3.8.7. Į UAS gražinamo vandens temperatūros reguliavimas

Į UAS tiekiamo arba gražinamo vandens kiekio reguliavimas yra viena iš energijos sąnaudų taupymo priemonių. Tai yra naudojami šilumos mainų įrenginiai. Energija paimama iš UAS išleidžiamo vandens naudojant šilumokaitį. Energija perduodama pašildant įeinantį šaltą vandenį (arba pašaldant, jei aplinkos temperatūra aukšta). Šilumos mainai pasiekiami perduodant abu srautus į šilumokaitį, kur šiltas išleidžiamas vanduo šildo šaltą įleidžiamą vandenį, nesumaišydamas dviejų srautų (žr. 3.25 pav.).



3.25 pav. Grįžtamasis oro-vandens aušintuvas / šildytuvas yra prijungtas prie šilumokaičio, kuris perduoda šilumą arba vėsumą RAS technologiniam vandeniui. Be to, šilumokaitis gali būti prijungtas prie išleidžiamo vandens pakartotiniam panaudojimui ir šilumos arba vėsumos perdavimui įleidžiamam vandeniui (Bregnballe J., 2022)

Priklausomai nuo auginamų žuvų tipo – šiltavandenės ar šaltavandenės – bei aplinkos temperatūros naudojamos šildymo ir vėsinimo sistemos. Uždaroje apytakinėje sistemoje šiluma lėtai kyla, nes energija šilumos pavidalu išsiskiria iš žuvų metabolizmo ir bakterijų aktyvumo biofiltre. Šiluma kyla dėl trinties siurbliuose, kitų elektros įrenginių naudojimas taip pat generuoja šilumą. Todėl per aukštą vandens temperatūrą intensyvioje apytakinėje sistemoje yra dažnesnė problema nei per žemą temperatūrą.

Šilumos mainų įrenginių UAS teorinius skaičiavimai bei įrenginių projektavimo principai pateikti pvz., knygoje „Aquaculture Engineering“ (Lekang O.-I., 2020).

3.8. UAS eksploatacijos metu susidarančio perteklinio vandens ir dumblo (nuosėdų) panaudojimo žiedinės ekonomikos principu galimybės

Akvakultūra yra sparčiausiai augantis maisto gamybos sektorius, o tvarus jos augimas yra gyvybiškai svarbus žmonijai aprūpinimui maistu, ekosistemų sveikatai, nepertraukiamam gamtos išteklių naudojimui, biologinės įvairovės išsaugojimui ir socialiniam bei ekonominiam atsparumui. Mažėjant sugaunamų žuvų ištekliams ir didėjant žuvies ir žuvininkystės produktų paklausai, akvakultūra tapo pagrindiniu vandens maisto / baltymų tiekimo šaltiniu ir prisideda prie pasaulio gyventojų aprūpinimo maistu saugumo.

Siekiant saugiai išleisti akvakultūros sistemų nuotekas ir dumblą, turėtų būti atliekami tęstiniai moksliniai tyrimai, kurių metu išbandomi atsinaujinančios energijos naudojimo būdai, įvairios vandens naudojimo mažinimo priemonės, taikomi bioremediacijos procesai, o mokslinių tyrimų rezultatų pagrindu priimti teisiniai dokumentai, specialiai pritaikyti akvakultūros specifikai.

UAS galima pasiekti optimalų vandens naudojimą dėl pačios šių sistemų specifikos. UAS technologijos kelia įvairių iššūkių (pirma, UAS sudėtingumas inžinerijos požiūriu ir, antra, į UAS integruota sudėtinga įranga, matavimo jutikliai ir automatinio valdymo sistemos), tačiau tinkamai juos sprendžiant galima pereiti prie tvarios akvakultūros (3.26 pav.).



3.26 pav. Tvarios akvakultūros koncepcija (pagal Hafez ir kt., 2023)

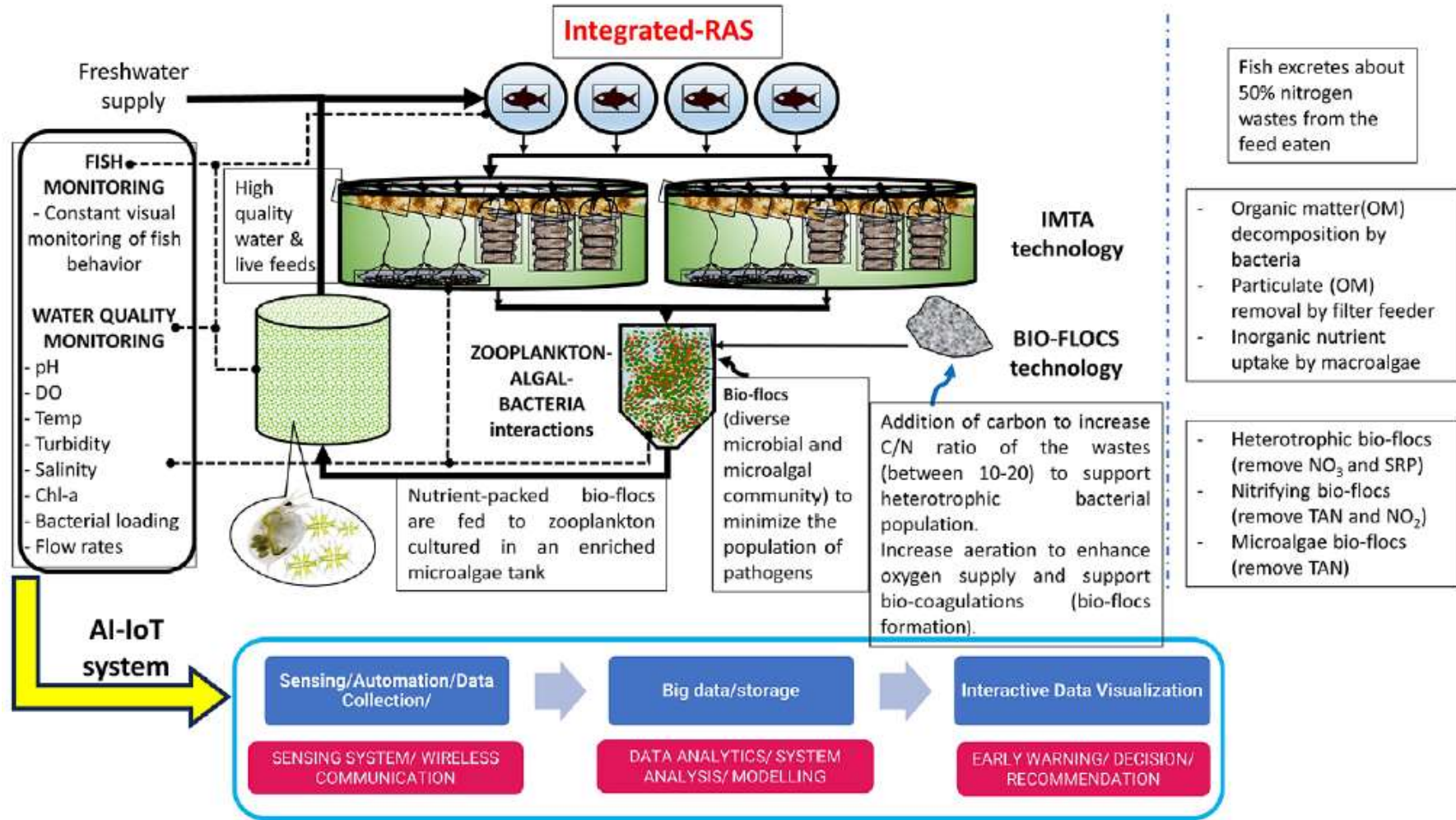
Lietuvos žuvininkystės sektoriaus 2021-2027 metų programoje akcentuota, kad „pereinant prie tvarių maisto sistemų visame žuvininkystės sektoriuje, siekiama iki 2030 m. išplėtoti mėlynąją bioekonomiką ir žiedinę ekonomiką (iš jos recirkuliaciją ir maistinių medžiagų surinkimo sistemas, žiedinės ekonomikos metodus atitinkantį atliekų tvarkymą), mažinanti taršą. Siekiant pereiti prie neutralaus poveikio klimatui, žiedinės ir atsparios ekonomikos – taikomas skaitmeninimas ir diegiamos inovacijos (gamyboje, perdirbime, realizacijoje).

Vandens panaudojimas UAS ir jose susidarancio dumblo panaudojimas atitinka žiedinės ekonomikos principus, šie ištekliai naudojimo efektyviai ir tvariai, lyginant su pratakėmis arba pusiau pratakėmis akvakultūros sistemomis ar tvenkinine žuvininkyste.

UAS dėl savo veikimo principo ir technologinių sprendimų reikšmingai prisideda prie išteklių naudojimo mažinimo, atliekų mažinimo, maistinių medžiagų perdirbimo ir aplinkos išsaugojimo. UAS leidžia efektyviai recirkuliuoti vandenį, todėl bendras vandens sunaudojimas sumažėja daugiau nei 90 % (Xiao ir kt., 2018). Ši didelį efektyvumą papildo pažangios valymo technologijos, įskaitant mechanines ir biologines filtravimo sistemas bei gamtai artimus nuotekų valymo būdus, kurie padeda efektyviai tvarkyti atliekas, taip užtikrinant, kad švarus vanduo būtų gražinamas į sistemą (Yusoff ir kt., 2024).

Techniškai įgyvendinamos, aplinkai nekenksmingos ir finansiškai pelningos vandens valymo technologijos gali būti integruotos į skirtingas akvakultūros sistemas, kad akvakultūros pramonė taptų tvariu sektoriumi ir prisidėtų prie žiedinės ekonomikos. Akvakultūros atliekos gali būti utilizuojamos ir perdirbamos naudojant įvairias technologijas, tokias kaip bioremediacija, aeracija, biokoaguliacija ir biofiltracija, taikomas įvairiose gamybos sistemose, tokiose kaip UAS, integruota multitrofinė akvakultūra (IMTA) ir akvaponika (akvakultūra ir hidroponika). Šioje žiedinėje ekonominėje veikloje akvakultūros atliekos gali būti naudojamos gaminant papildomus produktus, tokius kaip dumbliai, žolelės, daržovės, moliuskai ir kiti šalutiniai produktai, tuo pačiu sukuriant švaraus vandens šaltinį, kurį galima perdirbti ir naudoti (žr. 3.27 pav.).

Tačiau atliktų labai išsamių apžvalgų rezultatuose pripažįstama, kad teisiniai dokumentai ir institucijų veiksmų koordinavimas būtini siekiant reguliuoti akvakultūros atliekų išleidimą ir užtikrinti, kad gamintojai savo veikloje ir praktikoje atsižvelgtų į poveikį aplinkai ir vandens kokybės valdymą (Yusoff ir kt., 2024).



3.28 pav. Integruota perdirbimo akvakultūros sistema (I-UAS), apjungianti skirtingas sistemas ir technologijas (integruotą multitrofinę akvakultūrą (IMTA), biodirbsnius, bioremediaciją, bakterijų ir mikrodumblių kombinaciją, vandens kokybės stebėseną ir dirbtinio intelekto bei daiktų interneto (AI-IoT) technologijas), siekiant efektyviau ir veiksmingiau perdirbti atliekas, kartu gerinant vandens kokybę ir akvakultūros produkciją (Yusoff ir kt., 2024)

Siekiant pagerinti vandens kokybę ir gamybą, buvo sukurtos ir nuolat tobulinamos akvakultūros gamybos sistemos, įskaitant UAS, IMTA, akvaponiką (akvakultūrą ir hidroponiką) ir ekosistemomis pagrįstus metodus. Šios integruotos gamybos sistemos, kuriose vanduo visiškai nekeičiamas ir kurios gamina mikroorganizmus kaip maisto šaltinius, gali būti integruojamos su įvairiais biofiltracijos, biokoaguliacijos, bioflokuliacijos ir biologinės sąveikos tipais, įskaitant biodribsnius ir bioremediaciją (Xu ir kt., 2021; Igwegbe ir kt., 2022), siekiant pagerinti jų nuotekų valymo efektyvumą.

Akvaponika, IMTA ir UAS buvo sukurtos atskirai, siekiant pagerinti vandens kokybę ir padidinti produktyvumą, šių gamybos sistemų integravimas galėtų padidinti akvakultūros sistemų efektyvumą ir našumą. A-UAS (akvaponikos ir UAS) ir I-UAS (IMTA ir UAS) integravimas, palaikomas įvairių funkcinių biologinių komponentų, tokių kaip bakterijos ir mikrodumbliai, gali padaryti akvakultūros gamybos sistemas produktyvesnes, ekonomiškesnes ir efektyvesnes, sunaudojant mažiau vandens ir mažinant ligų riziką (3.28 pav.).

Šios tendencijos gamyboje praktiškai dar tik bandomos taikyti, tačiau daugeliu atveju yra eksperimentų stadijoje, yra reiklios investicijos. Šios akvakultūros plėtros tendencijos atsispindi ir Europos Sąjungos mokslinių tyrimų pagrindinėse finansavimo priemonėse. Pavyzdžiui, Horizon Europe programoje 2025 metais kryptyje „Maistas, bioekonomika, gamtos ištekliai, žemės ūkis ir aplinka“ tarptautiniai konsorciškai buvo kviečiama teikti paraiškas pagal priemonę HORIZON-CL6-2025-02-FARM2FORK-10: „Akvakultūros produkcijos įvairinimas, daugiausia dėmesio skiriant mažai trofinėms rūšims“.

Šios priemonės aprašyme teigiama, kad „*akvakultūra sparčiai auga visame pasaulyje, tačiau ES beveik stagnuoja. „Strateginėse tvaresnės ir konkurencingesnės ES akvakultūros 2021–2030 m. laikotarpio gairėse“ (COM(2021) 236 final) įvairinimas įvardijamas kaip pagrindinė sritis, kurioje reikia toliau dirbti, kartu su esamų rūšių auginimo rėmimu. Gairėse pabrėžiama, kad ES akvakultūros sektorius turi daug galimybių toliau įvairinti ne tik auginant perspektyvias naujas rūšis (ypač įvairinant jas į nemaitinamas ir mažai trofines rūšis, kurių poveikis aplinkai yra mažesnis), bet ir taikant tokius gamybos metodus kaip integruota multitrofinė akvakultūra (IMTA) ir ekologinė akvakultūra. Todėl gairėse skatinama IMTA plėtra, ekologinė akvakultūra ir įvairinimas į mažiau trofines rūšis, kartu remiant esamą žuvų ir vėžiagyvių rūšių auginimą.*

Dumbliai ir vėžiagyviai turi didžiulį rinkos potencialą, tačiau vartotojai apie juos ne visada gerai žino. ES importuoja daugiau nei 60 % suvartojamų jūros gėrybių, o vien dumblių importo vertė siekia 0,5 mlrd. EUR.

Šios temos taikymo sritis apima visus įmanomus valgomus vandens organizmus, pirmenybę teikiant mažai trofinėms rūšims, kurios, atsižvelgiant į šią temą, yra fotosintetinančios, žolėdės arba nemaitinamos. Taip pat pirmenybė teikiama žuvų auginimui, kuriame naudojami pašarų ingredientai, kuriuose mažai žuvų miltų ir aliejaus ir (arba) kurie pagaminti regione, kuriame yra ūkis, arba kaimyniniuose ūkio regionuose, taip pat pašarų ingredientams, gautiems taikant žiedinę praktiką, pavyzdžiui, naudojant atliekas ar šalutinius produktus.

Tvarumo aspektai, įskaitant žiediškumą ir nulinę atliekų gamybą, ypač susiję su geros aplinkos būklės pasiekimu, taip pat turėtų būti sprendžiami laikantis gyvavimo ciklo metodo ir galbūt taikant aplinkosauginio pėdsako metodus, kaip aprašyta Rekomendacijoje (ES) 2021/2279. Taip pat reikėtų spręsti sąžiningo kainodaros ir regioninių ypatumų klausimus. Tyrimai galėtų apimti ne tik šėrimo, veisimo aspektus, bet ir sveikatos bei gerovės klausimus, taip pat ekonominius klausimus ir vartotojų pripažinimo klausimus. Taip pat reikėtų atsižvelgti į reguliavimo aspektus ir teisinės kliūtis, susijusias su naujų pašarų ingredientų patvirtinimu arba naujų akvakultūros ūkių licencijavimu.“ (Horizon, 2025).

VDU ėmėsi lyderystės, subūrė įvairių šalių mokslo institucijų konsorciumą ir š.m. rugsėjo mėn. pateikė projekto AQUA-LOOP „AQUAculture of Low-trophic Organisms for Optimised Processing and Products“ paraišką šiai finansines priemonei. Tikimasi, kad jei bus gautas finansavimas, projektas būtų sėkmingai įgyvendintas ir jo rezultatai pasitarnautų tvarios akvakultūros plėtrai Europos šalyse, taip pat ir Lietuvoje.

4. Rekomendacijos

4.1. Rekomendacijos praktiniam tvarų vandens naudojimui gerinančių, aplinkos taršą mažinančių priemonių ir technologinių inovacijų taikymui UAS

Veikiančios UAS įmonės, įprastai, neturi pakankamai savų lėšų tvarų vandens naudojimui gerinančių, aplinkos taršą mažinančių priemonių ir technologinių inovacijų diegimui. Tačiau naudojantis ES finansinės paramos galimybėmis UAS įmonės, pavyzdžiui, dalyvauja įsirengiant ir naudojant saulės jėgaines. Taip pat kelios įmonės yra įsidiegusios į UAS grąžinamo vandens apdorojimo įrenginius bei į UAS grąžinamo vandens temperatūros reguliavimo įrenginius.

Projektuojant ir statant naujas UAS turėtų būti keliamas reikalavimas arba rekomendacija numatyti tvarų vandens naudojimui gerinančias, aplinkos taršą mažinančias priemones.

Viena iš rekomendacijų UAS turėtojams yra tokia, kad reikėtų išnaudoti esamas ES paramos galimybes - NMA pagal priemonę „Mokslo atstovų ir akvakultūros įmonių bendradarbiavimo veiklos“ galima teikti paraišką iki š.m. lapkričio 24 d., dar kvietimas numatomas ir 2026 m.

Šios priemonės tikslas – skatinti darnią akvakultūros veiklą, visų pirma, didinti akvakultūros produktų gamybos konkurencingumą, kartu užtikrinant, kad veikla būtų aplinkos požiūriu tvari ilguoju laikotarpiu.

Remiama veikla – taikomieji moksliniai tyrimai, skirti skatinti mokslininkų ir akvakultūros gamintojų keitimąsi žiniomis, sprendžiant aktualias akvakultūros sektoriaus problemas, vykdomi bendradarbiaujant mokslo ir akvakultūros sektoriaus atstovams, taip pat su minėtais tyrimais susiję:

- duomenų rinkimas ir tvarkymas;

- bandomieji projektai;

žinių ir mokslinių tyrimų rezultatų sklaida, seminarai ir geriausia praktika.

Didžiausia galima paramos suma: vienam projektui – ne daugiau kaip 100 tūkst. Eur; vienam paramos gavėjui ir įmonėms partnerėms bei susijusioms įmonėms per visą paramos teikimo laikotarpį – ne daugiau kaip 300 tūkst. Eur.

Galimi pareiškėjai: verslininkas, arba įmonė, užsiimanti akvakultūra ir turinti Valstybinės maisto ir veterinarijos tarnybos suteiktą veterinarinį patvirtinimą ar registravimą, leidžiantį vykdyti akvakultūros veiklą.

Projektas gali būti teikiamas kartu su partneriu (-iais). Galimi projekto partneriai:

- akvakultūros įmonė; MSI,

- akvakultūros įmonių asociacija, gamintojų organizacija, mokslininkas ir (arba) tyrėjas.

Kvietimo ypatumas - paramos intensyvumo norma yra ne daugiau kaip 75 proc. visų tinkamų finansuoti projekto išlaidų. Kadangi paramos intensyvumas – ne 100 proc. (kaip, pvz, panašioje

priemonėje „Mokslo atstovų ir žvejų bendradarbiavimo veiklos“) ir pareiškėjui bei partneriui (-iams), tenka dengti ne mažiau, kaip visų tinkamų finansuoti projekto išlaidų, ši priemonė nėra itin patraukli akvakultūros įmonėms. Be to, pareiškėjais negali būti mokslo ir studijų institucijos.

Kitos galimybės UAS turėtojams pasinaudoti ES parama yra Inovacijų agentūros finansinės priemonės „Inostartas“, „Inopažanga“, „Inobranda“ ir kt., skirtos MTEP veiklų vykdymui, inovacijų kūrimui ir diegimui, taip pat Lietuvos mokslo tarybos (LMT) finansinės priemonės, skirtos inovatyvių idėjų komercinimui - „Atžalinių įmonių MTEP projektai”.

Pastarosiose finansinėse priemonėse UAS turinčios įmonės turi galimybę bendradarbiauti su mokslo ir studijų institucijomis (MSI), kurti ir diegti įvairias technologines priemones ir inovacijas UAS, šiuos sprendimus komercializuoti. Dažniausiai UAS turinčios įmonės nežino, kokius MTEP tyrimus galėtų vykdyti su mokslo ir studijų institucijomis, trūksta abipusio bendravimo.

VDU ŽŪA Akvakultūros centras (bendradarbiaujant su atitinkamais VDU padaliniais), siūlo tokias galimas MTEP tematikas, technologines priemones bei inovacijas (sąrašas nėra baigtinis), kurių diegimu galėtų būti suinteresuotos UAS turinčios įmonės:

- žemoje temperatūroje (+5°C- +12°C) azoto junginius skaidančių bakterijų išskyrimas, kultivavimas, panaudojimas lašišinių žuvų auginimui naudoto vandens valymui (biofiltruose, gamtai artimuose nuotekų valymo įrenginiuose) tyrimai
- natūralių augimo skatintojų ir biocidų efektyvumo įvairioms žuvų rūšims, auginamoms uždaroje apytakinėse sistemose, tyrimai
- simbiotikų, prebiotikų ir probiotikų efektyvaus panaudojimo uždaroje akvakultūros sistemose tyrimai
- įvairių biotechnologijų taikymo dėka auginamų žuvų fizinių-mechaninių, skoninių ir maistinių savybių tyrimai ir žuvies mėsos gerinimo būdų diegimas
- liofilizuotų žuvų produktų savybių tyrimas ir panaudojimo galimybių įvertinimas
- žuvies produktų šaldymo mikrobangomis galimybių tyrimai
- naujų produktų iš žuvies kūrimas
- žuvies produktų pardavimo būdų tobulinimas
- žuvų genetinės vertės tyrimai
- akvaponikos sistemų kūrimas, jų efektyvumo didinimas
- skirtingo spektro LED šviestuvų įtaka įvairių žuvų auginimui uždaroje apytakinėse sistemose.
- žuvų, krevetėlių, vėžiagyvių (nuo artemijų iki krabų), moliuskų auginimo sistemos ir jų tobulinimas
- daugiatrofinių akvakultūros sistemų kūrimas ir išbandymas
- įvairių žuvų rūšių auginimo biodribsnių biotechnologija grįstose uždaroje sistemose tyrimai
- uždarų apytakinių sistemų (UAS) įrangos (rezervuarų, erliftų, būgninių filtrų, membraninių filtrų, žuvų skaičiuotuvų, žuvų rūšiuotuvų, inkubatorių, filtrų ir kt.) kūrimas, modernizavimas
- energijos taupymo priemonės ir jų taikymas akvakultūroje, alternatyvios energetikos panaudojimo galimybės
- žuvų bei krevetėlių šėrimo įranga (pneumo- patrankos, automatinės, mechaninės šėryklos), jos kūrimas ar pritaikymas iš kitų sričių (gyvulininkystės, paukštininkystės), modernizavimas
- deguonies, oro, ozono įterpimo įranga (aeratoriai, žemo slėgio deguonies įterpimo įrenginiai, aukšto slėgio deguonies įterpimo kolonos, nano-, mikro- difuzoriai)

- vandens kokybės rodiklių jutikliai, debito matuokliai, jų kūrimas arba pritaikymas iš kitų sričių akvakultūroje
- IT ir daiktų internetas, GIS ir programiniai sprendimai akvakultūros sistemose
- povandeninės video kameros, povandeniniai žuvų skaičiuotuvai UAS
- darnios biosaugos priemonės, dezinfekcija (naudojant UV, ozoną) akvakultūroje
- gyvūnų gėrovės priemonės ir jų diegimas UAS
- CO₂ šalinimas, ventiliacija akvakultūros pastatuose bei UAS vandenyje
- žaliavų žuvų pašarų gamybai tyrimai, žaliavų paruošimo ir laikymo įranga
- fermentuoti produktai ir jų panaudojimas akvakultūroje
- žuvų pašarai, jų kūrimas, gamybos įrangos kūrimas ir pritaikymas iš kitų sričių
- kanapių panaudojimo žuvų pašarų gamybai tyrimas
- vabzdžių panaudojimo žuvų pašarų gamybai tyrimas
- kritusių žuvų surinkimo įrangos kūrimas ir išbandymas
- žuvų vakcinavimo įranga UAS
- žuvų atliekų panaudojimas, biokonversija
- Zero-waste technologijos
- žuvų apdoravimo (užmigdyimo, šaldymo, pjaustymo, rūšiavimo ir pan. įranga
- žuvų viliojimo ar baidymo įranga (pvz., panaudojant šviesą, elektromagnetinius laukus)
- apšvietimo įtakos žuvų augimui tyrimas, fotoperiodo sudarymas, skirtingų spektrų šviesos panaudojimas žuvų auginimui
- naujų statybinių medžiagų (alternatyvių betonui, HDPE) tinkamumo akvakultūros sistemų įrengimui įvertinimas ir praktinis įdiegimas
- betoniniu paviršių padengimo žuvims draugiškomis dangomis galimybių nustatymas
- naujų žuvų rūšių, tinkamų auginti UAS Lietuvoje (arktinė palija, tilapija ir kt.), auginimo biotechnologijų tyrimai
- dumblių šalinimo taikant biotechnologinius preparatus tyrimai
- natūralių biologinių preparatų (augimo skatintojų ir biocidų) efektyvaus naudojimo įvairioms žuvų rūšims, auginamoms tvenkiniuose arba uždaroje apytakinėse sistemose, galimybių studija ir rekomendacijų parengimas tokių preparatų naudojimui
- šiltėjančio klimato sąlygojamo akvaponikos sistemų įrengimo prie akvakultūros ūkių galimybių įvertinimas ir efektyvumo tyrimai
- ceolito panaudojimas vandens kokybės valdymui uždaroje apytakinėse sistemose
- beatliekinis medienos „čipsų“ panaudojimas žuvų auginimo uždarų apytakinių sistemų vandens biologiniam valymui
- ir kt.

4.2. Rekomendacijos, kokios cheminės sudėties (leistinos normos) ir kokia tvarka UAS susidaręs dumblas gali būti panaudojamas tręšimui

UAS susidarancio dumblo tvarkymas ES tiesiogiai nėra reglamentuotas, tačiau reglamentuojamas Europos Sąjungos (ES) dokumentais aplinkos apsaugos ir maisto saugos srityse. Dumblo tvarkymas akvakultūros sistemose kelia unikalių iššūkių, todėl rengiant jų tvarkymą reglamentuojančius dokumentus reikia derintis su ES reikalavimais, reglamentuojančiais nuotekų dumblo naudojimą žemės ūkyje bei atliekų tvarkymą.

Kaip minėta šios ataskaitos 3.2 poskyryje, Lietuvoje dumblo panaudojimas šiuo metu yra reglamentuotas dokumentu „Nuotekų dumblo tvarkymo ir panaudojimo reikalavimai“, patvirtintu Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2001 m. birželio 29 d. įsakymu Nr. 349 (Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2020 m. liepos 3 d. įsakymo Nr. D1-410 redakcija).

Siekiant kuo efektyviau panaudoti UAS susidarantį dumblą, reikėtų konkretizuoti reikalavimus naudotino dumblo kokybiniais rodikliais, numatyti naudojimo tvarką. Tai galima būtų padaryti 2 keliais:

1 – papildant UAS susidaranciam dumblui aktualiais reikalavimais (reikiamais punktais) „Nuotekų dumblo tvarkymo ir panaudojimo reikalavimus“;

2 – parengiant ir ministro įsakymu patvirtinant reikalavimus UAS susidaranciam dumblui, o „Nuotekų dumblo tvarkymo ir panaudojimo reikalavimus“ papildant punktu, kur nurodoma, kad pastarieji Reikalavimai netaikomi UAS dumblui.

Bet koku atveju, pirmiausia reikėtų apibrėžti sąvokas:

- Uždarose akvakultūros sistemose (UAS) susidarantis dumblas
- UAS dumblo turėtojas;
- UAS dumblo naudotojas.

Vadovaujantis Reikalavimų 3.6 papunkčiu, galima būtų apibrėžti, i, kad iš UAS nuotekų mechaniniais (būgniniais ir pan.) filtrais, floatatoriais atskirtos dalelės nepriskiriamos nuotekų dumblui, gali būti surenkamos ir tvarkomos atskirai. Tačiau dumblas, susidarantis biologiniuose filtruose, priskiriamas UAS nuotekų dumblui. Taip galima būtų ženkliai sumažinti UAS susidarancio ir pagal Reikalavimus tvarkomo nuotekų dumblo kiekį, jei būtų atskirai būtų kaupiamos ir panaudojamos mechaniniuose filtruose, floatatoriuose atskirtos dalelės.

Galima būtų numatyti, kad UAS nuotekų dumblo turėtojai neprivalo vadovautis Reikalavimų 9 punktu, t.y. dumblo turėtojas, norėdamas perduoti apdorotą dumblą tręšimui, neprivalo apskaičiuoti tręšimo apdorotu dumblu normų (tonomis sausųjų medžiagų į hektarą), galimo numatomame tręšti lauke panaudoti apdoroto dumblo kiekio.

UAS nuotekų dumblo turėtojas privalėtų registruoti apdoroto dumblo (taip pat laikomo dumblo) kokybės ir naudojimo duomenis. Tam reikėtų pateikti UAS dumblo kokybės ir naudojimo duomenų suvestinės formą, joje būtinus nurodyti duomenis.

UAS dumblo tyrimai turi būti atliekami laboratorijose, akredituotose standarto LST EN ISO/IEC 17025 atitikčiai konkrečioms matavimams ir / ar tyrimams atlikti bei imti ėminiams laboratoriniams tyrimams ir / ar matavimams atlikti.

Taip pat reikėtų nustatyti, kad UAS dumblo kokybės ir naudojimo duomenys ir Suvestinė saugomi 10 metus nuo suvestinės užpildymo dienos, o vėliau sunaikinami įstatymų nustatyta tvarka.

Kadangi pagal ligšiolinius UAS dumblo sudėties tyrimų rezultatus matosi, jog UAS dumblas ne visada atitinka I kategorijos dumblui nustatytas sunkiųjų metalų koncentracijas, tačiau pilnai atitinka II kategorijos dumblui nustatytas sunkiųjų metalų koncentracijas, pastarąsias koncentracijas reikėtų nustatyti kaip normines UAS dumblui, jei šį UAS dumblą numatoma panaudoti tręšimui (žr. 3.13 lent.).

Sunkiųjų metalų koncentracijos UAS dumble turi būti tiriamos prieš pirmą kartą atiduodant dumblą naudotojui. Jei UAS dumble sunkiųjų metalų koncentracijos neviršija maksimalių, nustatytų 3. Lentelėje, tai šiuos tyrimus galima būtų daryti ne rečiau kaip 1 kartą per 2 metus.

3.13 lent. Maksimalios sunkiųjų metalų koncentracijos UAS dumble, jei šis dumblas numatomas panaudoti tręšimui

	Sunkiųjų metalų koncentracija, mg/kg						
	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Zn	Hg
Maksimali leistina reikšmė UAS dumblui	140–150	1,5–5	140–170	300–1000	50–70	800–2500	1–1,5

Diskutuotinas mikrobiologinių-parazitologinių parametrų tyrimo poreikis, kadangi uždaroje apytakinėse sistemose, kuriose auginamos žuvis, tikimybė, kad dumblas bus reikšmingai užterštas fekalinėmis žarnyno lazdelėmis (*Escherichia coli*), anaerobinėmis klostridijomis (*Clostridium perfringens*), helmintų kiaušinėliais ir lervomis, patogeninėmis enterobakterijomis yra maža (su sąlyga, kad į UAS dumblą nepatenka buitinės nuotekos iš UAS įmonės sanitarinių-buitinių patalpų ir pastarosios tvarkomos atskirai).

Taip pat galima numatyti nepageidaujamų priemaišų leistinas ribas UAS dumble (3.14 lent.), tačiau reikėtų numatyti, kokios laboratorijos tokius tyrimus galėtų atlikti.

3.14 lentelė. Nepageidaujamų priemaišų leistinos ribos UAS dumblo

Pavadinimas	Leistina riba
Stiklas, metalai, plastikas, kai jų dalelių dydis didesnis nei 2 mm	≤0,5% SM
Daigios augalų sėklos tarp jų gyvybingos piktžolės, šakniastiebiai	≤2 vnt./l
Akmenys, didesni nei 10 mm, skaičiuojant sausu svoriu	≤5%

UAS dumblo laikymo įrenginių bendras tūris turėtų būti pakankamas dumblo laikymui ne trumpiau kaip 1 metus.

UAS dumblo naudojimui turėtų būti taikomi Reikalavimų 52 -54 punktas dėl draudimo naudoti visų rūšių ir kategorijų apdorotą dumblą (pateikta Reikalavimuose naudota informacija):

„ 52. Draudžiama naudoti visų rūšių ir kategorijų apdorotą dumblą šiais atvejais:

52.1. jei tokia veikla konkrečioje vietoje ribojama Specialiųjų žemės naudojimo sąlygų įstatymu;

52.2. arčiau kaip 100 m iki gyvenamųjų pastatų;

52.3. kai aukščiausio gruntinio vandens lygio gylis nuo apdoroto dumblo paskleidimo sluoksnio pado yra < 1 m;

52.4. tokiose teritorijose, kuriose viršutinio grunto sluoksnio (ne mažiau kaip 1 m) vidutinis filtracijos koeficientas ne didesnis kaip 10^{-2} m/d;

52.5. jeigu sunkiųjų metalų koncentracija dirvožemyje viršija didžiausiąją leidžiamąją sunkiųjų metalų koncentraciją (5 lentelė);

52.6. miško medynams, miško želdiniams ir žėliniams tręšti, išskyrus plantacinius miško želdinius ar žėlinius, auginamus buvusiose žemės ūkio naudmenose;

52.7. tręšimui ar rekultivavimui nuo lapkričio 15 d. iki balandžio 1 d., taip pat ant įšalusios, įmirkusios ar apsnigtos žemės, taip pat jei vidutinė paros oro temperatūra aukštesnė kaip 20°C. Draudimas visų rūšių ir kategorijų apdorotą dumblą naudoti tręšimui ar pažeistų teritorijų rekultivavimui, jei vidutinė paros oro temperatūra aukštesnė kaip 20°C, netaikomas džiovinamam dumblui ir dumblo kompostui (*tikslinga papildyti – UAS dumblo*),

53. Apdoroto dumblo norma turi būti tokia, kad sunkiųjų metalų kiekis numatomame per metus panaudoti apdorotame dumblo neviršytų didžiausiojo leidžiamojo sunkiųjų metalų kiekio, kuris per metus gali patekti į dirvožemį (6 lentelė). Bet kokiu atveju sunkiųjų metalų koncentracijos dirvožemyje dėl tręšimo apdorotu dumblo ar rekultivuotos teritorijos dirvožemio užterštumas sunkiaisiais metalais negali viršyti didžiausiųjų leidžiamųjų koncentracijų (5 lentelė).

5 lentelė. Didžiausioji leidžiamoji sunkiųjų metalų koncentracija (DLK) dirvožemyje

Dirvožemio granulimetrinė sudėtis	Sunkiųjų metalų koncentracija, mg/kg						
	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Zn	Hg
Smėliai, priesmėliai	50	1,0	50	50	50	160	0,5
Priemoliai, moliai	80	1,5	80	75	75	300	0,5

6 lentelė. Didžiausiasis leidžiamasis sunkiųjų metalų kiekis, kuris gali patekti į dirvožemį tręšiant apdorotu dumblu per metus, pagal 10 metų vidurkį

Dirvožemio granulimetrinė sudėtis	Sunkiųjų metalų kiekis, kg/ha per metus						
	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Zn	Hg
Smėliai, priesmėliai	10	0,1	7	8	2	20	0,05
Priemoliai, moliai	15	0,15	10	12	3	30	0,1

54. Apdorotas dumblas naudojamas tręsimui, pažeistų teritorijų rekultivavimui arba energijai gauti (išskyrus nuotekų dumblo kompostą) Reikalavimuose nustatyta tvarka“.

UAS dumblui turėtų būti taikomi specialieji reikalavimai naudojimui tręsimui žemės ūkyje, tačiau jie turi būti taikomi ne UAS dumblo turėtojui, o dumblo naudotojui. Tai būtų Reikalavimų 56-63 punktai:

„56. Plotams, skirtiems daržovėms auginti bei pievoms ar žalienoms tręšti, gali būti naudojamas tik A klasės apdorotas dumblas (*tikslinga papildyti – UAS dumblu*),

57. Plotai, skirti auginti vaisiniams augalams bei daržovėms, kurios turi tiesioginį sąlytį su dirvožemiu ir yra valgomos žalios, negali būti tręšiami 10 mėnesių iki derliaus nuėmimo ir nuimant derlių.

58. Pievoms ir žalienoms tręšti, jei pievoje bus ganomi gyvuliai ar nuimami pašarai, apdorotas dumblas gali būti naudojamas ne vėliau kaip trys savaitės iki gyvulių ganymo ar pašarų nuėmimo pradžios. Draudžiama apdorotą dumblą naudoti pievoms ir daugiametėms žolėms tręšti ganykliniu laikotarpiu nuo gegužės 1 d. iki spalio 1 d.

59. Kaupiamieji augalai lauko sėjomainoje gali būti auginami praėjus ne mažiau kaip 1 metams nuo tręšimo apdorotu dumblu.

60. Draudžiama naudoti apdorotą dumblą žemės ūkyje šiais atvejais:

60.1. plotų, kuriuose auga vaisiai ir daržovės (išskyrus vaismedžius) tręsimui;

60.2. jeigu dirvožemio pH <5,5;

60.3. ekologinės gamybos ūkiuose.

61. Maksimali tręšimo apdorotu dumbļu norma turi užtikrinti, kad į dirvožemį nepatektų: azoto – daugiau kaip 170 kg/ha per metus, fosforo – 40 kg/ha arba fosforo (V) oksido (P₂O₅) – 90 kg/ha per metus.

62. Paskleistas apdorotas dumblas turi būti ne vėliau kaip per 2 kalendorines dienas įterptas į dirvožemį.

63. Apdorotas dumblas jo naudojimo tręšimui vietoje (žemės sklype (lauke), kurio tręšimui numatoma naudoti apdorotą dumblą), lauko kaupuose gali būti laikomas ne ilgiau kaip 6 mėnesius, laikantis šių reikalavimų:

63.1. apdorotas dumblas gali būti laikomas tik tuose laukuose, kurie numatyti juo tręšti;

63.2. lauko kaupų vieta parenkama toliausiai nuo gyvenamosios ir visuomeninės paskirties objektų, kad tokie objektai nebūtų vyraujančia vėjo kryptimi, reljefo vietoje, neapsemiamoje pavasario polaidžio bei liūčių metu;

63.3. naudojimo vietoje gali būti laikomas tik toks apdoroto dumblo kiekis, koks yra numatytas panaudoti šioje naudojimo vietoje;

63.4. draudžiama apdorotą dumblą laikyti, jei veikla ribojama Specialiųjų žemės naudojimo sąlygų įstatymu;

63.5. kaupai turi būti įrengiami ne arčiau kaip 25 m žemiau vandens ėmimo įrenginių (šachtinių, gręžtinių šulinių ir kt.), kuriems apsaugoti nėra nustatytų apribojimo juostų, ir pasroviui vyraujančiam gruntinio vandens srautui. Jei apdorotas dumblas gali būti laikomas tik aukščiau vandens paėmimo įrenginių, atstumas turi būti ne mažesnis kaip 50 m;

63.6. kaupų aukštis turi būti ne didesnis kaip 2 m;

63.7. jeigu apdorotas dumblas bus laikomas ilgiau negu 1 savaitę, kaupas turi būti uždengtas orui ir vandeniui nelaidžia plėvele, sulaikančia kritulių patekimą į apdorotą dumblą bei sumažinančia kvapų sklidimą; jeigu apdorotas dumblas bus laikomas ilgiau kaip 30 parų, aikštelė, kurioje bus laikomas apdorotas dumblas, iš visų pusių apjuosiami ne žemesniu kaip 50 cm aukščio pylimu taip, kad būtų užkirstas kelias kritulių vandens nutekėjimui teritorijos paviršiumi. Prieš kraunant apdorotą dumblą, jo laikymo vietoje turi būti supiltas 0,5 m aukščio durpių sluoksnis arba 0,7 m smulkintų šiaudų ar medžių lapų sluoksnis“.

UAS dumbliui taip pat turėtų būti taikomi specialieji reikalavimai apdoroto dumblo naudojimui pažeistoms teritorijoms, miesto žaliosioms erdvėms ir pakelėms rekultivuoti :

„64. Pažeistų teritorijų, miesto žaliųjų erdvių ir pakelių rekultivavimui naudojamo apdoroto dumblo norma turi būti iki 30 t/ha sausųjų medžiagų (bendras apdoroto dumblo kiekis nepriklausomai nuo teritorijos atstatymo etapiškumo). Maksimali naudojamo apdoroto dumblo norma turi užtikrinti,

kad į dirvožemį nepatektų: azoto – daugiau kaip 170 kg/ha per metus, fosforo – 40 kg/ha arba fosforo (V) oksido (P_2O_5) – 90 kg/ha per metus.

65. Draudžiama naudoti išekspluatuotuose žvyro ir (ar) smėlio karjeruose ir durpynuose.

66. Rekultivuotos apdorotu dumbly teritorijos negali būti naudojamos žemės ūkio kultūroms, naudojamoms žmonių ar gyvulių maistui, auginti“.

UAS dumbly turėtų būti taikomi specialieji reikalavimai apdoroto dumblo naudojimui energiniams augalams, žaliavinėms medžių ir krūmų plantacijoms, plantaciniams miško želdiniams ar žėliniams tręšti:

„67. I ir II kategorijos apdorotu dumbly gali būti tręšiamos žaliavinės medžių ir krūmų plantacijos, plantaciniai miško želdiniai ar žėliniai, auginami buvusiose žemės ūkio naudmenose, ir energiniai augalai, kurie, vadovaujantis Lietuvos Respublikos miškų įstatymo nuostatomis, nepriskiriami miškui.

68. Per metus gali būti paskleidžiama (įterpiama) iki 11 t/ha apdoroto dumblo (sausomis medžiagomis). Žaliavinėms medžių ir krūmų plantacijoms, plantaciniams miško želdiniams ar žėliniams, auginamiems buvusiose žemės ūkio naudmenose, ir energiniams augalams, kurie, vadovaujantis Miškų įstatymo nuostatomis, nepriskiriami miškui, tręšti I ir II kategorijos apdorotas dumbly gali būti skleidžiamas ne dažniau kaip kas 3 metus.

69. Tręšiamos teritorijos, kuriose paskleistas apdorotas dumbly, ir jose esantys melioracijos grioviai turi būti apariami ne siauresne kaip 2 m pločio juosta.

70. Paskleistas apdorotas dumbly turi būti ne vėliau kaip per 2 kalendorines dienas įterptas į dirvožemį.

71. Žemės ūkio paskirties sklypuose, kuriuose auginamų energinių augalų tręšimui buvo naudojamas apdorotas dumbly, žemės ūkio kultūros, naudojamos žmonių ir gyvulių maistui, gali būti auginamos, jeigu sunkiųjų metalų koncentracija dirvožemyje neviršija didžiausių leidžiamųjų sunkiųjų metalų koncentracijų dirvožemyje (4 lentelė)“.

IŠVADOS

1. UAS plėtra kasmet reikalauja daugiau vandens jų eksploatacijai, tuo pačiu daugiau išleidžiama į aplinką UAS panaudoto vandens (išvalyto iki maksimalių leistinų taršos rodiklių reikšmių) bei susidaro dumblas, kurio panaudojimas taip pat kelia problemų. Lietuvoje UAS tūris 2021 metais ženkliai padidėjo (nuo 6321 m³ 2020 m. iki 14306 m³), tačiau 2021 – 2024 m. laikotarpiu šis tūris padidėjo tik nežymiai (2024 m. siekė 14637 m³). Tačiau akvakultūros veiklą deklaravusių ūkio subjektų, naudojančių UAS sistemas, skaičius Lietuvoje sumažėjo nuo 34 vnt. 2020 m. iki 22 vnt. 2024 m.
2. Dumblas, sutankintas iki maksimaliai ekonomiškai apsimokamo, gali būti tinkamas tręšimui, kompostavimui, biodujų gamybai, ir panaudojamas kitaip. Akvakultūros nuotekos, retais atvejais – dumblas, gali būti panaudojamos akvapponikos, hidroponikos sistemose.
3. UAS dumblas pasižymi didelėmis skendinčiųjų medžiagų, organinių medžiagų, riebiųjų rūgščių ir mažomis azoto bei fosforo koncentracijomis. Dėl didelės organinių medžiagų koncentracijos šį dumblą galima naudoti anaerobiniam pūdymui.
4. Uždarose akvakultūros sistemose žuvų pašarų sudėtis iš esmės veikia BDS₇, bendrojo azoto, bendrojo fosforo ir sunkiųjų metalų koncentracijas susidarančiame dumble. Maistinių medžiagų kiekio, šėrimo efektyvumo ir dumblo tvarkymo praktikos tarpusavio ryšys vaidina svarbų vaidmenį mažinant su akvakultūros veikla susijusią aplinkos taršą.
5. Pašarų sudėtis turi didelę įtaką UAS aplinkosauginiam pėdsakui. Baltymų ir riebalų kiekio optimizavimas, siekiant pagerinti pašarų efektyvumą ir maistinių medžiagų virškinamumą, gali sumažinti organinę ir maistinių medžiagų taršą.
6. Išanalizavus Lietuvos UAS susidariusio nuotekų dumblo kokybę pagal jame esančias sunkiųjų metalų koncentracijas matyti kad, UAS ūkiuose cinko koncentracija svyruoja tarp 516 – 1146 mg/kg, vidutinė vario koncentracija svyruoja tarp 24,7 – 357 mg/kg, vidutinė kadmio koncentracija svyruoja tarp 0,23 – 1,35 mg/kgm vidutinė gyvsidabrio koncentracija UAS ūkiuose susidariusiame nuotekų dumble svyruoja nuo <0,008 iki 0,10 mg/kg, švino, chromo ir nikelio koncentracijos yra žemos. Lietuvos UAS ūkių dumblas pagal nustatytas sunkiųjų metalų koncentracijas priskiriamas I ir II kategorijos dumbliui.
7. Lietuvos įmonės, turinčios uždaras apytakines žuvų auginimo sistemas, dumblą nusašina ir kaupia rezervuaruose ar aikštelėse tol, kol jį pasiima ūkininkai, kad panaudotų kaip trąšą. Vėlgi, norint dumblą atiduoti kaip trąšą ūkininkams akvakultūros įmonės turi pateikti ištirti dumblo mėginius į laboratorijas, kad nustatyti, ar dumblo užterštumas neviršija normatyvų.

8. Technologinių inovacijų ir tvarios praktikos integravimas į UAS pabrėžia jų potencialą spręsti neatidėliotinas vandens išteklių trūkumo ir aplinkos blogėjimo problemas, kartu patenkinant didėjančią pasaulinę jūros gėrybių paklausą. Nuolatiniai moksliniai tyrimai ir plėtra yra būtini siekiant patobulinti šias technologijas ir strategijas, užtikrinant, kad jos išliktų perspektyviais sprendimais būsimoms akvakultūros operacijoms.
9. Lietuvos UAS įmonės neturi pakankamai savų lėšų tvarų vandens naudojimą gerinančių, aplinkos taršą mažinančių priemonių ir technologinių inovacijų diegimui. Tačiau naudojantis ES finansinės paramos galimybėmis UAS įmonės dalyvauja įsirengiant ir naudojant saulės jėgaines, kelios įmonės yra įsidedusios į UAS grąžinamo vandens apdorojimo įrenginius bei į UAS grąžinamo vandens temperatūros reguliavimo įrenginius. Tokias veiklas UAS įmonėms rekomenduojam tęsti. Projektuojant ir statant naujas UAS turėtų būti keliamas reikalavimas arba rekomendacija numatyti tvarų vandens naudojimą gerinančias, aplinkos taršą mažinančių priemones.
10. Projektuojant ir statant naujas UAS turėtų būti keliamas reikalavimas arba rekomendacija numatyti tvarų vandens naudojimą gerinančias, aplinkos taršą mažinančių priemones.
11. Siekiant kuo efektyviau panaudoti UAS susidarantį dumblą, reikėtų konkretizuoti reikalavimus naudotino dumblo kokybiniais rodikliais, numatyti naudojimo tvarką. Tai galima būtų padaryti arba papildant UAS susidarantį dumblui aktualiais reikalavimais (reikiamais punktais) „Nuotekų dumblo tvarkymo ir panaudojimo reikalavimus“, arba parengiant ir ministro įsakymu patvirtinant specializuotus reikalavimus UAS susidarantį dumblui.
12. UAS susidarantį vandens ir dumblo pertekliaus panaudojimas atveria dideles galimybes žiedinės ekonomikos srityje. Integruodama pažangius valymo procesus, skatindama maistinių medžiagų perdirbimą ir tyrinédama anaerobinio skaidymo bei IMTA sistemas, akvakultūros pramonė gali efektyviau tvarkyti atliekas, didinti išteklių naudojimo efektyvumą ir darniai prisidėti prie aplinkos tvarumo.

LITERATŪRA

1. Akvakultūra klimato kaitos amžiuje. Bartulović, V., Dautartė A., Demir E., Dobrosravič T., Klaudatos, D., Krusir G, Mardar M., Sahdieieva O., Zengin M., Žibas A., Žibienė G. 2025.- Kaunas : Vytauto Didžiojo universitetas.
2. Almeida, D., Magalhães, C., Silva, E., Blanquet, I., & Mucha, A. Study of water quality in a recirculating aquaculture system for environmental sustainability and fish welfare.. <https://doi.org/10.30955/gnc2019.00633>.
3. Altoukhov, A. (2020). Industrial product platforms and blockchain in aquaculture. In IOP conference series: Earth and environmental science. IOP Publishing, 042021.
4. Ansari F.A., Singh P., Guldhe A, Bux F. 2017. Microalgal cultivation using aquaculture wastewater: integrated biomass generation and nutrient remediation, *Algal Res.* 21: 169–177.
5. Arifin, H. (2024). Application of biofloc technology as an environmentally friendly solution to increase the productivity of freshwater fish cultivation. *Fish*, 1(2), 88-96. <https://doi.org/10.59613/7per0z11>
6. Avnimelech, Y., & Lacher, M. (1979). A tentative nutrient balance for fish ponds. *Israeli Journal of Aquaculture Bamidgeh*, 31, 3–8.
7. Badiola M, Basurko OC, Gabiña G, Mendiola D. 2017. Integration of energy audits in the life cycle assessment methodology to improve the environmental performance assessment of recirculating aquaculture systems. *J Clean Prod*; 157:155–166.
8. Badiola, M., Basurko, O., Piedrahita, R., Hundley, P., & Mendiola, D. (2018). Energy use in recirculating aquaculture systems (RAS): A review. *Aquacultural Engineering*, 81,57–70, 2018.
9. Badiola M., Mendiola D., Bostock J. 2012. Recirculating aquaculture systems (RAS) analysis: main issues on management and future challenges, *Aquac. Eng.* 51: 26–35.
10. Becke, C. 2020. Physiological impacts of suspended solids in recirculating aquaculture systems on rainbow trout. PhD thesis, Technical University of Munich.
11. Bergheim, A., & Asgard, T. (1996). Waste production in aquaculture. In D. J. Baird, M. C. M. Beveridge, L. A. Kelly, & J. F. Muir (Eds.). *Aquaculture and water resource management* (pp. 50–80). Oxford: Blackwell Science.
12. Bergheim, A.; Kristiansen, R.; Kelly, L.A. 1993. Treatment and Utilization of Sludge from Landbased Farms for Salmon. In *Techniques for Modern Aquaculture*, Proceedings of an Aquaculture Engineering Conference, Spokane, WA, USA, 21–23 June.

13. Bergheim, A.; Cripps, S.J.; Liltved, H.A. 1998. System for the treatment of sludge from land-based fish-farms. *Aquat. Living Resour.* 11, 279–287.
14. Bergman K, Henriksson PJG, Hornborg S et al. 2020. Recirculating aquaculture is possible without major energy trade off : life cycle assessment of warmwater fish farming in Sweden. *Environ Sci Technol* 54:16062–16070.
15. Beveridge, M. C. M., Phillips, M. J., & Clarke, R. M. (1991). A quantitative and qualitative assessment of wastes from aquatic animal production. In D. E. Brune, & J. R. Tomasso (Eds.). *Aquaculture and water quality* (pp. 506–533). Baton Rouge, LA: World Aquaculture Society.
16. Boe, A., & Prasolova-Forland, E. (2015). Teaching and learning aquaculture in virtual reality with oculus rift. In *E-Learn: World conference on E-learning in corporate, government, healthcare, and higher education* (pp. 1426–1435). Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).
17. Boyd, C. E. (1985). Chemical budgets for channel catfish ponds. *Transactions of the American Fisheries Society*, 11, 291–298.
18. Brinker, A.; Koppe, W.; Rösch, R. 2005. Optimised effluent treatment by stabilised trout faeces. *Aquaculture*, 249, 125–144.
19. Bovendeur J., Eding E.H., Henken A.M. 1987. Design and performance of a water recirculation system for high-density culture of the African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell 1822). *Aquaculture* 63:329-353. doi: 10.1016/0044-8486(87)90083-4.
20. Chen, S., Coffin, D.E., Malone, R.F., 1997. Sludge production and management for recirculating aquacultural systems. *J. World Aquacult. Soc.* 28, 303– 315.
21. Chen, S., Stetchey, D., Malone, R.F., 1994. Suspended solids control in recirculating aquaculture systems. In: Timmons, M.B., Losordo, T.M. (Eds.), *Aquaculture Water Reuse Systems: Engineering, Design and Management*. Elsevier, Amsterdam, pp. 61–100.
22. Chen, S., Timmons, M.B., Aneshansley, D.J., Bisogni, J.J., 1993. Suspended solids characteristics from recirculating aquacultural systems and design implications. *Aquaculture* 112(2-3): 143.
23. Choudhury, A., Lepine, C., Good, C. 2023. Methane and Hydrogen Sulfide Production from the Anaerobic Digestion of Fish Sludge from Recirculating Aquaculture Systems: Effect of Varying Initial Solid Concentrations. *MDPI: Fermentation*:9(2), 9; <https://doi.org/10.3390/fermentation9020094>.
24. Coloso, R.M. et al. 2003. Phosphorus utilization in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), *Aquaculture*, 224(1–4), pp. 331–345.

25. Coloso, R.M., King, K., Fletcher, J.W., Hendrix, M.A., Subramanyam, M., Weiss, F. and Ferraris, R.P. 2003. Phosphorus utilization in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), *Aquaculture*, 224(1–4), pp. 331–345.
26. Correia, M., Azevedo, I., Perés, H., Magalhães, R., Oliva-Teles, A., Almeida, C., ... & Guimarães, L. (2020). Integrated multi-trophic aquaculture: a laboratory and hands-on experimental activity to promote environmental sustainability awareness and value of aquaculture products. *Frontiers in Marine Science*, 7. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00156>.
27. Dalsgaard, J. and Pedersen, P.B. 2011. Solid and dissolved waste (N, P, O) from rainbow trout, *Aquaculture*, 313–314, pp. 92–99.
28. Dalsgaard, J., Lund, I., Thorarinsdottir, R., Drengstig, A., Arvonen, K. and Pedersen, P.B. 2011. Solid and suspended/dissolved waste (N, P, O) from rainbow trout, *Aquaculture*, 313–314, pp. 92–99.
29. Dauda, Akeem & Ajadi, Abdullateef & Tola-Fabunmi, Adenike & Olusegun, Akinwale. (2018). Waste production in aquaculture: Sources, components and managements in different culture systems. *Aquaculture and Fisheries*. 4. 10.1016/j.aaf.2018.10.002.
30. Del Campo M. L., Ibarra P., Gutierrez X. and Takle H. 2010. Utilization of sludge from recirculation aquaculture systems. Report 9/2010. ISBN: 978-82-7251-755-6. www.nofima.no
31. Ebeling, J.M., Sibrell, P.L., Ogden, S.R. and Summerfelt, S.T. 2003. Evaluation of chemical coagulation–flocculation aids for the removal of suspended solids and phosphorus from intensive recirculating aquaculture effluent, *Aquacultural Engineering*, 29(1–2), pp. 23–42.
32. Ebeling, J.M., Ogden, S.R. and Sibrell, P.L. 2004. Application of chemical coagulation aids for the removal of phosphorus from recirculating systems backwash, *North American Journal of Aquaculture*, 66(3), pp. 198–207
33. Emerenciano, M. G. C., Martínez-Córdova, L. R., Martínez-Porchas, M., & Miranda-Baeza, A. (2017). Biofloc Technology (BFT): a tool for water quality management in aquaculture. In *InTech eBooks*. <https://doi.org/10.5772/66416>.
34. FAO. 2012. *The State of World Fisheries and Aquaculture*; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy.
35. FAO. 2020. *The state of world fisheries and aquaculture 2020*. Rome, Italy: Sustainability in action.
36. FAO. 2024. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2024. Blue Transformation in action*. Rome. <https://doi.org/10.4060/cd0683en>

37. Fiesta, T. (2024). Improving abiotic stress mitigation via predictive modeling of water quality parameters in recirculated aquaculture systems. *jes*, 20(3s), 1382-1389. <https://doi.org/10.52783/jes.1515>.
38. Gómez, S., Lara, G., Hurtado, C., Alvarado, R., Gutiérrez, J., Huechucoy, J., ... & Turner, A. (2023). Evaluating the bioremediation capacity of the polychaete *perinereis gualpensis* (jeldes, 1963) for atlantic salmon aquaculture sludge. *Fishes*, 8(8), 417. <https://doi.org/10.3390/fishes8080417>.
39. Green, J.A., Hardy, R.W. and Brannon, E.L. 2002. Effects of dietary phosphorus and lipid levels on utilization and excretion of phosphorus and nitrogen by rainbow trout, *Aquaculture Research*, 33(7), pp. 591–606.
40. Hafez A., Kashem M., Das P., Hawari A., H., Mehariya S., Thaher M., I., Khan S., Abduquadir M., Al Jabri H. 2023. Aquaculture from inland fish cultivation to wastewater treatment: a review. *Rev Environ Sci Biotechnol*; 22:969–1008 <https://doi.org/10.1007/s11157-023-09672-1>.
41. Hakanson, L. (1988). Basic concepts concerning assessments of environmental effects of marine fish farms. Copenhagen: Nordic Council of Ministers. Hardy, R. W. (2010). Utilization of plant proteins in fish diets effects of global demand and supplies of fishmeal. *Aquaculture Research*, 41, 770–776.
42. Han P., Lu Q., Fan L., Zhou W. 2019. A review on the use of microalgae for sustainable aquaculture, *Appl. Sci.* 9:2377. doi:10.3390/app9112377.
43. He, X., Li, J., Zhu, S., & Li, D. (2017). The design and experiment of low-cost solar collector system for recirculation aquaculture. In 2017 ASABE annual international meeting. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 1700433.
44. Holby, O., & Hall, P. O. J. (1994). Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. III. Silicon. *Aquaculture*, 120(3–4), 305–318.
45. Horizon Europe Work Programme 2025. 9. Food, Bioeconomy, Natural Resources, Agriculture and Environment. (European Commission Decision C(2025) 2779 of 14 May 2025).
46. Hudcová, H., Vymazal, J., & Rozkošný, M. (2019). Present restrictions of sewage sludge application in agriculture within the european union. *Soil and Water Research*, 14(2), 104-120. <https://doi.org/10.17221/36/2018-swr>.
47. Jelmert, S.S. 2024. Potential of using land-based aquaculture sludge for biogas/biofertilizer production. MSc thesis, University of Iceland. Available at: Skemman (accessed 9 Nov 2025).

48. Johnsen, F., Hillestad, M., & Austreng, E. (1993). High energy diets for Atlantic salmon. Effect on pollution. In S. J. Kaushik, & P. Luquet (Eds.). *Fish nutrition in practice* (pp. 391–401). Paris: INRA.
49. Jothiswaran, V., Velumani, T., & Jayaraman, R. (2020). Application of artificial intelligence in fisheries and aquaculture. *Biotica Research Today*, 2(2020), 499–502.
50. Klein, J. et al. 2024. Enhancing energy recovery from aquaculture residual materials: a focus on anaerobic digestion of African catfish (*Clarias gariepinus*) sediment sludge, *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1397491.
51. Klein, J., Schüch, A., Sandmann, P., Nelles, M., Palm, H., & Bischoff, A. (2023). Utilization of sludge from african catfish (*Clarias gariepinus*) recirculating aquaculture systems for vermifiltration. *Sustainability*, 15(9), 7429. <https://doi.org/10.3390/su15097429>.
52. Lekang O.I. 2007. *Aquacultural engineering*. Blackwell Publishing Ltd. ISBN:978-1-4051-2610-6.
53. Lekang, O.-I. 2020. *Aquaculture engineering (Third edition.)*. Chichester, West Sussex, England: Wiley Blackwell.
54. Letelier-Gordo, C.O., et al. 2021. Coagulation of phosphorous and organic matter from marine, land-based RAS effluents, *Aquacultural Engineering*, 92, 102144
55. Lietuvos nacionalinė žuvininkystės duomenų rinkimo programa.
56. Lietuvos žuvininkystės sektoriaus 2021–2027 m. programa.
57. Lin, Y.F.; Jing, S.R.; Lee, D.Y.; Wang, T.W. 2002. Nutrient removal from aquaculture wastewater using a constructed wetlands system. *Aquaculture* 209, 169–184.
58. Lin, Y.F.; Jing, S.R.; Lee, D.Y.; Wang, T.W. 2002. Removal of solids and oxygen demand from aquaculture wastewater with a constructed wetland system in the start-up phase. *Water Environ. Res.*, 74, 136–141.
59. Lin, Y.F.; Jing, S.R.; Lee, D.Y.; Chang, Y.; Chen, Y. 2005. Performance of a constructed wetland treating intensive shrimp aquaculture wastewater under high hydraulic loading rate. *Environ. Pollut.* 134, 411–421.
60. Lin, Y.F.; Jing, S.R.; Lee, D.Y. 2003. The potential use of constructed wetlands in a recirculating aquaculture system for shrimp culture. *Environ. Pollut.* 123, 107–113.
61. Lobanov, V., et al. (2023) ‘Low-cost solids waste treatment system for RAS’, *Aquacultural Engineering*, 101, 102279. Vlaams Instituut voor de Zee.
62. Marsh, L., S. Subler, S. Mishra, and M. Marini. 2005. Suitability of aquaculture effluent solids mixed with cardboard as a feedstock for vermicomposting. *Bioresource Technology*, 96:413–418. doi:10.1016/j.biortech.2004.06.002.

63. Milián-Sorribes, M.C., Martínez-Llorens, S. and Tomás-Vidal, A. 2021. Estimation of phosphorus and nitrogen waste in rainbow trout, *Animals*, 11(6), 1725.
64. Mirzoyan N. and Gross A. 2010. Anaerobic digestion of sludge from intensive recirculating aquaculture systems: Review. *Aquaculture* 306, 1-6, doi: 10.1016/j.aquaculture.2010.05.028
65. Mirzoyan, N., Parnes, S., Singer, A., Tal, Y., Sowers, K., Gross, A., 2008. Quality of brackish aquaculture sludge and its suitability for anaerobic digestion and methane production in an upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor. *Aquaculture* 279, 35–41.
66. Mishra S. 2003. Treatment of Wet Fish Sludge with Vermicomposting. MSc thesis Virginia Polytechnic Institute.
67. Mongirdas V., Žibienė G., Žibas, A. Waste and its characterization in closed recirculating aquaculture systems – a review. *Journal of water security / Aleksandras Stulginskis university, Riga Technical University.* , 2017, vol. 3, article number: jws2017002, p. 1-8.
68. Netshivhumbe, R., Faloye, F., Tolessa, A. et al. 2024. Anaerobic Co-Digestion of Fish Sludge Originating from a Recirculating Aquaculture System. *Waste Biomass Valor* 15, 5589–5605. <https://doi.org/10.1007/s12649-024-02569-2>.
69. Ontario Ministry/Industry report (undated; ResearchGate upload) ‘Composition of fecal waste from commercial trout farms in Ontario: macro and micro nutrient analysis and recommendations for recycling’. (Accessed 9 Nov 2025).
70. O’Shea T, Jones R, Markham A et al. 2019. Towards a blue revolution: catalyzing private investment in sustainable aquaculture production systems. The Nature Conservancy and Encourage Capital, Arlington.
71. Pettersen, K. S., Sele, V., Araujo, P., Belghit, I., Benestad, S. L., Bernhoft, A., Booth, A. M., Eriksen, G. S., Farkas, J., Handå, A. H., Hansen, B. H., Helgesen, K. O., Holst-Jensen, A., Johannessen, G. S., Liland, N. S., Lundebye, A., Malzahn, A. M., Nilsen, H., Nordtvedt, T. S., . . . Hagemann, A. (2025). Fish sludge as feed in circular bioproduction: Overview of biological and chemical hazards in fish sludge and their potential fate via ingestion by invertebrates. *Reviews in Aquaculture*, 17(1). <https://doi.org/10.1111/raq.12996>.
72. Piedrahita, R.H., 2003. Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. *Aquaculture* 226: 35-44.
73. Pillay, T. V. R. (1992). *Aquaculture and the environment*. New York: Wiley.
74. Prakash, S. 2023. Effects of feed on water quality in RAS (with focus on fecal rheology/stability). PhD thesis, Wageningen University & Research. Available at: WUR e-Depot (accessed 9 Nov 2025).

75. Prasolova-Førland, E., Forninykh, M., & Ekelund, O. I. (2019). Empowering young job seekers with virtual reality,. In 2019 IEEE conference on virtual reality and 3D user interfaces (VR) (pp. 295–302). IEEE.
76. Prüter, J., Strauch, S.M., Wenzel, L.C., Klysubun, W., Palm, H.W. and Leinweber, P. 2020. Organic matter composition and phosphorus speciation of solid waste from an African catfish recirculating aquaculture system, *Agriculture*, 10(10), 466.
77. Recirculating aquaculture. Timmons, Michael B., Northeastern Regional Aquaculture Center. Ithaca, NY : Ithaca Publishing Company LLC, 2013.
78. Rekomendacijų dėl inovatyvių sprendimų, mažinančių gamtos išteklių naudojimą akvakultūroje bei akvakultūros tvenkiniuose ir uždariosiose akvakultūros sistemose susidarančio dumblo panaudojimo galimybes, parengimas / Žibienė G. ir kt. / MTE-22-6 baigiamoji ataskaita, 2023.
79. Shi, C. 2012. Potential Biogas Production from Fish Waste and Sludge. TRITA LWR Degree Project 12:37
80. Siddiqui, A. B., & Al-Harbi, A. H. (1999). Nutrient budgets in tanks with different stocking densities of hybrid tilapia. *Aquaculture*, 170, 245–252.
81. Sindilariu, P.D., Reiter, R. and Wedekind, H. 2009. Impact of trout aquaculture on water quality and farm effluent treatment options, *Aquatic Living Resources*, 22(1), pp. 93–102.
82. Singh D., Goswami K., R., Agrawal K., Chaturvedi V., Verma P. 2022. Bio-inspired remediation of wastewater: A contemporary approach for environmental clean-up. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*. 5: 100261. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2022.100261>.
83. Stewart, N.T., Boardman, G.D., Helfrich, L.A. and Dietrich, A.M. 2006. Characterization of nutrient leaching rates from settled aquaculture solid wastes, *Aquacultural Engineering*, 34(3), pp. 182–197.
84. Strauch, S.M. et al. 2018. Commercial African catfish (*Clarias gariepinus*) recirculating aquaculture systems: assessment of element and energy pathways with special focus on the phosphorus cycle, *Sustainability*, 10(6), 1805.
85. Summerfelt, S., T., Adler P., R., Glenn D., M., Kretschmann R., N. 1998. Aquaculture sludge removal and stabilization within created wetlands. *Aquaculture Engineering* 9, p. 81-92.
86. Timmons, M.B., Ebeling, J.M., 2007. Recirculating Systems. Northeastern Regional Aquaculture Center, Ithaca, NY.

87. Tom P., A., Jayakumar J., S. Biju M., Somarajan J., Ibrahim M., A. 2021. Aquaculture wastewater treatment technologies and their sustainability: A review. *Energy Nexus*, 4:100022. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2021.100022>.
88. Tvaresnės ir konkurencinės ES akvakultūros 2021–2030 m. strateginės gairės. COM(2021) 236. Briuselis, 2021 05 12
89. UAB „Baisogalos bioenergija“ šamų auginimo ūkyje susidarančių nuotekų nukenksminimo ir panaudojimo galimybės. Ataskaita. – Žibienė G., Mongirdas V.-2018.
90. Uždarosiose akvakultūros sistemose susidarančio dumblo panaudojimo galimybių studija. Galutinė ataskaita,- Sendžikienė E., Makarevičienė V., Radzevičius A. ir kt. – 2017.
91. Uždarų žuvų auginimo sistemų įtakos gamtinėms ekosistemoms nustatymas ir rekomendacijų parengimas šių sistemų diegimui Lietuvoje. Galutinė ataskaita. Žibienė G., Žibas A. ir kt. – 2016.
92. Van Bussel, C.G.J. et al. 2014. Aquatic accumulation of dietary metals (Fe, Zn, Cu, Co, Mn) in recirculating aquaculture systems (RAS), *Aquacultural Engineering*, 59, pp. 1–8.
93. Van Bussel Ch.G.J., Mahlmann L., Kroeckel S., Schroeder J.P., Schulz C. 2013. The effect of high ortho-phosphate water levels on growth, feed intake, nutrient utilization and health status of juvenile turbot (*Psetta maxima*) reared in intensive recirculating aquaculture systems (RAS). *Aquacultural Engineering* 57:63-70. doi: 10.1016/j.aquaeng.2013.08.003.
94. Van der Wurff, A.W.G., Fuchs, J.G., Raviv, M., Termorshuizen, A.J. (Editors) 2016. Handbook for Composting and Compost Use in Organic Horticulture. BioGreenhouse COST Action FA 1105, www.biogreenhouse.org.
95. Vielma, J., Kankainen, M. & Setälä, J. 2022. Current status of recirculation aquaculture systems (RAS) and their profitability and competitiveness in the Baltic Sea area. *Natural resources and bioeconomy studies* 75/2022. Natural Resources Institute Finland. Helsinki. 28 p.
96. Wang, J.-W., Ed. 1993. American Society of Agriculture Engineers: St. Joseph, MI, USA; pp. 486–495.
97. Wong, K.B. and Piedrahita, R.H. 2000. Settling velocity characterization of aquacultural solids, *Aquacultural Engineering*, 21(3), pp. 233–246.
98. Yue, K., & Shen, Y. (2021). An overview of disruptive technologies for aquaculture. *Aquaculture and Fisheries*, 7(2), 111–120. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2021.04.009>.
99. Yusoff, F., Umi, W., Ramli, N., & Harun, R. (2024). Water quality management in aquaculture. *Cambridge Prisms Water*, 2. <https://doi.org/10.1017/wat.2024.6>.

100. Xiao, R., Wei, Y., An, D., Li, D., Ta, X., Wu, Y., ... & Ren, Q. (2018). A review on the research status and development trend of equipment in water treatment processes of recirculating aquaculture systems. *Reviews in Aquaculture*, 11(3), 863-895. <https://doi.org/10.1111/raq.12270>.
101. Xu, Z., Wu, Y., Jiang, Y. et al. 2018. Arbuscular mycorrhizal fungi in two vertical-flow wetlands constructed for heavy metal-contaminated wastewater bioremediation. *Environ Sci Pollut Res* 25, 12830–12840. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1527-z>,
102. Yogev, U., Gelfand, I. and Gross, A. 2020. Phosphorus recovery from a novel recirculating aquaculture system, *Science of the Total Environment*, 710, 136301
103. Žibienė G., Mongirdas V., Žibas A., Kiršanskaitė L. Potential of Opportunities for Reusing Sludge, Produced in Recirculating Aquaculture Systems // *Agrosym 2018 [elektroninis išteklius]* : IX International Scientific Agriculture Symposium, Jahorina, October 04-07, 2018

MTEP PROJEKTO REZULTATŲ POPULIARINIMAS

Pranešimas „Peculiarities of the use of sludge generated in recirculation aquaculture systems in Lithuania" tarptautinėje mokslinė konferencijoje „Kaimo plėtra 2025: atsparumas globaliems pokyčiams“, VDU ŽŪA 2025 m. spalio 1-3 dienomis.

Pranešimas „Biogrįsti sprendimai akvakultūroje: nuo idėjos iki praktinio taikymo“. Mantas Brazauskas, Alvydas Žibas. BIORURAL baigiamasis seminaras „Žiedinės bioekonomikos kaimo vietovėse spartinimas“, VDU ŽŪA 2025 08-29.

Tyrimų rezultatai paskelbti:

Žibienė G., Žibas A., Brazauskas M. „Peculiarities of the use of sludge generated in recirculation aquaculture systems in Lithuania". Proceedings of the 12th International Scientific Conference RURAL DEVELOPMENT 2025: Resilience to Global Challenges, 1-3 October, 2025 (spaudoje).

Akvakultūra klimato kaitos amžiuje. Bartulović, V., Dautartė A., Demir E., Dobroslavič T., Klaoudatos, D., Krusir G, Mardar M., Sahdieieva O., Zengin M., Žibas A., Žibienė G. 2025.- Kaunas : Vytauto Didžiojo universitetas. 169 p.

SUDERINTA:

(Tyrimų priežiūros komisijos pirmininkas)

(Vardas, Pavardė)

(Data)

PRIEDAI