

AKVAKULTŪROS ŪKIUOSE SUSIDARANČIO DUMBLO KOKYBĖS TYRIMAS IR PANAUDOJIMO ĮVERTINIMAS

Diana VAITKEVIČIŪTĖ, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas diana.vaitkeviciute@vdu.lt

Gražina ŽIBIENĖ, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas grazina.zibiene@vdu.lt

Santrauka

Straipsnyje aptariama trijų uždarų akvakultūros sistemų ir trijų tvenkininės akvakultūros ūkių nuotekų dumblo kokybė ir galimi panaudojimo būdai. Pagrindinis tyrimo tikslas – įvertinti sunkiųjų metalų (Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, Zn, Hg) koncentracijas akvakultūros ūkių nuotekų dumble, nustatyti, ar dumblą tinka naudoti kaip trąšą žemės ūkyje, ir įvertinti efektyviausią jo panaudojimo būdą. Išanalizavus gautus duomenis nustatyta, jog keturių ūkių dumblas atitinka I kategoriją, o dviejų ūkių – II kategoriją ir tinka tręšti žemės ūkio laukus. Apžvelgus galimus dumblo panaudojimo būdus, išskirtos 5 panaudojimo alternatyvos. Norint nustatyti efektyviausią pasirinkimo alternatyvą, panaudota daugiakriterinė analizės sprendimų programa DAM. Įvertinus pasirinktas alternatyvas, nustatyta, jog pranašiausia nuotekų dumblą panaudoti kaip žemės ūkio trąšą arba kompostuoti ir vermikompostuoti.

Reikšminiai žodžiai: sunkieji metalai, akvakultūros dumblas, dumblo panaudojimas.

Įvadas

Akvakultūra yra viena iš sparčiausiai augančių maisto gamybos sektorių, užtikrinančių pasaulinį aprūpinimą maistu. 2022 m. lapkričio 15 d. gyventojų skaičius pasaulyje pasiekė 8 milijardus, tad maisto poreikis tik didėja. Laukinių žuvų išteklių mažėjimas jau daugelį metų yra svarbi problema. Maždaug ketvirtadalis žuvų išteklių per daug išnaudojami arba per lėtai atsigauna po per didelio išsekimo. Tad žuvų auginimas dirbtinėmis sąlygomis gali padėti sumažinti sugaunamų žuvų kiekius, taip sudarant sąlygas atsikurti išsekusiems ištekliams (Goswami at al., 2022). Augant gamybai, vis aktualesnis tampa ir susidarančio dumblo panaudojimas. Akvakultūros ūkiuose auginamos žuvys šeriamos granuluotu pašaru, kurio sudėtyje yra nemažai maistinių medžiagų, tokių kaip azotas (N) ir fosforas (P), tačiau įprastai žuvys įsisavina tik apie 30 proc. su maistu gaunamo azoto ir fosforo, o likusi dalis pašalinama kartu su fekalijomis, tad ūkiuose susidariusio dumblo sudėtyje gausu maistingų medžiagų, kurias galima grąžinti į žiedinę ekonomiką antriniam panaudojimui (Matias del Compo et al., 2010).

Tyrimo tikslas – įvertinti tvenkininėse ir uždarose akvakultūros sistemose susidarančio dumblo kokybinius parametrus ir jo panaudojimo galimybes.

Iškeltam tikslui pasiekti sprendžiami šie **uždaviniai**:

1. Įvertinti pasirinktuose tvenkininėse žuvininkystės ir uždarų akvakultūros sistemų ūkiuose susidarančio dumblo kokybę pagal sunkiųjų metalų koncentracijas.
2. Daugiakriterinė analizės metodu nustatyti optimalų dumblo panaudojimo būdą.

Tyrimo objektas ir metodai

Tyrimo objektas – tvenkininės žuvininkystės (TV) ūkiai „Alfa“, „Beta“, „Delta“ ir uždarų akvakultūros sistemų (toliau – UAS) ūkiai „Gama“, „Kapa“, „Zeta“. Tvenkininės žuvininkystės ūkiuose pagrindinės auginamos žuvys yra karpiai, uždarų akvakultūros sistemų ūkiuose: „Gama“ – vaivorykštiniai upėtakiai, „Kapa“ – lašišinės žuvys, o „Zeta“ ūkyje – unguniai.

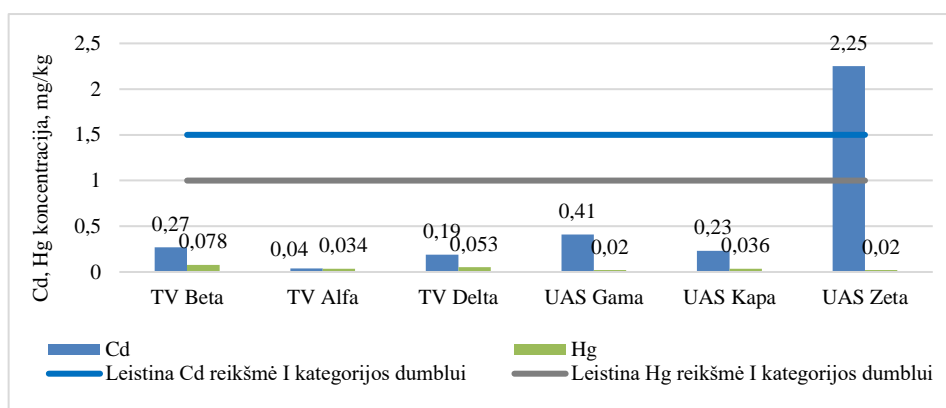
Dumblo mėginiai buvo imami spalio–lapkričio mėnesiais, kai dalyje žuvininkystės tvenkinių išgaunamos auginamos žuvys, išleidžiamas vanduo ir dumblas apsausėja, o iš UAS – prieš ūkininkams paimant dumblą tręšimui. Dumblo mėginiai paimti iš 3 tvenkininės žuvininkystės ūkių ir iš 3 UAS ūkių. Dumblo mėginiai imti vadovaujantis ISO 5667-13:2011 ir ISO 5667-15:2009. Tvenkininės žuvininkystės dumblo kokybės tyrimui buvo paimti jungtiniai dumblo mėginiai. Vienas jungtinis mėginys iš vieno tvenkinio buvo sudaromas sumaišius mėginius ne mažiau kaip iš 10 skirtingų mėginių paėmimo vietų. Imant dumblo mėginius iš UAS, taip pat buvo paimti jungtiniai dumblo mėginiai iš 5 skirtingų dumblo laikymo rezervuarų vietų. Vieno jungtinio dumblo mėginio talpyklos tūris – 1 litras. Dumblo mėginių tyrimus atliko Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centro Žemdirbystės instituto Agrocheminių tyrimų laboratorijos Analitinis skyrius. Nustatydama analizuojamų sunkiųjų metalų kiekį, tyrimų laboratorija vadovavosi LST EN 13650:2006, taip pat buvo taikomi tyrimo metodai: LST EN ISO 11885:009 (Pb, Cr ir Ni), LST EN ISO 15586:2004 (Cd), LST ISO 8288:2002 (Cu ir Zn) ir LST EN ISO 12846:2012 (Hg). Gautos dumblo esančių sunkiųjų metalų koncentracijų reikšmės palygintos

su reikšmėmis, nurodytomis dokumente „Nuotekų dumblo tvarkymo ir panaudojimo reikalavimai“ (Žin., 2001, Nr. 61-2196). Gauti akvakultūros ūkių nuotekų dumblo kokybės tyrimų rezultatai apdoroti „Microsoft Excel 2023“ programa. Siekiant išsiaiškinti akvakultūros ūkiuose susidarančio nuotekų dumblo efektyviausią panaudojimo būdą, naudota daugiakriterinės analizės programinė įranga DAM („Decision Analysis Module“). Tai – Tarptautinės atominės energijos agentūros (IAEA) sukurta programinė įranga, skirta įvertinti ir išrinkti geriausią alternatyvą iš pateiktų alternatyvų ir joms priskiriamų kriterijų. Parenkant kriterijus buvo atsižvelgta ir įvertinta kiekybiniai ir kokybiniai veiksniai, kurie turi įtakos dumblo tolesniam naudojimui.

Tyrimo rezultatai ir jų aptarimas

Akvakultūros ūkiuose susidarančio dumblo kokybė

Vertinant akvakultūros ūkiuose susidarančio nuotekų dumblo kokybę pagal jame esančius sunkiuosius metalus matyti (1 pav.), kad ne visų ūkių dumblas atitinka I kategoriją. Didžiausia Cd koncentracija rasta UAS ūkyje „Zeta“ – 2,25 mg/kg, o mažiausia tvenkininės žuvininkystės ūkyje „Alfa“ – 0,04 mg/l. Didžiausia Hg koncentracija rasta TV ūkyje „Beta“ – 0,078, o mažiausia UAS ūkiuose „Gama“ ir „Zeta“ – po 0,02 mg/kg. UAS ūkiuose Cd koncentracija svyruoja nuo 0,23 iki 2,25 mg/kg, o tvenkininės žuvininkystės ūkiuose – nuo 0,04 iki 0,27 mg/kg. Hg koncentracija UAS ūkiuose susidariusiame nuotekų dumble svyruoja nuo 0,02 iki 0,036 mg/kg, o tvenkininės žuvininkystės ūkių dumble – nuo 0,034 iki 0,078 mg/kg. Matyti, jog Hg koncentracija abiejų tipų akvakultūros ūkių nuotekų dumble panaši, o Cd daugiau susidaro auginant žuvis UAS.



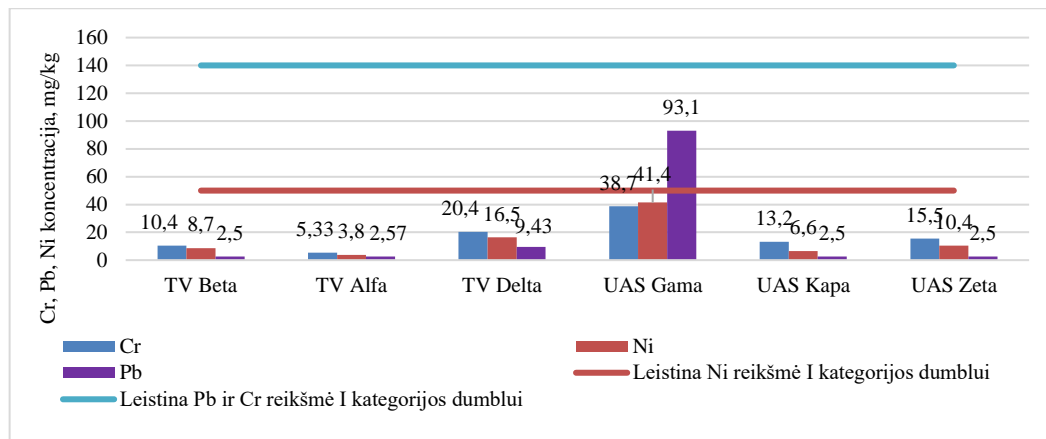
1 pav. Akvakultūros dumblo kokybė pagal sunkiųjų metalų Cd ir Hg koncentracijas

Fig. 1. Quality of aquaculture sludge in terms of concentrations of heavy metals Cd and Hg

Akvakultūros ūkių nuotekų dumble esančių švino, chromo ir nikelio koncentracijų rezultatai pateikti 2 pav. Tvenkininės akvakultūros ūkiuose visų trijų sunkiųjų metalų koncentracijos gana mažos. Pb koncentracija svyruoja nuo 2,5 iki 9,43 mg/kg, Cr – nuo 5,33 iki 20,4 mg/kg, Ni – nuo 3,8 iki 16,5 mg/kg. Didesnės visų trijų sunkiųjų metalų koncentracijos, o ypač švino, rastos UAS ūkio „Gama“ nuotekų dumble. Hg koncentracija siekia 93,1 mg/kg, o Cr – 38,7 mg/kg, tačiau neviršijama I kategorijos dumblui priskiriamos didžiausios leistinos reikšmės – 140 mg/kg. Didesnė Hg koncentracija UAS ūkio „Gama“ dumble, tikėtina, dėl ūkio kaimynystėje įsikūrusio mažų lėktuvų oro uosto. Vanduo šiame ūkyje valomas augalų-grunto filtru, po to grąžinamas į sistemą. Tikėtina, kad švino į augalų-grunto filtrą patenka su lietaus vandeniu, o iš filtro – į sistemos dumblą. Ni koncentracija siekia 41,4 mg/kg, tačiau taip pat neviršija didžiausios leistinos reikšmės I kategorijos dumblui, kuri yra 50 mg/kg. Likusiuose UAS ūkiuose visų trijų sunkiųjų metalų koncentracijos gana žemos ir panašios su tvenkininės žuvininkystės ūkių nuotekų dumble rastomis reikšmėmis. Hg koncentracijos vienodos – 2,5 mg/kg.

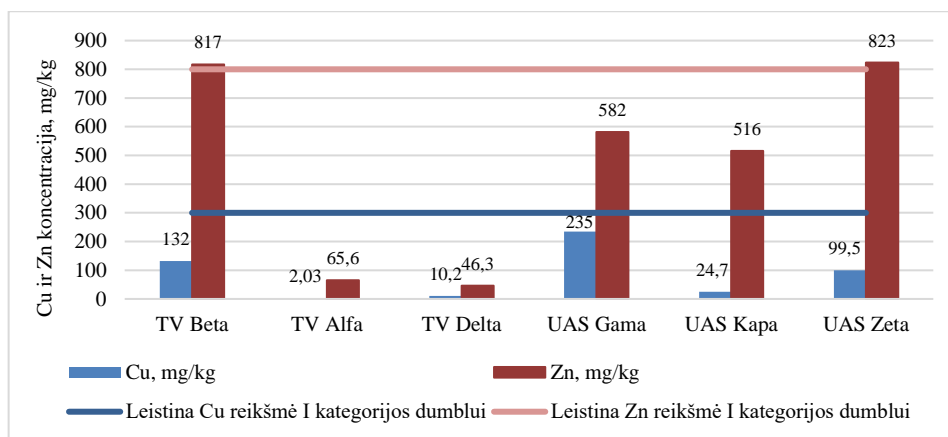
Analizuojant sunkiųjų metalų vario ir cinko koncentracijas (3 pav.) matyti, jog didžiausia Cu koncentracija nustatyta UAS ūkio „Gama“ nuotekų dumble – 235 mg/kg. Kituose UAS ūkių nuotekų dumblo mėginiuose Cu koncentracijos mažesnės: „Kapa“ – 24,7 mg/kg, o „Zeta“ – 99,5 mg/kg. Tvenkininės akvakultūros ūkio „Beta“ nuotekų dumble Cu koncentracija siekia 132 mg/kg. Kitų ūkių nuotekų dumble koncentracijos mažesnės: „Alfa“ – 2,03 mg/kg, „Delta“ – 10,2 mg/kg. Didžiausia leistina Cu koncentracija I kategorijos dumble – 300 mg/kg, tad nė viename ūkyje ji nenustatyta aukštesnė. Tačiau Zn didžiausia leistina koncentracija I kategorijos dumble yra 800 mg/kg ir ji viršijama dviejuose ūkiuose. Tvenkininės žuvininkystės ūkio „Beta“ nuotekų dumble Zn rasta 817 mg/kg, o UAS ūkio „Zeta“ – 823 mg/kg. Šių dviejų ūkių nuotekų dumblas pagal Zn koncentraciją būtų priskiriamas II kategorijos dumblui, kurio leistinos ribos – 800–2500 mg/kg. Kituose ūkiuose Zn koncentracija mažesnė: tvenkininės žuvininkystės ūkyje „Alfa“ – 65,6 mg/kg, o „Delta“ – 46,3 mg/kg, UAS ūkyje „Gama“ – 582 mg/kg, o „Kapa“ – 516 mg/kg.

Sultanos et al. (2022) tirtame krevečių akvakultūros ūkių dumble rastos šios sunkiųjų metalų koncentracijos: Cr ($30,38 \pm 2,1$ mg/kg), Zn ($74,72 \pm 1,13$ mg/kg), Cu ($31,14 \pm 1,4$ mg/kg), Pb ($20,38 \pm 2,1$ mg/kg), Cd ($0,09 \pm 0,2$ mg/kg) ir Hg ($0,08 \pm 0,02$ mg/kg). Palyginus rezultatus matyti, jog krevečių ūkyje gauti sunkiųjų metalų kiekiai panašūs į gautus tvenkininės žuvininkystės ūkiuose, išskyrus Zn koncentraciją, kuri krevečių ūkyje ženkliai mažesnė.



2 pav. Akvakultūros dumblo kokybė pagal sunkiųjų metalų Cr, Pb ir Ni koncentracijas.

Fig. 2. Quality of aquaculture sludge in terms of concentrations of heavy metals Cr, Pb and Ni.



3 pav. Akvakultūros dumblo kokybė pagal sunkiųjų metalų Cu ir Zn koncentracijas

Fig. 3. Quality of aquaculture sludge in terms of concentrations of heavy metals Cu and Zn

Akvakultūros ūkiuose susidarancio dumblo panaudojimo galimybės

Trašos žemės ūkyje. Akvakultūros ūkių gamybos atliekos yra vienas iš menkai naudojamų organinių išteklių. Kadangi akvakultūros pramonė klesti, dėl didėjančios auginamų žuvų paklausos didėja ir akvakultūros gamybos organinių atliekų kiekis. Didėjant gamybai pastaraisiais dešimtmečiais pasikeitė ir lašišų pašarų sudėtis: vis didesnę jūrinių ingredientų dalį keičia augalinės kilmės ingredientai. Pvz., Norvegijoje gaminamuose lašišų pašaruose vidutiniškai 70 proc. sudaro augalinės kilmės ingredientai, tokie kaip sojos, daugiausia importuojamos iš Brazilijos (Aas et al., 2019). Todėl žemės ūkis, kaip ir akvakultūra, netiesiogiai priklauso nuo fosforo trašų, kurios daugiausia gaunamos iš išgaunamo akmens fosfato, kuris yra neatsinaujinantis ir geografiškai ribotas išteklius. Dauguma Norvegijos lašišų veislynų išsidėstę taip, kad pašarų likučiai ir žuvų fekalijos (dumblas) būtų paskleidžiami jūroje. Taip iššvaistomas sausumos fosforas. 2019 m. Norvegijoje su akvakultūros ūkių dumbliu į jūrą pateko 14 000 t fosforo, o Norvegijos ūkininkai per metus 12 000 t fosforo panaudojo gyvulių mėšlo pavidalu ir 9 000 t mineralinių trašų pavidalu (Brod, Ogaard, 2021).

Kompostavimas. Tai – dumblo apdorojimas aerobinėmis (kai dumblo stabilizavimas vyksta deguonį savo gyvybinės veiklos poreikiams naudojančių bakterijų pagalba) sąlygomis. Vertingos komposto savybės užtikrinamos, kada sudaromos sąlygos termofilinėms (šilumą generuojančioms) bakterijoms jį apdoroti. Dėl bakterijų veiklos kyla komposto temperatūra ir sparčiai naudojamas deguonis. Todėl kompostą reikia atitinkamai prižiūrėti, kad nepritrūktų deguonies, reikalingo bakterijų gyvybinei veiklai užtikrinti (Sendžikienė ir kt., 2017). Paprastai tai yra procesas, kurio metu organinės atliekos paverčiamos dirvožemiui ir augalams lengvai pasisavinamu maistinių medžiagų šaltiniu – kompostu. Kompostavimo procesas nuolatos vyksta ir gamtoje. Pvz., nukritę medžių lapai supūva ir maistinės medžiagos grįžta atgal į žemę, pamaitindamos medžius (Zuokaitė, Zigmontienė, 2009). Danaher et al. (2011) atlikti tyrimai rodo, kad kompostuotas akvakultūros nuotekų dumblas gali būti paklausus produktas, skirtas daržovėms daiginti. Substratas, sudarytas iš 60 proc. sukompostuoto dumblo ir 40 proc. žolės (*Panicum maximum*), pagerino pomidorų daigų augimą, palyginti su įprastai naudojamu pomidorų daiginimo substratu, kuris buvo papildomai tręšiamas.

Vermikompostavimas. Tai sistema, kai sliekai minta atliekose esančiomis bioskaidžiomis medžiagomis, taip mineralizuodami atliekas. Vermikompostuojant sumažėja teršalų kiekis ir lieka daug maistinių medžiagų turintis kompostas. Sliekai gali apdoroti didelio drėgnumo organines atliekas, tokias kaip nuotekų dumblas, gamybos atliekos, maisto, popieriaus, medvilnės pramonės šalutiniai produktai ir pan. Svarbu tai, kad toks kompostavimo būdas neturi jokio neigiamo poveikio aplinkai. Tai ekonominiu požiūriu gana patrauklus dumblo perdirbimo procesas, kuriam nereikalingos didelės išlaidos ar daug energijos (Zigmontienė, Liberytė, 2014). Vermikompostavimo procesu dumblo tūris gerokai sumažėja – nuo 1 m³ 80 proc. drėgnumo dumblo iki 0,5 m³ 30 proc. drėgnumo komposto. Taip pat sliekai pašalina

patogeninius teršalus ir sunkiuosius metalus. Jie gali išgyventi, kai pH svyruoja nuo 4,5 iki 9, toleruoja temperatūros pokyčius nuo 5 iki 29 °C. Vermikompostavimo procesui nereikia didelių išlaidų įrangai. Jeigu pakankamai šilta, vermikompostavimas gali vykti po atviru dangumi, žemėje iškastose duobėse, antžeminiuose kaupuose ar naudojant plastikinius rezervuarus, dėžes (Zigmontienė, Gasytė, 2015).

Biodujų gamyba. Biodujos yra anaerobinio skaidymo metu gaunamas dujų mišinys, sudarytas daugiausia iš metano ir anglies dioksido (Sendžikienė ir kt., 2017). Biodujas galima išgauti iš įvairios biomasės, jų gamyba vis didėja dėl ribotų iškastinio kuro išteklių, brangios naftos. Jas galima išgauti iš įvairių kultūrinių augalų rūšių, žemės ūkio, pramonės atliekų, taip pat nuotekų dumblo. Dėl galimo plataus biodujų gamybos išteklių pasirinkimo šios dujos priskiriamos atsinaujinantiems energijos ištekliams, kurie mažina nereikalingų dujų išmetimą į aplinką ir aplinkos užterštumą (Bužinskienė, 2018).

Dumblo deginimas. Norint atiduoti dumblą deginimui, pirmiausia reikia jį išdžiovinti. Deginant dumblą, sunaikinami visi organiniai junginiai ir lieka tik pelenai. Taip pat dumblo deginimas yra vienas iš brangiausių dumblo panaudojimo būdų. Dumblo atidavimas deginimui laikomas ne apdorojimu, bet dumblo šalinimu (Zuokaitė, 2011). Lietuvoje šiuo metu dumblą deginimui galima atiduoti į 3 įmones. Nuo 2020 m Kaune veikia didelio efektyvumo atliekomis kūrenama kogeneracinė jėgainė, kuri per metus sudegina apie 255 tūkst. t atliekų. Klaipėdoje nuo 2013 m. veikia UAB „Gren Klaipėda“, kuri per metus taip pat gali sudeginti 255 tūkst. t atliekų. Kauno ir Klaipėdos kogeneracinėse jėgainėse susidarę pelenai panaudojami kaip antrinė žaliava statybos produktų gamyboje ir tiesiant kelius. AB „Akmenės cementas“ nuotekų dumblą deginimui priima nuo 2020 m., jį paverčia naudingą energijos produktu – šilumos energija, o pelenus panaudoja cemento gamyboje. Norint atiduoti dumblą deginimui, 2020 m. UAB „Gren Klaipėda“ reikėjo sumokėti 33 Eur be PVM už toną, o norint atiduoti į AB „Akmenės cementas“, tais pačiais metais kainavo mažiau – 13,30 Eur be PVM už toną. Šiuo metu, tikėtina, kainos yra didesnės.

Akvakultūros ūkių nuotekų dumblo panaudojimo alternatyvų analizė, naudojant programinę įrangą DAM

Pirmiausia, siekiant išsiaiškinti nuotekų dumblo optimalų panaudojimą, sudaroma lentelė (1 lentelė). Įrašomi kriterijai, alternatyvos, o kiekvienai alternatyvai priskiriami balai. Kriterijų matavimo vienetais pasirenkami balai nuo 1 iki 5, balų skalėje parenkama min. kryptis.

1 lentelė. Akvakultūros ūkiuose susidarancio dumblo panaudojimo daugiakriterinis vertinimas

Table 1. Multi-criteria assessment of the use of sludge from aquaculture farms

Nr. No.	Kriterijai Criteria	Kryptis Direction	Pasirinkimo galimybės Possibilities				
			1	2	3	4	5
			Trąša žemės ūkyje Fertiliser in agriculture	Biodujų gamyba Biogas production	Kompostavimas Composting	Vermikompostavimas Vermicomposting	Dumblo deginimas Sludge incineration
1.	Įrenginio kaina (1 – žema kaina, 5 – aukšta kaina); Device price (1 – low price, 5 – high price)	Min.	2	4	2	3	4
2.	Ekonominis naudingumas (1 – ekonomiškai naudinga, 5 – ekonomiškai nenaudinga); Cost-effectiveness (1 – cost-effective, 5 – not cost-effective)	Min.	2	5	4	4	5
3.	Poveikis aplinkai (1 – teigiamas, 5 – neigiamas); Environmental impact (1 – positive, 5 – negative)	Min.	2	3	3	2	4
4.	Gražinimas į žiedinę ekonomiką (1 – gražinama, 5 – negražinama); Upgrading to a circular economy (1 – refundable, 5 – non-refundable)	Min.	1	3	1	1	4
5.	Estetiškumas (1 – nėra vizualinės taršos, 5 – didelė vizualinė tarša); Aesthetics (1 – no visual pollution, 5 – high visual pollution)	Min.	2	4	3	3	5

Atlikus akvakultūros ūkiuose susidarancio dumblo panaudojimo daugiakriterinę alternatyvų analizę su DAM programa, Parato dominavimo analizė parodė, jog dumblo panaudojimo palankiausia alternatyva yra žemės laukų tręšimas. Antroje vietoje – kompostavimas ir vermikompostavimas. Atlikus alternatyvos dominavimo analizę, pasirinkus kriterijų „Ekonominis naudingumas“, rezultatai išliko tokie patys. Pats nepalankiausias dumblo panaudojimo būdas yra atidavimas deginimui. Taip pat ūkiams nėra palanki biodujų gamyba, nes įrenginiai brangūs, susidaro per maži dumblo kiekiai, nors jo kokybė ir būtų tinkama biodujų gamybai. Atlikus analizę „Kas būtų, jei“ ir pasirinkus kriterijų „Poveikis aplinkai“, vermikompostavimo galimybė tampa kur kas palankesnė.

Išvados

1. Akvakultūros ūkiuose susidariusiu nuotekų dumblu tinka tręšti žemės ūkio laukus. Pagal sunkiųjų metalų koncentracijas keturių ūkių (TV „Alfa“, TV „Delta“, UAS „Gama“ ir UAS „Kapa“) nuotekų dumblas priskiriamas I kategorijai, o dviejų ūkių (TV „Beta“ ir UAS „Zeta“) – II kategorijai. Ūkyje TV „Beta“ rasta didesnė Cn koncentracija, o ūkyje UAS „Zeta“ – didesnės Cn ir Cd koncentracijos.

2. Atliktos daugiakriterinės analizės metu nustatyta, jog palankiausia alternatyva yra dumblą panaudoti kaip trąšą žemės ūkyje. Antroje vietoje būtų kompostavimas ir vermikompostavimas.

3. Pats nepalankiausias dumblo panaudojimo būdas yra deginimas. Taip pat ūkiams nėra efektyvi biodujų gamyba.

Literatūra

1. Aas, S. T.; Ytrestoyl, T.; Asgard, T. 2019. Utilization of feed resources in the production of Atlantic salmon (*Salmo salar*) ir Norway: An update for 2016. *Aquaculture Reports*, Vol. 15. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2019.100216>.
2. Brod, E.; Ogaard, F. A. 2021. Closing global P cycles: The effect of dewatered fish sludge and manure solids as P fertilizer. *Waste Management*, Vol. 135, 190–198.: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.08.041>.
3. Bužinskienė, R. 2018. *Atsinaujinančių energijos išteklių panaudojimas*. Lietuvos mokslų akademija, t. 25, Nr. 1, p. 43–62.
4. Danaher, J. J.; Rakocy, E. J.; Shultz, C. R.; Bailey, S. D.; Pantanella, E. 2009. Dewatering and composting aquaculture waste as a growing medium in the nursery production of tomato plants. *International Symposium on Growing Media and Composting* 891.
5. Goswami, M.; Shambhugowda, B. Y.; Sathyanarayanan, A.; Pinto, N.; Duscher, A.; Ovissipour, R.; Lakra, S. W.; Nagarajarao, C. R. 2022. Cellular Aquaculture: Prospects and Challenges. *Micromachines*, Vol. 13(6), 828.
6. Del Compo M., L.; Ibarra, P.; Gutierrez, X.; Takle, H. 2010. *Utilization of sludge from recirculation aquaculture systems*. 27–28.
7. Sendžikienė, E.; Makarevičienė, V.; Radzevičius, A.; Dapkienė, M.; Skorupskaitė, V. 2017. *Uždarosiose akvakultūros sistemose susidarančio dumblo panaudojimo galimybių studija*. 5.
8. Sultana, S.; Hossain, M. B.; Choudhury, T. R.; Yu, J.; Rana, M. S.; Noman, M. A.; Hosen, M. M.; Paray, B. A.; Arai, T. 2022. Ecological and Human Health Risk Assessment of Heavy Metals in Cultured Shrimp and Aquaculture Sludge. *Toxics*, Vol. 10(4), 175. <https://doi.org/10.3390/toxics10040175>.
9. Zigmontienė, A.; Liberytė, I. 2014. Sunkiųjų metalų (Cr, Cd, Ni) koncentracijų kaita nuotekų dumblo vermikompostavimo proceso metu. *Mokslas – Lietuvos ateitis*, T. 6(4), p. 362–367.
10. Zigmontienė, A.; Gasytė, G. 2015. Nuotekų dumblo vermikompostavimo proceso tyrimų analizė. *Mokslas – Lietuvos ateitis*.
11. Zuokaitė, E.; Zigmontienė, A. 2009. Amoniako ir metano dujų, išsiskiriančių kompostuojant nuotekų dumblą, tyrimas. *Mokslas – Lietuvos ateitis*, Vol 1.
12. Zuokaitė, E. 2011. *Kompostuojamo nuotekų dumblo tyrimai ir dujinių emisijų mažinimo būdai*. Vilnius.

ASSESSMENT OF THE QUALITY OF SLUDGE PRODUCED IN AQUACULTURE FARMS AND EVALUATION OF ITS USE

Summary

The quality and potential uses of sewage sludge from three closed aquaculture systems and three pond aquaculture farms are discussed. The main objective of the study is to assess the concentrations of heavy metals (Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, Zn, Hg) in aquaculture farm effluent sludge to determine whether the sludge is suitable for use as a fertilizer in agriculture and to evaluate the most effective way of using the sludge. The analysis of the data showed that the sludge from four farms was classified as Category I sludge and that the sludge from two farms was classified as Category II sludge and was suitable for use as fertilizer on agricultural fields. A review of the possible uses of the sludge has identified five use alternatives. In order to identify the most effective alternative, the multi-criteria analysis decision software DAM was used. The evaluation of the selected alternatives showed that the most advantageous use of sewage sludge is as an agricultural fertilizer or for composting and vermikomposting.

Keywords: heavy metals, aquaculture sludge, sludge quality, utilization of sludge.