



VILNIAUS GEDIMINO
TECHNIKOS UNIVERSITETAS

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

APLINKOS APSAUGOS KATEDRA

Jolanta Pilecka

**SUNKIŲJŲ METALŲ Cu, Cd, Zn, Pb KAUPIMASIS ŽUVYSE,
GYVENANČIOSE KAIRIŲ SĄVARTYNO VANDENS EKOSISTEMOSE**

**BIOACCUMULATION OF HEAVY METALS Cu, Cd, Zn, Pb IN FISHES,
FROM KAIRIAI LANDFILL AQUATIC ECOSYSTEMS**

Baigiamasis magistro darbas

Aplinkos inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H17004

Aplinkos apsaugos inžinerijos specializacija

Bendrosios inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2015

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

APLINKOS APSAUGOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

Saulius Vasarevičius

(Vardas, pavardė)

(Data)

Jolanta Pilecka

**SUNKIŲJŲ METALŲ Cu, Cd, Zn, Pb KAUPIMASIS ŽUVYSE,
GYVENANČIOSE KAIRIŲ SĄVARTYNO VANDENS EKOSISTEMOSE**

**BIOACCUMULATION OF HEAVY METALS Cu, Cd, Zn, Pb IN FISHES,
FROM KAIRIAI LANDFILL AQUATIC ECOSYSTEMS**

Baigiamasis magistro darbas

Aplinkos inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H17004

Aplinkos apsaugos inžinerijos specializacija

Bendrosios inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

dr. Jolita Bradulienė

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas

dr. Gintaras Svecevičius

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas

doc. dr. Dainius Paliulis

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Lietuvių kalbos konsultantas

lekt. Regina Žukienė

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2015

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Aplinkos inžinerijos fakultetas

Aplinkos apsaugos katedra

ISBN ISSN

Egz. sk.

Data-....-....

Aplinkos inžinerijos studijų programos baigiamasis magistro darbas

Pavadinimas: **Sunkiųjų metalų Cu, Cd, Zn, Pb kaupimasis žuvyse, gyvenančiose Kairių sąvartyno vandens ekosistemose**

Autorius **Jolanta Pilecka**

Vadovas **dr. Jolita Bradulienė**

Kalba

☐

lietuvių

☐

užsienio

Anotacija

Baigiamajame magistro darbe nagrinėjamos sunkiųjų metalų sklaidos aplinkoje problemos, vertinamas sunkiųjų metalų kaupimasis žuvyse, apžvelgiama Lietuvos ir užsienio šalių patirtis šioje srityje. Darbe tiriama, kaip sunkieji metalai (Cd, Pb, Cu, Zn) kaupiasi bentofaginių ir plėšriųjų žuvų, gyvenančių sąvartyno veikiamose hidroekosistemose, audiniuose ir organuose.

Pirmajame skyriuje apžvelgta sąvartyno filtrato cheminė sudėtis ir savybės, aprašyti žuvų ekologiniai bruožai, išanalizuotas sunkiųjų metalų kaupimasis vandens ekosistemose ir žuvyse. Antrajame skyriuje pateiktos žūklės ir sunkiųjų metalų nustatymo žuvų audiniuose metodikos. Sunkiųjų metalų kiekių, bentofaginių ir plėšriųjų žuvų raumenyse, žiaunose ir kepenyse, tyrimų rezultatai ir jų palyginimai su užsienio ir Lietuvos mokslininkų darbais pateikiami trečiajame skyriuje. Parengus matematinį modelį, ketvirtajame skyriuje pateikiamas įvertintas Cd, Pb, Cu, Zn kaupimasis žuvų audiniuose ir organuose, esant ilgalaikiam teršalų poveikiui. Atlikus koreliacinę ir daugialypę regresinę analizę įvertinta priklausomybė tarp atstumo iki sąvartyno ir Cd, Pb, Cu, Zn koncentracijų, nustatytų žuvų audiniuose.

Darbo pabaigoje pateikiamos bendrosios išvados ir rekomendacijos.

Darbą sudaro 7 dalys: įvadas, literatūros apžvalga, metodikos aprašymas, rezultatų analizė, matematinis modeliavimas ir statistinis vertinimas, išvados ir rekomendacijos, literatūros sąrašas.

Darbo apimtis – 99 p. teksto be priedų, 38 pav., 21 lent., 104 literatūros šaltiniai.

Atskirai pridedami darbo priedai.

Prasminiai žodžiai: sunkieji metalai, žuvis, sąvartyno filtratas, bioakumuliacija, hidroekosistemos, didžiausios leistinos koncentracijos (DLK).

Vilnius Gediminas Technical University
Environmental Engineering faculty
Environment Protection department

ISBN ISSN
Copies No.
Date-....-....

Environmental Engineering study programme master thesis.

Title: **Bioaccumulation of Heavy Metals Cu, Cd, Zn, Pb in Fishes, From Kairiai Landfill Aquatic Ecosystems**

Author **Jolanta Pilecka**

Academic supervisor **dr. Jolita Bradulienė**

Thesis language

☐

Lithuanian

☐

Foreign (English)

Annotation

The final master thesis examines distribution of heavy metal in the environment problems, assesses accumulation of heavy metals in fish, reviews experience of Lithuania and foreign countries in this field. The aim of this study was to determine heavy metals (Cd, Pb, Cu, Zn) accumulation in body tissues of bentophagous and predatory fishes from hydroecosystems located near landfill.

The chemical composition and properties of landfill leachate, ecological features of fishes, accumulation of heavy metals in aquatic ecosystems and fishes analyzed in the first chapter. Fishing and heavy metals in fish tissues analysis methodology presented in the second chapter. The amount of heavy metals evaluated in muscle, gills and liver of bentophagous and predatory fishes and their comparisons with foreign and Lithuanian scientists works presented in the third chapter. Mathematical model for an assessment of Cd, Pb, Cu, Zn accumulation in fish tissues in the long-term effects of pollutants is given in the fourth chapter. After correlation and multiple regression analysis evaluated the correlation between the distance to the landfill and Cd, Pb, Cu and Zn concentrations in the tissues of fishes.

General conclusions and recommendations are presented at the end of the work.

Structure: introduction, review of literary sources, description of methodology, analysis of results, mathematical modelling and statistical evaluation, conclusions and recommendations, references.

Thesis consist of: 99 p. text without appendixes, 38 pictures, 21 tables, 104 bibliographical entries.

Appendixes included.

Keywords: heavy metals, fishes, landfill leachate, bioaccumulation, hydroecosystems, maximum permissible concentration (MPC).

TURINYS

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS	9
LENTELIŲ SĄRAŠAS	11
SANTRUMPOS	12
ĮVADAS	13
1. SUNKIEJI METALAI SĄVARTYNO FILTRATE IR JŲ KAUPIMASIS ŽUVYSE	15
1.1. Sąvartynai ir sąvartynų filtrato charakteristika.....	15
1.1.1. Veiksniai, lemiantys sąvartyno filtrato sudėtį.....	17
1.1.2. Sąvartynų filtratų cheminė sudėtis ir savybės.....	18
1.2. Šiaulių regiono Kairių sąvartynas.....	20
1.2.1. Kairių sąvartyno filtrato cheminė analizė ir savybės	26
1.2.2. Kairių sąvartyno filtrato poveikis vandens organizmams.....	28
1.3. Plėšrių ir bentofaginių žuvų ekologiniai bruožai.....	30
1. 4. Sunkiųjų metalų kaupimasis vandens ekosistemose	34
1.4.1. Sunkiųjų metalų poveikis žuvims	37
1.4.2. Sunkiųjų metalų kaupimasis žuvų audiniuose	41
1.5. Modeliai įvertinantys sunkiųjų metalų kaupimąsi žuvyse.....	43
1.5.1. Modeliavimo programos skirtos įvertinti cheminių medžiagų bioakumuliaciją žuvyse	47
SKYRIAUS IŠVADOS	49
2. SUNKIŲJŲ METALŲ KAUPIMOSI ŽUVŲ ORGANUOSE NUSTATYMO METODIKA	50
2.1. Objekto apžvalga	50
2.2. Žvejybos metodai	51
2.3. Žuvų morfometrinė analizė ir bandinių paėmimas.....	55
2.4. Sunkiųjų metalų nustatymas žuvų audiniuose.....	59
3. SUNKIŲJŲ METALŲ KIEKIŲ ŽUVŲ AUDINIUOSE TYRIMŲ REZULTATAI.....	63
3.1. Sunkiųjų metalų koncentracijos bentofaginių ir plėšriųjų žuvų audiniuose.....	63
3.2. Sunkiųjų metalų kiekio bentofaginių ir plėšriųjų žuvų audiniuose sąryšis su biotiniais faktoriais ir atstumu iki taršos šaltinio.....	72
SKYRIAUS IŠVADOS	77
4. SUNKIŲJŲ METALŲ PERNAŠOS ŽUVYSE MATEMATINIS MODELIAVIMAS	78
4.1. Cd, Pb, Cu, Zn bioakumuliacijos žuvų audiniuose ir organuose matematinis modeliavimas	78
4.2. Daugialypės tiesinės regresijos modelis	83
SKYRIAUS IŠVADOS	87

BENDROSIOŠ IŠVADOS.....	88
REKOMENDACIJOS	89
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	90
AUTORĖS PASKELBTI DARBAI.....	99
PRIEDAI	100

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Kairių sąvartyno vieta.....	21
1.2 pav. Kairių sąvartynas, sąvartyno filtrato baseinai ir filtrato valymo įrenginiai	23
1.3 pav. Tyrimų vietos melioracijos kanale	25
1.4 pav. Fitoplanktonas	30
1.5 pav. Zooplanktonas	31
1.6. pav. Teršalų migracija mitybos grandinėje	36
1.7 pav. Vienos talpos biokoncentracijos modelio schema	45
1.8 pav. Teršalo koncentracijos kitimo organizme priklausomybė nuo laiko	45
1.9 pav. Dviejų talpų biokoncentracijos modelio schema	46
1.10 pav. Teršalo koncentracijos pokytis žuvies kūne	47
2.1 pav. Tyrimų stočių vietos, F raide pažymėtas filtrato baseinas.....	51
2.2 pav. Žvejybos vietos	52
2.3 pav. Sugautos žuvys	54
2.4 pav. Žuvies morfometrinės analizės parametrai	56
2.5 pav. Sugautų žuvų organų ir audinių pavyzdžių ėmimas sunkiųjų metalų bioakumuliacijai nustatyti	58
2.6 pav. Išdžiovinti raumenų, žiaunų ir kepenų mėginiai	59
2.7 pav. Mineralizatorius „Milestone Ethos“	60
2.8 pav. Atominis absorbcinis spektrometras „Buck Scientific 210 VGP“	61
3.1 pav. Kadmio kiekis bentofaginių žuvų kūno audiniuose, mg/kg žalios masės ($M \pm SE$)	64
3.2 pav. Kadmio kiekis plėšrių žuvų kūno audiniuose, mg/kg žalios masės ($M \pm SE$).....	65
3.3 pav. Švino kiekis bentofaginių žuvų kūno audiniuose, mg/kg žalios masės ($M \pm SE$).....	66
3.4 pav. Švino kiekis plėšrių žuvų kūno audiniuose, mg/kg žalios masės ($M \pm SE$)	67
3.5 pav. Vario kiekis bentofaginių žuvų kūno audiniuose, mg/kg žalios masės ($M \pm SE$).....	69
3.6 pav. Vario kiekis plėšrių žuvų kūno audiniuose, mg/kg žalios masės ($M \pm SE$)	69
3.7 pav. Cinko kiekis bentofaginių žuvų kūno audiniuose, mg/kg žalios masės ($M \pm SE$)	71
3.8 pav. Cinko kiekis plėšrių žuvų kūno audiniuose, mg/kg žalios masės ($M \pm SE$).....	71
3.9 pav. Kadmio koncentracijos (mg/kg ž.m.) plėšriųjų žuvų raumenyse priklausomybė nuo atstumo iki Kairių sąvartyno.....	73
3.10 pav. Švino koncentracijos (mg/kg ž.m.) bentofaginių žuvų raumenyse priklausomybė nuo atstumo iki Kairių sąvartyno.....	74

3.11 pav. Vario koncentracijos (mg/kg ž.m.) plėšriųjų žuvų raumenyse priklausomybė nuo atstumo iki Kairių sąvartyno.....	75
3.12 pav. Cinko koncentracijos (mg/kg ž.m.) bentofaginių žuvų žiaunose priklausomybė nuo atstumo iki Kairių sąvartyno.....	76
4.1 pav. Kadmio pusiausvyrosios koncentracijos nusistovėjimo priklausomybė nuo jo šalinimo iš audinių greičio ($k_d = \text{ml}/(\text{g} \cdot \text{d})$).....	80
4.2 pav. Švino pusiausvyrosios koncentracijos nusistovėjimo priklausomybė nuo jo šalinimo iš audinių greičio ($k_d = \text{ml}/(\text{g} \cdot \text{d})$).....	81
4.3 pav. Vario pusiausvyrosios koncentracijos nusistovėjimo priklausomybė nuo jo šalinimo iš audinių greičio ($k_d = \text{ml}/(\text{g} \cdot \text{d})$).....	82
4.4 pav. Cinko pusiausvyrosios koncentracijos nusistovėjimo priklausomybė nuo jo šalinimo iš audinių greičio ($k_d = \text{ml}/(\text{g} \cdot \text{d})$).....	83
4.5 pav. Daugialypės tiesinės regresijos modelio rodiklių suvestinė	84
4.6 pav. Daugialypės tiesinės regresijos (logaritminė transformacija) modelio rodiklių suvestinė	85
4.7 pav. Daugialypės tiesinės regresijos (log-tiesinė transformacija) modelio rodiklių suvestinė	85
4.8 pav. Daugialypės tiesinės regresijos (log-log transformacija) modelio rodiklių suvestinė	86

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.1 lentelė. Lietuvoje ir Lenkijoje patvirtintos normos sunkiųjų metalų ir metaloidų DLK išleidžiamuose į gamtinę aplinką vandenyse	19
1.2 lentelė. Sunkiųjų metalų koncentracijos Zabieliškio buitinių atliekų sąvartyno filtrate	19
1.3 lentelė. Sunkiųjų metalų koncentracijos Maskato buitinių atliekų sąvartyno filtrate ir ribiniai dydžiai	20
1.4 lentelė. Ginkūnų ežero 2011–2013 m. ekologinės būklės palyginimas pagal vidutines bendrojo azoto ir bendrojo fosforo koncentracijas	24
1.5 lentelė. Maistinių medžiagų ir chloridų vidutinės koncentracijos kitimas melioracijos kanale 2010–2013 m.	25
1.6 lentelė. Sąvartyno filtrato cheminės sudėties palyginimas prieš avariją ir po avarijos	26
1.7 lentelė. Sąvartyno filtrato cheminė sudėtis po avarijos	27
1.8 lentelė. Kairių sąvartyno filtrato cheminė sudėtis	27
1.9 lentelė. Lietuvos vandenyse gyvenančių gėlavandenių ir praeivių žuvų priskirimas įvairioms ekologinėms grupėms LŽI ir LŽIE rodiklių verčių apskaičiavimui	33
2.1 lentelė. Dominuojančių plėšrių ir bentofaginių žuvų rūšinė sudėtis Švedės upelyje ir Ginkūnų tvenkinyje	50
2.2 lentelė. Žvejybos vietos koordinatės ir charakteristikos.....	52
2.3 lentelė. Žvejybos metodai atskirose stotyse ir apžvejotas plotas, m ²	53
2.4 lentelė. Žuvų rūšinė sudėtis, nustatyta Ginkūnų tvenkinyje ir Švedės upelyje 2013 metais, bei atstumas iki Kairių sąvartyno filtrato baseino	54
2.5 lentelė. Žuvų morfometriniai parametrai.....	56
2.6 lentelė. Didžiausios leistinos Zn, Cu, Pb ir Cd koncentracijos pagal HN 54:2001	62
3.1 lentelė. Sunkiųjų metalų kaupimasis bentofaginių ir plėšrių žuvų, gyvenančių vandens ekosistemose, esančiose greta Kairių sąvartyno, kūno audiniuose	63
3.2 lentelė. Vidutiniai Cu kiekiai bentofaginių ir plėšriųjų žuvų audiniuose.....	68
3.3 lentelė. Vidutiniai Zn kiekiai bentofaginių ir plėšriųjų žuvų audiniuose	70
3.4 lentelė. Sunkiųjų metalų kiekio (mg/kg ž. m.) bentofaginių (saulažuvių, kuojų, lynų, strepečių, aukšlių) ir plėšriųjų (lydekų ir ešerių) žuvų kūno audiniuose sąryšis (koreliacijos koeficientas, r) su biotiniais faktoriais ir atstumu iki Kairių sąvartyno.....	72
4.1 lentelė. Sunkiųjų metalų koncentracijos lydekos audiniuose ir melioracijos kanalo vandenyje bei DLK normos	78
4.2 lentelė. Sunkiųjų metalų šalinimo iš skirtingų audinių greičio konstantos k_d , ml/(g·d).....	79

SANTRUMPOS

SM – sunkieji metalai;

BDS – biocheminis deguonies sunaudojimas;

ChDS – cheminis deguonies suvartojimas;

POT – patvarieji organiniai teršalai;

DLK – didžiausia leistina koncentracija;

LŽI – Lietuvos žuvų indeksas;

LC50 – letalinė (mirtina) koncentracija, sukelianti letalią išėitį 50 % visų testuojamųjų organizmų;

EC50 – efektyvi koncentracija, sukelianti tiriamos funkcijos pakitimą 50 % visų testuojamųjų organizmų;

BCF – biokoncentracijos faktorius;

L – bendras ilgis;

l – standartinis ilgis;

Q – bendras svoris;

q – svoris be vidurių;

ab – šoninė linija;

M – vidurkis;

SE – standartinė paklaida.

IVADAS

Tiriamoji problema

Sąvartyno filtrato susidarymas ir sklaida aplinkoje – tai aktuali aplinkosauginė problema (Bashir *et al.* 2011; Emenike *et al.* 2011). Daugelis Lietuvos sąvartynų įrengti neatitinkant šiuolaikinių reikalavimų, todėl teršia aplinką ir kelia grėsmę žmonių sveikatai. Viena svarbiausių užduočių projektuojant ir eksploatuojant sąvartyną yra tinkamas filtrato valdymas (Teirumnieka *et al.* 2013).

Sąvartynų filtratas užterštas daug labiau nei buitinės nuotekos (Gasiūnas *ir kt.* 2002), jo sudėtyje randami dideli kiekiai organinės ir biogeninės medžiagos, sunkiųjų metalų (Gelažienė, Kaunelienė 2002). Šalinamų atliekų tipas ir fiziko-cheminės savybės lemia filtrato kokybinę ir kiekybinę sudėtį (Tatsi *et al.* 2003).

Prasisunkęs pro laidžius grunto sluoksnius filtratas užteršia gruntinius ir požeminius vandenis. Priklausomai nuo metų sezono ir drenavimo intensyvumo filtratas gali užteršti teritoriją 500 metrų spinduliu nuo sąvartyno papėdės (Diliūnas *ir kt.* 2001). Paviršinių nuoplovų pavidalu filtratas patenka į griovius, ežerus, upių baseinus ir išsisklaido dar didesnėje teritorijoje.

Filtrate randami sunkieji metalai (SM): Be, Al, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Cd, Ba, Pb, Fe (Raisi *et al.* 2014). Daugelis sunkiųjų metalų yra būtini gyviesiems organizmams: Fe, Co, Zn, Cu, Ni, Cr *ir kt.*, tačiau didelės jų koncentracijos yra pavojingos (Bury *et al.* 2003). Neigiamas SM poveikis organizmui gali išryškėti ne iš karto, o tik po kelerių ar net kelių dešimčių metų, pasireikšdamas embriotoksinu, kancerogeniniu ir mutageniniu veikimu.

Darbo aktualumas

Viena pagrindinių sunkiųjų metalų toksinių savybių – gebėjimas kauptis gyvųjų organizmų audiniuose ir migruoti iš vienos gamtinės sistemos į kitą (Parlak *et al.* 1999). Varis, kadmis, cinkas, švinas pagal Europos Parlamento ir Tarybos direktyvą 2000/60/EB priskiriami prie prioritetinių pavojingų medžiagų, kadangi įvairiais būdais patekę į aplinką įsijungia į medžiagų apykaitos ratą, kaupiasi organizmų audiniuose ir organuose, tampa toksiški ir sutrikdo organizmų fiziologines funkcijas.

Žuvis – galutinė hidrosistemų biologinė produkcija, kuri geriausiai akumuliuoja SM (Čepanko *ir kt.* 2006). Žuvis geba pasisavinti sunkiuosius metalus dviem būdais: tiesiogiai iš vandens (per žiaunas ir odą) bei su maistu (Bury *et al.* 2003). Padidėjusios SM koncentracijos žuvyse – puikus antropogeniškai užterštos hidrosistemos indikatorius (Yousafzai *et al.* 2010).

Žuvų audiniuose SM kaupiasi selektyviai, todėl atlikus taršos analizę, galima įvertinti susikaupusių metalų kiekius skirtinguose organuose ir audiniuose.

Siekiant užtikrinti žuvų maisto produktų kokybę ir žmogaus apsaugą nuo galimo toksinio poveikio, būtina vertinti sunkiųjų metalų kiekį žuvų audiniuose.

Darbo tikslas

Nustatyti prioritetinių sunkiųjų metalų Cd, Pb, Cu, Zn kaupimosi dėsningumus bentofaginių ir plėšriųjų žuvų, gyvenančių Šiaulių regioninio Kairių sąvartyno vandens ekosistemose, audiniuose ir organuose.

Darbo uždaviniai:

1. Nustatyti prioritetinių sunkiųjų metalų Cd, Pb, Cu, Zn kaupimąsi žuvų raumenyse, kepenyse ir žiaunose;
2. Nustatyti koreliacijos ryšius tarp sunkiųjų metalų koncentracijos audiniuose ir organuose skirtingose žuvų bendrijose ir atstumo nuo taršos šaltinio (sąvartyno);
3. Parengti matematinį modelį, įvertinantį Cd, Pb, Cu, Zn kaupimąsi žuvų audiniuose ir organuose esant ilgalaikiam teršalų poveikiui.

Darbo naujumas

Šiuo metu nėra sukaupta pakankamai duomenų apie sunkiųjų metalų kaupimąsi žuvų, gyvenančių vandens ekosistemose, esančiose šalia taršos šaltinio, audiniuose. Sunkiųjų metalų kaupimasis žuvų audiniuose, natūralioje gamtinėje aplinkoje, Lietuvoje iki šiol vertintas daugiausia kaip aplinkos monitoringo dalis.

Daugiausiai tyrimų atlikta laboratorinėmis sąlygomis eksperimentinių tyrimų metu, vertinat atskiro metalo kaupimąsi žuvies audiniuose, veikiant žuvis SM tirpalais. Gamtinėje aplinkoje žuvys veikiamos SM mišiniu, kuris dėl metalų sinergetinio poveikio yra labiau toksiškas.

Praktinė reikšmė

Sunkieji metalai, susikaupę žuvų audiniuose, su žuvies produktais patenka į žmogaus organizmą, kur kaupiasi ir gali sukelti įvairius sveikatos sutrikimus ar rimtus susirgimus, todėl svarbu nustatyti, kaip žuvis, gyvenančios santykinai užterštoje hidroekosistemoje, akumuliuoja SM. Tokio pobūdžio tyrimai turi didelę praktinę ir teorinę reikšmę, o jų rezultatai gali būti panaudoti aplinkos ir sveikatos apsaugos srityse.

1. SUNKIEJI METALAI SĄVARTYNO FILTRATE IR JŲ KAUPIMASIS ŽUVYSE

1.1. Sąvartynai ir sąvartynų filtrato charakteristika

Daugelyje šalių atliekų šalinimas sąvartynuose – pagrindinis kietųjų atliekų šalinimo būdas (Bashir *et al.* 2011). Pagal šalinamųjų atliekų kategorijas sąvartynai skirstomi į tris klases: pavojingų atliekų sąvartynai, nepavojingų atliekų sąvartynai ir inertinių atliekų sąvartynai. Lietuvos valstybiniame atliekų tvarkymo plane nurodoma, kad 2011 m. apie 62 % (atitinkamai 3,3 mln. tonų) sutvarkytų atliekų pašalinta sąvartynuose, o tik 22 % (1,2 mln. tonų) perdirbta arba pakartotinai panaudota, apie 14 % (0,8 mln. tonų) išvežta tvarkyti į kitas šalis ir tik likę 2 % apdoroti. Iš 2011 m. duomenų matyti, kad pagrindinis nepavojingų atliekų tvarkymo būdas Lietuvoje – jų šalinimas komunalinių atliekų sąvartynuose.

Atliekų tvarkymas, šalinimas sąvartyne, dideli susidarantys filtrato kiekiai – vienos aktualiausių šiandienos aplinkosauginių problemų, keliančių grėsmę aplinkai ir žmonių sveikatai. Sąvartynus sudėtinga apsaugoti nuo tiesioginių kritulių, todėl viena pagrindinių eksploatuojamų sąvartynų problemų yra filtrato susidarymas bei valdymas (Kačinskaja *ir kt.* 2013).

Dauguma Lietuvos sąvartynų buvo įrengti neatitinkant sąvartynų įrengimo bei eksploatavimo reikalavimų, nustatytų teisės aktuose (Gelažienė, Kaunelienė 2002). Daugelis sąvartynų įrengti tiesiog ant grunto. Pagal „Atliekų sąvartynų įrengimo, eksploatavimo, uždarymo ir priežiūros po uždarymo taisyklės“ sąvartyno dugnas privalo būti vieno metro aukščio arba aukštesnis negu maksimalus gruntinio vandens lygis. Taip pat, priklausomai nuo šalinamųjų atliekų pobūdžio privalo būti įrengti papildomi filtratui nelaidūs sluoksniai. Dabar visi nauji sąvartynai privalo būti įrengiami su filtrato surinkimo sistemomis (Lietuvos Respublikos... 2000).

Teršalais užterštos nuotekos, patekusios į hidroekosistemas, tampa vienu iš pagrindinių vandenų taršos šaltinių, kadangi keičia vandens ir dugno nuosėdų cheminę sudėtį, sutrikdo sistemų savivalos procesus, ardo biologinę pusiausvyrą, o tai lemia negrįžtamus hidrosistemos pokyčius. Upėmis filtrate esantys neorganiniai junginiai pernešami į jūras. Žinoma, kad iš upių į Baltijos jūrą patekęs azotas lieka jūros pakrantės zonoje ir denitrifikuojasi po 1,4 metų. Tuo tarpu fosforas, patekęs į Baltijos jūrą, plačiai išsisklaido. Fosforo jūros vandenyje išlieka ilgiau nei 35 metus (Radtke *et al.* 2012).

Sunkieji metalai įvairiais būdais patekę į aplinką ilgai išlieka nesuskilę, kadangi nėra skaidomi mikroorganizmų ar chemiškai degraduojantys (Wuana, Okieimen 2011).

Visuose sąvartynuose susidaro filtratas. Priklausomai nuo to, kokios atliekos sąvartyne yra šalinamos, skiriasi sąvartyno filtrato cheminė sudėtis (Emenike *et al.* 2011). Sąvartyno filtratas – tai skystis, kurio sudėtis kinta tiek kokybiškai, tiek kiekybiškai (Tatsi *et al.* 2003). Filtrato kokybinė ir kiekybinė sudėtis ir sudėties dinamika – tai sąvartyne vykstančių biocheminių procesų indikatorius (Puzaitė-Jurevič, Zigmontienė 2011).

Filtratas – bet koks skystis, susidaręs krituliams bei sniego tirpsmo vandeniui persisunkiant per pašalintas atliekas ir išbėgantis iš sąvartyno ar pasiliekančio jame (Diliūnas 2001; Aziz *et al.* 2011; Emenike *et al.* 2011).

Kritulių kiekis lemia filtrato kiekio dinamiką (Tsarpali *et al.* 2012; Baziene *ir kt.* 2013). Esant mažesniai kritulių kiekiui Cl^- , SO_4^{2-} , NH_4^+ , Zn ir Ni koncentracijos filtrate padidėja, o esant dideliui kritulių kiekiui – sumažėja. Tuo tarpu temperatūros svyravimai neturi įtakos filtrato dinamikai (Baziene *ir kt.* 2013).

Diliūnas (2008) nustatė, kad priklausomai nuo metų sezono ir drenavimo intensyvumo, filtrato lygis būna nuo 2–3 iki 10–12 metrų gylyje po atliekų paviršiumi.

Kaip jau minėta, kokybinės sąvartyno filtrato charakteristikas lemia deponuojamų atliekų tipai. Pavyzdžiui, filtratas bus tamsiai žalios spalvos jeigu jame yra ištirpusios labai didelės, viršijančios nustatytas normas, Zn ~828 mg/l, Cr ~25 mg/l, Ni ~19,5 mg/l koncentracijos (Emenike *et al.* 2011). Sąvartyno filtratas yra tamsiai rudas jeigu jame yra labai aukšta Fe koncentracija ~39 mg/l, kadangi nuolat vyksta oksidacijos procesas ir susidaro geležies oksidai ir oksihidroksidai (Raisi *et al.* 2014). Didelę įtaką sąvartyno filtrato spalvai daro deponuojamų atliekų dažai, pigmentai, spalvų junginiai (Aziz *et al.* 2011).

Veikiančių ir jau uždarytų sąvartynų filtratas kelia didelį pavojų dirvožemiui, paviršiniams ir gruntiniams vandenims, taip pat gyviems organizmams, vandens ekologinei būklei, kadangi filtrato sudėtyje aptinkami dideli kiekiai organinės ir biogeninės medžiagos, sunkiųjų metalų. Komunalinių atliekų sąvartynų filtratui, taip pat būdingas didelis biocheminio deguonies suvartojimas (Gelažienė, Kaunelienė 2002).

Pagrindinis naujo sąvartyno projektavimo uždavinys – tai užtikrinimas, kad susidaręs filtratas kuo mažiau terštų gruntinį ar paviršinį vandenį, todėl svarbu pasirinkti tinkamus su filtrato surinkimu ir išvalymu susijusius inžinerinius sprendimus (Kačinskaja *ir kt.* 2013).

Tinkamas sąvartyno įrengimas ir eksploatavimas galimas tik žinant kokybinę bei kiekybinę filtrato sudėtį bei sudėties dinamiką, kadangi žinoma, kad kokybiniai ir kiekybiniai rodikliai nuolat kinta. Išsami sąvartyno filtrato sudėties kaitos analizė leidžia ieškoti tinkamų atliekų šalinimo

būdų, parinkti optimalius drenažinius sluoksnius, kurių pralaidumo funkcijos išlieka ilgiausiai, efektyviausius teršalų išvalymo įrenginius (Gasiūnas *ir kt.* 2002).

1.1.1. Veiksniai, lemiantys sąvartyno filtrato sudėtį

Sąvartynų filtrato sudėtis priklauso nuo daugelio veiksnių – atliekų pobūdžio, jų sluoksnio storio, sąvartyno amžiaus, įrengimo struktūros bei eksploatacijos, klimatinių sąlygų, kritulių kiekio, nuo to, ar patenka požeminis vanduo, taip pat atliekų drėgmės kiekio, tarp sluoksnio ir to, kaip sąvartynas yra galutinai uždengtas, deguonies kiekio ir filtrato sąveikos su aplinka (Gasiūnas *ir kt.* 2002; Vasarevičius *ir kt.* 2005; Aziz *et al.* 2011).

Specifinės į sąvartyną patenkančių medžiagų savybės, turinčios įtakos filtratui susidaryti, yra: dalelių dydis, forma ir paviršiaus plotas, matricos pralaidumas ir išplaunančiojo skysčio tekėjimo greitis bei fizikinės savybės, į sąvartyną pašalintų medžiagų heterogeniškumas, temperatūra išplovimo metu (Oygard *et al.* 2007; Kačinskaja *ir kt.* 2013).

Teritorijos hidrologinės ir hidrografinės savybės lemia filtrato sklaidos aplinkoje ypatumus (Aziz *et al.* 2011).

Išskiriamos trys pagrindinės sąvartynų amžiaus fazės: rūgščioji, pereinamoji ir metaninė. Sąvartyno amžiaus fazė nustatoma pagal filtrato BDS₅ (biocheminis deguonies sunaudojimas per 5 paras) ir ChDS (cheminis deguonies suvartojimas) santykį. Kai santykis yra $\geq 0,4$, laikoma, kad tai rūgščioji sąvartyno fazė, kai santykis $\leq 0,2$ – metaninė, santykis mažesnis už 0,4 bet didesnis nei 0,2 – pereinamoji (Gasiūnas *ir kt.* 2002).

Žinoma, kad labiausiai užterštas filtratas rūgščiosios fazės, tuo tarpu seniai veikiantys sąvartynai dažniausiai yra metaninėje fazėje. Šios teiginius patvirtina Gasiūno *ir kt.* (2002) tyrimai, kurių metu nustatyta, kad neseniai įrengtame Zabieliškio sąvartyne filtrato rodikliai atitinka rūgščios fazės parametrus, nes BDS₅ ir ChDS santykis yra 0,9. Tuo tarpu, įvertinus seniai veikiančių Babėnų ir Kairių sąvartynų būklę, nustatyta, kad jų filtratas yra metaninėje fazėje.

Senų sąvartynų filtratas pagal biologinį skaidumą klasifikuojamas, kaip stabilizavęsis, kai skaidumas yra labai žemas, BDS₅ ir ChDS santykis yra mažesnis už 0,1 (Aziz *et al.* 2011). Senų sąvartynų filtratuose gausu humuso ir fulvo rūgščių, kurios gali būti nustatomos pagal sąvartyno filtrato spalvą (Bashir *et al.* 2010).

Kaip minėta, sąvartyno filtrato cheminė sudėtis priklauso nuo sąvartyne sukauptų atliekų kiekio, jų tankio. Sąvartyne esant sukauptam nedideliame atliekų kiekiui didelėje teritorijoje nuotekos pakankamai atskiedžiamos, dėl to filtratas yra mažiau užterštas (Gasiūnas *ir kt.* 2002).

Apskaičiuota jog viename kubiniame metre atliekų, kurių tankis 700 kg/m^3 , susidaro apie $0,33 \text{ m}^3$ filtrato (Kačinskaja *ir kt.* 2013).

Sąvartyno filtrato susidarymas priklauso ir nuo biologinių veiksnių. Mikroorganizmai skatina biodegradacijos procesus, keičia oksidacijos-redukcijos potencialą, pH terpę sąvartyno atliekose ir didina teršalų tirpumą (Kanmani *et al.* 2014).

Įtakos filtrato susidarymui turi ir tam tikros cheminės medžiagų savybės: cheminė pusiausvyra, kinetika aiškinamos reakcijos, sudedamųjų medžiagų tirpumo bei desorbcijos savybės, nevandeninės terpės skystis, į sąvartyną pašalintų medžiagų bei išplaunančiojo skysčio pH reikšmės ir jų skirtumas, organinių ir neorganinių medžiagų kompleksas (Kačinskaja *ir kt.* 2013).

1.1.2. Sąvartynų filtratų cheminė sudėtis ir savybės

Sąvartyno filtratas užterštas neorganiniais junginiais, organinėmis medžiagomis, jam būdingas didelis biocheminio deguonies sunaudojimas (BDS), bei nemaža sunkiųjų metalų koncentracija (Gelažienė, Kaunelienė 2002). Esantys filtrate persistentiniai teršalai (stabilūs teršalai, kurie nesuyra) yra patys pavojingiausi, nes jie migruoja ekosistemose ir kaupiasi organizmuose.

Komunalinių atliekų sąvartyno filtratas pasižymi aukštu koncentruotumu (Juodkakis, Urbanavičiūtė 2002).

Sąvartyno filtrate randami anijonai: F^- , Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} , Br^- , SO_4^{2-} ir kationai: NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} (Osada *et al.* 2011).

Sąvartyno filtrate randami sunkieji metalai: Cu, Pb, Ni, Cr, Fe, Mn, Al, V, Cr, Co, Zn, Se, Rb, Sr, Ba, Cd, Hg (Lynikienė 2008; Montvydienė *ir kt.* 2014; Rasi *et al.* 2014).

Filtrate dažniausiai randami organiniai junginiai: riebiosios rūgštys, esteriai, angliavandeniai, aminorūgštys, baltymai arba peptidai, fenoliai, alkoholiai, humuso ir fulvo rūgštys (Juodkakis, Urbanavičiūtė 2002).

Sąvartyno filtrate randami patvarieji organiniai junginiai (POT): dichloro-difenil-trichloroetanas (DDT), aldrinas, dieldrinas, polichlorinti bifenilai (PCB), heksachlorbenzenas (HCB), dioksinai, furanai (Juodkakis, Urbanavičiūtė 2002). Šie junginiai yra ypatingai patvarūs, todėl turi savybę kauptis (bioakumuliuotis) gyvųjų organizmų ląstelėse. Dideli POT kiekiai yra toksiški ir mutageniški gyviesiems organizmams.

Aeruoiant filtrato tirpalą šarminėje aplinkoje daugelis sunkiųjų metalų pereina į nuosėdas, o amonio azotas, lakiosios medžiagos, kaip, pavyzdžiui, žemesnieji fenoliai išgaruoja, tuo tarpu

daugelis patvariųjų organinių junginių nesuyra ir lieka išvalytame filtrate, dėl to svarbu POT koncentratą grąžinti į sąvartyną ir neleisti jam patekti į vandens telkinius (Stankaitis *ir kt.* 2009).

Pagrindiniai biogeniniai sąvartyno filtrato komponentai – tai bendro azoto ir bendro fosforo junginiai (Wang *et al.* 2010). Azoto junginiai – tai amonio azotas, nitratai bei nitritai.

Daugelio cheminių elementų koncentracijos esančios sąvartyno filtrate viršija jiems nustatytas didžiausias leistinas koncentracijos (DLK) normas. Sunkiųjų metalų ir metaloidų (metalai ir jų junginiai) didžiausios leidžiamos koncentracijos išleidžiamuose į gamtinę aplinką vandenyse Lietuvoje ir jų palyginimas su Lenkijoje nustatytais DLK normomis pateikiamas 1.1 lentelėje.

1.1 lentelė. Lietuvoje ir Lenkijoje patvirtintos normos sunkiųjų metalų ir metaloidų DLK išleidžiamuose į gamtinę aplinką vandenyse (Žin, 2006 Nr. 59-2103; Dz.U... 2014)

Metalas	DLK, (mg/l) į gamtinę aplinką (Lietuvoje)	DLK, (mg/l) vandens telkinyje-priimtuve (Lietuvoje)	DLK, (mg/l) į gamtinę aplinką (Lenkijoje)
Švinas ir jo junginiai	0,1	0,005	0,1
Nikelis ir jo junginiai	0,2	0,01	0,1
Chromas-bendras	0,5	0,01	0,5
Varis	0,5	0,01	0,5
Kadmis	0,04	0,005	0,2
Alavas	1	-	2
Cinkas	0,4	0,1	2
Vanadis	2	-	2
Aluminis	0,5	-	3
Arsenas	0,05	-	0,1

Pastaba: brūkšniai (–) normos neregamentuotos.

Palyginimui pateikiama keletas Omano aplinkos kokybės rekomendacinių dydžių (2014 metų vasario duomenys) sunkiesiems metalams į gamtinę aplinką išleidžiamuose vandenyse. Reglamente nustatytas aluminio kiekis 5 mg/l, chromo 0,05 mg/l, nikelio 0,1 mg/l, vario 1 mg/l, cinko 5 mg/l, švino 0,1 mg/l (Raisi *et al.* 2014). Taigi, atskirose šalyse nustatytos skirtingos leidžiamos koncentracijos.

Siekiant išvengti neigiamo poveikio aplinkai sąvartynuose privalo būti vykdomas nuolatinis filtrato monitoringas. Išnagrinėjus Zabelišio buitinių atliekų sąvartyno (Kėdainiai) požeminio filtrato monitoringo duomenis, nustatyta, kad Zabelišio buitinių atliekų sąvartyno filtratas yra mažai užterštas sunkiaisiais metalais: Cd, Ni, Pb, Cr, Cu (1.2 lentelė) (Diliūnas 2008).

1.2 lentelė. Sunkiųjų metalų koncentracijos Zabelišio buitinių atliekų sąvartyno filtrate (Diliūnas 2008)

Metalas	Zn	Cr	Cu	Ni	Pb	Cd
Koncentracija	mg/l					µg/l
	0,498	0,012	0,007	0,008	<0,001	<0,1

Daugiausia Zabelišio sąvartyno filtrate nustatyta cinko, jo vertė viršija DLK į gamtinę aplinką ir vandens telkinį (priimtuvą).

Palyginimui Lapių sąvartyno (Kaunas) filtrate, paimto iš seniausio ir jau užpildyto atliekų kaupimo lauko, nustatytos aukštos Pb – 0,31 mg/l ir Ni – 0,30 mg/l koncentracijos, kurios viršija DLK į gamtinę aplinką, taip pat nustatytos DLK į vandens telkinį (priimtuvą) viršijančios Cr – 0,42 mg/l ir Cu – 0,08 mg/l koncentracijos. Tuo tarpu filtrate, paimtame iš tuo metu eksploatuojamo atliekų kaupimo lauko, nustatytos žymiai mažesnės sunkiųjų metalų koncentracijos: Cu – 0,043 mg/l, Pb – 0,004 mg/l, Ni – 0,012 mg/l, Cr – 0,005 mg/l (Lynikienė 2008).

Raisi *et al.* (2014) tyrė Maskato (Omanas) sąvartyno, filtrato kiekybinę ir kokybinę sudėtį. Sąvartyne nuo eksploatavimo pradžios iki 2009 metų buvo sukaupta apie 1,4 mln. tonų atliekų, kurių 9 % sudarė pavojingos atliekos. Sunkiųjų metalų kiekiai ir jų ribiniai dydžiai į gamtinę aplinką išleidžiamuose vandenyse pateikiami 1.3 lentelėje.

1.3 lentelė. Sunkiųjų metalų koncentracijos Maskato buitinių atliekų sąvartyno filtrate ir ribiniai dydžiai (Raisi *et al.* 2014)

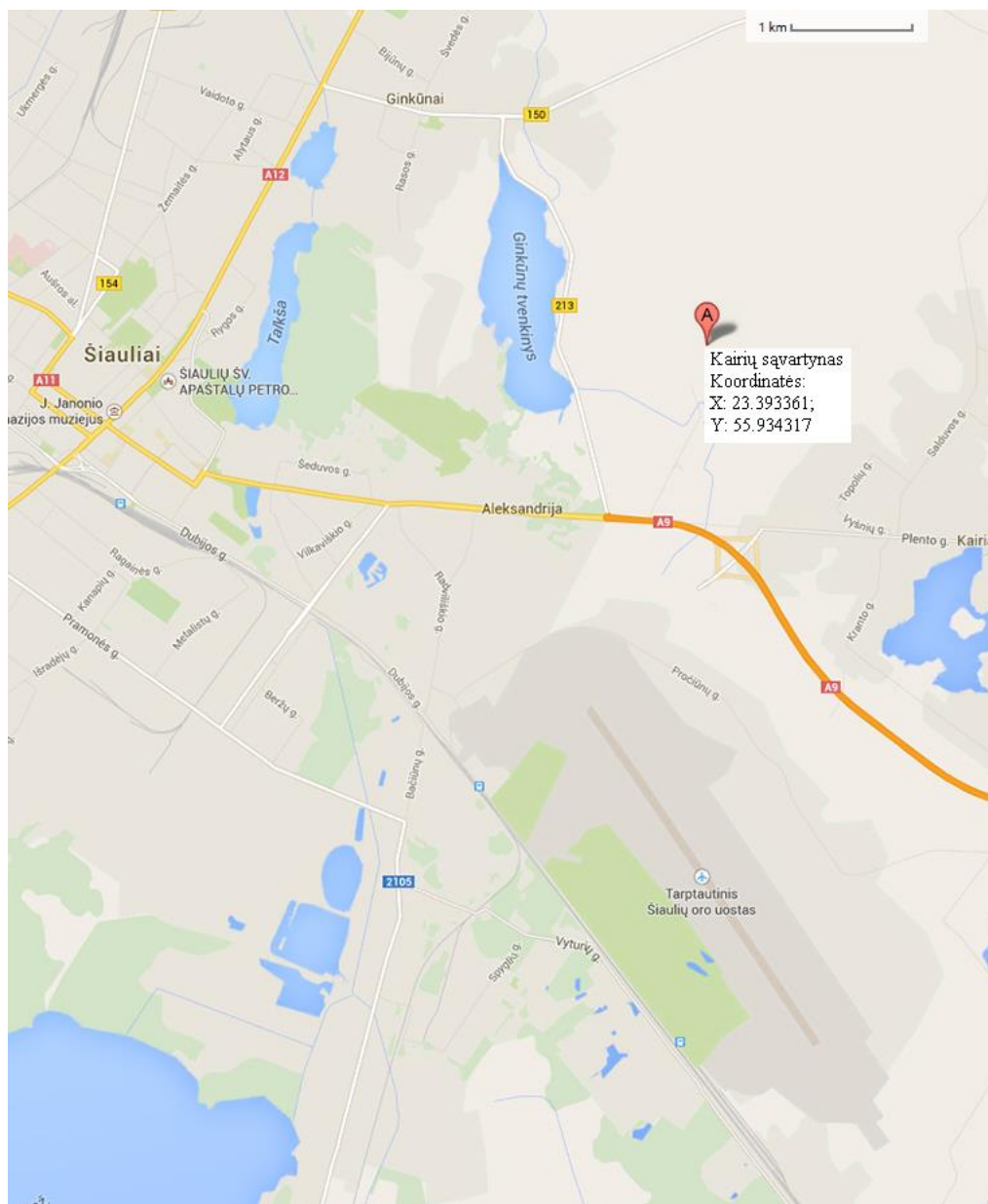
Metalas	Koncentracija (mg/l)	Ribiniai dydžiai (mg/l)	Metalas	Koncentracija (mg/l)	Ribiniai dydžiai (mg/l)
Al	2,05	5	Cu	0,19	1
V	0,98	0,1	Zn	0,94	5
Cr	2,80	0,05	Rb	1,95	-
Mn	0,50	0,1	Sr	1,76	-
Co	0,13	0,05	Ba	0,86	2
Ni	0,77	0,1	Pb	0,13	0,1

Nustatyti Cr kiekiai filtrate buvo didžiausi ir 56 kartus viršijo normas. Al, V, Mn, Co, Ni ir Pb koncentracijos viršijo nustatytus ribinius dydžius.

Palyginimui uždarytame *Russiefeh* (Jordanija) sąvartyno filtrate nustatytas Cr kiekis – 0,66 mg/l, Ni – 0,24 mg/l, Cu 0,2 mg/l. Tuo tarpu veikiančiame, 2006 metais atidarytame, *Malysia* (Jordanija) sąvartyno filtrate nustatytas Cr kiekis – 0,25 mg/l, Ni – 0,105 mg/l, Cu – 0,35 mg/l (Malyuba *et al.* 2013).

1.2. Šiaulių regiono Kairių sąvartynas

Šiaulių regiono Kairių sąvartynas geografiniu požiūriu yra rytiniame Žemaičių aukštumos pakraštyje. Vietovės koordinatės yra X: 23.393361, Y: 55.934317 (1.1 pav.). Sąvartynas įrengtas netoli Kairių miestelio ir Ginkūnų gyvenvietės. Šalia sąvartyno yra Ginkūnų tvenkinys, dar vadinamas Švedės tvenkiniu ir Švedės upelis.



1.1 pav. Kairių sąvartyno vieta

Kairių sąvartynas įrengtas reljefo arba kraštinių moreninių darinių pažemėjime, besitęsiančiame Talkšos ežero link. Reljefo pažemėjimo viršuje yra holoceno nuogulos – tai durpių sluoksnis, kurio storis siekia 2 metrus. Durpių nuogulos beveik iš visų pusių supa sąvartyną, išskyrus pietvakarinę jo dalį.

Gruntinis vandeningas horizontas paplitęs visame sąvartyne ir jo apylinkėse. Gruntinis vanduo vakarinėje sąvartyno pusėje randamas kelių metrų gylyje. Požeminio vandens srauto tėkmės kryptis link Talkšos ežero, čia vanduo išsikrauna (Kairių sąvartynas... 2013).

Kairių sąvartynas pradėtas eksploatuoti 1965 m., uždarytas 2007 m. Sąvartyno kaupo užimama teritorija siekia 8 ha, sukauptų atliekų turis – 2,0 mln. m³. Vidutinis atliekų sluoksnio

storis yra apie 20 metrų. Sąvartyne jo eksploatacijos laikotarpiu šalinamų atliekų sudėtis labai keitėsi. Sąvartyne nuo jo eksploatavimo pradžios iki 1980 metų buvo šalinamos buitinės ir įvairių Šiaulių pramonės įmonių atliekos, tarp jų ir pavojingos aplinkai, vėliau iki sąvartyno uždarymo eksploatuojamos buvo tik buitinės atliekos (Tričys 2002).

Šalinamų atliekų apskaita Kairių sąvartyne pradėta vesti tik nuo 1999 metų, todėl tikslių duomenų apie sąvartyne sukauptų atliekų kiekį nėra. Manoma, jog sąvartyne galėjo būti sukaupta nuo 1,3 iki 1,6 mln. tonų atliekų (Šiaulių regiono... 2013).

Nuolatinį Kairių sąvartyno įtakos aplinkai monitoringą 1997 m. pradėjo vykdyti Šiaulių municipalinė aplinkos tyrimų laboratorija. Šiuo metu Ginkūnų tvenkinio ir Švedės upelio vandens kokybės tyrimus atlieka Šiaulių visuomenės sveikatos centras ir Municipalinė aplinkos tyrimų laboratorija (Kairių sąvartynas... 2013).

Kairių sąvartyno įrengimas neatitinka šiandieninių aplinkosaugos reikalavimų. Sąvartyno atliekų kaupimo dugne nėra dirbtinio izoliacinio sluoksnio. Filtrato surinkimo drenažinė sistema pradėta įrengti tik paskutiniaisiais jo eksploatavimo metais, paklota tik rytinio šlaito drena. Iš kaupimo prasisunkęs filtratas buvo surenkamas vidinio kontūro grioviais, todėl buvo rizika, kad grioviuose susikaupęs filtratas gali filtruotis į gruntą ir į požeminę sferą, o taip pat į aplinkinius melioracijos griovius, kuriais drenažinis vanduo iš aplinkinių laukų nuvedamas į Ginkūnų tvenkinį (Šiaulių regiono... 2013).

Apie 1980 metus nustatyta, kad sąvartyno filtratas patenka į šalia esančius melioracijos kanalus ir užterštos nuotekos išteka į Ginkūnų tvenkinį, todėl įrengtas apsauginis griovys ir taip nutrauktas tiesioginis paviršinio vandens teršimas, Ginkūnų tvenkinio kokybė pradėjo gerėti.

2002-ųjų metų pavasarį, vykdant sąvartyno apsauginio pylimo stiprinimo darbus, įvyko avarija. Avarijos metu, pralaužus pylimą, sąvartyno filtratas pateko į melioracijos griovį, Švedės upelį ir Ginkūnų tvenkinį. Paskutiniais duomenimis į aplinką išsiliejo 44 000 m³ filtrato (Kairių sąvartynas... 2013).

Lietuva stojimo į Europos Sąjungą sąlygose įsipareigojo visus ES reikalavimus neatitinkančius sąvartynus uždaryti iki 2009 m. liepos 16 d. Kairių sąvartyno uždarymas vykdytas dviem etapais. Per pirmąjį sąvartyno uždarymo etapą buvo įrengta filtrato surinkimo sistema su žiedine kaupimo drena ir siurblinėmis. Tuo tarpu per antrąjį sąvartyno uždarymo etapą pastatyti filtrato valymo įrenginiai bei sutvarkyti esami filtrato baseinai (1.2 pav.) (Šiaulių regiono... 2013).



A – Kairių sąvartynas 2014 metų spalį



B – Kairių sąvartyno filtrato baseinai



C – Kairių sąvartyno filtrato valymo įrenginiai

1.2 pav. Kairių sąvartynas, sąvartyno filtrato baseinai ir filtrato valymo įrenginiai (Autorės nuotr.)

Igyvendinus Europos Sąjungos ir Lietuvos Respublikos lėšomis finansuojamą projektą „Šiaulių regiono atliekų tvarkymo sistemos sukūrimas“ dėl Kairių sąvartyno uždarymo 2010 m.

rugpjūčio 3 d. komisija pripažino, kad Šiaulių regiono Kairių sąvartyno uždarymo II etapas tenkina nustatytus reikalavimus. Tačiau palyginus Kairių sąvartyne atliktus tyrimus su atliktais Suomijoje, nustatyta, kad Kairių sąvartyno filtratas yra labai užterštas sunkiaisiais metalais (Kaunelienė, Mačiulytė 2003).

Ginkūnų ežero 2011–2013 m. ekologinės būklės palyginimas, vertinant pagal bendrojo azoto (N_b) ir bendrojo fosforo (P_b) vidutinę koncentraciją, pateikimas 1.4 lentelėje.

1.4 lentelė. Ginkūnų ežero 2011–2013 m. ekologinės būklės palyginimas pagal vidutines bendrojo azoto ir bendrojo fosforo koncentracijas (pagal Šiaulių municipalinės aplinkos tyrimų laboratorijos 2011–2013 metų ataskaitas)

Mėginio ėmimo vieta	Bendras P (mg/l)	Bendras N (mg/l)	Ekologinės būklės klasė*
2011 m.			
Ginkūnų ežeras	0,064–0,082 vid. 0,073	1,5–2,3 vid. 2,0	Vidutinė
2012 m.			
Ginkūnų ežeras	0,079–0,110 vid. 0,095	1,7–2,3 vid. 2,1	Vidutinė
2013 m.			
Ginkūnų ežeras	0,058–0,115 vid. 0,078	1,8–2,2 vid. 2,1	Vidutinė
Gera būklė, kai vidutinė metų koncentracija	<0,060 mg/l	<1,80 mg/l	

*Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2007 m. balandžio 12 d. įsakymas Nr. D1-210 „Dėl paviršinių vandens telkinių būklės nustatymo metodikos patvirtinimo“, *Valstybės žinios* 29–1363.

Iš 1.4 lentelės duomenų matyti, kad Ginkūnų ežero ekologinė būklė 2012 m. lyginant su 2011 m. pablogėjo, tuo tarpu 2013 m. po perteklinio dumblo valymo darbų, bendro azoto ir bendro fosforo koncentracija lyginant su 2012 m. sumažėjo ~5 %. Ginkūnų tvenkinio ekologinė būklė priskiriama vidutinei klasei.

Kairių sąvartyno poveikiui Ginkūnų tvenkiniui vertinti Šiaulių municipalinės aplinkos tyrimų laboratorijos parinktos dvi vietos (1.3 pav.).

Taške Nr. 2 matuojama foninė tarša, su kuria lyginamos taško Nr. 1 vertės.

Šiaulių miesto buitinių atliekų sąvartyno Kairiuose poveikio Ginkūnų tvenkiniui gruntinio vandens tyrimai atliekami melioracijos kanale aukščiau sąvartyno (Nr. 2) ir ties įtekėjimu į Ginkūnų tvenkinį (Nr. 1). Organinių medžiagų, azoto ir fosforo junginių bei chloridų koncentracija melioracijos kanale, pratekančiame pro sąvartyną, neviršijo didžiausių leistinų koncentracijų, nustatytų nuotekoms, išleidžiamoms į gamtinę aplinką (Šiaulių municipalinis... 2012).

Maistinių medžiagų ir chloridų vidutinės metų koncentracijos kitimas melioracijos kanale vertinamas 9 kartus per metus, 2010–2013 m. verčių palyginimas pateikimas 1.5 lentelėje.



1.3 pav. Tyrimų vietos melioracijos kanale (Šiaulių municipalinis... 2012)

1.5 lentelė. Maistinių medžiagų ir chloridų vidutinės koncentracijos kitimas melioracijos kanale 2010–2013 m. (pagal Šiaulių municipalinės aplinkos tyrimų laboratorijos 2011–2013 metų ataskaitas)

Mėginio ėmimo vieta	Bendras fosforas (mg/l)	Nitritai (mgN/l)	Nitratai (mgN/l)	Amonio azotas (mgN/l)	Bendras azotas (mg/l)	Chloridai (mg/l)
2013 m.						
Stotis Nr. 1	0,109	0,065	7,1	0,15	9,0	80
Stotis Nr. 2	0,148	0,017	4,2	0,04	5,4	34
2012 m.						
Stotis Nr. 1	0,059	0,074	3,2	0,11	4,2	72
Stotis Nr. 2	0,061	0,021	2,2	0,06	3,2	30
2011 m.						
Stotis Nr. 1	0,046	0,021	5,1	0,06	6,3	76
Stotis Nr. 2	0,056	0,016	4,4	0,05	5,2	30
2010 m.						
Stotis Nr. 1	0,066	0,033	3,0	0,12	4,0	72
Stotis Nr. 2	0,022	0,011	2,9	0,05	3,5	35
DLK*	4	0,45	23	5	30	1000

*Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2006 m. gegužės 17 d. įsakymas Nr. D1-236 „Dėl nuotekų tvarkymo reglamento patvirtinimo“, *Valstybės žinios* 59–2103.

Melioracijos kanale ties įtekėjimu į Ginkūnų tvenkinį 2012 m. nitritų, nitratų, amonio azoto, bendro azoto koncentracija padidėjo nuo 1,5 iki 3,5 karto, lyginant su foninėmis vertėmis, gautomis melioracijos kanale aukščiau sąvartyno. Palyginus 2011 m. ir 2012 m. tyrimų duomenis nustatyta, kad nitritų, amonio azoto ir bendrojo fosforo koncentracija ties įtekėjimu į Ginkūnų tvenkinį padidėjo nuo 1,3 iki 3,5 karto, o nitratų, bendrojo azoto ir chloridų koncentracija sumažėjo nuo 1,5 iki 1,6 karto (Šiaulių municipalinis... 2012).

Stotyje Nr.1 nitritų, nitratų ir bendro azoto koncentracija 2013 m. padidėjo nuo 1,5 iki 3 kartų, chloridų 2,5 kartus, lyginant jas su foninėmis vertėmis, gautomis melioracijos kanale aukščiau sąvartyno. Palyginus 2012 ir 2013 m. tyrimų duomenis nustatyta, kad bendro fosforo koncentracija kanale ties įtekėjimu į Ginkūnų tvenkinį padidėjo 1,8 karto, nitratų koncentracija padidėjo 2,2 karto, amonio azoto – 1,4 karto, bendrojo azoto – 2,1 karto. Manoma, kad vandens tarša azoto ir fosforo junginiais padidėjo dėl aukščiau sąvartyno ir ties įtekėjimu į Ginkūnų tvenkinį vykdomų aplinkkelio tiesimo ir žemės ūkio darbų (Šiaulių municipalinis... 2013).

Tyrimais nustatyta, kad gruntinio vandens užterštumas aplink Kairių sąvartyną privalo būti vertinamas visomis kryptimis nuo sąvartyno, o ne tik vienoje pusėje. Tokios išvados padarytos nustatius, kad skirtingose sąvartyno pusėse nuotekų sudėtis skiriasi, šiaurės ir rytų pusėje jos užterštos labiau negu vakarų pusėje (Tričys 2002).

1.2.1. Kairių sąvartyno filtrato cheminė analizė ir savybės

Kairių sąvartynas yra metaninėje fazėje. Sąvartyno filtrato organinis užterštumas pagal BDS₇ (biocheminis deguonies sunaudojimas per septynias paras) yra apie 120 mgO₂/l, tuo tarpu ChDS nuo 500 iki 1500 mgO₂/l, bendrojo azoto koncentracija – 466, 2 mg/l, o bendrojo fosforo 1,5–3,5 mg/l (Gasiūnas ir kt. 2002)

Tričys (2002) nustatė, kad prieš avariją požeminio ir paviršinio vandens tarša chloridais ir sunkiaisiais metalais aplink Kairių sąvartyną nuolat didėjo. Nustatyta, kad požeminis vanduo (esantis 10 m gylyje) šalia sąvartyno, buvo žymiai labiau užterštas negu už 500 m nuo sąvartyno.

Kairių sąvartyno filtrato palyginimas prieš ir po avarijos pateikimas 1.6 lentelėje.

1.6 lentelė. Sąvartyno filtrato cheminės sudėties palyginimas prieš avariją ir po avarijos (Kaunelienė, Mačiulytė 2003)

Laikotarpis	pH	ChDS, mg O ₂ /l	BDS ₅ , mg O ₂ /l	Pb (mg/l)	Ni (mg/l)	Cu (mg/l)	Cr (mg/l)	Zn (mg/l)
prieš avariją (iki 2002 m.)	8,4	1371	31	0,2	0,3	0,9	1,6	7,1
po avarijos	7,6	423	7,8	0,1	0,6	0,3	0,2	2,8

Gauti rezultatai rodo, kad filtrate po avarijos teršalų koncentracijos, išskyrus Ni, yra mažesnės, labiausiai sumažėjo Cr koncentracija. Dideliems koncentruoto filtrato kiekiams išsiliejus iš sąvartyną juosiančio griovio, jame likęs filtratas prasiskiedė šviežiu filtratu bei tiesioginiais krituliais. Aukšta ChDS rodiklio vertė parodo, kad Kairių sąvartyno filtrate yra ganėtinai daug nesuoksiduotų organinių medžiagų (Kaunelienė, Mačiulytė 2003).

Vasarevičius *ir kt.* (2005) analizavo Kairių sąvartyno filtrato sudėtį po avarijos ir nustatė šešis pagrindinius elementus (1.7 lentelė). Filtrato mėginiai imti iš sąvartyno filtrato griovio.

1.7 lentelė. Sąvartyno filtrato cheminė sudėtis po avarijos (Vasarevičius *ir kt.* 2005)

Parametras	pH	Mn (mg/l)	Cr (mg/l)	Ni (mg/l)	Cu (mg/l)	Zn (mg/l)	Co (mg/l)
Koncentracija	7,2	0,122	0,29	0,39	0,07	0,04	0,127

Palyginus Zabieliškio (1.2 lentelė) ir Kairių sąvartyno filtrato sudėtį, matyti, kad Kairių sąvartyno filtrate nustatytos labai aukštos Cr, Zn, Ni, Pb koncentracijos.

Kairių sąvartyno filtrate taip pat nustatyti organiniai junginiai: natrio stearatas, acetaminofenolis, trietilaminas, dichloro-8-hidrochinolinas, taip pat furanų ir dioksinų pėdsakai. Acetaminofenolis, trietilaminas, dichloro-8-hidrochinolinas, furanai ir dioksinais priskiriami prie patvariųjų organinių teršalų (POT) (Stankaitis *ir kt.* 2009). Patvarieji organiniai teršalai – toksiškos medžiagos itin pavojingos žmonių sveikatai ir aplinkai. POT kelia didelį pavojų biosferai, kadangi šie teršalai yra patvarūs (sunkiai degraduoja, skyla), kaupiasi gyvuosiuose organizmuose, todėl keliauja mitybos grandinėse (Patvarieji organiniai... 2015).

Naujausi duomenys apie Kairių sąvartyno filtrato sudėtį pateikiami 1.8 lentelėje.

1.8 lentelė. Kairių sąvartyno filtrato cheminė sudėtis (Kazlauskienė *ir kt.* 2013)

Sunkieji metalai, µg/l						
Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg
<0,3	620	2	100	3	76	0,16
Anijonai, mg/l						
Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	
1889	60,4	1930	8,71	2,89	<0,05	
Katijonai, mg/l						
Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺		NH ₄ ⁺	
1196	582	90,9	103		100	
pH	8,45					

Iš 1.8 lentelės duomenų matyti, kad filtrate yra labai didelė Cr koncentracija. Kairių sąvartyne ilgus metus buvo deponuojamos daug chromo turinčios odų apdirbimo pramonės atliekos (Kaunelienė, Mačiulytė 2003).

Palyginus 1.6–1.8 lentelių duomenis matyti, kad, laikui bėgant, keičiasi net tik filtrato kiekybinė sudėtis, bet ir kokybinė sudėtis. Vasarevičius *ir kt.* (2005) filtrate nustatė didžiausią Ni koncentraciją, tuo tarpu Kaunelienė, Mačiulytė (2003) ir Kazlauskienė *ir kt.* (2013) – Cr.

1.2.2. Kairių sąvartyno filtrato poveikis vandens organizmams

Sąvartyno filtrato poveikis vandens organizmams vertinamas per biotestus. Biotestams atlikti parenkamos rūšys iš žemesnių ir aukštesnių trofinių lygių.

Ekotoksikologiniams tyrimams dažniai pasirenkamos žuvys, kadangi tai viena geriausiai ištirtinėtų hidrobiontų grupių, taip pat, anksčiau atlikti tyrimai parodė, jog žuvys ankstyvuojų vystymosi laikotarpiu yra labai jautrios teršalams (Liekytė *ir kt.* 2011).

Lietuvos Ekologijos, Botanikos institutų, Vilniaus universiteto mokslininkai po Kairių sąvartyne įvykusios avarijos (2002 m.) biotestavimo metodais, naudojant biotestų kompleksą (bakterijos, augalai, žuvys ontogenezeje), įvertino Kairių sąvartyno filtrato, melioracijos kanalų, Ginkūnų tvenkinio vandenų ir dugno nuosėdų bei dirvožemio, ant kurio išsiliejo filtratas, užterštumo laipsnį (Kazlauskienė *ir kt.* 2004; Marčiulionienė, Montvydienė 2004; Svecevičius 2004; Šiaulienė *ir kt.* 2004; Vosylienė, Kazlauskienė 2004).

Nustatyta, kad visiems tirtiems objektams toksiškiausias buvo sąvartyno filtratas. Net 232 kartus praskiestas filtratas sukėlė žuvų mailiaus augimo sutrikimą, suaugusioms žuvims fiziologinės būklės pokyčius. Tirtų melioracijos kanalų vandenų toksiškumas, remiantis žuvų jauniklių ekspresyviomis elgsenos reakcijomis, buvo charakterizuojamas kaip „ypatingai toksiškas“ (Kazlauskienė *ir kt.* 2004; Svecevičius 2004).

Biotestavimo metodais nustatyta, kad po avarijos Ginkūnų tvenkinio nepraskiesti vandenys skatino bakterijų liuminescenciją, buvo vidutiniškai toksiški sėjamajai pipirnei (lot. *Lepidium sativum*), toksiški vaivorykštinio upėtakio mailiaus augimui ir suaugusių žuvų kraujo rodikliams (Kazlauskienė *ir kt.* 2004; Svecevičius 2004; Vosylienė, Kazlauskienė 2004). Remiantis ekspresyviomis elgsenos reakcijomis, nustatyta, kad tvenkinio vanduo buvo toksiškas upėtakio jaunikliams (Svecevičius 2004).

Svecevičius (2004) tyrė Kairių sąvartyno veikiamos hidroekosistemos: melioracijos kanalų, Ginkūnų tvenkinio ir ištekančio iš tvenkinio Švedės upelio vandenų poveikį vaivorykštinio upėtakio (lot. *Oncorhynchus mykiss*) lervų mirtingumui, augimui, kvėpavimui ir elgsenai, priklausomai nuo

ekspozicijos trukmės ir koncentracijos. Tyrimais nustatyta, kad Kairių sąvartyno melioracijos kanalo ir Ginkūnų tvenkinio vandenys, esantys arčiausiai melioracijos kanalo yra toksiški vaivorykštinio upėtakio lervoms ir tik 2–4 kartus praskiesti vandenys lervoms nėra toksiški, tuo tarpu Ginkūnų tvenkinio vandenys esantys toliau nuo melioracijos kanalo ir ištekančio iš tvenkinio Švedės upelio vandenys nėra toksiški vaivorykštinio upėtakio lervoms.

Įvertinus melioracijos kanalų, Ginkūnų tvenkinio ir Švedės upelio vandens mėginių toksiškumo laipsnį pagal vaivorykštinio upėtakio jauniklių ekspresyvias elgsenos reakcijas (lokomotorinis aktyvumas, respiratorinė reakcija) nustatyta, kad stipriausiai bandymo žuvys reagavo į melioracijos kanalo mėginio vandenį: lokomotorinis aktyvumas padidėjo 4,6 karto, žiaunų ventiliacijos dažnis išaugo 1,2 karto, o „kosėjimo“ dažnis padidėjo net 6,7 karto. Žuvų jaunikliai į Ginkūnų tvenkinio vandenį reagavo žymiai silpniau: lokomotorinis aktyvumas padidėjo 1,1–1,3 karto, „kosėjimo“ dažnis išaugo 1,1–1,2 karto, tuo tarpu žiaunų ventiliacijos dažnis nepakito (Svecevičius 2004).

Įvertinus tirtas vaivorykštinio upėtakio elgsenos reakcijas pagal jų jautrumą nustatyta, kad jautriausia nespecifinė elgsenos reakcija – tai reversinio kvėpavimo („kosėjimo“) dažnis, antroje vietoje – lokomotorinis aktyvumas, mažiausiai jautrus rodiklis – žiaunų ventiliacijos dažnis. Tyrimais nustatyta, kad „kosėjimo“ dažnį reikėtų pripažinti jautriausia elgsenos reakcija, labiausiai tinkančia analizuotų vandenų toksikologiniams tyrimams (Svecevičius 2004).

Siekiant charakterizuoti tiriamus vandenį toksikologiškai, gauti elgsenos reakcijų rezultatai buvo palyginti su standartinio (referentinio) testo „saugių“ koncentracijų (0,01–96 val. LC50) duomenimis. Melioracijos kanalo vandens mėginyje ties Kairių sąvartyno filtrato rezervuaru saugi koncentracija (0,01–96 val. LC50) buvo viršyta net 860 kartus, mažiausiai toksiški buvo vandens mėginiai iš Ginkūnų tvenkinio ir vandens mėginiai paimti ties Švedės upelio ištekimu, šiuo atveju saugi koncentracija buvo viršyta 1,5–2,3 kartų (Svecevičius 2004).

Filtrato toksiškumas taip pat buvo vertinamas stebint sėjamosios pipirnės (lot. *Lepidium sativum*) sėklų daigumą ir šaknų augimą, bei mažosios plūdenos (lot. *Lemna minor*) santykinį augimą, biomasę ir chlorofilo kiekį. Nustatyta, kad filtratas yra toksiškas abiem augalams. Ginkūnų tvenkinio vanduo slopino sėjamosios pipirnės šaknų augimą, tuo tarpu mažajai plūdenai buvo mažai toksiškas (Montvydienė ir kt. 2014).

Marčiulionienė, Montvydienė (2004) tyrė melioracijos kanalų ir Ginkūnų tvenkinio dugno nuosėdų toksiškumą sėjamajai pipirinei. Nustatė, kad melioracijos kanalų dugno nuosėdos buvo stipriai toksiškos sėjamajai pipirinei, tuo tarpu Ginkūnų tvenkinio – silpnai toksiškos.

Marčiulionienė, Montvydienė (2004) ir Šiaulienė *ir kt.* (2004) nustatė, kad dirvožemis, ant kurio išsiliejo filtratas buvo labai toksiškas sėjamajai pipirinei.

Atlikti toksikologiniai ir fiziko-cheminiai tyrimai parodė, kad uždarytas Kairių sąvartynas vis dar kelia pavojų aplinkinėms ekosistemoms. Sąvartyno filtratas per pralaidžius gruntus patenka į šalia esančius vandens telkinius ir yra nuolatinis persistentinių teršalų atsiradimo šaltinis Kairių sąvartyno regiono vandens ekosistemose (Montvydienė *ir kt.* 2014).

Šio darbo tikslas nustatyti persistentinių teršalų (stabilūs teršalai, kurie nesuyra, kaupiasi organizmuose ir keliauja mitybos grandinėse iš žemesnio trofinio lygmens į aukštesnį), šio atveju sunkiųjų metalų kaupimąsi žuvų, gyvenančių Kairių sąvartyno veikiamose hiroekosistemose (Ginkūnų tvenkinyje ir Švedės upelyje), audiniuose ir organuose.

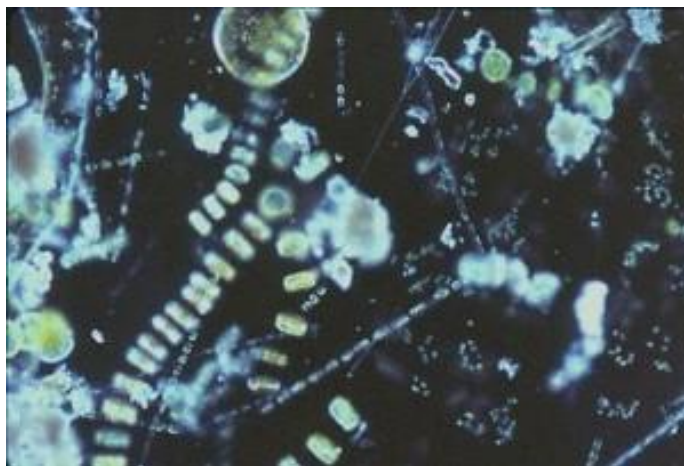
1.3. Plėšrių ir bentofaginių žuvų ekologiniai bruožai

Žuvis – pagal mitybos ypatumus galima suskirstyti į keturias stambias ekologines grupes (Virbickas 2000):

- 1) planktofagai;
- 2) bentofagai;
- 3) eurifagai;
- 4) plėšrūnai.

Planktofagai minta planktonu. Išskiriami du pagrindiniai planktono tipai: fitoplanktonas (augalinis planktonas) ir zooplanktonas (gyvūninės kilmės planktonas).

Fitoplanktoną sudaro dumbliai, tokie kaip: titnagdumbliai, melsvadumbliai, žaliadumbliai (1.4 pav.). Zooplanktoną sudaro gyvūniai ir heterotrofiniai pirmuonys, verpetės, smulkūs vėžiagyviai, gaubtagyviai, vabzdžių lervos, žuvų mailius (1.5. pav.)



1.4 pav. Fitoplanktonas (Copepod Plankton... 2015)



1.5 pav. Zooplanktonas (Copepod Plankton... 2015)

Bentofagai – žuvys mintančios vandens telkinių dugno organizmais (zoobentosu): šoniplaukomis, kirmėlėmis, vabzdžių lervomis. Pavyzdžiui, bentofago kuojos (lot. *Rutilus rutilus*) maistą sudaro zoobentosas (39,7 %), sedimentai (29,0 %), makrofitai (vandenyje augantys aukštesnieji augalai) (15,4 %), fitoplanktonas (14,9 %), zooplantonas (2,4 %) (Jamet 1994).

Eurifagai – visaėdžės žuvys, kurios minta augalinės ir gyvūninės kilmės maistu.

Plėšrūnai minta gyvūninės kilmės maistu: kitomis žuvimis, žuvų mailiumi. Pavyzdžiui, ešeris (lot. *Perca fluviatilis*) daugiausiai minta žuvų mailiumi, kitomis žuvimis (44,2 %), zoobentosu (41,8 %) ir tik maža dalimi zooplanktonu (15,0 %) (Jamet 1994).

Гирса (1981) išskyrė keturius pagrindinius žuvų maitinimosi ir judėjimo aktyvumo laikotarpius.

- Taikių žuvų (kuoja, raudė) intensyvaus rytinio maitinimosi laikotarpis. Prietamą – dieną aktyvių plėšrių žuvų (ešeris, lydeka) ir planktofagų (aukšlė, saulažuvė, ešerio mailius) mitimo ir judrumo suintensyvėjimo pradžia. Laikotarpio trukmė iki 3 val.
- Plėšriųjų žuvų minimalaus maitinimosi dienos metu ir planktofagų mitimo aktyvumo padidėjimo laikotarpis, kurio trukmė 11–12 val.
- Plėšriųjų ir bentofaginių žuvų intensyvaus vakarinio maitinimosi laikotarpis, kurio trukmė iki 4 val.
- Naktinis nesimaitinimo ir neaktyvumo laikotarpis taikioms žuvims ir prietamą – dieną aktyvioms žuvims, bei naktį aktyvių žuvų maitinimosi pikas. Laikotarpio trukmė 5–6 val.

Plėšriųjų žuvų aktyvumas skirstomas į trumpalaikį (<5 s) ir ilgalaikį (≥5 s). Lydekai (lot. *Esox lucius*) būdingas trumpalaikis aktyvumas tiek dienos, tiek nakties metu. Ilgalaikis aktyvumas lydekai dažniausiai pasireiškia po ilgo ramybės periodo (>24 val.) (Beaumont *et al.* 2003).

Apibendrinant, prietemoje ir prietemoje – dieną aktyvių plėšriųjų žuvų trumpalaikį aktyvumą (dieną ir naktį) keičia ilgalaikis ramybės periodas (nesimaitinimo laikotarpis). Гирса (1981) nustatė, kad žuvis aktyvaus maitinimosi laikotarpiu, kuri sudaro apie 30 % paros, susiranda apie 60–70 % per parą suvartojamo maisto. Tuo tarpu pasyvaus maitinimosi laikotarpiu, kuri sudaro apie 70 % paros, žuvis susiranda apie 30–40 % maisto.

Nuolat besikeičiančios aplinkos kokybės sąlygos įtakoja žuvų bendrijų kaitą. Kaitos tempai, kryptis priklauso nuo klimatinių veiksnių (temperatūra, krituliai, vandens telkinio geografinė padėtis) bei antropogeninės veiklos (žvejyba, užterštumas biogeninėmis medžiagomis ir persistentiniais teršalais) (Žuvų bendrijų... 2013).

Vidutinio klimato zonoje oligomezotrofinių (patys švariausi, mažiausiai paveikti antropogeninės eutrofikacijos ežerai pvz. Platelių ež., Šventas, Baltis) ar mezotrofinių (vidutiniškai švarus ežerai, pvz. Dringio ež.) ežerų žuvų pagrindą sudaro lašišinės žuvys, stintos, seliavos, aukšlės (planktofagai), pūgžliai, karšiai, kuojos (bentofagai), lydekos ir ešeriai (plėšrūnai) (Žuvų bendrijų... 2013).

Lietuvoje upių ir ežerų ekologinė būklė ir potencialas vertinamas pagal žuvų bendrijų struktūros ir sudėties pokyčius žmogaus veiklos poveikyje, taikant Lietuvos žuvų indekso (LŽI) apskaičiavimo metodiką, LAND 85-2007. Upių ekologinę būklę parodo LŽI indeksas, ežerų ir tvenkinių – LŽIE.

Lietuvos žuvų indeksas (LŽI ir LŽIE) „apskaičiuojamas pagal įvairias žuvų ekologines grupes atspindinčių rodiklių verčių, kurios kinta priklausomai nuo antropogeninio poveikio rūšies ir jo stiprumo, santykį su etaloninėmis vertėmis“ (LAND 85-2007).

Žuvų ekologines grupes atspindintys rodikliai, pagal kuriuos apskaičiuojami LŽI ir LŽIE indeksai, tai (LAND 85-2007):

- NTOLE, n % – netolerantiškų (ypatingai jautrių) žuvų individų santykinis gausumas (%) bendrijoje;
- NTOLE sp – netolerantiškų žuvų rūšių skaičius (vnt.) bendrijoje;
- LITH, n % – litofilinių žuvų individų santykinis gausumas (%) bendrijoje;
- LITH, sp % – litofilinių žuvų santykinis rūšių skaičius (%) bendrijoje;
- RH, n % – reofilinių žuvų individų santykinis gausumas (%) bendrijoje;

- TOLE, n % – tolerantiškų (nejautrių) žuvų individų santykinis gausumas (%) bendrijoje;
- TOLE, sp % – tolerantiškų žuvų santykinis rūšių skaičius (%) bendrijoje;
- OMNI, n % – visaėdžių žuvų individų santykinis gausumas (%) bendrijoje.

Lietuvos vandenyse gyvenančių gėlavandenių ir praeivių žuvų skirstymas į ekologines grupes pagal Lietuvos žuvų indekso apskaičiavimo metodiką pateikiamas 1.9 lentelėje.

1.9 lentelė. Lietuvos vandenyse gyvenančių gėlavandenių ir praeivių žuvų priskirimas įvairioms ekologinėms grupėms LŽI ir LŽIE rodiklių verčių apskaičiavimui (LAND 85-2007)

Rūšis	Ekologinės grupės pagal:					
	Bendrą atsparumą	Mitybą (pagal objektą)	Mitybą (pagal vietą)	Buveinę	Neršto substratą	Migracinę elgseną
Aukšlė paprastoji	TOLE	TOLE	-	EURY	-	-
Ešerys	TOLE	-	W	EURY	-	-
Gružlys	-	-	B	RH	-	-
Karosas paprastas	TOLE	OMNI	B	LI	PHYT	-
Karosas sidabrinis	TOLE	OMNI	B	EURY	PHYT	-
Karšis	TOLE	OMNI	B	EURY	-	POTAD
Kirtiklis paprastas	-	-	B	EURY	PHYT	-
Kuoja	TOLE	OMNI	W	EURY	-	-
Lašiša	NTOLE	INSV	W	RH	LITH	LONG
Lydeka	-	PISC	W	EURY	PHYT	-
Lynas	TOLE	OMNI	B	LI	PHYT	-
Plekšnė	-	-	B	LI	-	-
Pūgžlys	-	-	B	EURY	-	-
Saulazuvė	-	OMNI	W	LI	PHYT	-
Strepetys	-	OMNI	W	RH	LITH	-
Upėtakis	NTOLE	INSV	W	RH	LITH	-

čia: „NTOLE – ypač jautrios žuvys; TOLE – nejautrios žuvys; OMNI – visaėdės žuvys; INSV – žuvys, mintančios vabzdžiais ir dugno bestuburiais; PISC – žuvys, mintančios kitomis žuvimis; W – žuvys, plaukiojančios vandens stulpo viduryje; B – dugninės žuvys; EURY – euritopinės žuvys, gyvenančios tiek tekančiame, tiek ir stovinčiame vandenyje; RH – reofilinės (upinės) žuvys, gyvenančios tik tekančiame vandenyje; LI – limnofilinės (ežerinės) žuvys, gyvenančios tik stovinčiame vandenyje; PHYT – neršiančios ant augalų žuvys; LITH – neršiančios ant akmenų ir žvirgždo žuvys; POTAD – potadrominės žuvys, migruojančios upės baseino ribose; LONG – dideliais atstumais (upė–jūra) migruojančios žuvys“.

Lietuvos žuvų indekso (LŽI) kaitos ribos skirtingose ekologinio potencialo klasėse yra: labai gera >0,94; gera 0,94–0,72; vidutinė 0,71–0,4; bloga 0,39–0,11; labai bloga <0,11. Lietuvos žuvų indekso kaitos ribos visų tipų ežerams (LŽIE) skirtingose būklės klasėse yra: labai gera >0,86; gera

0,87–0,61; vidutinė 0,60–0,37; bloga 0,36–0,18; labai bloga <0,18 (Staponkus *ir kt.* 2014).

Gamtos tyrimų centro mokslininkai atliko 128-ių upių vietų ir 38-ių ežerų ekologinės būklės tyrimus. Pagal LŽI daugiausia tyrinėtų upių vietų priskirta blogos (43) ir vidutinės (34) būklės ekologinei klasei, dauguma šių vietų vagų reguliuotos, kas lemia prastesnį ekologinį potencialą. Dvyliką upių vietų priskirtos labai blogos ekologinės būklės klasei, iš jų 10-yje vietų pakeistas upės hidrologinis režimas, papildomas rizikos veiksnys – pasklidoji ir sutelktoji tarša. Tuo tarpu visų labai geros (6) ir daugumos geros (31) ekologinės būklės upių vietų vagos yra natūralios, šalia nėra sutelktosios ar pasklidosios taršos šaltinių. Pagal LŽIE daugiausia tyrinėtų ežerų buvo priskirta geros (16) ir vidutinės (14) būklės klasei, jiems būdingas fragmentinis arba ištisinis priekrantės užžėlimas. Labai gero ekologinio potencialo klasei priskirti 5 ežerai, tai neužteršti, skaidrūs, miškingose vietovėse esantys didieji Lietuvos ežerai, kurių nuotėkis nereguliuojamas. Blogos (1) ir labai blogos (2) ekologinės būklės ežerams būdingas ištisinis priekrantės užžėlimas, neskaidrus vanduo, pasklidoji tarša (Ichtiofaunos tyrimai... 2013).

Staponkus *ir kt.* (2014) nustatė, kad Kairių sąvartyno drenažo kanalo vandens ekologinis potencialas prastas (LŽI 0,07–0,17), Ginkūnų tvenkinio vandens ekologinis potencialas – vidutinis (LŽIE 0,45), Švedės upelio vandens ekologinė būklė nepastovi, upės atkarpoje arčiau Ginkūnų tvenkinio – prasta, tuo tarpu toliau vidutinė (LŽI 0,15–0,35).

1. 4. Sunkiųjų metalų kaupimasis vandens ekosistemose

Sunkiųjų metalų kilmė gali būti gamtinė ir antropogeninė. Vandens telkinių kokybė yra viena svarbiausių aplinkosauginių problemų Lietuvoje. Lietuvos vandens telkinių pagrindiniai taršos šaltiniai yra komunalinis ūkis ir pramonė, dažniausiai šios šakos lemia taškinę taršą, žemės ūkis bei sąvartynai – pasklidąją taršą, o pavieniai pavojingų medžiagų taršos avariniai atvejai – lokalinę taršą (Liekytė *ir kt.* 2011).

Sunkieji metalai (SM) iš gamtinės ir antropogeninės kilmės taršos šaltinių patenka į vandens ekosistemas, kur tampa vienu pavojingiausiu gamtinių vandenų taršos elementu, kadangi keičia vandens cheminę sudėtį, sutrikdo biologinę pusiausvyrą, tai pat gali įtakoti nenusipėjamus ir negrįžtamus hidroekosistemos pokyčius (Vosyliienė, Kazlauskienė 2004).

Varis, švinas, cinkas, kadmis, nikelis, chromas tai patvarūs teršalai, plačiai naudojami žmogaus ūkinėje veikloje. Pagal Europos Parlamento ir Tarybos direktyvą 2000/60/EB šie sunkieji metalai priskiriami prie prioritetinių pavojingų medžiagų.

Patvarūs teršalai patekę į aplinką išlieka nesuirę dešimtis ar net šimtus metų (Wuana, Okieimen 2011). Pavyzdžiui, trumpiausią skilimo pusperiodį turi ²¹⁰Pb izotopas (apie 22 m.), kiti

švino izotopai neskykla šimtus metų. Švino pusinės eliminacijos iš kraujo periodas trunka apie mėnesį, iš raumenų – pusantro mėnesio, iš kaulų 25–30 metus (Renieri *et al.* 2014).

Sunkieji metalai patekę į vandens telkinius tampa persistentiniai teršalais, kadangi ilgai nesuyra, kaupiasi organizmuose, ilgai išlieka maisto grandinėje, yra toksiški, kancerogeniški ir mutageniški (Kaunelienė, Mačiulytė 2003; Govind, Madhuri 2014).

Vario (Cu) taršos šaltiniai: kalnakasyba, plieno gamyba ir lydymas, akmens anglies deginimas, įvairūs pramonės sektoriai (tekstilės, medienos, popieriaus pramonė), guminių ir plastikinių gaminių gamyba (Sunkieji metalai... 1999). Sąvartynuose šalinami dažai, baldai, butelių kamštukai, insekticidai, medikamentai, kosmetikos priemonės – Cu šaltiniai filtrate (Raisi *et al.* 2014).

Švino (Pb) taršos šaltiniai: gamtiniai – erozija, išplovimas į vandenynus; antropogeniniai – žemės ūkis, kalnakasyba, švino lydymas, pramonė (švino akumuliatoriai, dažai, plastikas), energetika (atominės elektrinės), gamyba (odos ir odos dirbinių, kokso ir rafinuotos naftos produktų gamyba) ir transportavimas (Sunkieji metalai... 1999). Seniau pastatuose buvo įrengiami švininiai ir variniai vandentiekio vamzdžiai, kai kur jie išlikę iki šių dienų (Raisi *et al.* 2014).

Pagrindinis *chromo (Cr)* taršos šaltinis – pramonė (plieno gamyba, metalų ir plastmasių padengimas (chromavimas), odos apdirbimas, medienos impregnavimas, dažymas, spausdinimas, fotografija, farmacija) (Govind, Madhuri 2014).

Sunkieji metalai patekę į vandens ekosistemas migruoja iš vienos sferos į kitą (litosferos, hidrosferos, biosferos) arba akumuliuojasi joje. Metalų migraciją gamtoje užtikrina vandens terpė, kadangi dauguma metalų junginių yra tirpūs (Govind, Madhuri 2014).

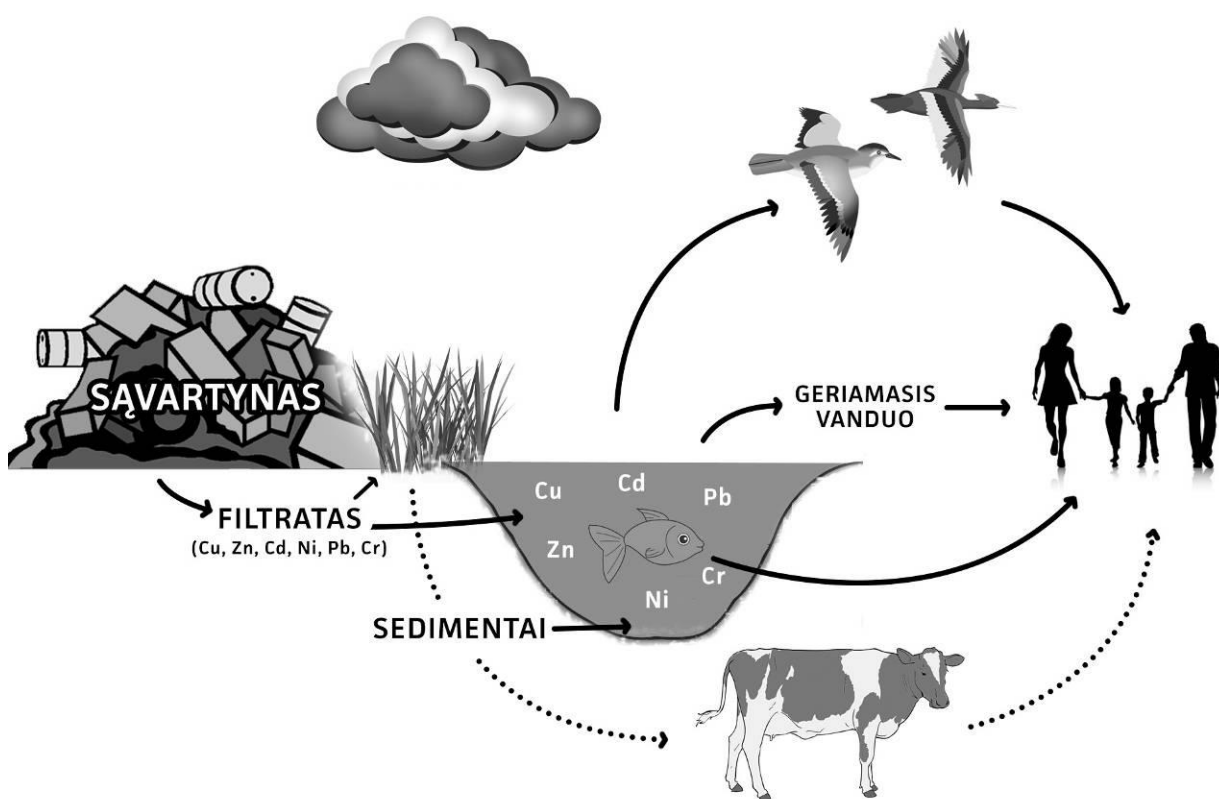
Vandens terpėje SM sutinkami joninėje formoje, pavyzdžiui: Cu^{2+} , Cu^+ , Fe^{3+} , Fe^{2+} , Hg^+ , Pb^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Cr^{3+} , Cr^{5+} – (stipriai toksiškas), Cr^{6+} . Metalų joninės formos, jų kiekis, redukcijos laipsnis priklauso nuo aplinkos pH, Eh redokso potencialo, bei nuo anijonų (formuoja netirpias druskas arba bazines) kiekio aplinkoje (Sunkieji metalai... 1999).

Sunkieji metalai iš antropogeninės taršos ar natūralių (gamtinių) šaltinių patenka į paviršinius, gruntinius ir požeminius vandenis ir taip išplinta dideliais atstumais. Ištirpę SM pernešami vandeniui arba tampa sudėtine suspenduotų nuosėdų dalimi, dalis SM vandens garų pavidalu išgaruoja į atmosferą (Mockutė *ir kt.* 2011).

Vandens ekosistemose SM nusėda (absorbuojasi) ant nelygių paviršių, taip pat yra akumuliuojami augalų, dumblių, smulkių vandens organizmų arba žuvų. Biosferoje (organizmuose) akumuliavęsi SM keliauja mitybos grandinėse. Kadangi sunkiųjų metalų skilimo pusperiodis yra gana ilgas jie kaupiasi organizmuose (Govind, Madhuri 2014).

Mitybos grandinė – skirtingų trofinių lygių (gamintojai (autotrofai), vartotojai (heterotrofai), skaidytojai (saprotrofai)) organizmų, kuriuos sieja mitybiniai ryšiai ir energijos srautai, grandinė. Kiekviena grandinės grandis sieja kokius nors gyvuosius organizmus, kurie yra kitų grandžių maistas (Parlak *et al.* 1999). Apibendrinta vandens ekosistemos mitybos grandinės schema yra pateikiama 1.6 paveiksle.

Žinoma, kad SM, dėl lėto pašalinimo, kaupiasi gyvuosiuose organizmuose ir keliauja mitybos grandinėje iš žemesnio trofinio lygmens į aukštesnį. Todėl svarbu nustatyti, kaip SM keliauja mitybos grandinėje aukštyn, kadangi viena iš galutinių grandinės grandžių gali būti žmogus (Govind, Madhuri 2014).



1.6. pav. Teršalų migracija mitybos grandinėje (Autorės schema)

Žinoma, kad dėl akumuliacijos sunkiųjų metalų koncentracijos yra didesnės augaluose ir hidrobiontuose, nei jų gyvenamojoje aplinkoje ar vandenyje. Nustatyta, kad SM koncentracija vėžiagyviuose yra 1000 kartų didesnė negu jų koncentracija vandenyje, ir šimtą tūkstančių kartų didesnė žuvyse (Parlak *et al.* 1999).

Nustatyta, kad dumbliai efektyviai akumuliuoja Zn ir Cd. Kaupimasis priklauso nuo sunkiųjų metalų koncentracijos vandenyje ir medžiagų apykaitos (metabolizmo) greičio dumbliuose (Vijily, Britto 2007).

Cinko (Zn) taršos šaltiniai: gamtiniai – kalnakasyba; antropogeniniai – miestų buitinės nuotekos (cinkuoti vamzdžiai) (Sunkieji metalai... 1999), maisto atliekos, padangų deginimas, pramonė (cinko baterijos, fluorescencinės lempos) (Raisi *et al.* 2014).

Kadmio (Cd) taršos šaltiniai: gamtiniai – ugnikalnių išsiveržimai, miškų gaisrai, dirvožemio erozija; antropogeniniai – fosfatinės trąšos, rafinuoti naftos produktai (Govind, Madhuri 2014), kadmio baterijos ir akumuliatoriai, galvanizavimas, taip pat Cd yra šalutinis Zn ir Cu metalurgijos produktas (Sunkieji metalai... 1999).

Nikelio (Ni) taršos šaltiniai: gamtiniai – uolienų dūlėjimas, gaisrai; antropogeniniai – lydymas iš nikelio rudos, nerūdijančio plieno gamyba (Sunkieji metalai... 1999), nikelio baterijos ir akumuliatoriai, nikelioavimas (galvanizavimas) (Raisi *et al.* 2014).

Augalai augantys šalia sąvartynų akumuliuoja sunkiuosius metalus. Pankhurst *et al.* (1997) net 15 metų po sąvartyno uždarymo augalų audiniuose, augančių šalia sąvartyno, nustatė didesnius Cd ir Ni kiekius negu augaluose augančių santykinai švarioje teritorijoje.

Sunkieji metalai yra linkę kauptis sedimentuose, kurie tampa pastoviu susikaupusių metalų taršos šaltiniu. Žuvys, mintančios priedugnyje, patenka į padidintos taršos zoną, kur susiduria su didesnėmis metalų koncentracijomis, ko pasekoje tampa labiau pažeidžiamos antropogeniniam poveikiui (Agbozu *et al.* 2007).

1.4.1. Sunkiųjų metalų poveikis žuvims

Tarša sunkiaisiais metalais gali turėti neigiamą poveikį aplinkos kokybei, organizmų rūšinei įvairovei ir ekosistemų pusiausvyrai. Žuvys yra plačiai naudojamos kaip indikatorinės rūšis, siekiant įvertinti vandens ekosistemų būklę, kadangi teršalai keliauja maisto grandinėje, o žuvys užima aukščiausią trofinį lygmenį hidroekosistemoje (Yousafzai *et al.* 2010).

Sunkieji metalai Cu, Zn, Fe, Co, Mg yra būtini daugeliui organizmų, jie įeiną į baltymų sudėtį, dalyvauja įvairiuose reakcijose, tačiau didesnės koncentracijos organizmams yra toksiškos (Bury *et al.* 2003).

Varis (Cu) yra gyvybiškai svarbus elementas gyviesiems organizmams, įskaitant ir žuvis, jų normaliam vystymuisi ir metabolizmui (Govind, Madhuri 2014). Trūkstant Cu mažėja gyvūnų svoris, sustoja augimas. Mažiausiai 12 didelių baltymų savo struktūroje turi varį. Žuvyse varis dalyvauja daugiau nei 30-ties fermentų funkcionavime, bei angliavandenių metabolizmo procese,

taip pat jis reikalingas hemoglobino, hemacionino formavimuisi, bei įeina į deguonį pernešančių pigmentų sudėtį. Reikalingas paros Cu kiekis žuvims yra labai mažas, tik 1–4 µg/g sausos masės, kai reikalingas kiekis viršijamas Cu gali tapti vienu iš labiausiai toksiškų sunkiųjų metalų (Woodward *et al.* 1995). Nustatyta, kad Cu yra toksiškesnis negu Cd ir Zn (Rajkumar *et al.* 2011).

Vario toksiškumas hidrobiontams didėja rūgščiame (minkštame) vandenyje. Ūminis vario toksiškumas (48–96 val. LC50 ar EC50) lašišinėms žuvims (48 val.) yra nuo 10 µg/l iki 900 µg/l, tuo tarpu karpinėms žuvims (96 val.) nuo 20 µg/l iki 20 000 µg/l (Sunkiųjų metalų... 2013). Kai organizmas nesugeba pašalinti Cu, jis kaupiasi (akumuliuojasi) kepenyse (hepatocitų lizosomose, mitochondrijose), inkstuose, tai pat žuvų ikreliuose, tokiu būdu sukelia embrionų pažaidas. Žuvies mirtingumas yra tiesiogiai susijęs su žiaunose prisijungusio Cu kiekiu. Nustatyta, kad žuvis ir vėžiagyviai yra nuo 10 iki 100 kartų jautresni vario toksiniam poveikiui nei žinduoliai (Solomon 2009).

Atlantinė lašiša (lot. *Salmo salar*) jaučia 2 µg/l Cu koncentraciją minkštame vandenyje (druskų turi mažai ar neturi visai (<20 mg/l)) ir vengia jos. Žinoma, kad toks Cu kiekis atlantinei lašišai sudaro apie 10 % mirtinos dozės.

Didėjant Cu koncentracijai vandenyje upėtakis (lot. *Salmo trutta*) nebeminta. Kuo didesnis Cu kiekis poveikio metu, tuo lėčiau žuvis grįžta prie įprastos mitybos. Tai susiję su uoslės (kvapo) pojūčių pokyčiais ir svarbia jų įtaka mitybiniams žuvų įpročiams. Varis yra antras sekoje, pagal sunkiųjų metalų kaupimosi greitį uoslės epitelio ląstelėse: Hg>Cu>Zn>Pb (Sunkiųjų metalų... 2013).

Didelės Cu dozės suaugusioms žuvims įtakoja kraujo rodiklių charakteristikų pokyčius, kepenų ir inkstų pažaidas, žiaunų ir odos histopatologinius pakitimus (Govind, Madhuri 2014). Ankstyvuojų žuvų vystymosi laikotarpiu sukelia kardiorespiracinės sistemos pokyčius, įvairių tipų apsigimimus, sutrikdo augimą (Liekytė *ir kt.* 2011).

Cinkas (Zn) priklauso grupei mikroelementų, kurie yra būtini tinkamam organizmo funkcionavimui. Cinkas labai mažais kiekiais reikalingas gyvūnams ir augalams (Govind, Madhuri 2014). Tai antras pagal reikšmingumą žuvims elementas, už jį svarbesni tik geležies kiekiai. Cinkas konkuruoja su Fe ir Cu dėl patekimo (surišimo) vietų, todėl sukelia šių mikroelementų trūkumą organizme, kuris gali pasireikšti anemija (Sunkiųjų metalų... 2013).

Labiausiai toksiškas žuvims yra tirpus cinkas. Cinko toksiškumas vandens organizmams taip pat kaip Cu priklauso nuo vandens kietumo, mažėjant kietumui toksiškumas didėja ir atvirkščiai. Didesni Zn kiekiai pablogina vystymąsi, lemia pusiausvyros sutrikimus (žuvis plaukia nedinamiškai), kosėjimą, sumažėjusį augimą, nejautrą ar net mirtingumą (Bury *et al.* 2003).

Ūminis Zn toksiškumas (48–96 val. LC50 ar EC50) lašišinėms žuvims (48 val.) yra nuo 50 µg/l iki 7 000 µg/l, tuo tarpu karpinėms žuvims (96 val.) nuo 400 µg/l iki 50 000 µg/l, kuojoms (lot. *Rutilus rutilus*) <1000 µg/l (Sunkiųjų metalų... 2013).

Atlantinė lašiša reaguoja į 54 µg/l Zn koncentraciją vandenyje ir jos vengia. Ši koncentracija atlantinei lašišai sudaro apie 10 % mirtinos dozės. Nustatyta, kad Zn pagal metalų akumuliacijos greitį uoslės epitelio ląstelėse yra trečias: Hg>Cu>Zn>Pb (Sunkiųjų metalų... 2013).

Nikelis (Ni) mažais kiekiais reikalingas raudonųjų kraujo kūnelių gamybai, didesni jo kiekiai gyviems organizmams kenksmingi (Govind, Madhuri 2014). Nikelio toksiškumas priklauso nuo cheminės formos, patekimo būdo į individą, jo kiekio ir ekspozicijos (veikimo) trukmės. Mažiau tirpios nikelio formos (nikelio sulfidas, nikelio oksidas) yra pavojingesnės organizmams už labiau tirpias (Bubb, Lester 1996). Nikelis kaupiasi vandens organizmuose, tačiau mitybinėje grandinėje pereinant į aukštesnį lygmenį jo koncentracija nedidėja (Govind, Madhuri 2014).

Ūminis Ni toksiškumas (96 val. LC50) vaivorykštiniam upėtakiui (lot. *Oncorhynchus mykiss*) yra 19 300 µg/l, ešeriui (lot. *Perca fluviatilis*) 48 100 µg/l, kuojai (*Rutilus rutilus*) 48 700 µg/l, strepečiiui (lot. *Leuciscus leuciscus*) 61 200 µg/l (Svecevičius 2010).

Nikelis sukelia žiaunų epitelio destruktiją, dėl ko mažėja žiaunų ventiliacijos pajėgumai, o tai sukelia hipoksiją ir mirtį. Svecevičius (2010) nustatė, kad Ni toksiškumas labiau susijęs su Ni sukeltais kvėpavimo sutrikimais, nei su jonų reguliacijos sutrikimais.

Švinas (Pb) nėra būtinas normaliai hidrobiontų fiziologijai, jis yra potencialiai toksiškas (Grosell *et al.* 2006). Švino toksiškumas hidrobiontams priklauso nuo vandens kietumo, mažėjant kietumui toksiškumas didėja ir atvirkščiai. Nustatyta, kad Pb yra toksiškesnis negu Cu, Cd ir Zn (Rajkumar *et al.* 2011).

Švinas patenka į žuvų organizmą su maistu arba per žiaunas, prieš tai prasiskverbdamas per gleivinę. Pb ypač gerai akumuliuojamas tada, kai racione trūksta kalcio. Daugiausia Pb akumuliuoja dugno nuosėdomis mintantys hidrobiontai. Vandens organizmai geriau pasisavina Pb²⁺ joninę formą, kai Pb vandenyje nesudaro kompleksų. Žuvų raumenyse daugiausiai kaupiasi biometilintas švinas (tetrametilšvinas), jis sudaro 10–24 % viso Pb kiekio šiame audinyje. Pagal metalų akumuliacijos greitį uoslės epitelio ląstelėse Pb yra ketvirtoje vietoje: Hg>Cu>Zn>Pb (Sunkiųjų metalų... 2013).

Ūminis Pb toksiškumas (48–96 val. LC50 ar EC50) lašišinėms žuvims yra nuo 1 000 µg/l iki 500 000 µg/l, tuo tarpu karpinėms žuvims nuo 2 000 µg/l iki 500 000 µg/l, upėtakiams <235 000 µg/l (Sunkiųjų metalų... 2013).

Didžiausia Pb koncentracija ūminio poveikio metu nustatoma žiaunose, tačiau didžiausias Pb kiekis, tenkantis kūnui ilgalaikio poveikio metu, aptinkamas kauluose. Todėl galima teigti, kad Pb, patekęs į žuvies organizmą pro žiaunas, vėliau patenka į vidinius organus, kraują, ir per laiką susikaupia kauliniame audinyje (Grosell *et al.* 2006).

Didelės Pb dozės sumažina žuvų aktyvumą, kūno masės prieaugį, pažeidžia kepenis, inkstus, slopina imuninę sistemą. Ūminis Pb poveikis sukelia nervų degradaciją, kaulų destruktiją, sutrikdo reprodukciją ir embrioninį vystymąsi (Govind, Madhuri 2014).

Chromas (Cr) vandens aplinkoje turi du valentingumo laipsnius +3 ir +6. Trivalentis chromas yra būtinas mikroelementas hidrobiontuose (reguliuoja baltymų, angliavandenių ir lipidų metabolizmą), sunkiai tirpsta vandenyje ir yra mažiau toksiškas. Šešiavalentis chromas – kancerogeninis agentas, kuris nėra būtinas mikroelementas hidrobiontų organizme. Šešiavalentis chromas gerai tirpsta vandenyje ir yra stiprus oksidacinis agentas rūgštinėje aplinkoje (Ciftci *et al.* 2010).

Ūminis Cr^{+6} toksiškumas lašišinėms žuvims (48–96 val. LC50 ar EC50) kietame vandenyje yra nuo 30 000 $\mu\text{g/l}$ iki 50 000 $\mu\text{g/l}$, tuo tarpu minkštame vandenyje 20 $\mu\text{g/l}$, Cr^{+3} kietame vandenyje 117 000 $\mu\text{g/l}$. Ūminis Cr^{+3} toksiškumas karpinėms žuvims (96 val. LC50) kietame vandenyje nuo 29 000 $\mu\text{g/l}$ iki 67 400 $\mu\text{g/l}$, tuo tarpu minkštame vandenyje 5 000 $\mu\text{g/l}$ (Sunkiųjų metalų... 2013).

Chromo toksiniai efektai hidrobiontams: sumažėjęs aktyvumas, suprastėjusi mityba, pusiausvyros sutrikimai, imuninės sistemos slopinimas, žiaunų pakitimai, inkstų ir kepenų pažeidimai, genotoksinis poveikis (Ciftci *et al.* 2010).

Kadmis (Cd) nėra būtinas mikroelementas hidrobiontuose. Didelius Cd kiekius savo audiniuose akumuliuoja augalai, žuvus augalams Cd vėl patenka į aplinką (Okocha, Adedeji 2011). Nors Cd yra toksiškesnis nei Zn (Rajkumar *et al.* 2011) kartu metalai veikia sinergetiškai, Zn didina Cd toksiškumą (Okocha, Adedeji 2011). Kadmis joninėje formoje yra labiau toksiškas vandens organizmams negu Cd įeinantis į mineralų sudėtį (EPA... 2001).

Kadmio bioakumuliacija hidrobiontuose kelia susirūpinimą, dėl greito Cd kaupimosi ir lėto pašalinimo iš organizmo. Pasisavintas su maistu Cd pašalinama iš organizmo greičiau nei per žiaunas pasisavintas Cd (Okocha, Adedeji 2011).

Ūminis Cd toksiškumas (48–96 val. LC50 ar EC50) lašišinėms žuvims yra nuo 1,1 $\mu\text{g/l}$ iki 26 $\mu\text{g/l}$, tuo tarpu karpinėms žuvims nuo 2 000 $\mu\text{g/l}$ iki 46 000 $\mu\text{g/l}$, upėtakio lervutėms 10 $\mu\text{g/l}$ (EPA... 2001).

Žuvyse Cd sukelia kalcio trūkumą, patologinius kepenų ir žiaunų pakitimus, skatina akmenų formavimąsi inkstuose, įtakoja stuburo deformaciją, sutrikdo vystymąsi (Okocha, Adedeji 2011).

Sunkiųjų metalų poveikis žuvims yra įvairialypis, jo mastas priklauso nuo teršalo dozės, kuri akumuliuojasi organizme laikui bėgant. Kaupiantis sunkiesiems metalams pakinta žuvų imuninės sistemos reakcijos, mažėja atsparumas ligoms, išsenka organizmo adaptacinės galimybės (pusiausvyros ir uoslės sutrikimai (žuvis neranda maisto)), pakinta kraujo rodiklių charakteristikos, pasireiškia inkstų, kepenų, žiaunų patologijos, pažeidžiamos atskiros organizmo sistemos (nervų sistema), sutrikdoma reprodukcija ir vystymasis (Idzelis *ir kt.* 2010).

1.4.2. Sunkiųjų metalų kaupimasis žuvų audiniuose

Žuvis pasižymi geromis sunkiųjų metalų ir organinių junginių akumuliacinėmis savybėmis, kurie jų organizme sugeba išlikti ilgam. Žuvis pasisavina sunkiuosius metalus dviem keliais: per vandenį (per žiaunas ir odą) bei su maistu (Bury *et al.* 2003).

Esant normaliam metabolizmui, organizmas pasisavina reikiamus metalus, tačiau per didelis pagrindinių metalų kiekis gali būti toksiškas. Žinoma, kad ne visi sunkieji metalai yra reikalingi, palaikant tinkamą organizmo veiklą.

Sunkieji metalai kaupiasi žuvų žiaunose, inkstuose, kauluose (Grosell *et al.* 2006), odoje, kepenyse, raumenyse, žarnyne ir netgi akyse, sukeldami regos sutrikimus (Obodo 2004).

Skirtingi audiniai skirtingai akumuliuoja atskirus metalus. Sunkiųjų metalų kaupimas žuvyse priklauso nuo jų koncentracijos žuvų gyvenamojoje aplinkoje (vandenyje, sedimentuose), ekspozicijos (veikimo) trukmės, vandens druskingumo (kietumo), pH, temperatūros (Canli, Atli 2003). Susikaupusių metalų kiekis žuvų audiniuose taip pat priklauso nuo specifinių organizmo savybių, tokių kaip: gebėjimas pasisavinti metalus, mitybos įpročių, būdo, žuvies amžiaus bei lipidų kiekio audiniuose (Ezeonyejiaku *et al.* 2012).

Daugelio toksikologinių tyrimų rezultatai rodo, kad žuvis ankstyvuoju vystymosi laikotarpiu yra labai jautrios teršalams (Kazlauskienė *ir kt.* 2004; Svecevičius 2004).

Vario (Cu) toksiškumo testas (96 val. veikiamo 0,56 mg/l) parodė, kad taškuotojo žalčiagalvio (lot. *Channa punctatus*) audiniuose ir organuose susikaupusią Cu koncentraciją galima išdėstyti mažėjančia tvarka: žiaunos > inkstai > kraujas > kepenys > raumenys (Shukla *et al.* 2007).

Moksliniai tyrimai parodė, kad natūralioje gamtinėje aplinkoje, Oderio upės žemupyje (Bochenek *et al.* 2008) ir Lenkijos pamario ežeruose (Rajkowska *et al.* 2008), gyvenančios kuojos (lot. *Rutilus rutilus*) didžiausias Cu koncentracijas sukaupia kepenyse, toliau seka inkstai ir žiaunos, o mažiausios koncentracijos nustatomos raumenyse. Marcinkowska ir Dobicki (2014)

nustatė Cu kaupimosi tendenciją ešerio (lot. *Perca fluviatilis*), gyvenančio Baričio upėje (dešinysis Oderio intakas) audiniuose ir organuose, kurias pagal koncentraciją atitinkamai išdėstė mažėjančia tvarka: kepenys > blužnis > gonados > žiaunos > žarnynas > raumenys.

Moksliniai tyrimų duomenys rodo, kad didžiausia Cu koncentracija ūminio poveikio metu nustatoma žiaunose, tačiau didžiausias Cu kiekis tenkantis kūnui ilgalaikio poveikio metu aptinkamas kepenyse.

Cinkas (Zn) gamtinėje aplinkoje kuojos audiniuose akumuliuojasi tokia seka: žiaunos > inkstai > kepenys > raumenys (Bochenek *et al.* 2008; Rajkowska *et al.* 2008). Tokia Zn kaupimosi tendencija nustatyta ir karpio (lot. *Cyprinus carpio*) audiniuose, skiriasi tik sukauptas metalo kiekis (Protasowicki *et al.* 2007).

Paveikus taškuotąjį žalčiagalvį 18,62 mg/l cinko koncentracija (96 val.) jo audiniuose ir organuose susikaupusią Zn koncentraciją galima išdėstyti tokia mažėjančia tvarka: inkstai > kraujas > žiaunos > kepenys > raumenys (Shukla *et al.* 2007).

Nikelio (Ni) savaitės (veikiama 7,2 mg/l) ir ilgalaikis (8 savaitės) toksiškumo testas (veikiama 3,6 mg/l) parodė, kad Nilo tilapijos (lot. *Oreochromis niloticus*) organuose Ni kaupiasi tokia tvarka: kepenys > žiaunos > raumenys. Nustatyta, kad ilgėjant ekspozicijos trukmei kepenyse ir žiaunose didėja sukauptas Ni kiekis (Hadeed *et al.* 2008).

Mokslininkai (Radwan *et al.* 1990) analizavo Ni kaupimosi tendencijas gamtinėje aplinkoje (Piasečno ežeras, priskiriamas labai švarių ežerų klasei) karšio (lot. *Abramis brama*), lyno (lot. *Tinca tinca*), lydekos (lot. *Esox lucius*) ir ešerio (lot. *Perca fluviatilis*) audiniuose. Lynas, lydeka ir ešeris didžiausias Ni koncentracijas sukaupia kauluose, toliau seka kepenys ir mažiausios koncentracijos nustatomos raumenyse. Tuo tarpu karšis raumenyse akumuliuoja didesnius Ni kiekius nei kepenyse.

Švinas (Pb) gamtinėje aplinkoje karšio, lyno, lydekos, ešerio audiniuose kaupiasi tokia seka: kaulai > raumenys > kepenys (Radwan *et al.* 1990). Kuoja daugiausiai Pb sukaupia žiaunose, toliau seka inkstai ir kepenys, o mažiausios koncentracijos aptinkamos raumenyse (Bochenek *et al.* 2008; Rajkowska *et al.* 2008).

Ahmed ir Bibi (2010) atliko ilgalaikį 42 dienų Pb toksiškumo testą su indiniu karpium (lot. *Catla catla*). Paveikus karpį skirtingomis švino koncentracijomis (1–10 µg/l) jo audiniuose ir organuose susikaupusią Pb koncentraciją galima išdėstyti tokia mažėjančia tvarka: oda > kepenys > žiaunos > akys > raumenys > žarnynas.

Chromas (Cr) gamtinėje aplinkoje, Olifantso upėje (draustinis), gyvenančio Afrikinio šamo (lot. *Clarias gariepinus*) organuose kaupėsi šia tvarka: žiaunos > kepenys > oda > raumenys (Oldewage, Marx 2000).

Atlikti ūminio toksiškumo testai (96 val. veikiama 4 mg/l) parodė, kad šešiavalentis chromas (Cr^{+6}) Nilo tilapijos organuose akumuliuojasi tokia seka: kepenys > žiaunos > raumenys (Ciftci *et al.* 2010). Yilmaz *et al.* (2010) nustatė, kad po 96 val. ekspozicijos 10, 15, 20, 25, 30 µg/l šešiavalenčio chromo koncentracijose mėlynoji tilapija (lot. *Oreochromis aureus*) Cr^{+6} kaupia šia tvarka: žiaunos > oda > raumenys.

Kadmio (Cd) toksiškumo testas (96 val. veikiama 11,80 mg/l) parodė, kad taškuotojo žaliagalvio audiniuose ir organuose susikaupusią Cd koncentraciją galima išdėstyti tokia mažėjančia tvarka: žiaunos > kraujas > kepenys > inkstai > raumenys (Shukla *et al.* 2007).

Moksliniai tyrimai parodė, kad gamtinėje aplinkoje gyvenančių ešerių audiniuose Cd kaupiasi tokia seka: inkstai > žiaunos > kepenys > raumenys (Protasowicki *et al.* 2007). Tuo tarpu kuoją kepenyse sukaupia didesnius Cd kiekius nei žiaunose (Bochenek *et al.* 2008; Rajkowska *et al.* 2008).

Iš atliktų tyrimų matyti, kad sunkiųjų metalų akumuliacija priklauso nuo rūšies individualaus gebėjimo kaupti sunkiuosius metalus, atskirų organų funkcionavimo ir individualių metalo charakteristikų.

1.5. Modeliai įvertinantys sunkiųjų metalų kaupimąsi žuvyse

Sunkiųjų metalų kaupimąsi žuvyse apibūdina šie procesai: bioakumuliacija, biokoncentracija ir biomagnifikacija.

Bioakumuliacija – procesas, kuriuo metu cheminė medžiaga patenka į žuvis tiesiogiai iš vandens (per žiaunas arba odos epitelį) arba su maistu ir kaupiasi.

Biokoncentracija – procesas, kuriuo metu žuvis pasisavina cheminius junginius iš vandens ir tuo pačiu metu išskiria atgal į vandenį.

Biomagnifikacija – bioakumuliacijos ir biokoncentracijos rezultatas, kai cheminės medžiagos kiekis žuvies kūno audiniuose ir organuose padidėja, cheminei medžiagai pereinant iš vieno trofinio lygmens į kitą.

Biomagnifikacijos išraiška per mitybos grandinę vertinama skirtinguose trofinėse lygmenyse. Skaičiavimas atliekamas pagal aukščiau įvertintą augimo konstantą, bei mitybos grandinės pernešimo koeficientą, skirtinga kiekviename lygmenyje (Rand, Petrocelli 1995).

Biokoncentracijos faktorius (angl. *Bioconcentration factor*, BCF) – cheminių teršalų tendencijos kauptis žuvų ar kitų vandens organizmų (hidrobiontų) audiniuose matas, tai bedimensis dydis, aprašantis laipsnį, kuriuo teršalas gali būti koncentruojamas organizmo audiniuose iš vandens aplinkos. Biokoncentracijos faktorius gali būti vertinamas kiekvienoje mitybos grandinės pakopoje. Kuo ilgesnė mitybos grandinė, tuo labiau didėja ir ksenobiotikų (antropogeninės, hidrofobinės, besikaupiančios cheminės medžiagos) koncentracija hidrobiontuose, taigi vyksta cheminių medžiagų koncentracijos didinimas – biomagnifikacija (Bioakumuliacija... 2014).

Sunkiųjų metalų pasiskirstymo hidrobiontuose matavimas, modeliavimas ir prognozavimas sudėtingas, kadangi žuvis gyvena nuolat kintančiomis aplinkos sąlygomis. Žuvis minta įvairiai užterštu maistu, auga, aktyviai transportuoja (pasisavina ir šalina) ir transformuoja cheminius junginius savo audiniuose.

Sunkiųjų metalų kaupimosi žuvyse modeliai skirstomi į masių balanso (*termodinaminis*) ir procesų greičio (*kinetinis*) modelius. Modeliai padeda atvaizduoti bei prognozuoti ksenobiotikų *pasiskirstymo pusiausvyrą* žuvų organizme bei *dinamiką laiko atžvilgiu* (Clark *et al.* 1990).

Kinetiniai modeliai – matematinė toksikokinetikos išraiška. Toksikokinetiniai modeliai aprašo cheminių medžiagų poveikį organizmams ir yra taikomi farmakologijoje (medicinoje) ir ekotoksikologijoje (cheminėje ekologijoje). Šiuose modeliuose žuvies audiniuose susikaupianti cheminių medžiagų koncentracija aprašoma medžiagos patekimo ir pašalinimo iš organizmo greičio pusiausvyra, išreikšta greičio konstantomis (Bioakumuliacija... 2014).

Nagrinėjami procesais:

- adsorbicija;
- pasiskirstymas;
- biotransformacija (metabolizmas);
- biomagnifikacija;
- ekskrecija (šalinimas).

Išskiriami du pagrindiniai toksikokinetinių modelių tipai:

- *Vienos talpos biokoncentracijos modelis*
- *Dviejų talpų biokoncentracijos modelis*

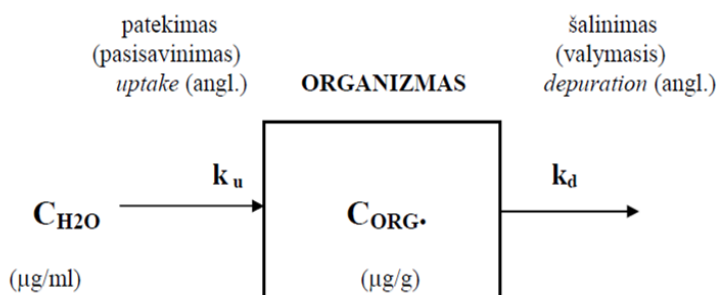
Talpa (skyrius, sekcija) – cheminė medžiagos kiekis, *vienodu greičiu sugeriamas ir išskiriamas* iš organizmo ar kitos biologinės sistemos. Terminas vartojamas modeliavimui ir skirtas aprašyti cheminio junginio (teršalo) kiekio (koncentracijos) kitimo kinetika, kuri įvairiuose organizmo audiniuose ir organuose yra skirtinga (Clark *et al.* 1990).

Organizmui esant toksinėje aplinkoje (pvz. užterštame vandenyje) dalis teršalų iš aplinkos patenka į organizmą, pasiskirsto jame, biotransformojasi, kaupiasi arba pasišalina.

Talpos modeliai plačiai naudojami toksikokinetiniams ir farmakokinetiniams tyrimams, jie matematiškai aprašo cheminio junginio kiekio pasiskirstymą organizme. Šie modeliai neaprašo išsamiai organizme vykstančių biologinių procesų, tačiau leidžia tyrimo metu gautus duomenis panaudoti cheminės medžiagos pasiskirstymo organizme kinetikos prognozavimui (Bioakumuliacija... 2014).

Vienos talpos biokoncentracijos modelis

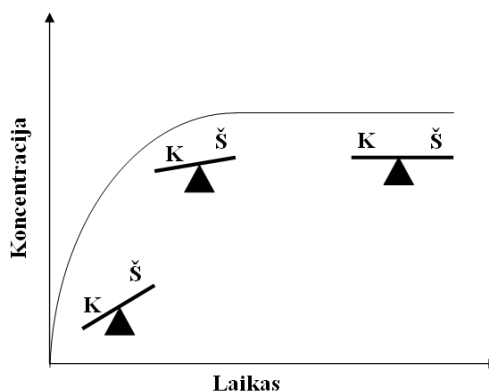
Modelyje atsižvelgiama tik į cheminio junginio pasisavinimą ir šalinimą. Vienos talpos biokoncentracijos modelio schema pateikiama 1.7 paveiksle.



1.7 pav. Vienos talpos biokoncentracijos modelio schema (Clark *et al.* 1990)

čia: C_{H_2O} – cheminės medžiagos koncentracija vandenyje ($\mu\text{g/ml}$); $C_{ORG.}$ – cheminės medžiagos koncentracija organizme ($\mu\text{g/g}$); t – laikas (val.); k_u – cheminės medžiagos pasisavinimo greičio konstanta ($\text{ml/g}\cdot\text{val.}$); k_d – cheminės medžiagos šalinimo greičio konstanta ($\text{ml/g}\cdot\text{val.}$).

Cheminės medžiagos koncentracijos organizme kitimas laike dažniausiai aprašomas netiesinio ryšio regresijos modeliu. Pradžioje organizmui būnant užterštoje aplinkoje teršalų pateikimas į organizmą yra intensyvus ir viršija pašalinimą – koncentracija didėja labai staigiai, tuo tarpu vėliau pateikimas ir pašalinimas susilygina ir koncentracijos organizme augimas sulėtėja (1.8 pav.).



1.8 pav. Teršalo koncentracijos kitimo organizme priklausomybė nuo laiko (Giulio, Hinton 2008)

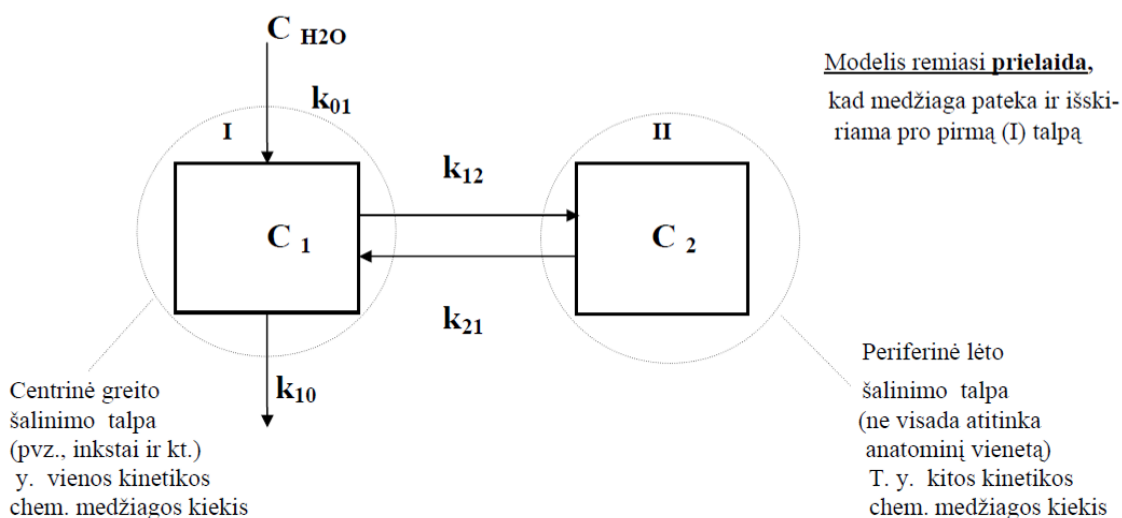
čia: K – teršalo patekimas į organizmą; $\dot{S}$ – teršalo šalinimas iš organizmo.

Kai cheminė medžiaga patenka į organizmą ir pasišalina vienodu greičiu jos koncentracija stabilizuojasi ir biologinėje sistemoje nusistovi pusiausvyra. Jeigu organizmas būtų perkeltas į švarią terpę ir poveikis baigtųsi teršalo koncentracija organizme mažėtų – prasidėtų šalinimas (Giulio, Hinton 2008).

Pusiausvyros nusistovėjimas organizme priklauso nuo teršalo koncentracijos organizme ir vandenyje.

Dviejų talpų biokoncentracijos modelis

Dviejų talpų biokoncentracijos modelio schema pateikiama 1.9 paveiksle.



1.9 pav. Dviejų talpų biokoncentracijos modelio schema (Clark *et al.* 1990)

čia: C_1 , C_2 – taplos; k_{01} – cheminės medžiagos pasisavinimo greičio konstanta (ml/g.val.); k_{10} – cheminės medžiagos šalinimo greičio konstanta (ml/g.val.); k_{12} ; k_{21} – cheminės medžiagos pernešimo tarp talpų greičio konstanta (ml/g.val.); C_{H2O} – cheminės medžiagos koncentracija vandenyje (μg/ml).

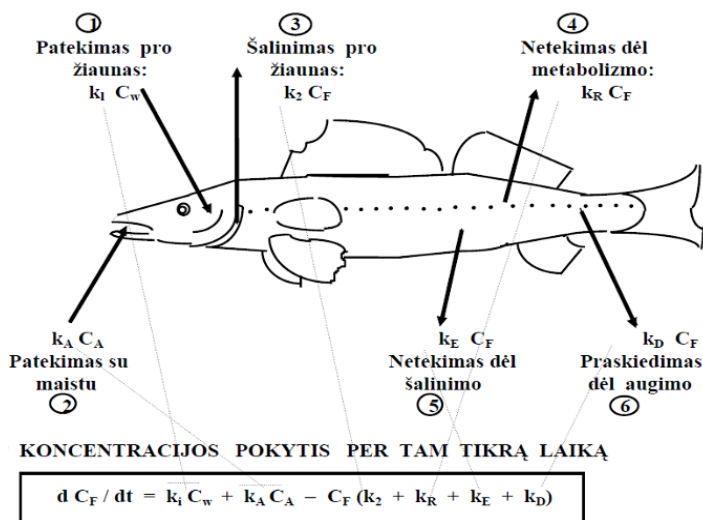
Šis modelis aprašo dvifazę (bieksponentinę) kinetiką, kai viena cheminės medžiagos bendro kiekio dalis iš organizmo pasišalina greitai, tuo tarpu likusi dalis organizme išlieka žymiai ilgesnį laiko tarpą (Clark *et al.* 1990).

Greito ir lėto šalinimo periodai gali atsirasti dėl šių priežasčių:

- Metalų jonams susirius su baltymais – metalų pašalinimo atveju;
- Organinė medžiaga patekusi į riebalinį audinį šalinama ilgiau nei tokia pati medžiaga esanti kraujyje.

Medžiagos patekimo konstanta (k_{01}) turi būti matuojama nepriklausomai, panaudojant pradinio greičio matavimą. Jeigu periferinė talpa išsivalo greitai $k_{21} \gg k_{12}$, modelis tampa vienos talpos modeliu.

Clark *et al.* (1990) sukūrė modelį matematiškai aprašantį teršalų susikaupimą žuvyse (1.10 pav.).



1.10 pav. Teršalo koncentracijos pokytis žuvies kūne (Clark *et al.* 1990)

čia: C_F – cheminės medžiagos koncentracija žuvyse ($\mu\text{g/g}$); C_w – cheminės medžiagos koncentracija vandenyje ($\mu\text{g/ml}$); C_A – cheminės medžiagos koncentracija maiste ($\mu\text{g/g}$); k – greičio konstanta ($\text{ml/g}\cdot\text{val.}$); t – laikas (val.).

Modelis remiasi dviem principais: lakumo ir atsparumo. Lakumas – išreiškiamas termodinaminėmis funkcijomis ir greičio parametrais, aprašančiais teršalo judėjimą iš didelio lakumo (kintamojo slėgio) talpos į mažo lakumo talpą, kol nėra aktyviojo transporto (atitinka cheminių medžiagų koncentracijos gradientą). Sistemos atsparumą parodo laikas reikalingas cheminiai medžiagai pernešti, kuo ilgesnis transportavimo laikas tuo sistema atsparesnė (Bioakumuliacija... 2014).

1.5.1. Modeliavimo programos skirtos įvertinti cheminių medžiagų bioakumuliaciją žuvyse

BASS (angl. *Bioaccumulation and Aquatic System Simulator*) – programa leidžia modeliuoti cheminių teršalų bioakumuliaciją ir jos dinamiką žuvų populiacijoje. Trofinis lygmuo apibrėžiamas pagal atskiros rūšies kūnos svorį, ilgį bei amžių (BASS... 2013).

Duomenys, reikalingi modeliui sukurti:

- modelio pavadinimas;
- grandžių skaičius;
- žuvies pavadinimas, rūšis, amžius, neršto periodas, ekologinis tipas, morfometriniai parametrai;

- žuvies mitybinė bazė (bentosas, vabzdžiai, perifitonas (bestuburiai, dumbliai, grybai), fitoplanktonas, zooplanktonas);
- vandens temperatūra (°C), gylis (m.);
- cheminio junginio pavadinimas, molinė masė, molinis tūris, valymosi pusperiodis, tirpumas vandenyje, LC50.

Modelio išeities duomenys:

- modelio įvesties parametrų suvestinė;
- vidutinis metinis sausos ir žalios masės prieaugis, vidutinis augimo greitis, gryo svorio prieaugis/nuostolis, bendras metinis suvartojimas, įsisavinimas ir metabolizmas;
- cheminės medžiagos bioakumuliacija atskiroje rūšyje ar populiacijoje: bioakumuliacijos faktorius (BAF), biomagnifikacijos faktorius (BMF), biokoncentracijos faktorius (BCF), bendras teršalo pasisavinimas (per žiaunas, su maistu), šalinimas (ekskrecija) ir biotransformacija;
- bendrijos struktūros suvestinė: vidutinis žuvų gausumas, biomasė, bendras plėšrių ir taikių žuvų mirtingumas, bendra žuvų populiacijos produkcija;
- tarp pasirinktų modelio kintamųjų brėžiama metinė dinamika laiko arba amžiaus funkcijoje.

CEMC (angl. *Centre for Environmental Modelling and Chemistry*) – programa leidžia modeliuoti cheminių teršalų srautus (pasisavinimą ir pašalinimą) viename individe (Bioaccumulation Fish... 2013).

Modeliui reikalingi įvesties duomenys:

- cheminio junginio pavadinimas, molekulinė masė, Henrio dėsnio konstanta, tirpumas vandenyje, vandens garų slėgis, valymosi pusperiodis;
- teršalo koncentracijos vandenyje ir maiste;
- maitinimosi ir augimo intensyvumas.

Modelio išeities duomenys:

- cheminės medžiagos pasisavinimo ir šalinimo greičio konstantos;
- cheminės medžiagos koncentracijos atskiruose etapuose;
- akumuliacijos konstanta.

SKYRIAUS IŠVADOS

1. Visuose sąvartynuose susidaro filtratas. Priklausomai nuo atliekų pobūdžio, jų sluoksnio storio, sąvartyno amžiaus, įrengimo struktūros bei eksploatacijos, klimatinių sąlygų ir kritulių kiekio kinta filtrato kokybinė, kiekybinė sudėtis ir sudėties dinamika.

2. Prasisunkęs pro laidžius grunto sluoksnius filtratas užteršia gruntinius ir požeminius vandenis, paviršinių nuoplovų pavidalu patekęs į griovius išsisklaido dar didesnėje teritorijoje ir tampa vienu pagrindinių paviršinių vandenų taršos šaltinių.

3. Kairių sąvartyno filtrato sudėtis kinta kokybiškai ir kiekybiškai, filtrate nustatyti sunkieji metalai: Zn, Cu, Pb, Cr, Cd, Co, Mn, Ni, Hg, iš kurių didžiausi kiekiai buvo Cr, Ni, Zn, Cu.

4. Sunkieji metalai pasižymi patvarumu ir ilgaamžiškumu (aplinkoje ilgai išlieka nesuskilę), todėl įvairiais būdais patekę į aplinką įsijungia į medžiagų apykaitos ratą ir kaupiasi organizmų audiniuose ir organuose. Didelės sunkiųjų metalų koncentracijos organizmams yra toksiškos, sutrikdo organizmų fiziologines funkcijas, veikia kaip kancerogenai arba mutagenai.

5. Žuvys sudaro galutinę hidrosistemų trofinę grandį, kurioje labiausiai kaupiasi teršalai, todėl yra puikus indikatorius sunkiųjų metalų bioakumuliacijai įvertinti. Žuvis pasisavina sunkiuosius metalus tiesiogiai iš vandens (per žiaunas ir odą) ir per trofines grandis (su maistu). Pagal nustatytą teršalų bioakumuliacijos lygį žuvų audiniuose vertinama hidrosistemų tarša.

6. Sunkieji metalai žuvų audiniuose akumuliuojasi selektyviai. Atlikus taršos analizę, galima įvertinti susikaupusių metalų kiekius tam tikruose organuose ir audiniuose.

7. Šiuo metu nėra sukaupta pakankamai duomenų apie sunkiųjų metalų kaupimąsi žuvyse, gyvenančiose santykinai užterštoje gamtinėje aplinkoje. Daugiausia tyrimų atlikta laboratorinėmis sąlygomis, vertinant sunkiųjų metalų kaupimąsi žuvyse eksperimentiškai (veikiant žuvis SM tirpalais). Todėl tiriama, kaip sunkieji metalai kaupiasi bentofaginių ir plėšriųjų žuvų, gyvenančių vandens ekosistemose greta sąvartyno, audiniuose ir organuose.

2. SUNKIŲJŲ METALŲ KAUPIMOSI ŽUVŲ ORGANUOSE NUSTATYMO METODIKA

2.1. Objekto apžvalga

Tyrimų tikslas – nustatyti sunkiųjų metalų kaupimąsi bentofaginių ir plėšriųjų žuvų, gyvenančių vandens ekosistemose, greta Šiaulių regiono Kairių sąvartyno, audiniuose ir organuose.

Tyrimo objektas – bentofagai ir plėšrios žuvis, gyvenančios Kairių sąvartyno vandens ekosistemose: Švedės upelyje ir Ginkūnų (Švedės) tvenkinyje.

Atliekant darbą buvo remtasi Gamtos tyrimų centro Ekologijos instituto Hidrobiontų ekologijos ir fiziologijos mokslininkų parengta metodika, sunkiųjų metalų kiekiams žuvų audiniuose ir organuose nustatyti.

Daugelyje Lietuvos vandens telkinių, sąlyginai nepažeistų žmogaus ūkinės veiklos, žuvų bendrijose tarp atskirų žuvų rūšių nusistovi tam tikra pusiausvyra. Vienos žuvų rūšys būna labai gausios (dominuojančios rūšys), kitų gausumas išlieka mažas (antraeilės rūšys), dar kitos yra labai retos. Pažeistų vandens telkinių ekologines bendrijas dažniausiai formuoja žuvų rūšys, galinčios išgyventi esant sudėtingoms ekologinėms sąlygoms (Staponkus *ir kt.* 2014).

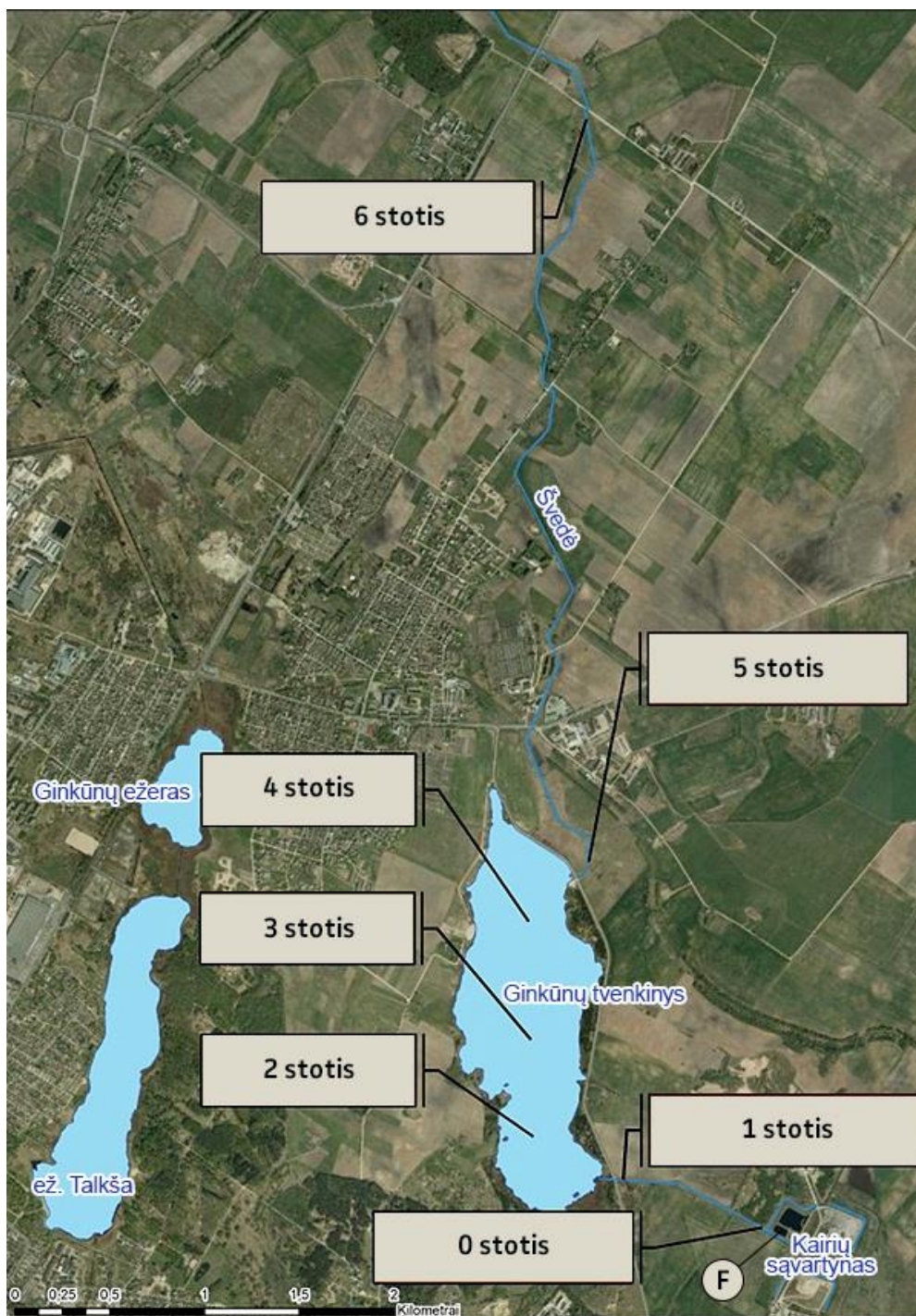
Švedės upelyje ir Ginkūnų (Švedės) tvenkinyje žuvų bendrijose pagal gausumą ir biomasę ryškiai dominuoja atspariausios taršai žuvų rūšys. Kairių sąvartyno regiono vandens ekosistemose žuvų rūšinė įvairovė nėra gausi, todėl rūšys skirstomos į dvi stambias ekologines grupes: plėšrias ir bentofagus. Dominuojančios žuvų rūšys pateikiamos 2.1 lentelėje.

2.1 lentelė. Dominuojančių plėšrių ir bentofaginių žuvų rūšinė sudėtis Švedės upelyje ir Ginkūnų tvenkinyje (Staponkus *ir kt.* 2014)

Ekologinė grupė	Šeima	Rūšys
Plėšrūnai	Lydekinės (lot. <i>Esocidae</i>)	Lydeka (lot. <i>Esox lucius</i>)
	Ešerinės (lot. <i>Percidae</i>)	Ešerys (lot. <i>Perca fluviatilis</i>)
		Pūgžlys (lot. <i>Gymnocephalus cernuus</i>)
Bentofagai	Karpinės (lot. <i>Cyprinidae</i>)	Kuoja (lot. <i>Rutilus rutilus</i>)
		Saulažuvė (lot. <i>Leucaspis delineatus</i>)
		Karšis (lot. <i>Abramis brama</i>)
		Lynas (lot. <i>Tinca tinca</i>)
		Raudė (lot. <i>Scardinius erythrophthalmus</i>)
		Strepetys (lot. <i>Leuciscus leuciscus</i>)
		Aukšlė (lot. <i>Alburnus alburnus</i>)
		Auksinis karosas (lot. <i>Carassius carassius</i>)
		Sidabrinis karosas (lot. <i>Carassius gilbelio</i>)
	Vijūninės (lot. <i>Cobitidae</i>)	Kirtiklis (lot. <i>Cobitis taenia</i>)

2.2. Žvejybos metodai

Tyrimams atlikti ir nustatyti sunkiųjų metalų sklaidą vandens ekosistemose (Švedės upelyje ir Ginkūnų (Švedės) tvenkinyje), veikiamose Kairių sąvartyno, bei akumuliaciją žuvų organuose ir audiniuose pasirinktos septynios žvejybos vietos (2.1 pav.).



2.1 pav. Tyrimų stočių vietos, F raide pažymėtas filtrato baseinas

Pirmos dvi stotys pasirinktos melioracijos kanaluose (0, 1 st.), norint nustatyti taršą arčiausiai sąvartyno, trys stotys Ginkūnų tvenkinyje (2, 3, 4 st.), norint įvertinti, kaip tarša pasiskirsto toliau nuo sąvartyno, viena Švedės upelyje ištekančiame iš tvenkinio (5 st.), ir dar viena stotis ~4,5 km aukščiau penktos stoties Švedės upelyje (6 st.), toliausiai (2.2 pav.).



0 stotis



1 stotis



3 stotis



4 stotis



5 stotis



6 stotis

2.2 pav. Žvejybos vietos (Autorės nuotr.)

Tyrimų vietų koordinatės ir charakteristikos pateikiamos 2.2 lentelėje.

2.2 lentelė. Žvejybos vietos koordinatės ir charakteristikos

Stotis	Vandens telkinys	Žvejybos vietos koordinatės	Gruntas	Gylis, m
Nr. 0	Melioracijos kanalas	55° 55' 46.87", 23° 23' 24.64"	molis-dumblas	0,5
Nr. 1	Melioracijos kanalas	55° 55' 55.44", 23° 22' 39.15"	molis-dumblas	1,0
Nr. 2	Ginkūnų tvenkinys	55° 56' 26.57", 23° 22' 12.62"	dumblas	1,5
Nr. 3	Ginkūnų tvenkinys	55° 56' 26.57", 23° 22' 12.62"	dumblas	2–2,5
Nr. 4	Ginkūnų tvenkinys	55° 56' 26.57", 23° 22' 12.62"	dumblas	3–4
Nr. 5	Švedės upelis	55° 56' 47.57", 23° 22' 27.00"	smėlis-žvyras	0,3
Nr. 6	Švedės upelis	55° 58' 58.96", 23° 22' 26.51"	smėlis	0,3

Pasirinkti du žvejojimo metodai. Elektrožūklės metodu žvejota melioracijos kanale ir Švedės upelėje (0, 1, 5, 6 st.). Ginkūnų tvenkinyje žvejota atrankiniais tinklais (2, 3, 4 st.). Žvejybos metodai atskirose stotyse ir apžvejotas plotas (m²) pateikiamas 2.3 lentelėje.

2.3 lentelė. Žvejybos metodai atskirose stotyse ir apžvejotas plotas, m²

Stotis	Vandens telkinys	Žvejybos metodas	Apžvejotas plotas, m ²
Nr. 0	Melioracijos kanalas	Elektrožūklė	200
Nr. 1	Melioracijos kanalas	Elektrožūklė	535
Nr. 2	Ginkūnų tvenkinys	Atrankiniai tinklai	6000
Nr. 3	Ginkūnų tvenkinys	Atrankiniai tinklai	11000
Nr. 4	Ginkūnų tvenkinys	Atrankiniai tinklai	8000
Nr. 5	Švedės upelis	Elektrožūklė	162
Nr. 6	Švedės upelis	Elektrožūklė	157

Elektrožūklė. Atliekant žuvų tyrimus upėse elektrožūklės būdu, pasirenkamos upių atkarpos nuo 20 iki 150 metrų ilgio. Elektrožūklei naudotas *HANS GRASSL GmbH* gamybos (Vokietija) IG 200/2 serijos testuotas ir Lietuvoje registruotas elektros žūklės aparatas (Nr. 14880306), kurio elektros srovės galingumas vandenyje yra iki 3000 W, o elektrinių impulsų dažnis iki 120 Hz.

Taikant elektrožūklės metodą, privaloma atsižvelgti į tarptautines (CEN 2003) ir Lietuvos Respublikos Aplinkos ministerijos teisės aktuose nurodytas žuvų mėginių rinkimo metodikas (Žuvų išteklių... 2005).

Atrankinių statomų tinklų metodas. Žvejota skirtingo akytumo selektyviniais statomais tinklais, kurių ilgis 40 m, tinklo akies diametras (kinta kas 5 metrai tinklo daliai) 14, 18, 22, 25, 30, 40, 50, 60 mm, taip pat 2 statomais tinklais (statomų tinklų akies skersmuo yra vienodas visame tinklo ilgyje) 50 mm akytumo ir 60 m ilgio. Ginkūnų tvenkinyje buvo žvejojama 3-jose iš anksto numatytose stotyse (Nr. 2, 3, 4), kiekvienoje stotyje žvejota po 1 kartą selektyviniais ir statomais tinklais.

Sugautos žuvys (2.3 pav.) suleidžiamos į talpas su vandeniu.

Atliekama pirminė analizė, kurios metu nustatoma žuvų rūšinė sudėtis. Žuvų rūšys suskirstomos į atskiras ekologines grupes, vadovaujantis Europos žuvų rūšių klasifikacijos lentelėmis.

Tyrimų metu buvo sugautos 7 žuvų rūšys: lydeka (lot. *Esox lucius*), ešerys (lot. *Perca fluviatilis*), kuoja (lot. *Rutilus rutilus*), lynas (lot. *Tinca tinca*), saulažuvė (lot. *Leucaspius delineatus*), strepetys (lot. *Leuciscus leuciscus*) ir aukšlė (lot. *Alburnus alburnus*), viso 94 individai. Žuvis suskirstytos į dvi ekologines grupes: plėšrios ir bentofagai.



2.3 pav. Sugautos žuvys (Autorės nuotr.)

Sunkiųjų metalų bioakumuliacija žuvų audiniuose ir organuose priklauso nuo žuvų mitybos įpročių ir trofinio lygmens, todėl tyrimui pasirinktos rūšys, mintančios skirtingu maistu iš žemesnio (bentofagai) ir aukštesnio (plėšrūnai) trofinio lygmens. Remiantis literatūros šaltinių duomenimis, daroma prielaida, kad plėšrios žuvys savo organuose ir audiniuose akumuliuoja didesnę kiekį sunkiųjų metalų.

Kiekvienoje stotyje sugautos žuvys iš dviejų ekologinių grupių. Žuvų rūšinė sudėtis tyrimo stotyse ir atstumas iki taršos šaltinio (taško F) pateikiama 2.4 lentelėje. Toliau darbe atstumas iki taško F vadinams atstumu iki taršos šaltinio arba atstumu iki Kairių sąvartyno.

2.4 lentelė. Žuvų rūšinė sudėtis, nustatyta Ginkūnų tvenkinyje ir Švedės upelyje 2013 metais, bei atstumas iki Kairių sąvartyno filtrato baseino

Stotis	Rūšis	Ekologinė grupė	Individų skaičius, ind.	Atstumas iki taršos šaltinio, m
Nr. 0	Lydeka	Plėšrūnai	1	140
	Saulažuvė	Bentofagai	6	
Nr. 1	Lydeka	Plėšrūnai	1	860
	Ešerys		1	
	Kuoja	Bentofagai	3	
	Lynas		1	
Nr. 2	Lydeka	Plėšrūnai	1	1480
	Ešerys		7	
	Kuoja	Bentofagai	7	
	Lynas		1	
Nr. 3	Ešerys	Plėšrūnai	6	2290
	Kuoja	Bentofagai	7	

2.4 lentelės tęsinys				
Nr. 4	Ešerys	Plėšrūnai	6	2660
	Kuoja	Bentofagai	7	
Nr. 5	Lydeka	Plėšrūnai	5	3100
	Ešerys		7	
	Kuoja	Bentofagai	6	
	Strepetys		1	
	Aukšlė		7	
Nr. 6	Ešerys	Plėšrūnai	7	7540
	Strepetys	Bentofagai	6	

Melioracijos kanale (0 st.) prie valymo įrenginių ekologinės sąlygos yra pačios prasčiausios, ten buvo aptinkamos dvi žuvų rūšys – lydeka ir saulažuvė. Tolstant nuo taršos šaltinio žuvų įvairovė šiek tiek padidėjo. Pirmoje stotyje, prie įtekėjimo į ežerą, labai eutrofizuotame melioracijos kanalo ruože sugautos 4 žuvų rūšys – lydeka, kuoja, ešerys, lynas.

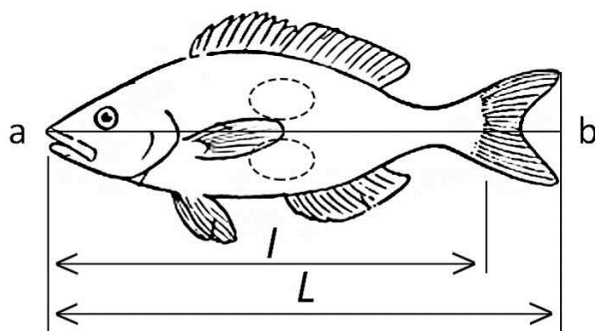
Ginkūnų tvenkinyje (2, 3 ir 4 st.) sugautos 4 žuvų rūšys: lydeka, kuoja, lynas ir ešerys. Tvenkinyje gyvena tipinės žuvų rūšys, būdingos negiliems hipertrofiniams vandens telkiniams. Pagal gausumą žuvų bendrijos branduolį sudaro dvi žuvų rūšys: kuoja ir ešerys.

Švedės upeliui ištekėjus iš tvenkinio (5 st.) žuvų rūšinė sudėtis nežymiai pasikeitė, bendriją sudarė – lydeka, ešerys, kuoja, paprastoji aukšlė, strepetys. Tik ~4,5 km žemiau upelio ištekėjimo iš tvenkinio (6 st.) bendrija pastebimai pasikeitė, šiame ruože sugauti ešerys ir strepetys.

Tyrimo rezultatai parodė, kad tiek melioracijos kanale, tiek Švedės upelyje vyrauja limnofilinės, euribiontinės žuvų rūšys, o tipinės reofilinės žuvų rūšys (konkrečiu atveju strepetys), kurios paprastai charakterizuoja natūralių, neužterštų upelių ichtiofauną, vyrauja tik žemiausiame tyrimų ruože.

2.3. Žuvų morfometrinė analizė ir bandinių paėmimas

Žuvų morfometrinė analizė atlikta Gamtos tyrimų centro Ekologijos instituto Hidrobiontų ekologijos ir fiziologijos laboratorijoje. Buvo matuojamas žuvų bendras ilgis L (cm), standartinis ilgis l (cm) (2.4 pav.), nustatomas bendras svoris Q (g) ir svoris be vidurių q (g) (2.5 lentelė).



2.4 pav. Žuvies morfometrinių analizės parametrai: L – bendras ilgis; l – standartinis ilgis; ab – šoninė linija (Autorės schema)

Žuvies amžius nustatomas nuimant žvynus nuo žuvies šono vidurio (punkttyrais parodyta linija 2.4 pav.), žemiau ir aukščiau šoninės linijos (ab).

2.5 lentelė. Žuvų morfometriniai parametrai

Stotis	Rūšis	Individas	Bendras ilgis L, cm	Standartinis ilgis l, cm	Bendras svoris Q, g	Svoris be vidurių q, g	Amžius
0	Saulažuvė	1	5,00	4	1,39	-	0+
0	Saulažuvė	2	4,00	3,5	0,6	-	0+
0	Saulažuvė	3	3,50	3	0,58	-	0+
0	Saulažuvė	4	4,00	3,5	0,69	-	0+
0	Saulažuvė	5	4,50	3,5	0,53	-	0+
0	Saulažuvė	6	4,00	3,5	0,46	-	0+
0	Lydeka	1	26,00	23,00	123,88	112,73	2+
1	Lynas	1	13,00	11,00	38,68	36,05	1+
1	Ešerys	1	18,50	15,50	96,55	86,91	4+
1	Kuoja	1	13,00	10,50	21,73	20,13	4+
1	Kuoja	2	8,50	6,50	5,04	4,61	0+
1	Kuoja	3	6,30	5,00	2,11	1,90	0+
1	Lydeka	1	14,50	13,00	17,13	16,13	1+
2	Kuoja	1	34,50	29,50	615,90	551,65	9+
2	Kuoja	2	33,00	28,00	440,65	409,38	7+
2	Kuoja	3	33,50	28,00	477,00	440,37	7+
2	Kuoja	4	31,00	26,50	454,96	405,07	7+
2	Kuoja	5	31,50	27,00	387,96	355,60	7+
2	Kuoja	6	31,00	26,00	406,27	369,75	7+
2	Kuoja	7	32,00	26,00	400,03	369,04	7+
2	Lydeka	1	36,50	32,00	315,21	296,86	1+
2	Lynas	1	47,00	40,00	1978,90	1580,22	8+
2	Ešerys	1	27,00	23,50	282,04	262,14	6+
2	Ešerys	2	22,00	19,00	147,27	135,44	5+
2	Ešerys	3	20,50	18,00	97,02	91,19	4+
2	Ešerys	4	20,00	17,50	105,65	99,19	4+
2	Ešerys	5	17,50	15,50	65,16	59,72	3+
2	Ešerys	6	17,00	15,50	62,33	58,98	3+
2	Ešerys	7	15,00	13,00	47,01	43,90	2+
3	Kuoja	1	33,00	28,00	513,92	463,44	7+
3	Kuoja	2	35,00	29,50	546,15	505,10	8+

2.5 lentelės tęsinys							
3	Kuoja	3	32,50	27,50	463,27	427,89	7+
3	Kuoja	4	34,00	29,00	554,12	505,23	8+
3	Kuoja	5	36,00	30,50	625,20	574,69	9+
3	Kuoja	6	34,00	29,00	590,75	536,88	8+
3	Kuoja	7	30,00	26,00	377,19	345,69	7+
3	Ešerys	1	39,50	36,00	825,90	757,80	11+
3	Ešerys	2	35,00	30,50	590,56	549,20	9+
3	Ešerys	3	35,00	30,50	634,50	586,28	9+
3	Ešerys	4	36,50	31,00	705,70	605,22	9+
3	Ešerys	5	35,00	30,50	630,50	583,95	9+
3	Ešerys	6	31,00	27,50	500,59	458,11	7+
4	Kuoja	1	35,00	28,50	603,10	542,38	7+
4	Kuoja	2	32,50	27,50	489,93	477,90	7+
4	Kuoja	3	33,00	27,50	471,84	433,69	7+
4	Kuoja	4	32,00	27,00	463,30	423,20	7+
4	Kuoja	5	32,00	27,00	443,82	399,70	7+
4	Kuoja	6	34,00	29,00	504,13	451,00	8+
4	Kuoja	7	30,50	25,00	396,30	359,22	7+
4	Ešerys	1	34,00	30,00	616,90	559,39	8+
4	Ešerys	2	38,00	33,00	750,50	689,80	9+
4	Ešerys	3	36,00	31,00	620,00	563,77	8+
4	Ešerys	4	33,00	29,00	455,06	421,84	7+
4	Ešerys	5	32,00	28,00	452,77	435,00	7+
4	Ešerys	6	28,00	24,00	286,38	265,04	6+
5	Ešerys	1	8,50	7,50	6,72	5,99	0+
5	Ešerys	2	9,00	7,50	6,24	5,90	0+
5	Ešerys	3	9,50	8,00	7,32	6,78	0+
5	Ešerys	4	9,00	7,50	6,87	6,18	0+
5	Ešerys	5	8,50	7,50	6,90	6,18	0+
5	Ešerys	6	8,00	7,00	5,01	4,57	0+
5	Ešerys	7	7,50	6,50	4,70	4,47	0+
5	Lydeka	1	39,00	34,50	395,08	363,90	2+
5	Lydeka	2	22,50	20,00	83,05	78,05	1+
5	Lydeka	3	22,00	19,50	75,82	69,00	1+
5	Lydeka	4	19,50	17,00	58,21	44,91	1+
5	Lydeka	5	15,00	13,50	19,93	18,42	0+
5	Kuoja	1	12,00	9,50	13,74	12,52	1+
5	Kuoja	2	11,50	9,50	13,57	12,61	1+
5	Kuoja	3	11,50	9,50	12,09	11,09	1+
5	Kuoja	4	11,00	8,50	9,75	9,07	1+
5	Kuoja	5	11,50	10,00	13,26	12,33	1+
5	Kuoja	6	12,00	9,50	12,36	11,74	1+
5	Strepetys	1	12,00	10,00	15,33	14,16	1+
5	Aukšlė	1	10,00	8,50	6,91	6,54	1+
5	Aukšlė	2	11,00	9,00	9,24	8,58	1+
5	Aukšlė	3	10,50	9,00	8,64	7,29	1+
5	Aukšlė	4	11,00	9,00	7,52	7,00	1+
5	Aukšlė	5	10,00	8,50	7,82	7,27	1+
5	Aukšlė	6	10,50	9,00	7,55	7,21	1+
5	Aukšlė	7	10,00	8,00	6,46	5,98	1+

							2.5 lentelės pabaiga
6	Ešerys	1	10,50	9,00	14,12	12,63	1+
6	Ešerys	2	10,00	9,00	14,20	12,52	1+
6	Ešerys	3	8,50	7,50	8,15	7,40	1+
6	Ešerys	4	8,50	7,50	8,46	7,59	1+
6	Ešerys	5	7,50	6,50	5,99	5,33	1+
6	Ešerys	6	7,00	6,00	4,26	3,92	1+
6	Ešerys	7	7,50	6,50	5,13	4,58	1+
6	Strepetys	1	14,00	11,50	26,20	23,75	4+
6	Strepetys	2	12,50	10,50	17,73	16,03	4+
6	Strepetys	3	13,00	11,00	19,83	17,58	4+
6	Strepetys	4	11,00	9,00	13,13	11,80	3+
6	Strepetys	5	10,50	9,00	11,10	10,34	3+
6	Strepetys	6	10,50	9,50	11,15	10,15	3+

Iš 2.5 lentelės duomenų matyt, kad Švedės upelyje ir Ginkūnų tvenkinyje sužvejotos skirtingų morfometrinių parametų bei amžiaus žuvis.

Sunkiųjų metalų nustatymui paimti šie žuvų kūno audinių mėginiai (2.5 pav.):

- žiaunos (visas organas);
- kepenys (visas organas);
- raumenys (~ 3g).

Žuvų raumenys, žiaunos ir kepenys atskirti nuo kaulinio audinio ir pasverti elektroninėmis svarstyklėmis, kurių matavimo paklaida $\pm 0,001$ g.



A – žiaunos



B – raumenys (kairėje), kepenys (dešinėje)

2.5 pav. Sugautų žuvų organų ir audinių pavyzdžių ėmimas sunkiųjų metalų bioakumuliacijai nustatyti (Autorės nuotr.)

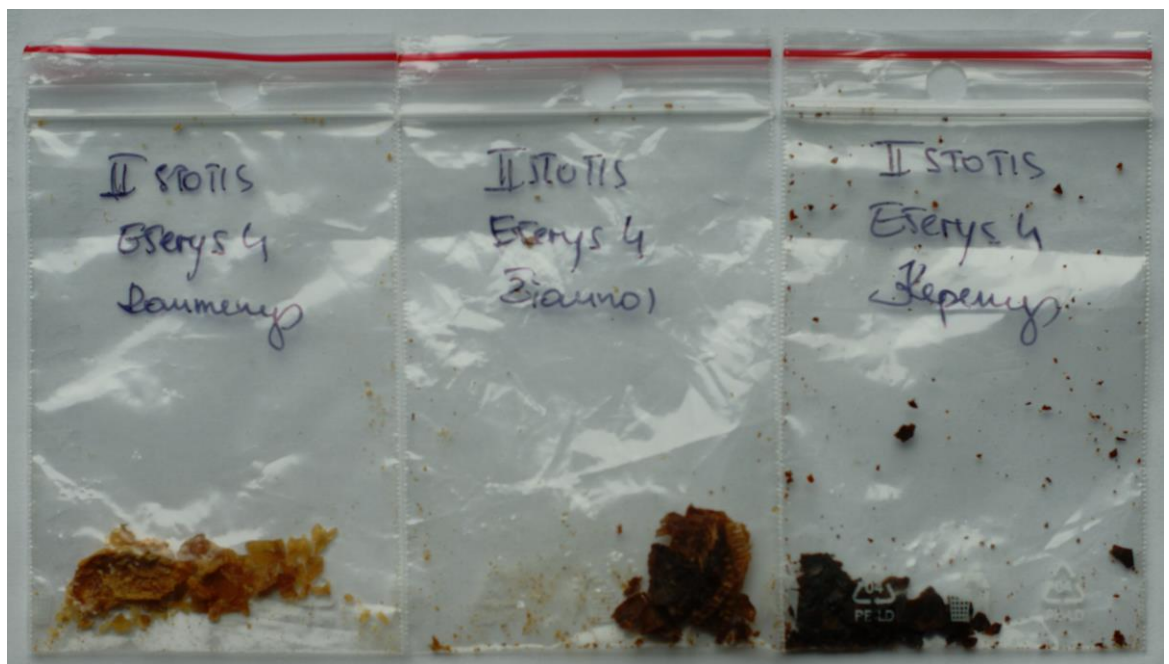
Audinių mėginiai sudėti į atitinkamai pažymėtus plastikinius maišelius ir užšaldyti. Vėliau nustatyti sunkiųjų metalų kiekiai audiniuose.

2.4. Sunkiųjų metalų nustatymas žuvų audiniuose

Sunkiųjų metalų, susikaupusių žuvų raumenyse, kepenyse ir žiaunose, koncentracijos nustatytos, taikant liepsnos ir elektroterminės atominės absorbcijos spektrometrinį metodą pagal Lietuvoje galiojantį standartą LST ISO 11047:2004.

Pirmiausia paruošiama tyrimo medžiaga:

1. Raumenų, kepenų ir žiaunų mėginiai registruojami žurnale;
2. Pasveriamas analizei paimtas mėginio kiekis ir registruojamas žurnale;
3. Mėginio indas patikimai pažymimas, užrašomas rūšies pavadinimas, audinio tipas individo ir stoties numeris;
4. Užšaldyti žuvų raumenų, kepenų ir žiaunų mėginiai džiovinami termostate prie 85 °C 24 valandas;
5. Ėminiai atvėsunami;
6. Išdžiovinti mėginiai pasveriami, masė (be indo masės) registruojama žurnale;
7. Išdžiovinti mėginiai sudedami į plastikinius maišelius, maišeliai patikimai pažymimi, užrašomas rūšies pavadinimas, audinio tipas individo ir stoties numeris (2.6 pav.)



2.6 pav. Išdžiovinti raumenų, žiaunų ir kepenų mėginiai (Autorės nuotr.)

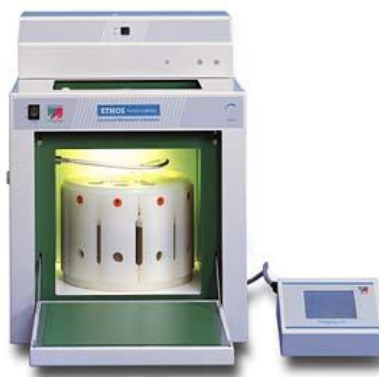
Sunkiųjų metalų koncentracija bentofagų ir plėšrių žuvų audiniuose ir organuose buvo nustatoma Vilniaus Gedimino technikos universiteto Aplinkos apsaugos ir darbo sąlygų laboratorijoje.

Reikalingi reagentai, indai, prietaisai sunkiesiems metalams nustatyti:

- Dejonizuotas vanduo, kurio elektrinis laidis neviršija 0,08 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (jame metalo koncentracija neviršija 0,001 mg/l);
- HNO_3 , 65 %;
- HCl , 37 %;
- 1,0 ml, 2,0 ml, 5,0 ml, 10 ml pipetės;
- 50 ml, 100 ml matavimo kolbos;
- Popieriniai filtrai VWR 516-0817 (poros 5-13 mikrometrų, filtro skersmuo 15 cm);
- Analitinės svarstyklės KERN 770-60;
- Mikrobanginis mineralizatorius Milestone Ethos;
- Atominis absorbcinis spektrometras Buck Scientific 210 VGP.

Prieš atliekant mineralizaciją paimta po 0,5–1,0 g kiekvieno ėminio ir suberta į atskirus mineralizavimo indelius. Į indelius įlašinta po 3 ml azoto rūgšties HNO_3 (65 %) ir 9 ml druskos rūgšties HCl (37 %). Mišinys 30 minučių mineralizuotas mineralizatoriuje 190 °C temperatūroje.

Išdžiovinti raumenų, žiaunų, kepenų mėginiai buvo mineralizuojami Milestone Ethos mineralizatoriuje (2.7 pav.).



2.7 pav. Mineralizatorius „Milestone Ethos“ (Evisa Milestone... 2015)

Po mineralizavimo indas su mėginiu atvėsinaamas iki 50–70 °C. Gautas tirpalas praskiedžiamas dejonizuotu vandeniu kolboje iki 50 ml žymės. Jeigu tirpale susidarydavo nuosėdos, tirpalas papildomai filtruotas per popieriaus filtrą.

Sunkiųjų metalų koncentracijos mėginiuose nustatytos atominės absorbcijos spektrofotometru (AAS) Buck Scientific 210 VGP (2.8 pav.). Šis metodas remiasi elemento koncentracijos matavimais mėginyje, naudojant liepsnos atominę absorbcinę spektrometriją.



2.8 pav. Atominis absorbcinis spektrometras „Buck Scientific 210 VGP“ (Autorės nuotr.)

Remiantis gamintojo rekomendacijomis, nustatomas reikiamas degiklio aukštis ir padėtis, tirpalo siurbimo greitis, bangos ilgis, plyšio bei liepsnos plotis.

Atominės absorbcinės spektroskopijos metodas, taip pat kaip ir fotometrijos metodas, grindžiamas pro tirpalą praėjusios šviesos matavimu. Tačiau šio metodo privalumas, lyginant su fotometrija, yra didesnis nustatymo jautrumas ir didesnis selektyvumas. Papildomai atominės absorbcinės spektroskopijos metode yra naudojama liepsna, kuria atomizuojami esantys metalai. Atominis absorbcinis spektrometras gali būti su liepsna arba su grafitine krosnele. Grafitinė krosnelė būna su autosampleriu (Paliulis 2004). Abiejų metodų matavimo principas vienodas, skiriasi tik mėginio įvedimas. Tačiau atominės absorbcijos spektrofotometrai su grafitine krosnele yra beveik dvigubai jautresni negu liepsnos atominiai absorbciniai spektrofotometrai (Garcia, Baez 2012).

Remiantis LST ISO 11047:2004 metodika ir ankstesnių tyrimų duomenimis, gautame tirpale analizuotos Cd, Cr, Cu, Pb, Ni, Zn koncentracijos. Ni ir Cr tirpale nustatyti nepavyko, jų koncentracijos buvo mažesnes už matavimo prietaiso jautrumo ribą. Gautame tirpale sunkiųjų metalų Cu, Cd, Pb koncentracijos buvo nustatomos su grafitine krosnele, tuo tarpu Zn su liepsna.

Nustačius sunkiųjų metalų koncentracijas tirpale, apskaičiuota metalų koncentracija sausame ir šlapiame audinyje.

Metalo koncentracija sausame audinyje apskaičiuota pagal formulę (2.1):

$$C_s = \frac{((C_1 \cdot sk) - C_0) \cdot V}{m_s}, \text{mg/kg} \quad (2.1)$$

čia: C_1 – nustatyta metalo koncentracija tirpale, mg/l; sk – skiedimų skaičius; C_0 – metalo koncentracija kontroliniame tirpale, mg/l; V - dejonizuoto vandens tūris, l; m_s – sauso ėminio masė, kg; C_s – metalo koncentracija, mg/kg sauso audinio svorio.

Metalo koncentracija šlapiame audinyje apskaičiuota pagal formulę (2.2):

$$C_{sl} = \frac{m_s}{m_{sl}} \cdot C_s, \text{ mg/kg} \quad (2.2)$$

čia: m_s – sauso ėminio masė, kg; m_{sl} – šlapio ėminio masė, kg; C_s – metalo koncentracija sausame audinyje, mg/kg sauso audinio svorio; C_{sl} – metalo koncentracija, mg/kg drėgno audinio svorio.

Didžiausios leistinos sunkiųjų metalų koncentracijos (DLK) žuvų raumenyse, kepenyse ar žiaunose jokiuose įstatymuose nėra reglamentuotos, DLK taikomos tik žuvų raumenų mėšai ir jos produktams. Leistinas Zn, Cu, Pb ir Cd DLK (mg/kg žalios masės) žuvų, gyvenančių Lietuvos vandenyse, raumenų mėsoje ir jos produktuose nustato HN 54:2001 (2.6 lentelė).

2.6 lentelė. Didžiausios leistinos Zn, Cu, Pb ir Cd koncentracijos pagal HN 54:2001

DLK (mg/kg žalios masės)			
Zn	Cu	Pb	Cd
40	10	0,2	0,05

HN 54:2001 nustato didžiausią leidžiamą sunkiųjų metalų taršos lygį Lietuvoje, tai yra tokį SM lygį, kuris veikdamas trumpą arba ilgą laiką, negali sukelti ligų arba sveikatos sutrikimų.

Statistinė analizė. Statistinė analizė atliekama siekiant nustatyti ryšį tarp sunkiųjų metalo kiekio žuvų audiniuose ir žuvų morfometrinių parametrų bei atstumo iki taršos šaltinio, Kairių sąvartyno.

Statistinei analizei atlikti naudotas Statistika 8.0 paketas. Sunkiųjų metalų kiekių palyginimui buvo apskaičiuojami vidurkiai (M), standartinė paklaida (SE) ir standartinis nuokrypis (SD). Sunkiųjų metalų kiekio (mg/kg žalios masės) bentofaginių (saulažuvų, kuojų, lynų, strepečių, aukšlių) ir plėšriųjų (lydekų ir ešerių) žuvų kūno audiniuose sąryšis (koreliacijos koeficientas, r) su biotiniais faktoriais ir atstumu nuo taršos šaltinio (Kairių sąvartyno) nustatytas apskaičiuojant Pirsono koreliacijos koeficientą. Ryšio patikimumas įvertintas pagal patikimumo kriterijų $p < 0,05$.

3. SUNKIŲJŲ METALŲ KIEKIŲ ŽUVŲ AUDINIUISE TYRIMŲ REZULTATAI

3.1. Sunkiųjų metalų koncentracijos bentofaginių ir plėšriųjų žuvų audiniuose

Tirtų žuvų kūno audiniuose buvo aptikti šie sunkieji metalai: Cd, Cu, Pb, Zn. Nikelio ir chromo koncentracijos audiniuose buvo mažesnes už matavimo prietaiso jautrumo ribą. Tyrimo rezultatai parodė, kad SM Kairių sąvartyno regiono hidroekosistemos bentofaginių (saulažuvė, kuoja, lynas, strepetys, aukšlė) ir plėšriųjų (lydeka ir ešerys) žuvų kūno audiniuose kaupiasi nevienodai ir tam tikruose audiniuose viršijamos DLK (3.1 lentelėje paryškintos reikšmės). Audiniuose daugiausiai buvo aptikta Zn, mažiausiai – Cd.

3.1 lentelė. Sunkiųjų metalų kaupimasis bentofaginių ir plėšrių žuvų, gyvenančių vandens ekosistemose, esančiose greta Kairių sąvartyno, kūno audiniuose, mg/kg žalios masės (vidurkis $\pm$ standartinė paklaida)

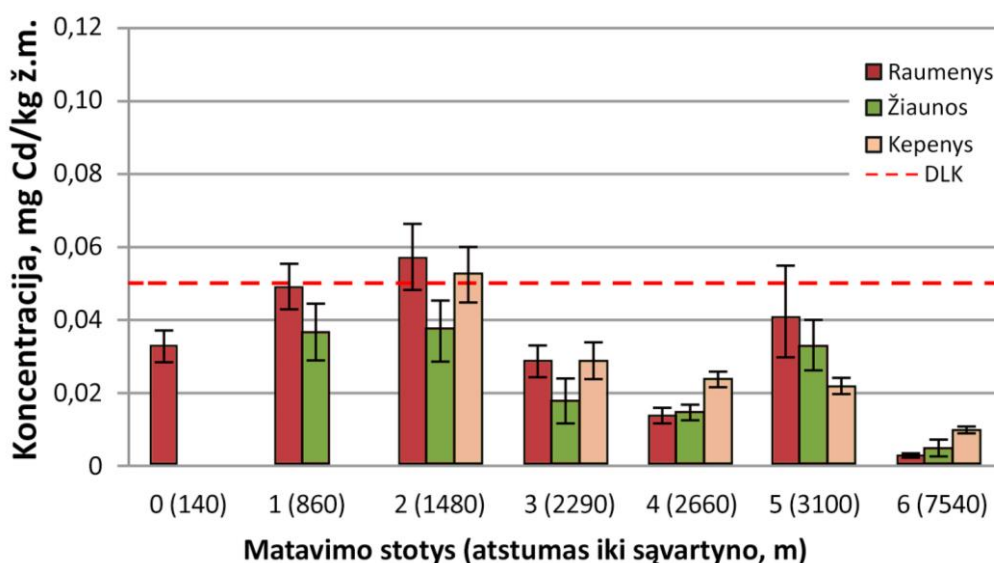
Stotys	Žuvų ekologinis tipas	Kūno audinys	SM koncentracija mg/kg ž.m. (M $\pm$ SE)			
			Cd	Pb	Cu	Zn
0	Bentofagai	R	0,033 $\pm$ 0,003	0,695 $\pm$ 0,037	1,653 $\pm$ 0,121	6,989 $\pm$ 0,396
		Ž	-	-	-	-
		K	-	-	-	-
	Plėšrūnai	R	0,035 $\pm$ 0,001	0,595 $\pm$ 0,031	2,206 $\pm$ 0,147	8,388 $\pm$ 0,186
		Ž	0,056 $\pm$ 0,001	0,394 $\pm$ 0,021	2,061 $\pm$ 0,327	92,192 $\pm$ 0,976
		K	0,043 $\pm$ 0,001	0,412 $\pm$ 0,045	9,403 $\pm$ 0,752	42,338 $\pm$ 0,130
1	Bentofagai	R	0,049 $\pm$ 0,007	0,725 $\pm$ 0,045	1,985 $\pm$ 0,214	9,457 $\pm$ 1,528
		Ž	0,037 $\pm$ 0,006	0,500 $\pm$ 0,013	1,709 $\pm$ 0,130	92,758 $\pm$ 12,116
		K	-	-	-	-
	Plėšrūnai	R	0,061 $\pm$ 0,003	0,718 $\pm$ 0,046	1,739 $\pm$ 0,461	11,855 $\pm$ 0,243
		Ž	0,079 $\pm$ 0,001	0,485 $\pm$ 0,023	3,227 $\pm$ 0,403	76,480 $\pm$ 7,824
		K	0,125 $\pm$ 0,003	0,499 $\pm$ 0,016	13,789 $\pm$ 0,954	35,887 $\pm$ 2,820
2	Bentofagai	R	0,057 $\pm$ 0,007	0,627 $\pm$ 0,053	1,047 $\pm$ 0,060	9,150 $\pm$ 0,639
		Ž	0,038 $\pm$ 0,007	0,372 $\pm$ 0,016	1,234 $\pm$ 0,085	58,589 $\pm$ 4,383
		K	0,053 $\pm$ 0,007	0,294 $\pm$ 0,042	4,533 $\pm$ 0,412	34,597 $\pm$ 2,300
	Plėšrūnai	R	0,031 $\pm$ 0,002	0,602 $\pm$ 0,045	1,058 $\pm$ 0,081	6,284 $\pm$ 0,359
		Ž	0,027 $\pm$ 0,004	0,362 $\pm$ 0,030	1,153 $\pm$ 0,138	45,827 $\pm$ 3,727
		K	0,038 $\pm$ 0,003	0,375 $\pm$ 0,021	4,822 $\pm$ 0,333	32,485 $\pm$ 1,685
3	Bentofagai	R	0,029 $\pm$ 0,002	0,582 $\pm$ 0,021	1,120 $\pm$ 0,183	6,998 $\pm$ 0,619
		Ž	0,018 $\pm$ 0,003	0,362 $\pm$ 0,009	0,971 $\pm$ 0,037	56,962 $\pm$ 3,578
		K	0,029 $\pm$ 0,006	0,372 $\pm$ 0,035	3,050 $\pm$ 0,174	22,079 $\pm$ 2,319
	Plėšrūnai	R	0,014 $\pm$ 0,001	0,356 $\pm$ 0,036	0,878 $\pm$ 0,061	6,931 $\pm$ 0,209
		Ž	0,018 $\pm$ 0,002	0,323 $\pm$ 0,011	0,857 $\pm$ 0,045	35,102 $\pm$ 2,046
		K	0,030 $\pm$ 0,004	0,325 $\pm$ 0,010	2,538 $\pm$ 0,237	30,370 $\pm$ 1,467
4	Bentofagai	R	0,014 $\pm$ 0,001	0,424 $\pm$ 0,022	0,709 $\pm$ 0,023	6,141 $\pm$ 0,244
		Ž	0,015 $\pm$ 0,003	0,242 $\pm$ 0,028	1,060 $\pm$ 0,076	63,228 $\pm$ 2,009
		K	0,024 $\pm$ 0,001	0,243 $\pm$ 0,049	3,698 $\pm$ 0,720	31,589 $\pm$ 2,155

3.1 lentelės tęsinys						
4	Plėšrūnai	R	0,023 ± 0,002	0,383 ± 0,029	0,727 ± 0,033	5,984 ± 0,244
		Ž	0,031 ± 0,002	0,290 ± 0,023	1,069 ± 0,127	20,564 ± 1,358
		K	0,030 ± 0,004	0,280 ± 0,039	1,615 ± 0,170	17,171 ± 1,829
5	Bentofagai	R	0,041 ± 0,012	0,355 ± 0,030	1,291 ± 0,095	10,675 ± 1,165
		Ž	0,033 ± 0,006	0,273 ± 0,023	1,378 ± 0,095	37,492 ± 2,371
		K	0,022 ± 0,001	0,467 ± 0,014	6,091 ± 0,121	24,545 ± 2,806
	Plėšrūnai	R	0,033 ± 0,003	0,467 ± 0,036	0,766 ± 0,012	10,312 ± 0,890
		Ž	0,051 ± 0,009	0,414 ± 0,045	1,403 ± 0,110	46,118 ± 5,517
		K	0,052 ± 0,004	0,304 ± 0,026	2,861 ± 0,161	31,538 ± 3,049
6	Bentofagai	R	0,003 ± 0,000	0,299 ± 0,029	0,685 ± 0,100	9,080 ± 0,062
		Ž	0,005 ± 0,001	0,173 ± 0,024	0,909 ± 0,102	15,661 ± 0,400
		K	0,010 ± 0,000	0,208 ± 0,012	4,691 ± 0,131	15,367 ± 0,943
	Plėšrūnai	R	0,004 ± 0,000	0,373 ± 0,023	0,606 ± 0,032	13,882 ± 0,223
		Ž	0,003 ± 0,000	0,338 ± 0,018	0,933 ± 0,038	23,011 ± 1,321
		K	0,018 ± 0,000	0,287 ± 0,021	1,923 ± 0,118	23,937 ± 0,650

Pastaba: R – raumenys, Ž – žiaunos, K – kepenys; brūkšniai (–) nepaimti mėginiai.

Analizei nebuvo paimti bentofaginių žuvų kepenų mėginiai (0 st. ir 1 st.) bei žiaunų mėginiai (0 st.), kadangi šiose stotyse sugauti individai buvo nedidelio svorio, o jų organai buvo labai maži. Mėginio kiekio neužteko cheminei analizei atlikti ir nustatyti sunkiuosius metalus.

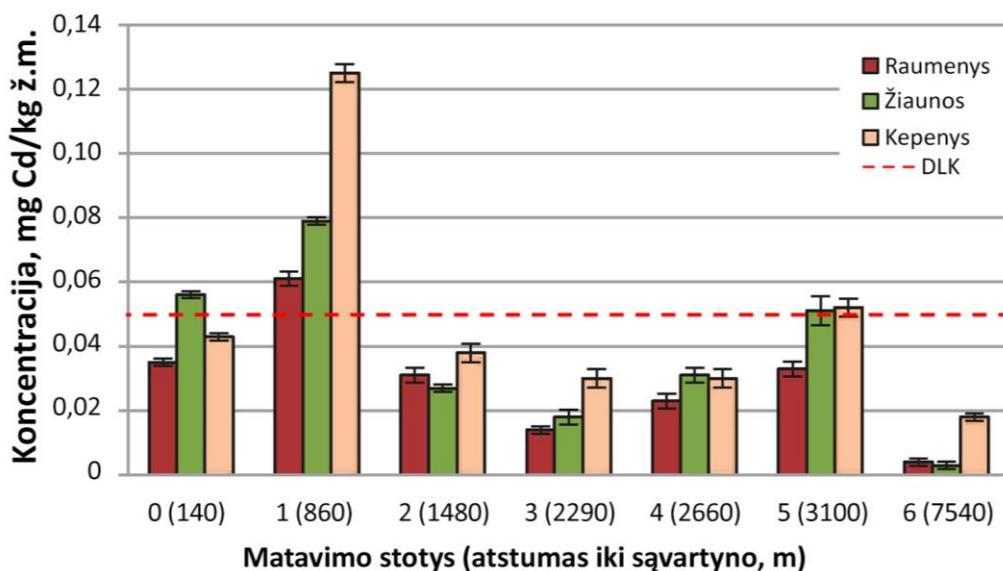
Kadmis (Cd) nustatytas visuose ištirtuose mėginiuose. Iš 3.1 ir 3.2 paveikslų matyti, kad Cd žuvų kūno audiniuose kaupiasi netendencingai. Daugumoje mėginių nustatytas kadmio kiekis neviršijo didžiausios leidžiamos koncentracijos (DLK) žuvyse ir žuvies produktuose (0,05 mg Cd/kg ž.m.).



3.1 pav. Kadmio kiekis bentofaginių žuvų kūno audiniuose, mg/kg žalios masės (M ± SE)

Nustatyta, kad bentofaginių žuvų audiniuose susikaupusią Cd koncentraciją galima išdėstyti tokia mažėjančia tvarka: raumenys ($0,032 \pm 0,007$ mg/kg ž.m., $M \pm SE$, atitinkamai) > kepenys ($0,028 \pm 0,007$ mg/kg ž.m.) > žiaunos ($0,024 \pm 0,005$ mg/kg ž.m.), tuo tarpu plėšriųjų žuvų audiniuose didžiausia Cd koncentracija nustatyta žiaunose ($0,035 \pm 0,011$ mg/kg ž.m., $M \pm SE$, atitinkamai), toliau seka kepenys ($0,034 \pm 0,006$ mg/kg ž.m.), o mažiausios koncentracijos nustatytos raumenyse ($0,028 \pm 0,007$ mg/kg ž.m.).

Kadmio koncentracijos žiaunose skaičiavimas atliktas, neįvertinant 0 stoties duomenų, kadangi nepakanka duomenų apie Cd kiekius bentofaginių žuvų žiaunose šioje stotyje. Kadmio koncentracijos kepenyse skaičiavimas atliktas, neįvertinat 0 ir 1 stočių duomenų, kadangi nepakanka duomenų apie Cd kiekius bentofaginių žuvų kepenyse šiose stotyse.



3.2 pav. Kadmio kiekis plėšrių žuvų kūno audiniuose, mg/kg žalios masės ($M \pm SE$)

Mokslininkai (Idzelis *ir kt.* 2008) atliko eksperimentinį tyrimą, kurio metu žuvys (ešerys, kuoja) buvo veikiamos sunkiųjų metalų modeliniu mišiniu (veikimo trukmė 14 dienų) (Cu, Zn, Ni, Pb, Cd, Cr – didžiausiomis leidžiamosiomis koncentracijomis). Nustatė, kad kuojos (bentofago) audiniuose Cd kaupiasi tokia seka kepenys ($0,061$ mg/kg ž.m.) > raumenys ($0,059$ mg/kg ž.m.) > žiaunos ($0,049$ mg/kg ž.m.). Tokia Cd kaupimosi tendencija nustatyta ir ešerio (plėšrūnas) audiniuose, skiriasi tik sukauptas metalo kiekis.

Palyginus šio tyrimo rezultatus (sunkiųjų metalų kaupimasis žuvų audiniuose gamtinėje aplinkoje) su eksperimentinio laboratorinio tyrimo rezultatais matyti, kad Cd žuvų audiniuose ir organuose natūralioje aplinkoje ir laboratorinėmis sąlygomis kaupiasi skirtingai, kadangi gamtinėje aplinkoje žuvys gyvena nuolat kintančiomis aplinkos sąlygomis, tuo tarpu laboratorinio eksperimento metu sukuriama sąlyginai pastovios gyvenimo sąlygos.

Daugiausiai Cd buvo aptikta 1-os stoties visuose plėšriųjų žuvų (lydekos ir ešerio) audiniuose (žiaunose, kepenyse, raumenyse) ir svyravo 0,061–0,125 mg/kg žalios masės ribose (3.1 lentelė), visai atvejais nustatytas kiekis viršijo DLK (3.1 pav.).

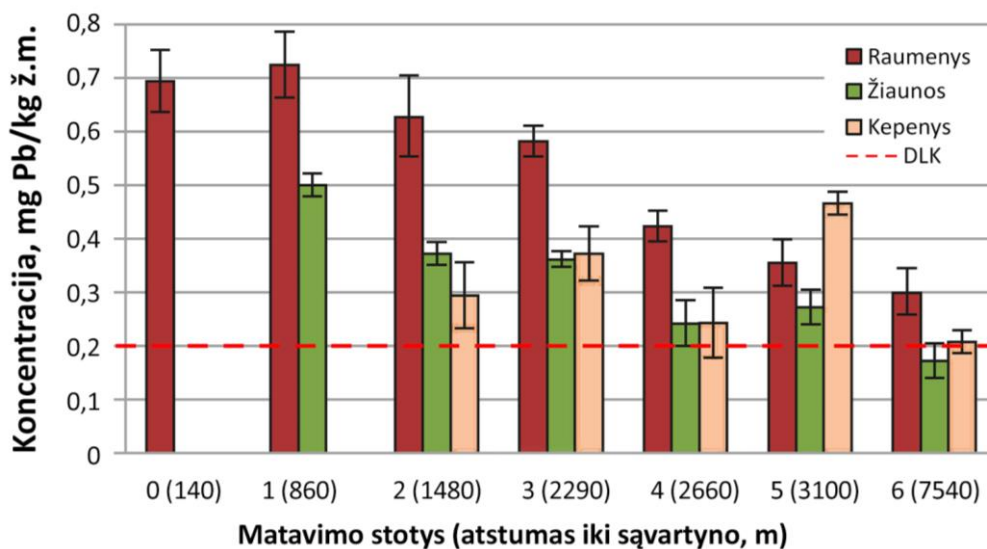
Didžiausiai Cd kiekis (0,125 mg/kg ž.m.) nustatytas 1-os stoties plėšriųjų žuvų kepenyse, ši vertė du kartus viršijo DLK. Nežymiai DLK vertės buvo viršijamos 0-ės stoties plėšriųjų žuvų žiaunose, 2-os stoties bentofaginių žuvų (3.2 pav.) raumenyse ir kepenyse, bei 5-os stoties plėšriųjų žuvų žiaunose ir kepenyse.

Mažiausi Cd kiekiai bentofaginių ir plėšriųjų žuvų audiniuose nustatyti Ginkūnų tvenkinyje (3 st. ir 4 st.) ir Švedės upelyje (6 st.) gyvenančių žuvų kūno audiniuose ($0,017 \pm 0,002$ mg/kg ž.m., $M \pm SE$, atitinkamai).

Aplinkos ministerija 2003 m. iniciavo žuvų tyrimus 15-oje Lietuvos upių ir 5-iose ežeruose. Nustatyta, kad Širvintos žemupyje gyvenančių kuojų raumenyse vidutinė Cd koncentracija yra 0,004 mg/kg ž.m., didžiausia – 0,013 mg/kg ž.m. (Projekto „Sunkiųjų ... 2004).

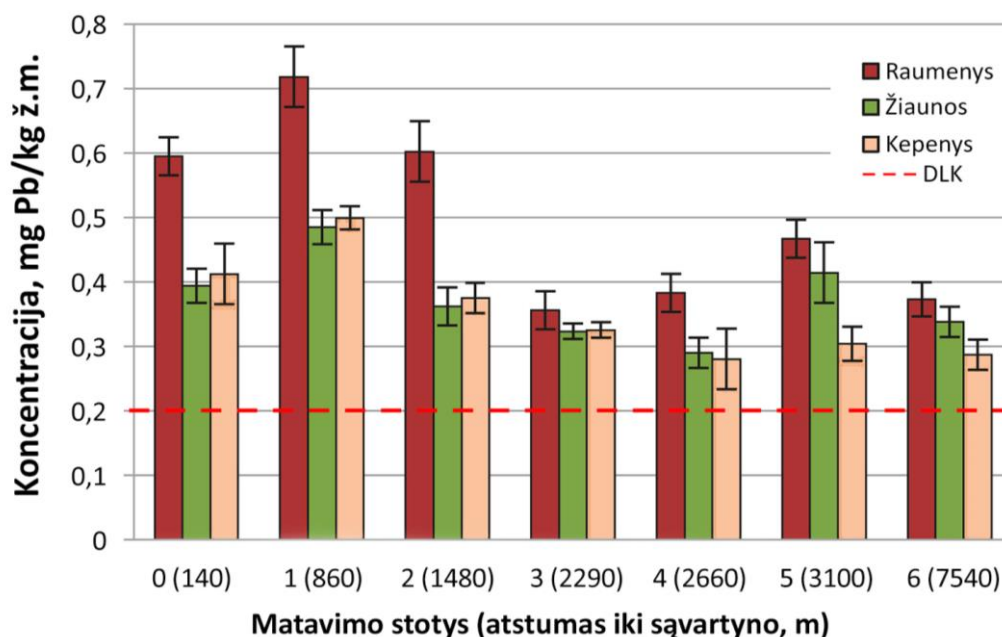
Palyginus šio tyrimo ir monitoringo duomenis, galima teigti, kad Kairių sąvartynas veikia greta esančias hidroekosistemas, kadangi nustatytas Cd kiekis žuvų, gyvenančių sąvartyno veikiamose hidroekosistemose, audiniuose yra daug kartu didesnis.

Švinas (Pb) buvo aptiktas absoliučiai visuose žuvų audiniuose ir svyravo 0,173–0,725 mg/kg ž.m. ribose. Nustatyta, kad Pb tendencingai kaupiasi tiek bentofaginių, tiek plėšriųjų žuvų audiniuose (3.3 pav., 3.4 pav.).



3.3 pav. Švino kiekis bentofaginių žuvų kūno audiniuose, mg/kg žalios masės ($M \pm SE$)

Vidutinė Pb koncentracija bentofaginių žuvų raumenyse buvo $0,530 \pm 0,06$ mg/kg ž.m., $M \pm SE$, atitinkamai, o plėšriųjų žuvų raumenyse $0,499 \pm 0,05$ mg/kg ž.m. Vidutinė Pb koncentracija bentofaginių žuvų žiaunose – $0,320 \pm 0,04$ mg/kg ž.m., plėšriųjų žuvų žiaunose – $0,369 \pm 0,03$ mg/kg ž.m. (skaičiavimai atlikti neįvertinant 0 stoties duomenų). Vidutinė Pb koncentracija bentofaginių žuvų kepenyse – $0,317 \pm 0,05$ mg/kg ž.m., plėšriųjų žuvų kepenyse – $0,314 \pm 0,02$ mg/kg ž.m. (skaičiavimai atlikti neįvertinant 0 ir 1 stočių duomenų). Taigi, Pb kaupimosi bentofaginių ir plėšriųjų žuvų audiniuose seka vienoda: raumenys > žiaunos > kepenys.



3.4 pav. Švino kiekis plėšrių žuvų kūno audiniuose, mg/kg žalios masės ($M \pm SE$)

Didžiausias Pb kiekis nustatytas žuvų raumenyse ir svyravo 0,299–0,725 mg/kg ž.m. ribose. Pb žiaunose (0,173–0,500 mg/kg ž.m.) ir kepenyse (0,208–0,499 mg/kg ž.m.) kaupėsi panašiai (3.1 lentelė). Mažiausios Pb koncentracijos nustatytos 6-os stoties bentofaginių žuvų kūno audiniuose.

Didžiausi švino kiekiai buvo aptikti 1-os stoties bentofaginių ($0,725 \pm 0,045$ mg/kg ž.m., $M \pm SE$, atitinkamai) ir plėšriųjų ($0,718 \pm 0,046$ mg/kg ž.m.) žuvų raumenyse, bei 0-ės stoties bentofaginių ($0,695 \pm 0,037$ mg/kg ž.m.) žuvų raumenyse.

Visais atvejais (išskyrus vieną – 6-os stoties bentofaginių žuvų žiaunos) nustatytas Pb kiekis viršijo didžiausią leidžiamą koncentraciją (DLK) žuvyse ir žuvies produktuose (0,2 mg Pb/kg ž.m.). Švino koncentracija raumenyse vidutiniškai 2,5 karto viršijo DLK, tuo tarpu žiaunose ir kepenyse nustatyta koncentracija 1,7 karto viršijo DLK.

Kenšova *et al.* (2010) analizavo Pb kaupimąsi lydekos audiniuose natūralioje gamtinėje aplinkoje, Vestonice tvenkinyje (Čekija). Tvenkinis įrengtas 1980 m, čia vykdoma rekreacinė ir komercinė žvejyba, tvenkinio vanduo yra naudojamas dirbamų laukų drėkinimui, pramonėje,

energijos gamybai (veikia hidraulinė jėgainė). Nustatė, kad lydeka daugiausiai Pb sukaupia kepenyse (0,045 mg/kg ž.m.), toliau seka raumenys (0,019 mg/kg ž.m.) ir mažiausios koncentracijos nustatomos žiaunose (0,005 mg/kg ž.m.). Palyginus duomenis, matyti, kad žuvų, gyvenančių Kairių sąvartyno veikiamose vandens ekosistemose, audiniuose sukaupti Pb kiekiai yra daug kartų didesni.

Paveikus kuoją (14 dienų) SM modeliniu mišiniu (Cu, Zn, Ni, Pb, Cd, Cr – didžiausiomis leidžiamosiomis koncentracijomis), jos audiniuose ir organuose susikaupusią Pb koncentraciją galima išdėstyti tokia mažėjančia tvarka: kepenys (0,325 mg/kg ž.m.) > raumenys (0,280 mg/kg ž.m.) > žiaunos (0,123 mg/kg ž.m.). Tuo tarpu ešeris raumenyse akumuliuoja didesnius Pb kiekius (0,171 mg/kg ž.m.) nei kepenyse (0,150 mg/kg ž.m.) (Idzelis *ir kt.* 2008).

Palyginimui, Žeimenos upėje gyvenančių kuojų kepenyse vidutinė Pb koncentracija buvo 0,17 mg/kg ž.m., didžiausia – 0,49 mg/kg ž.m. (Projekto „Sunkiųjų ... 2004).

Išanalizavus ir palyginus šio tyrimo rezultatus su kitų autorių darbais, matyti, kad Pb kiekiai gamtinėje aplinkoje gyvenančių žuvų audiniuose Lietuvoje yra didesni nei užsienyje ar eksperimentiškai paveiktų žuvų audiniuose. Todėl galima daryti prielaidą, kad didžioji dalis Pb, patekusio į žuvų organizmą, kaupiasi jame, o tik maža dalis pasišalina.

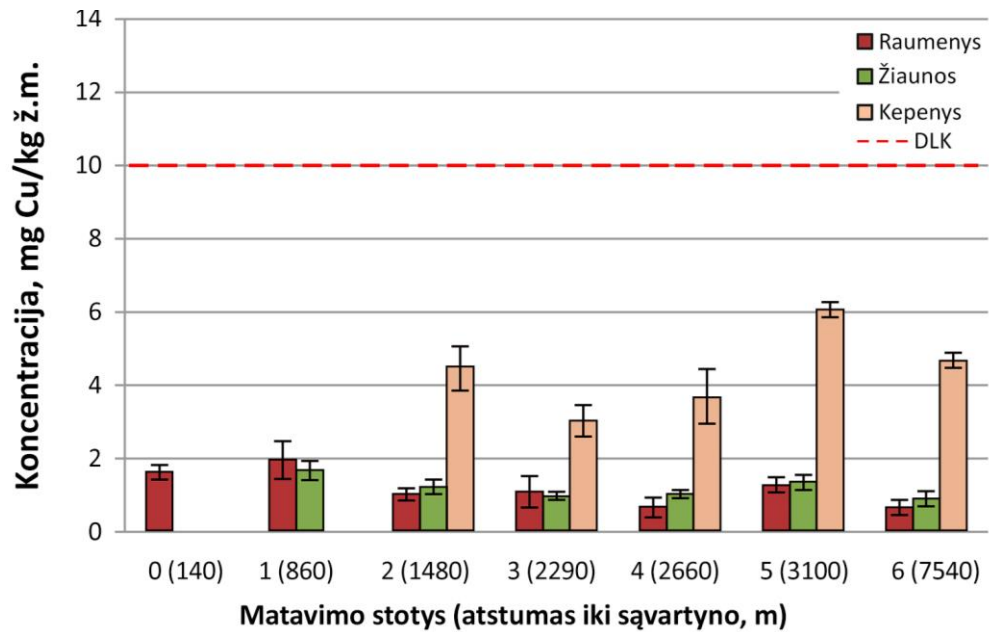
Varis (Cu) buvo aptiktas absoliučiai visuose žuvų audiniuose ir svyravo 0,606–13,789 mg/kg ž.m. ribose (3.1 lentelė). Nustatyta, kad bentofaginių ir plėšrių žuvų audiniuose Cu kaupiasi tendencingai (3.5 pav., 3.6 pav.). Vidutinės Cu koncentracijos bentofaginių ir plėšriųjų žuvų audiniuose pateikiamos 3.2 lentelėje. Vario koncentracijos žiaunose skaičiavimas atliktas neįvertinant 0 stoties duomenų, o koncentracijos kepenyse skaičiavimas atliktas neįvertinant 0 ir 1 stočių duomenų.

3.2 lentelė. Vidutiniai Cu kiekiai bentofaginių ir plėšriųjų žuvų audiniuose, mg/kg žalios masės (vidurkis ± standartinė paklaida)

Ekologinė grupė	Cu kiekiai mg/kg ž.m. (M ± SE)		
	Raumenys	Žiaunos	Kepenys
Bentofagai	1,210 ± 0,180	1,213 ± 0,122	4,413 ± 0,513
Plėšrūnai	1,140 ± 0,227	1,440 ± 0,227	2,752 ± 0,562

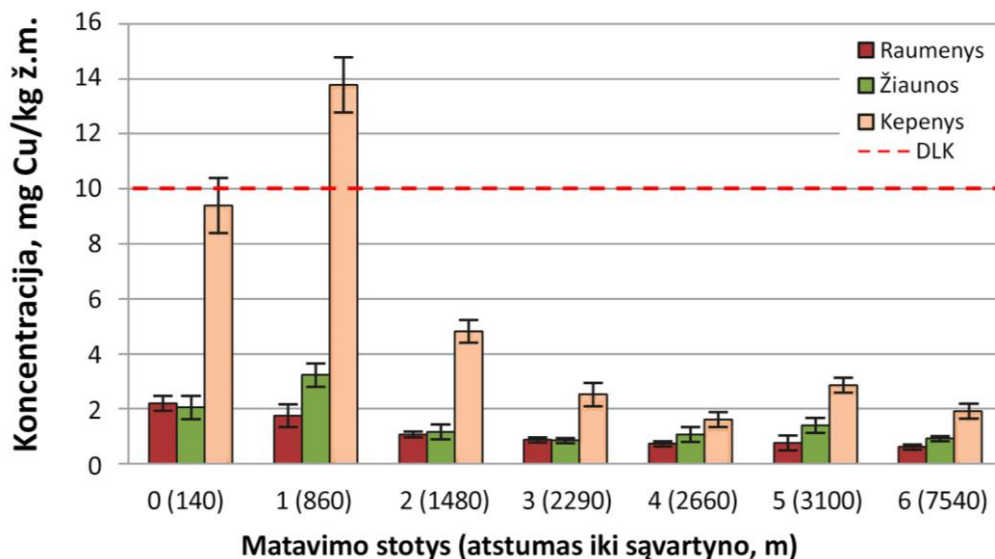
Didžiausias vario kiekis nustatytas bentofaginių ir plėšriųjų žuvų kepenyse ir yra vidutiniškai 3 kartus didesnis negu Cu kiekis raumenyse ir vidutiniškai 2,7 karto didesnis negu Cu kiekis žiaunose (3.2 lentelė).

Nustatyta, kad Cu bentofaginių ir plėšriųjų žuvų audiniuose akumuliuojasi tokia tvarka kepenys > žiaunos > raumenys. Tokią pačią seką nustatė Kenšova *et al.* (2010) bei Rajkowska ir Protasowicki (2013). Mokslininkai tyrė Cu kaupimąsi lydekos audiniuose gamtinėje aplinkoje.



3.5 pav. Vario kiekis bentofaginių žuvų kūno audiniuose, mg/kg žalios masės ($M \pm SE$)

Rajkowska ir Protasowicki (2013) lydekų, gyvenančių Insko ežere (Lenkija), kepenyse nustatė 2,64 mg Cu/kg ž.m., žiaunose 0,44 mg Cu/kg ž.m. ir raumenyse 0,14 mg Cu/kg ž.m. Nustatytas Cu kiekis beveik sutampa su tyrimo rezultatais, tačiau plėšrios žuvys, gyvenančios stotyse arčiausiai Kairių sąvartyno, akumuliuoja kelis kartus didesnius Cu kiekius (3.6 pav.).



3.6 pav. Vario kiekis plėšrių žuvų kūno audiniuose, mg/kg žalios masės ($M \pm SE$)

Paveikus kuoją (14 dienų) SM modeliniu mišiniu (Cu, Zn, Ni, Pb, Cd, Cr – didžiausiomis leidžiamosiomis koncentracijomis) nustatyta, kad didžiausi Cu kiekiai susikaupia kepenyse (2,42 mg/kg ž.m.), toliau seka raumenys (1,21 mg/kg ž.m.) ir mažiausi kiekiai aptinkami žiaunose (0,74

mg/kg ž.m.). Ešeris audiniuose Cu akumuluoja tokia pat tvarka, tik mažesnius kiekius (Idzelis ir kt. 2008).

Palyginus Cu kaupimosi žuvų audiniuose sekas gamtinėje aplinkoje ir eksperimentinio tyrimo, matyti, kad daugiausiai Cu kaupiasi kepenyse, tuo tarpu žiaunose ir raumenyse Cu akumuliuojasi skirtingai.

Didžiausias Cu kiekis buvo nustatytas 1-os stoties plėšrių žuvų kepenyse ($13,789 \pm 0,954$ mg/kg ž.m., $M \pm SE$, atitinkamai), ši vertė nežymiai viršijo didžiausią leidžiamą koncentraciją žuvyse ir žuvies produktuose (10 mg Cu/kg ž.m.).

Mažiausias Cu kiekis buvo nustatytas 4-os ir 6-os stoties bentofagų ir plėšriųjų žuvų raumenyse ($0,681 \pm 0,03$ mg/kg ž.m., $M \pm SE$, atitinkamai).

Cinkas (Zn) nustatytas visuose ištirtuose mėginiuose, jo koncentracija žuvų audiniuose buvo didžiausia, lyginant su kitais nustatytais sunkiaisiais metalais. Didžiausias Zn kiekis nustatytas žuvų žiaunose ir svyravo 92,758–15,661 mg/kg ž.m. ribose, tuo tarpu mažiausias Zn kiekis nustatytas žuvų raumenyse ir svyravo 13,882–5,984 mg/kg ž.m. ribose (3.1 lentelė).

Vidutinės Zn koncentracijos bentofaginių ir plėšriųjų žuvų audiniuose pateikiamos 3.3 lentelėje. Cinko koncentracijos žiaunose skaičiavimas atliktas, neįvertinant 0 stoties duomenų, o koncentracijos kepenyse skaičiavimas atliktas, neįvertinant 0 ir 1 stočių duomenų.

3.3 lentelė. Vidutiniai Zn kiekiai bentofaginių ir plėšriųjų žuvų audiniuose, mg/kg žalios masės (vidurkis $\pm$ standartinė paklaida)

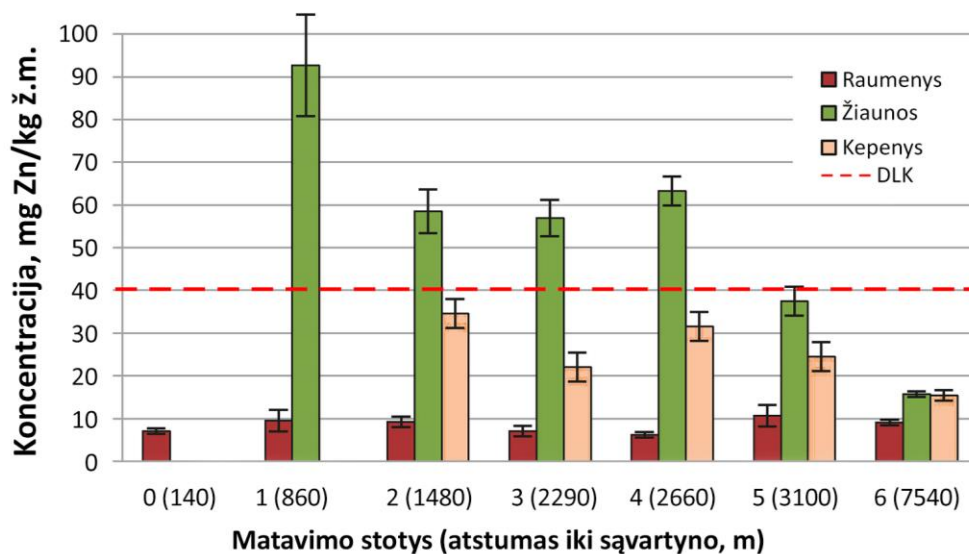
Ekologinė grupė	Zn kiekiai mg/kg ž.m. ($M \pm SE$)		
	Raumenys	Žiaunos	Kepenys
Bentofagai	$8,356 \pm 0,624$	$54,115 \pm 10,582$	$25,635 \pm 3,428$
Plėšrūnai	$9,091 \pm 1,142$	$41,183 \pm 8,335$	$27,100 \pm 2,898$

Iš 3.3 lentelės duomenų matyti, kad bentofaginės žuvys linkusios labiau kaupti Zn žiaunose nei plėšrios žuvys, tuo tarpu plėšrios žuvys labiau geba kaupti Zn raumenyse ir kepenyse.

Nustatyta, kad Zn bentofaginių ir plėšriųjų žuvų audiniuose akumuliuojasi tokia tvarka žiaunos > kepenys > raumenys (3.3 lentelė).

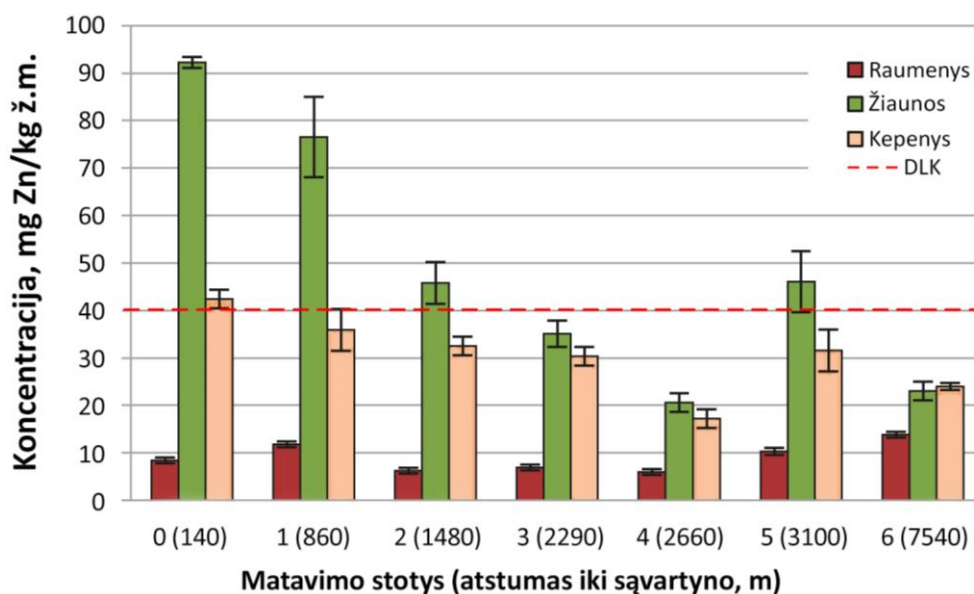
Šio tyrimo metu nustatyta Zn kaupimosi žuvų audiniuose seka sutampa su Kenšova *et al.* (2010) bei Rajkowska ir Protasowicki (2013) atliktais tyrimais.

Didžiausiais Zn kiekis nustatytas 1-os stoties bentofaginių žuvų žiaunose (92,758 mg/kg ž.m.) ir 0-ės stoties plėšriųjų žuvų žiaunose (92,192 mg/kg ž.m.), ši vertė vidutiniškai 2,3 karto viršijo didžiausią leidžiamą koncentraciją (DLK) žuvyse ir žuvies produktuose (40 mg Zn/kg ž.m.) (3.7 pav., 3.8. pav.).



3.7 pav. Cinko kiekis bentofaginių žuvų kūno audiniuose, mg/kg žalios masės ($M \pm SE$)

Mažiausias Zn kiekis nustatytas 4-os stoties bentofaginių ir plėšriųjų žuvų raumenyse ($6,062 \pm 0,08$ mg/kg ž.m., $M \pm SE$, atitinkamai). Visais atvejais Zn kiekis kepenyse ir raumenyse (išskyrus vieną – 0-ės stoties plėšriųjų žuvų kepenis) neviršijo DLK žuvyse ir žuvies produktuose.



3.8 pav. Cinko kiekis plėšrių žuvų kūno audiniuose, mg/kg žalios masės ($M \pm SE$)

Palyginimui: Kenšova *et al.* (2010) lydekų, gyvenančių Vestonice tvenkinyje, didžiausią Zn koncentraciją nustatė žiaunose – 57 mg/kg ž.m., toliau seka kepenys – 23 mg/kg ž.m. ir mažiausią raumenyse – 5 mg/kg ž.m. Taigi žuvys, gyvenančios Ginkūnų tvenkinyje ir Švedės upelyje, audiniuose akumuliuoja panašų Zn kiekį.

Žeimenos upėje gyvenančių kuojų žiaunose vidutinė Zn koncentracija buvo 26,23 mg/kg ž.m., didžiausia – 52,7 mg/kg ž.m. (Projekto „Sunkiųjų ... 2004).

Palyginus šio tyrimo rezultatus su monitoringo rezultatais ir kitų autorių tyrimais galime teigti, kad Kairių sąvartynas veikia šalia esančias vandens ekosistemas, kadangi nustatytos Zn koncentracijos žuvų audiniuose stotyse greta sąvartyno didesnes nei kitų tyrimų metu, atliktų santykinai neužterštoje gamtinėje aplinkoje, nustatytos koncentracijos.

3.2. Sunkiųjų metalų kiekio bentofaginių ir plėšriųjų žuvų audiniuose sąryšis su biotiniais faktoriais ir atstumu iki taršos šaltinio

Atlikus koreliacinę analizę, įvertintas sąryšis tarp sunkiųjų metalų (Cd, Pb, Cu, Zn) kiekio bentofaginių (saulažuvų, kuojų, lynų, strepečių, aukšlių) ir plėšrių (lydekų ir ešerių) žuvų audiniuose (raumenyse, žiaunose, kepenyse) ir žuvų morfometrinių parametrų bei atstumo iki taršos šaltinio (Kairių sąvartyno). Ryšys tarp dviejų kintamųjų (X ir Y) nustatytas apskaičiuojant Pirsono koreliacijos koeficientą, kuris įvertina tiesinio ryšio stiprumą. Ryšio patikimumas įvertintas, taikant patikimumo kriterijų $p < 0,05$.

Lentelėje 3.4 pateikiami koreliacijos koeficientai, nusakantys ryšį tarp sunkiųjų metalų kiekio žuvų audiniuose ir žuvų morfometrinių parametrų bei atstumo iki taršos šaltinio Kairių sąvartyno.

3.4 lentelė. Sunkiųjų metalų kiekio (mg/kg ž. m.) bentofaginių (saulažuvų, kuojų, lynų, strepečių, aukšlių) ir plėšriųjų (lydekų ir ešerių) žuvų kūno audiniuose sąryšis (koreliacijos koeficientas, r) su biotiniais faktoriais ir atstumu iki Kairių sąvartyno

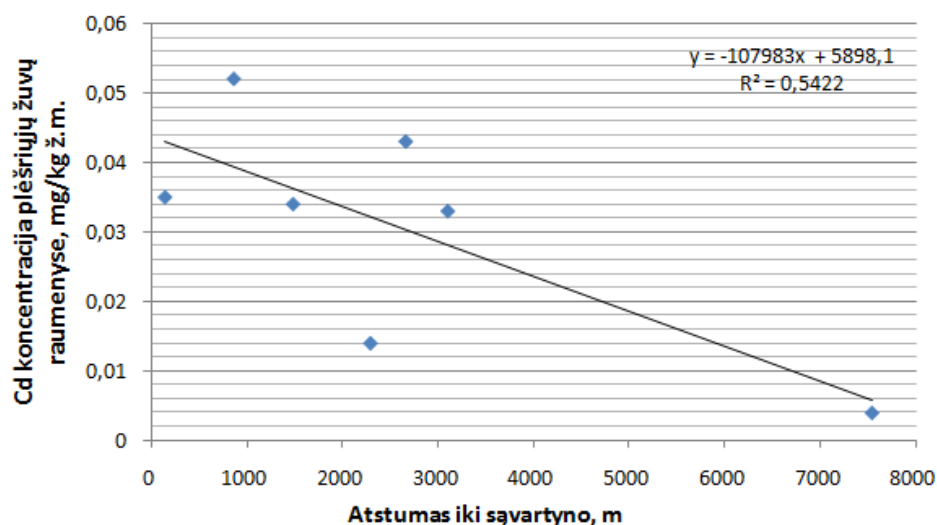
Žuvų ekologinis tipas	Kūno audinys (Y kint-is)	Parametrai (X kintamieji)					
		Bendras ilgis, cm	Standartinis ilgis, cm	Bendras svoris, g	Svoris be vidurių, g	Vidutinis žuvų amžius, metais	Atstumas iki sąvartyno, m
Koreliacijos koeficientai (r) nusakantys ryšį tarp Cd kiekio audiniuose (Y) ir atskirų parametrų (X)							
Bentofagai	R	0,28	0,28	0,41	0,45	0,22	−0,51
	Ž	−0,07	−0,07	0,05	0,03	−0,17	−0,79*
	K	0,69	0,69	0,79	0,77	0,60	−0,79
Plėšrūnai	R	0,17	0,16	−0,09	−0,08	0,03	−0,74*
	Ž	−0,05	−0,05	−0,29	−0,29	−0,22	−0,69
	K	−0,13	−0,13	−0,21	−0,21	−0,06	−0,48
Koreliacijos koeficientai (r) nusakantys ryšį tarp Pb kiekio audiniuose (Y) ir atskirų parametrų (X)							
Bentofagai	R	-0,03	-0,03	0,12	0,32	-0,02	-0,86*
	Ž	0,02	0,02	0,10	0,09	-0,01	-0,83*
	K	-0,20	-0,20	-0,17	-0,17	-0,22	-0,46
Plėšrūnai	R	−0,39	−0,39	−0,49	−0,49	−0,28	−0,32
	Ž	−0,62	−0,62	−0,51	−0,51	−0,39	0,07
	K	−0,12	−0,13	−0,15	−0,15	0,05	−0,41

3.4 lentelės tęsinys							
Žuvų ekologinis tipas	Kūno audinys (Y kint-is)	Parametrai (X kintamieji)					
		Bendras ilgis, cm	Standartinis ilgis, cm	Bendras svoris, g	Svoris be vidurių, g	Vidutinis žuvų amžius, metais	Atstumas iki sąvartyno, m
Koreliacijos koeficientai (r) nusakantys ryšį tarp Cu kiekio audiniuose (Y) ir atskirų parametru (X)							
Bentofagai	R	-0,56	-0,55	-0,46	-0,34	-0,56	-0,41
	Ž	-0,84*	-0,84*	-0,78	-0,79*	-0,89*	-0,08
	K	-0,77	-0,77	-0,70	-0,72	-0,84	0,58
Plėšrūnai	R	0,07	0,08	-0,28	-0,28	-0,25	-0,73*
	Ž	-0,25	-0,25	-0,45	-0,45	-0,35	-0,54
	K	-0,47	-0,48	-0,61	-0,62	-0,52	-0,21
Koreliacijos koeficientai (r) nusakantys ryšį tarp Zn kiekio audiniuose (Y) ir atskirų parametru (X)							
Bentofagai	R	-0,39	-0,39	-0,42	-0,66	-0,47	0,23
	Ž	0,19	0,18	0,22	0,22	0,15	-0,88*
	K	-0,49	-0,50	-0,44	-0,45	-0,59	-0,23
Plėšrūnai	R	-0,87*	-0,87*	-0,70	-0,71	-0,72	0,57
	Ž	-0,21	-0,2	-0,55	-0,56	-0,56	-0,64
	K	-0,06	-0,05	-0,37	-0,38	-0,38	-0,59

Pastaba: Ž – žiaunos, K – kepenys, R – raumenys; žvaigždutės (*) žymi patikimus r skirtumus ($p \leq 0,05$).

Kadmis (Cd)

Iš 3.4 lentelės duomenų matyti, kad Cd kiekiai plėšriųjų žuvų raumenyse patikimai koreliavo su atstumu iki sąvartyno, nustatytas statistiškai patikimas neigiamas stiprus ryšys ($r = -0,74$) (3.9 pav.). Nustatytas neigiamas (atvirkštinis) ryšys parodė, kad, tolstant nuo taršos šaltinio susikaupęs Cd kiekis plėšriųjų žuvų raumenyse patikimai mažėja.



3.9 pav. Kadmio koncentracijos (mg/kg ž.m.) plėšriųjų žuvų raumenyse priklausomybė nuo atstumo iki Kairių sąvartyno

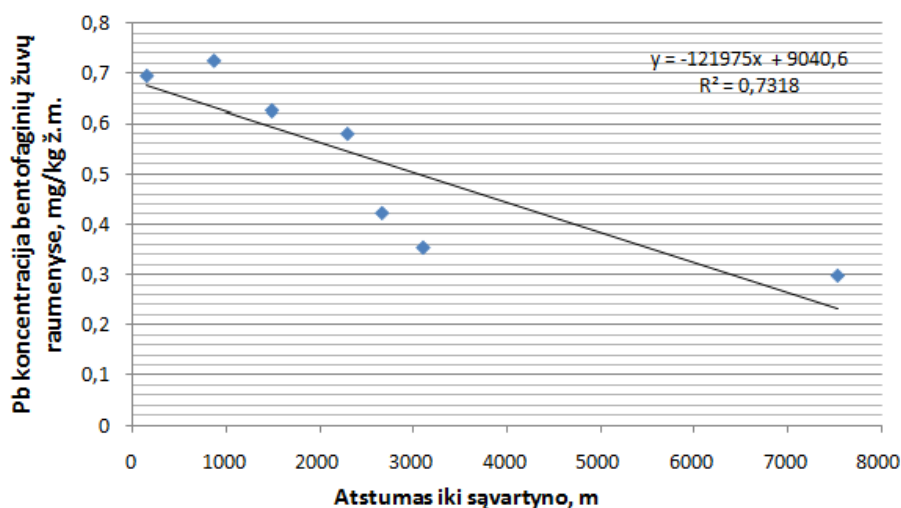
Taip pat nustatytas vidutinio stiprumo ryšys ($r = -0,69$) tarp Cd koncentracijos plėšrių žuvų žiaunose bei atstumo iki taršos šaltinio, tačiau šis ryšys nėra statistiškai patikimas. Pažymėtina, kad Cd koncentracija plėšrių žuvų kūno audiniuose silpnai koreliavo su žuvų morfometriniais parametrais.

Nustatytas stiprus ir vidutinis tiesioginis ryšys tarp Cd koncentracijos bentofaginių žuvų kepenyse ir bendro kūno svorio ($r = 0,79$), bendro kūno ilgio ($r = 0,69$), standartinio ilgio ($r = 0,69$), bendro kūno svorio be vidaus organų ($r = 0,77$), vidutinio žuvų amžiaus ($r = 0,60$), tačiau šie ryšiai nėra statistiškai patikimi. Tiesioginis (teigiamas) ryšys parodo, kad, didėjant vieno požymio reikšmėms, didėja ir kito reikšmės, ir atvirkščiai. Nustatyti ryšiai parodė, kad augant žuvis kepenyse akumuliuoja vis didesnius Cd kiekius.

Statistiškai patikimas neigiamas stiprus ryšys ($r = -0,79$) buvo nustatytas tarp Cd koncentracijos bentofaginių žuvų žiaunose ir atstumo iki Kairių sąvartyno.

Švinas (Pb)

Nustatytas statistiškai patikimas neigiamas stiprus ryšys ($r = -0,86$) tarp Pb koncentracijos bentofaginių žuvų raumenyse ir atstumo iki taršos šaltinio (3.10 pav.). Taip pat nustatytas statistiškai patikimas neigiamas stiprus ryšys ($r = -0,83$) tarp Pb koncentracijos bentofaginių žuvų žiaunose ir atstumo iki Kairių sąvartyno.



3.10 pav. Švino koncentracijos (mg/kg ž.m.) bentofaginių žuvų raumenyse priklausomybė nuo atstumo iki Kairių sąvartyno

Bentofaginių žuvų kūno audiniuose Pb koncentracijos priklausomybės nuo biotinių faktorių nenustatytos. Tuo tarpu Pb kiekis plėšriųjų žuvų žiaunose vidutiniškai koreliavo su bendru kūno ilgiu ($r = -0,62$) ir standartiniu ilgiu ($r = -0,62$). Šie ryšiai parodė, kad didėjant bentofaginių žuvų ilgiui Pb koncentracija žiaunose mažėja.

Švino koncentracijos plėšriųjų žuvų kūno audiniuose priklausomybės nuo atstumo iki taršos šaltinio nebuvo statistiškai reikšmingos.

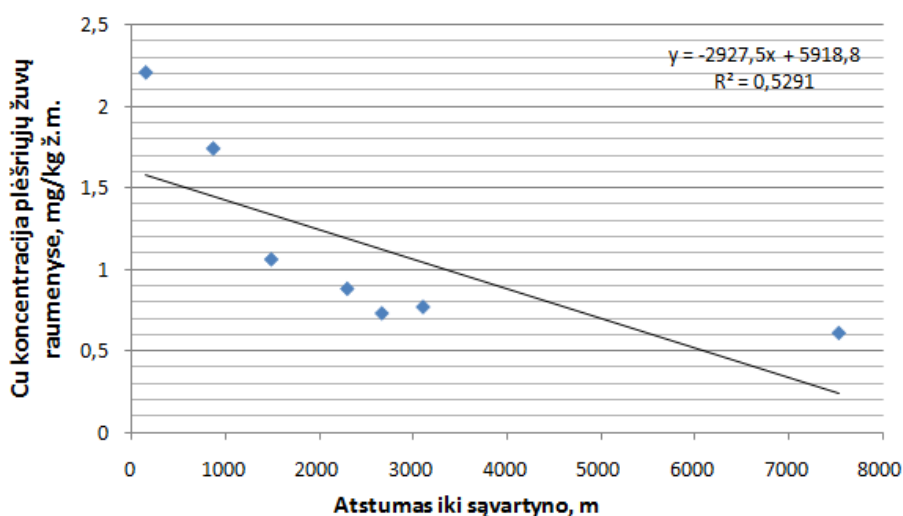
Varis (Cu)

Nustatytas statistiškai reikšmingas neigiamas stiprus ryšys tarp Cu koncentracijos bentofaginių žuvų žiaunose ir bendro kūno ilgio ($r = -0,84$), standartinio ilgio ($r = -0,84$), bendro kūno svorio be vidaus organų ($r = -0,79$) ir vidutinio žuvų amžiaus ($r = -0,89$).

Vario koncentracija bentofaginių žuvų kepenyse stipriai koreliavo su bendru kūno ilgiu ($r = -0,77$), standartiniu ilgiu ($r = -0,77$), bendru kūno svoriu ($r = -0,70$), bendru kūno svoriu be vidaus organų ($r = -0,72$) bei vidutiniu žuvų amžiumi ($r = -0,84$), tačiau šie ryšiai nebuvo statistiškai patikimi.

Nustatyti neigiami ryšiai parodė, kad augant žuvis žiaunose ir kepenyse akumuliuoja vis mažesnius Cd kiekius.

Stiprus neigiamas statistiškai reikšmingas koreliacinis ryšys ($r = -0,73$) buvo nustatytas tarp Cu koncentracijos plėšriųjų žuvų raumenyse ir atstumo iki Kairių sąvartyno (3.11 pav.). Tuo tarpu Cu koncentracija plėšrių žuvų žiaunose ir kepenyse silpnai koreliavo su atstumu iki taršos šaltinio.



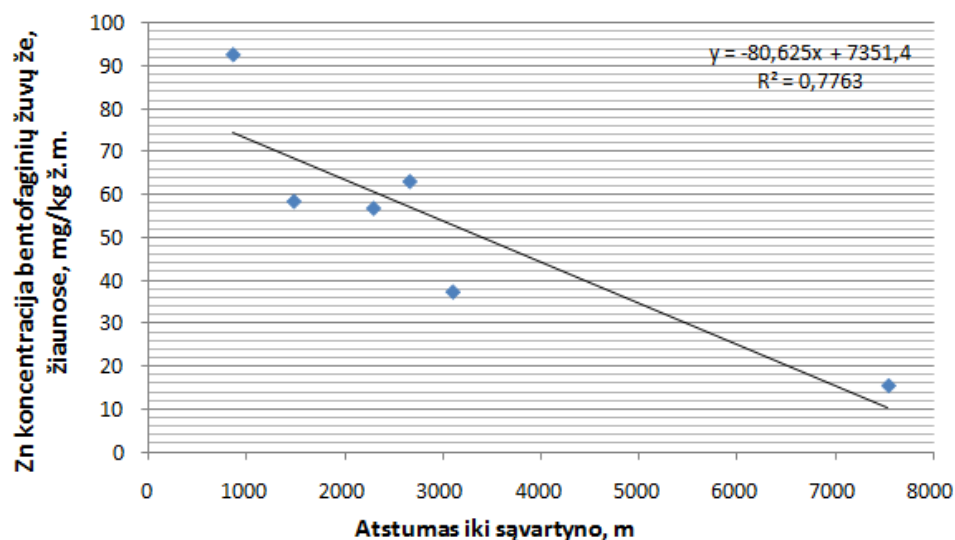
3.11 pav. Vario koncentracijos (mg/kg ž.m.) plėšriųjų žuvų raumenyse priklausomybė nuo atstumo iki Kairių sąvartyno

Vario koncentracijos ryšys plėšriųjų žuvų kūno audiniuose su biotiniais faktoriais buvo silpnesnis negu bentofaginių žuvų.

Cinkas (Zn)

Nustatytas statistiškai patikimas neigiamas stiprus ryšys ($r = -0,88$) tarp Zn koncentracijos bentofaginių žuvų žiaunose ir atstumo iki Kairių sąvartyno (3.12 pav.). Pažymėtina, kad Zn

koncentracija bentofagių žuvų kūno audiniuose silpnai koreliavo su žuvų morfometriniais parametrais.



3.12 pav. Cinko koncentracijos (mg/kg ž.m.) bentofaginių žuvų žiaunose priklausomybė nuo atstumo iki Kairių sąvartyno

Nustatytas vidutinio stiprumo ryšys tarp Zn koncentracijos plėšriųjų žuvų žiaunose ($r = -0,64$) ir kepenyse ($r = -0,59$) ir atstumo iki taršos šaltinio.

Cinko koncentracija plėšrių žuvų raumenyse stipriai koreliavo su bendru kūno ilgiu ($r = -0,87$), standartiniu ilgiu ($r = -0,87$), bendru kūno svoriu ($r = -0,70$), bendru kūno svoriu be vidaus organų ($r = -0,71$) bei vidutiniu žuvų amžiumi ($r = -0,72$). Tačiau statistiškai patikimas ryšys nustatytas tik tarp Zn koncentracijos bentofaginių žuvų raumenyse ir bendro bei standartinio kūno ilgio. Šie ryšiai rodo, kad augant plėšrios žuvis raumenyse kaupia vis mažesnius Zn kiekius.

Koreliacinė analizė parodė, kad Kairių sąvartynas veikia šalia esančių hidroekosistemų žuvis, kadangi, tolstant nuo taršos šaltinio, susikaupęs SM kiekis žuvų kūno audiniuose mažėja.

SKYRIAUS IŠVADOS

1. Tirtų žuvų kūno audiniuose buvo aptikti šie sunkieji metalai: Cd, Pb, Cu, Zn. Chromo (Cr) ir nikelio (Ni) koncentracijos mėginiuose buvo žemesnės negu prietaiso jautrumo riba. Audiniuose daugiausiai buvo aptikta Zn, mažiausiai – Cd.
2. Kadmio (Cd) žuvų audiniuose kaupėsi netendencingai. Nustatyta, kad Cd bentofaginių žuvų audiniuose akumuliuojasi tokia tvarka: raumenys>kepenys>žiaunos, tuo tarpu plėšrių žuvų audiniuose atvirkščiai: žiaunos>kepenys>raumenys. Didžiausias Cd kiekis nustatytas 1-os st. plėšrių žuvų kepenyse (0,125 mg/kg ž.m.), o mažiausias – 6-os st. plėšrių ir bentofaginių žuvų žiaunose ir raumenyse (vid. 0,004 mg/kg ž.m.).
3. Švinas (Pb) bentofaginių ir plėšrių žuvų audiniuose kaupėsi tokia mažėjančia tvarka: raumenys>žiaunos>kepenys. Daugiausiai Pb buvo aptikta 1-os st. bentofaginių ir plėšrių žuvų raumenyse (vid. 0,718 mg/kg ž.m.), bei 0-ės st. bentofaginių žuvų raumenyse (0,695 mg/kg ž.m.), o mažiausiai 6-os st. bentofaginių žuvų žiaunose (0,173 mg/kg ž.m.).
4. Varis (Cu) tendencingai kaupėsi bentofaginių ir plėšrių žuvų audiniuose. Didžiausi Cu kiekiai nustatyti žuvų kepenyse. Tik nežymūs Cu kiekiai buvo aptikti žuvų žiaunose ir raumenyse. Didžiausias Cu kiekis nustatytas 1-os st. plėšrių žuvų kepenyse (13,789 mg/kg ž.m.), o ženkliai mažesnis 4-os ir 6-os st. bentofaginių ir plėšrių žuvų raumenyse (vid. 0,681 mg/kg ž.m.).
5. Cinkas (Zn) bentofaginių ir plėšrių žuvų audiniuose akumuliuojasi tokia tvarka: žiaunos>kepenys>raumenys. Didžiausiais Zn kiekis nustatytas 1-os st. bentofaginių žuvų žiaunose (92,758 mg/kg ž.m.) ir 0-ės st. plėšrių žuvų žiaunose (92,192 mg/kg ž.m.), o mažiausias Zn kiekis aptiktas 4-os st. bentofaginių ir plėšrių žuvų raumenyse (vid. 6,062 mg/kg ž.m.).
6. Tyrimo metu nustatyti Cu ir Zn kaupimosi audiniuose dėsningumai sutampo su kitų autorių (Bochenek *et al.* 2008; Rajkowska *et al.* 2008; Kenšova *et al.* 2010; Rajkowska, Protasowicki 2013) nustatytomis sekomis, skiriasi tik sukauptas metalų kiekis.
7. Visais atvejais Pb, daugelių atvejų Cd ir Zn koncentracijos viršijo didžiausią leidžiamą koncentraciją (DLK) žuvyse ir žuvies produktuose, tik Cu neviršijo DLK.
8. Įvertinus SM kiekio (mg/kg ž.m.) bentofaginių (saulažuvų, kuojų, lynų, strepečių, aukšlių) ir plėšriųjų (lydekų ir ešerių) žuvų kūno audiniuose sąryšius (koreliacijos koeficientas, r) su biotiniais faktoriais ir atstumu iki taršos šaltinio, nustatyta, kad Kairių sąvartynas veikia greta esančias hidroekosistemas.

4. SUNKIŲJŲ METALŲ PERNAŠOS ŽUVYSE MATEMATINIS MODELIAVIMAS

4.1. Cd, Pb, Cu, Zn bioakumuliacijos žuvų audiniuose ir organuose matematinis modeliavimas

Matematinio modeliavimo tikslas – pritaikius vienos talpos biokoncentracijos modelį, diferencialinėmis lygtimis aprašyti ir prognozuoti Cd, Pb, Cu, Zn kaupimąsi žuvų raumenyse, žiaunose ir kepenyse esant ilgalaikiam teršalų poveikiui.

Modeliniu objektu pasirinkta lydeka (lot. *Esox lucius*) gyvenanti arčiausiai Kairių sąvartyno (0 st.), kurios audiniuose sukauptos aukštos sunkiųjų metalų koncentracijos. Duomenys reikalingi matematiniam modeliavimui pateikiami 4.1 lentelėje.

4.1 lentelė. Sunkiųjų metalų koncentracijos lydekos audiniuose ir melioracijos kanalo vandenyje bei DLK normos

SM	SM koncentracija, mg/kg ž.m.			SM koncentracija melioracijos kanalo vandenyje (0 st.), mg/l (Kazlauskienė ir kt. 2013)	DLK vandens telkinyje-priimtuve, mg/l
	Raumenys	Žiaunos	Kepenys		
Cd	0,035	0,056	0,043	0,00015	0,005
Pb	0,595	0,394	0,412	0,0005	0,005
Cu	2,206	2,061	9,403	0,001	0,01
Zn	8,388	92,192	42,338	0,02	0,1

Nustatyta, kad lydekos amžius yra du metai, per šį laikotarpį dalis SM patekusių į organizmą iš vandens, akumuliuavosi jos audiniuose, kita dalis buvo pašalinta iš organizmo.

Kaip jau minėta anksčiau, vienos talpos biokoncentracijos modelyje kaupimasis įvertinamas atsižvelgiant tik į cheminio junginio pasisavinimą ir šalinimą iš organizmo, t.y. SM patekimą iš vandens į tam tikrą žuvies audinį ir pasišalinimą iš jo. Modelyje žuvies audiniuose susikaupianti SM koncentracija aprašoma, kaip SM patekimo ir išskyrimo iš organizmo greičio pusiausvyra (balansas), išreikšta greičio konstantomis. Balansas – tai būseną, kai SM patekimas į žuvies audinį ir pasišalinimas iš jo vyksta vienodu greičiu, teršalas nesikaupia.

Kaupimasis – tai sunkiojo metalo koncentracijos pokytis žuvies audinyje per laiko vienetą, kuris lygus (Rand, Petrocelli 1995):

$$\frac{dC_{aud.}}{dt} = \text{pasisavinimas} - \text{šalinimas} = k_u \cdot C_{H_2O} - k_d \cdot C_{aud.} \quad (4.1)$$

čia: C_{H_2O} – sunkiojo metalo koncentracija vandenyje (mg/l); $C_{aud.}$ – sunkiojo metalo koncentracija audinyje (mg/kg); t – laikas (d); k_u – sunkiojo metalo pasisavinimo greičio konstanta (ml/g·d); k_d – sunkiojo metalo šalinimo greičio konstanta (ml/g·d).

Pusiausvyros nusistovėjimas tarp sunkiojo metalo koncentracijos audinyje ir vandenyje priklauso nuo BCF ir šalinimo greičio konstantos k_d .

Biokoncentracijos faktorius yra lygus:

$$BCF = \frac{C_{aud.}}{C_{H_2O}} \quad (4.2)$$

Praėjus tam tikram laikui po sunkiojo metalo patekimo į vandenį, liekamoji koncentracija organizme esant pusiausvyrai (C_{LKOP}) lygi:

$$C_{LKOP} = \frac{k_u}{k_d} \cdot C_{H_2O} \quad (4.3)$$

Iš 4.3 lygties seka, kad biokoncentracijos faktorius, esant pusiausvyrai ($BCF_{PUS.}$), lygus:

$$BCF_{PUS.} = \frac{C_{LKOP}}{C_{H_2O}} = \frac{k_u}{k_d} \quad (4.4)$$

Esant pastovioms pasisavinimo bei šalinimo greičio konstantoms ir pastoviai sunkiojo metalo koncentracijai vandenyje, integravus 4.1 lygtį, gaunama atskiros sunkiojo metalo koncentracija audinyje tam tikru laiku (t):

$$C(t) = C_{H_2O} \cdot \left(\frac{k_u}{k_d} \right) \cdot (1 - e^{-k_d \cdot t}) = C_{LKOP} \cdot (1 - e^{-k_d \cdot t}) = BCF_{PUS.} \cdot C_{H_2O} \cdot (1 - e^{-k_d \cdot t}) \quad (4.5)$$

Iš 4.5 lygties seka, kad šalinimo konstanta (k_d) lygi:

$$k_d = -\frac{1}{t} \cdot \ln \left(1 - \frac{C(t)}{BCF_{PUS.} \cdot C_{H_2O}} \right) \quad (4.6)$$

Pagal 4.6 lygtį panaudojus tyrimo metu gautas koncentracijas ($C(t)=C_{aud.}$) ir pritaikius tas pačias sąlygas apskaičiuota kiekvieno sunkiojo metalo šalinimo greičio konstanta (k_d) atskiruose audiniuose (4.2 lentelė).

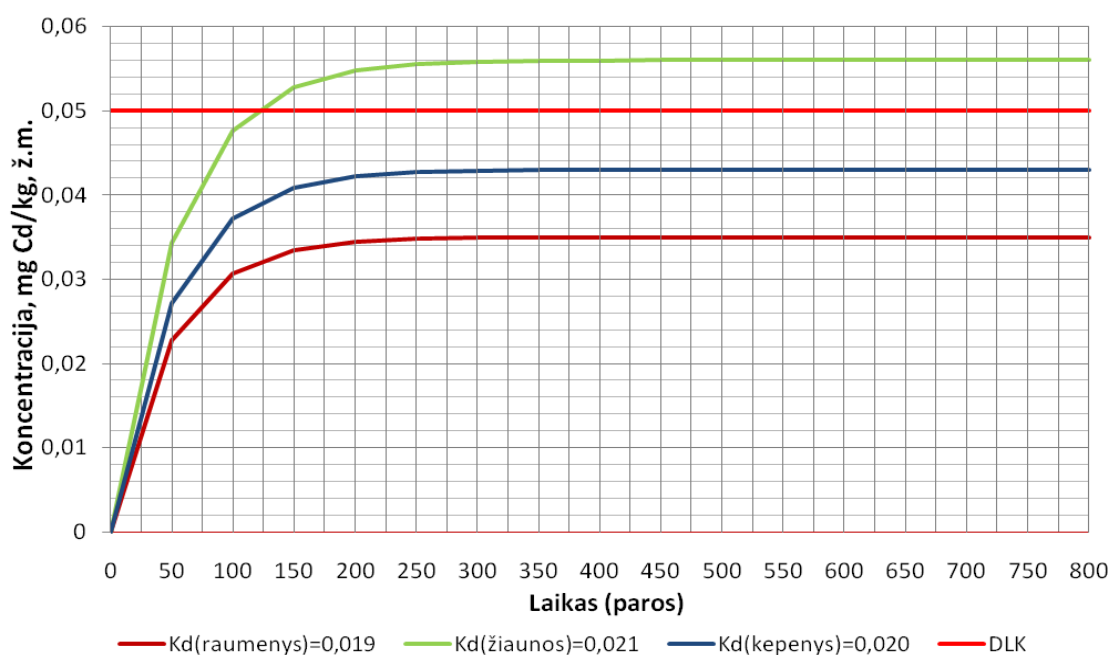
4.2 lentelė. Sunkiųjų metalų šalinimo iš skirtingų audinių greičio konstantos k_d , ml/(g · d)

Audinio tipas	Šalinimo greičio konstantos, k_d			
	Cd	Pb	Cu	Zn
Raumenys	0,019	0,021	0,023	0,016
Žiaunos	0,021	0,019	0,023	0,021
Kepenys	0,020	0,019	0,026	0,019

Šalinimo iš organizmo greitis – svarbus rodiklis galimų toksinių efektų prognozavimui. Kuo ilgesnis teršalo valymosi pusperiodis (angl. *half-life*), tuo ilgiau jis lieka organizme, todėl tikimybė, kad jis sukels toksinį poveikį didėja.

Šis matematinis modelis leidžia prognozuoti SM koncentracijos pasiskirstymą lydekos audiniuose esant ilgesniam teršalų poveikiui – 800 paros, su sąlyga, kad SM koncentracija vandenyje bus pastovi. Pagal 4.5 lygtį apskaičiuotos Cd, Pb, Cu, Zn koncentracijos raumenyse, žiaunose ir kepenyse tam tikru laiku (t) ir grafiškai pavaizduotos Cd, Pb, Cu, Zn pusiausvyrų koncentracijų nusistovėjimo priklausomybės nuo jų šalinimo iš audinių greičio (4.1–4.4).

Kadmio (Cd) šalinimo greičio konstanta audiniuose kito nuo 0,019 iki 0,021 ml/(g·d). Didžiausia konstantos reikšmė nustatyta žiaunose, toliau seka kepenys ir mažiausia raumenyse (4.2 lentelė). Kuo šalinimo greičio konstantos reikšmė didesnė, tuo šalinimas vyksta intensyviau ir lėčiau nusistovi pusiausvyra.



4.1 pav. Kadmio pusiausvyrosios koncentracijos nusistovėjimo priklausomybė nuo jo šalinimo iš audinių greičio ($k_d = \text{ml}/(\text{g} \cdot \text{d})$)

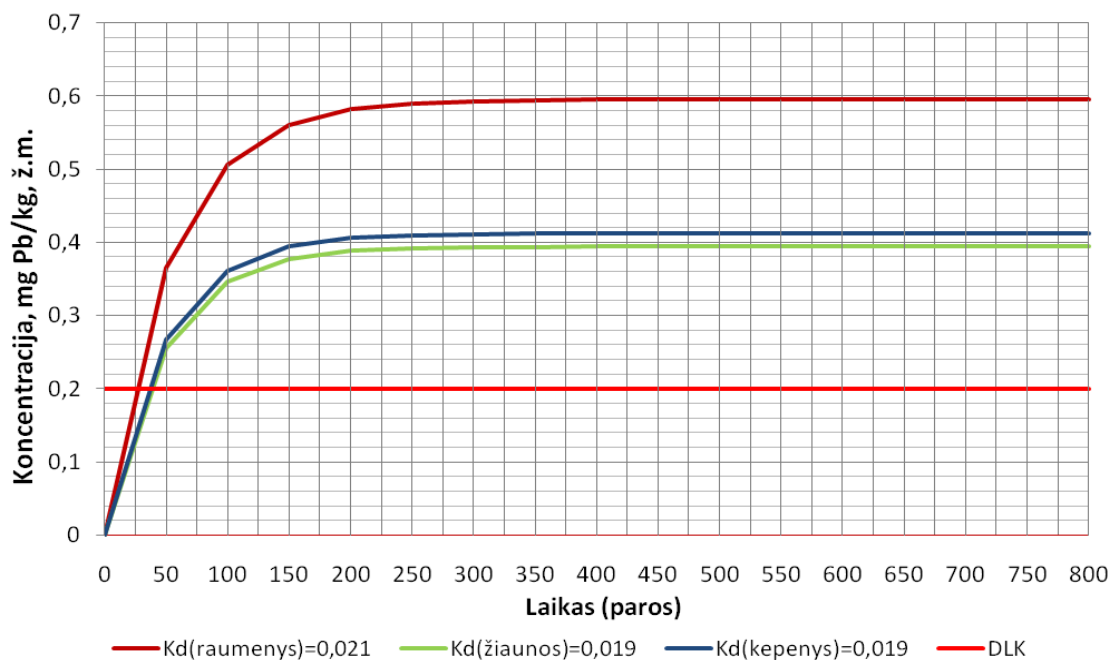
Sunkiųjų metalų koncentracijos pusiausvyros nusistovėjimas tarp audinio ir užterštos terpės parodo, kad koncentracija audinyje stabilizuojasi – pasisavinimo ir šalinimosi procesai vyksta vienodu greičiu. Pažymėtina, kad pusiausvyros nusistovėjimas labai priklauso nuo teršalo gebėjimo kauptis audinyje, kuo intensyviau audinys akumuliuoja teršalą, tuo lėčiau nusistovi pusiausvyra.

Iš 4.1 paveikslo matyti, kad esant pastoviom sąlygom intensyviausias kaupimasis visuose audiniuose vyko pirmas 150 parų, per šį laikotarpį Cd patekimas iš vandens į organizmą viršijo šalinimą, vyko bioakumuliacija. Kadmio koncentracija raumenyse ir kepenyse stabilizavosi po 200 parų, tuo tarpu žiaunose po 250 parų. Akumuluota Cd koncentracija žiaunose jau po 125 parų viršijo DLK (10 mg Cu/kg ž.m.).

Moksliniai tyrimai parodė, kad jei žuvis patektų į mažiau užterštą aplinką, jos audiniuose sukauptas teršalų kiekis mažėtų, prasidėtų valymosi procesas (Rand, Petrocelli 1995).

Švino (Pb) šalinimo greičio konstantų reikšmės kito nuo 0,019 iki 0,021 ml/(g·d). Didžiausia k_d reikšmė nustatyta raumenyse, mažiausios – žiaunose ir kepenyse (4.2 lentelė).

Greičiausiai Pb pusiausvyrosi koncentracija nusistovėjo žiaunose ir kepenyse, kadangi šalinimo konstantų reikšmės šiuose audiniuose buvo mažiausios (4.2 pav.).



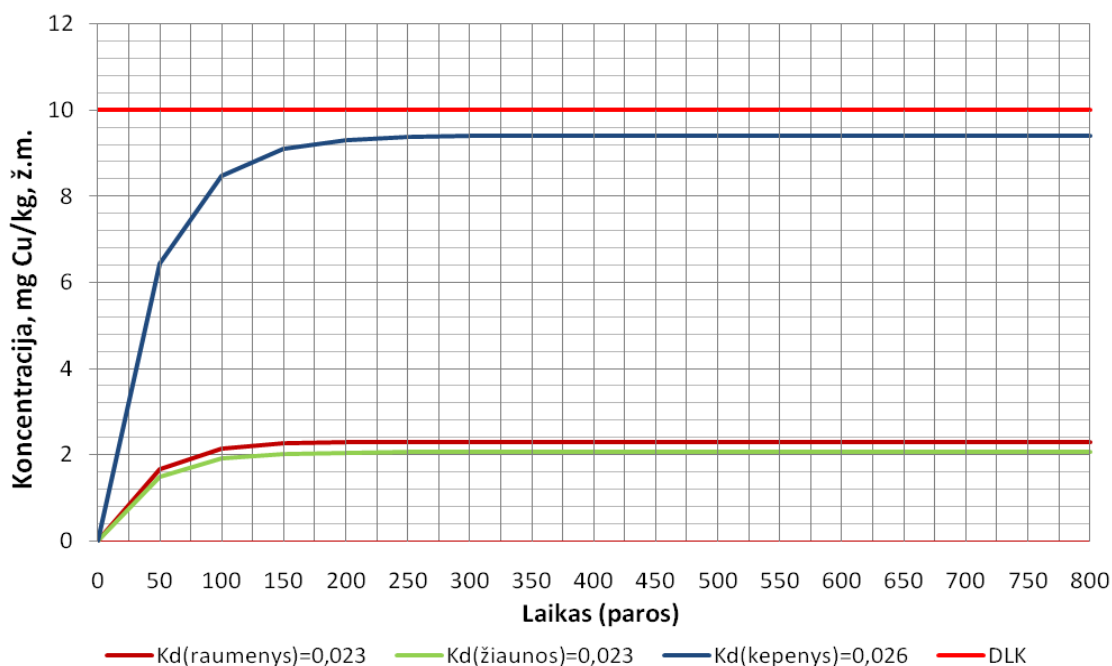
4.2 pav. Švino pusiausvyrosios koncentracijos nusistovėjimo priklausomybė nuo jo šalinimo iš audinių greičio (k_d = ml/(g·d))

Intensyviausias Pb kaupimasis žiaunose ir kepenyse vyko pirmas 75 paras, o raumenyse pirmą 100 parų, vėliau Pb koncentracija visuose audiniuose pradėjo stabilizuotis. Švino pusiausvyrosi koncentracija žiaunose ir kepenyse nusistovėjo po 200 parų, tuo tarpu raumenyse po 250 parų. Švino pusiausvyrosi koncentracija raumenyse nusistovėjo lėčiausiai, kadangi šiame audinyje bioakumuliacijos procesas vyko intensyviausiai.

Modelis parodė, kad po ~50 parų visuose audiniuose sukaupta Pb koncentracija viršijo DLK (0,2 mg Pb/kg ž.m.).

Vario (Cu) šalinimo greičio konstanta audiniuose kito nuo 0,023 iki 0,026 ml/(g·d). Didžiausia k_d reikšmė nustatyta kepenyse, mažiausios – raumenyse ir žiaunose. Vario šalinimo greičio konstantų reikšmės lyginant su kitų metalų šalinimo konstantų reikšmėmis buvo didžiausios, metalas buvo intensyviausiai šalinamas iš organizmo (4.2 lentelė).

Vario šalinimasis intensyviausiai vyko per kepenys, todėl pusiausvyroji koncentracija šiame audinyje nusistovėjo vėliausiai (4.3 pav.).



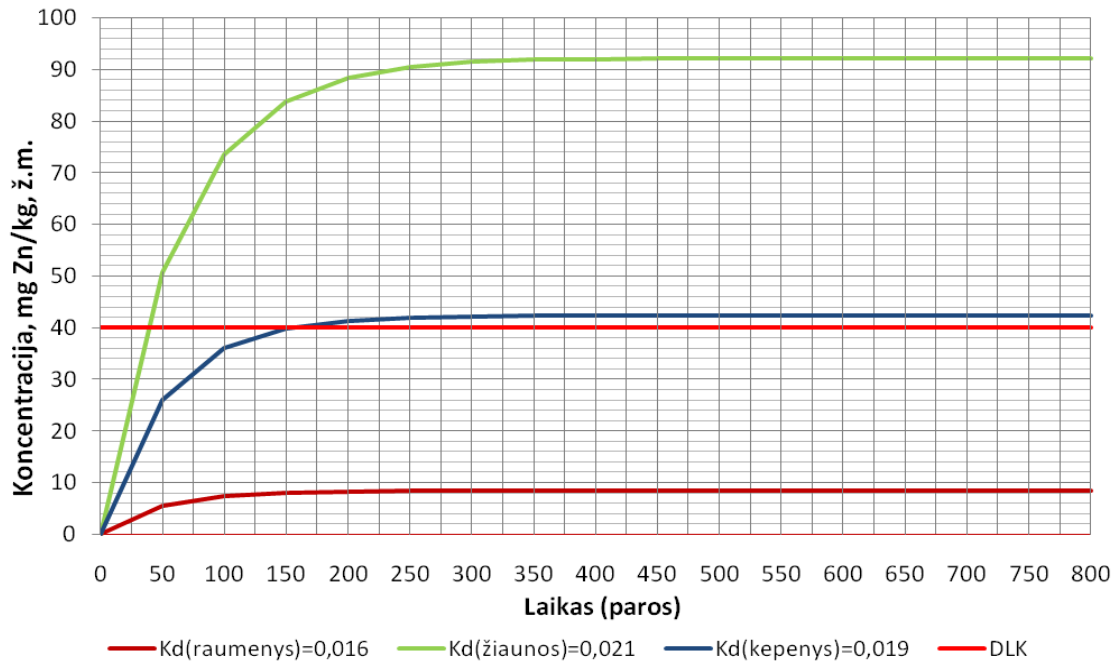
4.3 pav. Vario pusiausvyrosios koncentracijos nusistovėjimo priklausomybė nuo jo šalinimo iš audinių greičio ($k_d = \text{ml}/(\text{g} \cdot \text{d})$)

Kepenyse intensyvus Cu kaupimasis truko pirmas 75 paras, tuo tarpu raumenyse ir žiaunose – 50 parų. Vario koncentracija raumenyse ir žiaunose stabilizavosi po 125 parų, o žiaunose po 200 parų. Vario kaupimosi tendencija parodė, kad pusiausvyrosios koncentracijos nusistovėjimas labai priklauso nuo audinio gebėjimo pasisavinti metalą, kuo intensyviau audinys kaupia metalą, tuo lėčiau nusistovi pusiausvyra.

Cinko (Zn) šalinimo greičio konstantų reikšmės kito nuo 0,016 iki 0,021 $\text{ml}/(\text{g} \cdot \text{d})$. Didžiausia k_d reikšmė nustatyta žiaunose, toliau seka kepenys ir mažiausia raumenyse (4.2 lentelė).

Greičiausiai Zn pusiausvyroji koncentracija nusistovėjo raumenyse, taip pat šiame audinyje Zn kaupimasis vyko lėčiausiai. Tuo tarpu žiaunose Zn kaupimasis vyko intensyviausiai, todėl pusiausvyroji koncentracija nusistovėjo vėliausiai (4.4 pav.).

Intensyviausias Zn kaupimasis raumenyse vyko pirmas 50 parų, kepenyse – 100 parų, o žiaunose 150 parų, vėliau Zn koncentracija visuose audiniuose pradėjo stabilizuotis. Cinko pusiausvyroji koncentracija raumenyse nusistovėjo po 125 parų, kepenyse po 225 parų, tuo tarpu žiaunose po 300 parų. Cinko pusiausvyroji koncentracija žiaunose nusistovėjo lėčiausiai, kadangi šiame audinyje šalinimo procesas vyko intensyviausiai.



4.4 pav. Cinko pusiausvyrosios koncentracijos nusistovėjimo priklausomybė nuo jo šalinimo iš audinių greičio ($k_d = \text{ml}/(\text{g} \cdot \text{d})$)

Modelis parodė, kad akumuliuota Zn koncentracija žiaunose jau po ~40 parų viršijo DLK (40 mg Zn/kg ž.m.), tuo tarpu kepenyse po ~160 parų.

4.2. Daugialypės tiesinės regresijos modelis

Daugialypė tiesinė regresinė analizė (ang. *Multiple Liner Regression*) atlikta siekiant nustatyti modelį kuris geriausiai aprašo sunkiųjų metalų kaupimosi plėšrioje žuvyse priklausomybę nuo atstumo iki taršos šaltinio (Kairių sąvartyno). Bentofaginės žuvis neįtraukiamos į analizę, kadangi 0 st. nebuvo paimti šių žuvų žiaunų ir kepenų mėginiai, o 1 st. kepenų mėginiai. Analizei atlikti naudotas programinis paketas Statistika 8.0. Analizei buvo pasirinkti šie tyrimo metu gauti duomenys: atstumas iki sąvartyno (m), Cd, Pb, Cu, Zn koncentracijos (mg/kg ž.m.) nustatytos raumenyse, žiaunose ir kepenyse. Visi duomenys naudoti skaičiavimas pateikiami priede.

Regresinėje analizėje gaunama regresijos lygtis susiejanti vieną kintamąjį Y, vadinamą priklausomu kintamuoju, su kitais – nepriklausomais kintamaisiais $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$. Šiuo atveju tirta, kaip SM koncentracijos nustatytos atskiruose, plėšrių žuvų, audiniuose ($X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$) priklauso nuo atstumo iki taršos šaltinio (Y).

Analizuoti keturi modeliai:

- Tiesinis modelis ($Y = a + b \cdot X$);
- Logaritminis modelis ($Y = a + b \cdot \ln X$);

- Log-tiesinis modelis ($\ln Y = a + b \cdot X$);
- Log-log modelis ($\ln Y = a + b \cdot \ln X$).

Tiesinis modelis

Priklausomu kintamuoju pasirenkamas atstumas iki sąvartyno (m) (ATSTUMAS) nepriklausomais visos SM koncentracijos (mg/kg ž.m.) nustatytos atskiruose, plėšrių žuvų, audiniuose: R-Cd, R-Pb, R-Cu, R-Zn, Ž-Cd, Ž-Pb, Ž-Cu, Ž-Zn, K-Cd, K-Pb, K-Cu, K-Zn. R-Cd žymima kadmio koncentracija raumenyse, Ž-Pb žymima švino koncentracija žiaunose, K-Cu žymima vario koncentracija kepenyse, kitos koncentracijos užkoduotos atitinkamai. Pagal tiesinį modelį nustatytas labai stiprus ($r = 0,98$) statistiškai patikimas ($p < 0,0005$) ryšys tarp atstumo iki sąvartyno (priklausomas kintamasis) bei vario ir cinko koncentracijos plėšriųjų žuvų raumenyse, kadmio, vario ir cinko koncentracijos žiaunose, švino koncentracijos kepenyse (4.5 pav.).

Regression Summary for Dependent Variable: ATSTUMAS R= ,97701137 R²= ,95455123 Adjusted R²= ,94676001 F(6,35)=122,52 p<0,0000 Std.Error of estimate: 522,83						
N=42	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t(35)	p-level
Intercept			4217,7	496,284	8,49846	0,000000
R-Cu	-0,420190	0,070136	-1507,7	251,653	-5,99106	0,000001
R-Zn	0,545718	0,044318	401,8	32,630	12,31368	0,000000
Ž-Cd	-0,527995	0,074536	-44105,1	6226,263	-7,08373	0,000000
Ž-Cu	0,272892	0,112265	720,5	296,405	2,43077	0,020330
Ž-Zn	-0,174912	0,049309	-15,3	4,316	-3,54728	0,001130
K-Pb	-0,256981	0,048506	-6099,8	1151,349	-5,29796	0,000007

4.5 pav. Daugialypės tiesinės regresijos modelio rodiklių suvestinė

Radę taškinis regresijos funkcijos koeficientų įverčius (b) galime užrašyti imties regresijos funkciją:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_n X_n \quad (4.7)$$

Pagal 4.7 lygtį užrašome gauto modelio funkciją:

$$Y = 4217,7 - 1507,7 \cdot (R-Cu) + 401,8 \cdot (R-Zn) - 44105,1 \cdot (\check{Z}-Cd) + 720,5 \cdot (\check{Z}-Cu) - 15,3 \cdot (\check{Z}-Zn) - 6099,8 \cdot (K-Pb)$$

Logaritminis modelis

Priklausomu kintamuoju pasirenkamas atstumas iki sąvartyno (m) (ATSTUMAS) nepriklausomais visų SM koncentracijų (mg/kg ž.m.) nustatytų atskiruose, plėšrių žuvų, audiniuose $\ln$: $\ln(R-Cd)$, $\ln(R-Pb)$, $\ln(R-Cu)$, $\ln(R-Zn)$, $\ln(\check{Z}-Cd)$, $\ln(\check{Z}-Pb)$, $\ln(\check{Z}-Cu)$, $\ln(\check{Z}-Zn)$, $\ln(K-Cd)$, $\ln(K-Pb)$, $\ln(K-Cu)$, $\ln(K-Zn)$. Pagal logaritminį modelį nustatytas labai stiprus ($r = 0,99$) statistiškai reikšmingas ($p < 0,0005$) ryšys tarp atstumo iki sąvartyno bei vario ir cinko koncentracijos plėšriųjų

žuvų raumenyse, kadmio ir vario koncentracijos žiaunose, kadmio, vario ir cinko koncentracijos kepenyse (4.6 pav.).

Regression Summary for Dependent Variable: ATSTUMAS						
R= ,99096500 R²= ,98201163 Adjusted R²= ,97830814 F(7,34)=265,16 p<0,0000 Std.Error of estimate: 333,73						
N=42	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t(34)	p-level
Intercept			-3378,18	770,2785	-4,38566	0,000106
ln(R-Cu)	-0,164519	0,056236	-763,88	261,1090	-2,92552	0,006087
ln(R-Zn)	0,204247	0,037003	1379,40	249,9027	5,51974	0,000004
ln(Ž-Cd)	-0,446369	0,048713	-904,56	98,7168	-9,16321	0,000000
ln(Ž-Cu)	0,278073	0,070233	1322,61	334,0553	3,95926	0,000364
ln(K-Cd)	0,236199	0,056801	775,56	186,5041	4,15839	0,000205
ln(K-Cu)	-0,855443	0,088624	-2032,71	210,5902	-9,65246	0,000000
ln(K-Zn)	0,178843	0,040812	1262,09	288,0112	4,38209	0,000107

4.6 pav. Daugialypės tiesinės regresijos (logaritminė transformacija) modelio rodiklių suvestinė

Šio modelio funkcija:

$$Y = -3378,18 - 763,88 \cdot (R-Cu) + 1379,40 \cdot (R-Zn) - 904,56 \cdot (\check{Z}-Cd) + 1322,61 \cdot (\check{Z}-Cu) + 775,56 \cdot (K-Cd) - 2032,71 \cdot (K-Cu) + 1262,09 \cdot (K-Zn)$$

Log-tiesinis modelis

Priklausomu kintamuoju pasirenkamas atstumo iki sąvartyno (m) $\ln(\ln(ATSTUMAS))$ nepriklausomais visos SM koncentracijos (mg/kg ž.m.) nustatytos atskiruose, plėšrių žuvų, audiniuose: R-Cd, R-Pb, R-Cu, R-Zn, Ž-Cd, Ž-Pb, Ž-Cu, Ž-Zn, K-Cd, K-Pb, K-Cu, K-Zn. Pagal log-tiesinį modelį nustatytas labai stiprus ($r = 0,98$) statistškai patikimas ($p < 0,0005$) ryšys tarp atstumo iki taršos šaltinio (Kairių sąvartyno) bei vario ir cinko koncentracijos, plėšriųjų žuvų, raumenyse, švino ir cinko koncentracijos žiaunose, kadmio, vario ir cinko koncentracijos kepenyse (4.7 pav.).

Regression Summary for Dependent Variable: ln(ATSTUMAS)						
R= ,97721318 R²= ,95494560 Adjusted R²= ,94566970 F(7,34)=102,95 p<0,0000 Std.Error of estimate: ,27561						
N=42	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t(34)	p-level
Intercept			6,65968	0,388629	17,13634	0,000000
R-Cu	-0,390639	0,065366	-0,73141	0,122388	-5,97619	0,000001
R-Zn	0,335242	0,039086	0,12880	0,015017	8,57711	0,000000
Ž-Pb	0,141895	0,037892	1,49764	0,399933	3,74472	0,000669
Ž-Zn	-0,404922	0,072956	-0,01849	0,003332	-5,55022	0,000003
K-Cd	0,400735	0,087069	13,95004	3,030966	4,60251	0,000056
K-Cu	-0,637100	0,132364	-0,16716	0,034729	-4,81323	0,000030
K-Zn	0,215280	0,071031	0,03114	0,010275	3,03076	0,004640

4.7 pav. Daugialypės tiesinės regresijos (log-tiesinė transformacija) modelio rodiklių suvestinė

Šio modelio funkcija:

$$Y = 6,660 - 0,731 \cdot (R-Cu) + 0,129 \cdot (R-Zn) + 1,498 \cdot (\check{Z}-Pb) - 0,018 \cdot (\check{Z}-Zn) + 13,950 \cdot (K-Cd) - 0,167 \cdot (K-Cu) + 0,031 \cdot (K-Zn)$$

Log-log modelis

Priklausomu kintamuoju pasirenkamas atstumo iki sąvartyno (m) $\ln(\ln(ATSTUMAS))$ nepriklausomais visų SM koncentracijų (mg/kg ž.m.) nustatytų atskiruose, plėšrių žuvų, audiniuose $\ln: \ln(R-Cd), \ln(R-Pb), \ln(R-Cu), \ln(R-Zn), \ln(\check{Z}-Cd), \ln(\check{Z}-Pb), \ln(\check{Z}-Cu), \ln(\check{Z}-Zn), \ln(K-Cd), \ln(K-Pb), \ln(K-Cu), \ln(K-Zn)$. Pagal log-log modelį nustatytas stiprus ($r = 0,93$) statistiškai reikšmingas ($p < 0,0005$) ryšys tarp atstumo iki sąvartyno bei vario ir cinko koncentracijos plėšriųjų žuvų raumenyse, švino ir cinko koncentracijos žiaunose (4.8 pav.).

Regression Summary for Dependent Variable: $\ln(ATSTUMAS)$ R= ,92748961 R²= ,86023698 Adjusted R²= ,84512747 F(4,37)=56,933 p<,00000 Std.Error of estimate: ,46532						
N=42	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t(37)	p-level
Intercept			9,30643	0,866734	10,73736	0,000000
$\ln(R-Cu)$	-0,650397	0,076038	-1,57585	0,184234	-8,55356	0,000000
$\ln(R-Zn)$	0,230722	0,063808	0,81311	0,224873	3,61587	0,000887
$\ln(\check{Z}-Pb)$	0,143153	0,064062	0,51305	0,229597	2,23459	0,031568
$\ln(\check{Z}-Zn)$	-0,367339	0,077765	-0,81528	0,172593	-4,72371	0,000033

4.8 pav. Daugialypės tiesinės regresijos (log-log transformacija) modelio rodiklių suvestinė

Šio modelio funkcija:

$$Y = 9,306 - 1,576 \cdot (R-Cu) + 0,813 \cdot (R-Zn) + 0,513 \cdot (\check{Z}-Pb) - 0,815 \cdot (\check{Z}-Zn)$$

Daugialypė tiesinė regresinė analizė parodė, kad SM koncentracijos plėšriųjų žuvų audiniuose priklauso nuo atstumo iki Kairių sąvartyno. Geriausiai šią priklausomybę aprašo logaritminė daugialypės tiesinės regresijos transformacija, pagal kurią nustatomas labai stiprus statistiškai reikšmingas ryšys tarp atstumo ir net septynių nepriklausomų kintamųjų. Analizė parodė, kad mažiausiai tinkamas modelis priklausomybei, tarp atstumo ir SM koncentracijos žuvų audiniuose, aprašyti yra log-log tranformotos tiesinės regresijos modelis.

SKYRIAUS IŠVADOS

1. Sunkiųjų metalų bioakumuliacija žuvų audiniuose priklauso nuo SM koncentracijos vandenyje, audinio gebėjimo pasisavinti ir pašalinti metalą.
2. Kuo didesnė šalinimo greičio konstantos reikšmė, tuo intensyviau vyksta sunkiojo metalo šalinimas, todėl pusiausvyroji koncentracija nusistovi lėčiau. Pusiausvyros nusistovėjimas taip pat priklauso nuo sunkiojo metalo gebėjimo kauptis audinyje, kuo intensyviau jis akumuliuojasi, tuo lėčiau nusistovi pusiausvyra.
3. Modeliavimo rezultatai parodė, kad SM intensyviausiai šalinosi per žiaunas ir kepenys (k_d vid. 0,021 ml/(g·d)), lėčiausiai per raumenys (k_d vid. 0,019 ml/(g·d)). Sunkiuosius metalus pagal jų šalinimosi iš organizmo greičio konstantas galima išdėstyti tokia mažėjančia tvarka: Cu>Cd>Pb>Zn.
4. Intensyviausias SM kaupimasis vyko pirmas 50–150 paras, koncentracija, visuose audiniuose, stabilizavosi po 125–300 parų.
5. Daugialypė tiesinė regresinė analizė parodė, kad Cd, Pb, Cu, Zn koncentracijos plėšrių žuvų raumenyse, žiaunose ir kepenyse priklauso nuo atstumo iki Kairių sąvartyno.
6. Atlikus daugialypę tiesinę regresinę analizę nustatyta, kad priklausomybę tarp atstumo iki sąvartyno (priklausomojo kintamojo) ir Cd, Pb, Cu, Zn koncentracijų aptiktų plėšrių žuvų audiniuose (nepriklausomųjų kintamųjų) geriausiai aprašo logaritmiškai transformuotas daugialypės tiesinės regresijos modelis.

BENDROSIOS IŠVADOS

1. Sunkieji metalai – patvarūs teršalai, todėl įvairiais būdais patekę į aplinką įsijungia į medžiagų apykaitos ratą, migruoja ekosistemose ir kaupiasi organizmuose. Žuvis – unikalus organizmas, gebantis pasisavinti sunkiuosius metalus iš vandens per žiaunas ir odą, bei su maistu.
2. Kiekybiškai sunkieji metalai žuvyse kaupėsi tokia mažėjančia tvarka: $Zn > Cu > Pb > Cd$.
3. Kadmio žuvų kūno audiniuose kaupėsi netendencingai, bentofaginių žuvų audiniuose akumuliuosisi tokia mažėjančia tvarka: raumenys > kepenys > žiaunos, tuo tarpu plėšrių žuvų audiniuose atvirkščiai: žiaunos > kepenys > raumenys.
4. Švinas, varis ir cinkas tendencingai kaupėsi bentofaginių ir plėšrių žuvų audiniuose:
 - Pb kaupimosi seka: raumenys > žiaunos > kepenys;
 - Cu kaupimosi seka: kepenys > žiaunos > raumenys;
 - Zn kaupimosi seka: žiaunos > kepenys > raumenys.
5. Sunkiųjų metalų koncentracijos bentofaginių ir plėšrių žuvų audiniuose, gyvenančių stotyse greta sąvartyno (0 st. ir 1 st.), buvo didžiausios, tuo tarpu labiausiai nutolusiose nuo taršos šaltinio stotyse (4 st. ir 6 st.) – mažiausios.
6. Tam tikrais atvejais nustatytos sunkiųjų metalų koncentracijos viršijo leistinas DLK žuvies raumenų mėsoje ir jos produktuose. Žuvų raumenyse, gyvenančių greta sąvartyno (0 st. ir 1 st.), nustatyta Pb koncentracija vid. 3,5 karto viršijo DLK, tuo tarpu žiaunose vid. 2,5 karto, Zn koncentracija žiaunose vid. 2 kartus viršijo DLK.
7. Koreliacinė analizė parodė, kad nustatytos sunkiųjų metalų koncentracijos bentofaginių ir plėšrių žuvų audiniuose, tam tikrais atvejais, patikimai koreliavo su atstumu iki sąvartyno.
8. Modeliavimo rezultatai parodė, kad intensyviausia sunkiųjų metalų bioakumuliacija vyko iki 50–150 parų, vėliau sunkiųjų metalų koncentracija visuose audiniuose pradėjo stabilizuotis. Pusiausvyroji koncentracija nusistovėjo po 125–300 parų.
9. Intensyviausiai sunkieji metalai buvo šalinami per žiaunas ir kepenys (k_d vid. 0,021 ml/(g·d)), lėčiausiai per raumenys (k_d vid. 0,019 ml/(g·d)). Sunkiuosius metalus pagal jų šalinimosi iš organizmo greičio konstantas galima išdėstyti tokia mažėjančia tvarka: $Cu > Cd > Pb > Zn$.
10. Atlikus daugialypę tiesinę regresinę analizę nustatyta, kad Cd, Pb, Cu, Zn koncentracijos plėšrių žuvų audiniuose priklauso nuo atstumo iki sąvartyno, geriausiai šią priklausomybę įvertina logaritmiškai transformuotos daugialypės tiesinės regresijos modelis.

REKOMENDACIJOS

1. Žuvis pasižymi geromis sunkiųjų metalų akumuliacinėmis savybėmis, todėl padidėjusios sunkiųjų metalų koncentracijos žuvyse – tai geras antropogeniškai užterštos ekosistemos indikatorius. Siekiant užtikrinti žuvų produktų kokybę ir žmogaus apsaugą nuo galimo toksinio poveikio, rekomenduojama vandens telkiniuose, esančiuose arčiau taršos šaltinių, tokio pobūdžio tyrimus vykdyti sistemingai.
2. Ankstesni tyrimai, atlikti Gamtos tyrimų centro Ekologijos instituto ekologinės fiziologijos ir toksikologijos sektoriaus mokslininkų grupės, parodė, kad Cd, Pb, Cu, Zn koncentracijos vandenyse, esančiuose greta Kairių sąvartyno neviršijo šiuo metu galiojančių DLK paviršiniams vandenims. Nors sunkiųjų metalų koncentracijos vandenyje neviršijo ribinių verčių, tačiau žuvų audiniuose nustatytos Pb koncentracijos visais atvejais, Cd ir Zn daugeliu atvejų viršijo DLK žuvyse ir žuvies produktuose, todėl būtų tikslinga sumažinti sunkiųjų metalų DLK paviršiniuose vandenyse, kurio šiuo metu reglamentuojamos Nuotekų tvarkymo reglamente.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

- Agbozu, I. E.; Ekweozor, I. K.; Opuene, K. 2007. Survey of heavy metals in the catfish (*Synodontis clarias*). *Environmental Science and Technology* 4: 93–97.
- Ahmed, M. S.; Bibi, S. 2010. Uptake And Bioaccumulation Of Water Borne Lead (Pb) In The fingerlings Of A Freshwater Cyprinid, *Catla Catla* L. *The Journal of Animal & Plant Sciences* 20(3): 1018–7081.
- Aziz, H. A.; Hin, L. T.; Adlan, M. N.; Zahari, M. S.; Alias, S.; Abufoul A. M.; Selamat, M. R.; Bashir, M. J. K.; Yusoff, M. S.; Umar, M. 2011. Removal of High-Strength Colour from Semi-Aerobic Stabilized Landfill Leachate via Adsorption on Limestone and Activated Carbon Mixture. *Research Journal of Chemical Sciences* 1(6): 1–7.
- Bashir, M. J. K.; Aziz, H. A.; Yusoff, M. S. 2011. New sequential treatment for mature landfill leachate by cationic/anionic and anionic/cationic processes: Optimization and comparative study. *Journal of Hazardous Materials* 186: 92–102.
- Bashir, M. J. K.; Aziz, H. A.; Yusoff, M. S.; Huge, A. A. M.; Mohajeri, S. 2010. Application of the central composite design for condition optimization for semi - aerobic landfill leachate treatment using electrochemical oxidation. *Water Science and Technology* 61: 641–649.
- BASS [interaktyvus]. 2013. Žiūrėta 2015 m. vasario 2 d. Prieiga per internetą: <<http://www2.epa.gov/exposure-assessment-models/bass>>.
- Baziene, K.; Vasarevičius, S.; Baltrenas, P.; Baltrenaite, E. 2013. Influence of total precipitation and air temperature on the composition of municipal landfill leachate. *Environmental engineering and management Journal* 12(1): 175–182.
- Beaumont, W. R. C.; Hodder, H. K.; Masters, J. E. G.; Scott, L. J.; Welton, J. S. 2003. Activity patterns in pike (*Esox lucius*), as determined by motion sensing telemetry. Aquatic telemetry advances and applications : proceedings of the Fifth Conference on Fish Telemetry in Europe, Italy, Ustica, 231–243.
- Bioaccumulation Fish Model [interaktyvus]. 2013. Žiūrėta 2015 m. vasario 2 d. Prieiga per internetą: <<http://www.trentu.ca/academic/aminss/envmodel/models/Fish.html>>.
- Bioakumuliacija, organizmo talpos, augimas ir biomagnifikacija biokoncentracijos modeliuose ir cheminės taršos vertinimuose [interaktyvus]. 2014. Žiūrėta 2014 m. birželio 12 d. Prieiga per internetą: <http://www.bbk.gf.vu.lt/images/Skyr%20I_BIOAKUM%201999%20Knyga.pdf>.

- Bochenek, I.; Protasowicki, M.; Brucka-Jastrzebska, E. 2008. Concentrations of Cd, Pb, Zn and Cu in roach, *Rutilus rutilus* (L.) from the lower reaches of the Oder river, and their correlation with concentrations of heavy metals in bottom sediments collected in the same area. *Archives of Polish Fisheries* 16(1) 21–36.
- Bubb, I. M.; Lester, J. N. 1996. Factors controlling the accumulation of metals within fluvial systems. *Environmental Monitoring and Assessment* 41(1): 87–105.
- Bury, N. R.; Walker, P. A.; Glover, C. N. 2003. Nutritive metal uptake in teleost fish. *The Journal of Experimental Biology* 206: 11–23.
- Canli, M.; Atli, G. 2003. The relationships between heavy metals (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) levels and the size of six Mediterranean Fish species. *Environmental Pollution* 121: 129–136.
- CEN. 2003. Water quality – Sampling of fish with electricity. European Committee for Standardization, Brussels, EN 14011.
- Ciftci, N.; Cici, B.; Erdem, C.; Ay, O.; Gunalp, C. 2010. Accumulation of Chromium in Liver, Gill and Muscle Tissues of *Oreochromis niloticus*. *Journal of Animal and Veterinary Advances* 9(14): 1958–1960.
- Clark, K. E.; Gobas, F. A.; Mackay, D. 1990. Model of Organic Chemical Uptake and Clearance by Fish from Food and Water. *Environmental Science and Technology* 24: 1203–1213.
- Copepod Plankton [interaktyvus]. 2015. Žiūrėta 2015 m. balandžio 28 d. Prieiga per internetą: <<http://www.st.nmfs.noaa.gov/plankton/intro/why.html>>
- Čepanko, V.; Idzelis, R. L.; Kesminas, V.; Ladygienė, R. 2006. Radiological investigation of roach and perch from some lakes in Lithuania. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 14(4): 199–205.
- Diliūnas, J. 2008. Objektas „Zabielišio buitinių atliekų sąvartyno požeminio ir paviršinio vandens monitoringas“ informacinė ataskaita apie 2008 m. I etapo darbų įvykdymą. Geologijos ir geografijos institutas. Vilnius, 5 p.
- Diliūnas, J.; Kaminskas, M.; Bajriūnas, V. 2001. Kauno buitinių atliekų sąvartyno Lapėse hidromonitoringas ir dujų tyrimai (1995–2000 metai). Geologijos ir geografijos institutas. Vilnius, 48 p.
- Dz.U. 2014 poz. 1800 [interaktyvus]. 2014. Žiūrėta 2015 m. balandžio 28 d. Prieiga per internetą: <<http://isap.sejm.gov.pl/DetailsServlet?id=WDU20140001800>>.

- Emenike, C. U.; Fauziah, S. H.; Agamuthu, P. 2011. Characterization of Active Landfill Leachate and Associated Impacts on Edible fish (*Oreochromis Mossambicus*). *Malaysian Journal of Science* 30(2): 99–104.
- EPA [interaktyvus]. 2001. Žiūrėta 2015 m. balandžio 24 d. Prieiga per internetą: <http://water.epa.gov/scitech/swguidance/standards/upload/2001_04_13_criteria_cadmium_cad2001upd.pdf>.
- Evisa Milestone S.r.l. – ETHOS TC Microwave Digestion Labstation [interaktyvus]. 2015. Žiūrėta 2015 m. balandžio 28 d. Prieiga per internetą: <<http://www.speciation.net/Database/Instruments/Milestone-Srl/ETHOS-TC-Microwave-Digestion-Labstation-;i2037>>.
- Ezeonyeziaku, C. D.; Obiakor, M. O.; Ezenwelu, C. O. 2012. Lethal Influence of Zinc Exposure to *Clarias gariepinus*. *Journal of Animal Science Advances* 2(1): 177–18.
- Garcia, R.; Baez, P. A. 2012. Atomic Absorption Spectrometry (AAS). Mexico: InTech, 258 p.
- Gasiūnas, V.; Strusevičius, Z.; Steponavičius, A. 2002. Sąvartynų filtrato tyrimai ir poveikis aplinkai. Lietuvos žemės ūkio universiteto ir Lietuvos vandens ūkio instituto mokslo darbai 21(43): 27–34.
- Gelažienė, L.; Kaunelienė, V. 2002. Sunkiųjų metalų migracija į karklų žilvičių (*Salix viminalis*), naudojamų sąvartyno filtrato valymui, audinius. *Aplinkos tyrimai, inžinerija ir vadyba* 2(20): 49–56.
- Giulio, R. T.; Hinton, D. E. 2008. The Toxicology of Fishes. CRC Press, 1096 p.
- Govind, P.; Madhuri, S. 2014. Heavy metals causing toxicity in animals and fishes. *Research Journal of Animal, Veterinary and Fishery Sciences* 2(2): 17–23.
- Grosell, M.; Gerdes, R.; Brix, K. V. 2006. Influence of Ca, humic acid and pH on lead accumulation and toxicity in the fathead minnow during prolonged water-borne lead exposure. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C Toxicology* 143(4): 473–483.
- Hadeed, A. A. H.; Ibrahim, K. M.; El-Sharkawy, N. I.; Sakr, F. M.; El-Hamed, S. A. 2008. Experimental studies on nickel toxicity in Nile tilapia health. 8th *International Symposium on Tilapia in Aquaculture* 1385–1401.
- HN 54:2001. Maisto produktai. Didžiausios leidžiamos teršalų ir pesticidų koncentracijos, *Valstybės žinios* 34–1269.

Ichtiofaunos tyrimai bei ekologinės būklės pagal žuvų rodiklius įvertinimas Lietuvos upėse ir ežeruose [interaktyvus]. 2013. Žiūrėta 2015 m. balandžio 24 d. Prieiga per internetą: <http://vanduo.gamta.lt/files/2013_Ichtiofaunos_monitoringas_Ataskaita.pdf>.

Idzelis, R. L.; Kesminas, V.; Svecevicius, G.; Misius, V. 2008. Accumulation of heavy metals (Cu, Zn, Ni, Cr, Cd) in tissues of perch (*Perca fluviatilis* L.) and roach (*Rutilus rutilus* L.) under experimental conditions. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 16(4): 205–212.

Idzelis, R. L.; Kesminas, V.; Svecevicius, G.; Venslovas, A. 2010. Experimental investigation of Heavy metal accumulation in tissues of stone loach *Noemacheilus barbatulus* (L.) and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) exposed to a model mixture (Cu, Zn, Ni, Cr, Pb, Cd). *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 18(2): 111–117.

Yilmaz, A. B.; Turan, C.; Toker, T. 2010. Uptake and distribution of hexavalent chromium in tissues (gill, skin and muscle) of a freshwater fish, Tilapia, *Oreochromis aureus*. *Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology* 2(3): 28–33.

Yousafzai, A. M.; Chivers, D. P.; Kban, A. R.; Siraj, I. M. 2010. Comparison of Heavy Metals Burden in Two Freshwater Fishes *Wallago attu* and *Labeo dyocheilus* With Regard to the Habits in Natural Ecosystem. *Pakistan Journal of zoology* 42(5): 537–544.

Jamet, J. L. 1994. Feeding activity of adult roach (*Rutilus rutilus* L.), perch (*Perca fluviatilis* L.) and ruffe (*Gymnocephalus cernuus* L.) in eutrophic Lake Aydat (France). *Aquatic Sciences* 56(4): 376–387.

Juodkasis, V.; Urbanavičiūtė, R. 2002. Organinės medžiagos sklaida sąvartynų aplinkos gruntiniame vandenyje. *Geologija* 40: 32–45.

Kačinskaja, I.; Bazienė, K.; Vasarevičius, S. 2013. Kokybiniai sąvartyno filtrato tyrimai ir vertinimas. *Environmental protection Engineering* 5(4): 356–326.

Kairių sąvartynas [interaktyvus]. 2006. Žiūrėta 2013 m. gruodžio 7 d. Prieiga per internetą: <http://www.siauliai.lt/shared/view.php?kalba=lt&tema=aplinka-savartynas&menu=9&linkback=../aplinkos_apsauga/informacija_apie_aplinka.php&title=Kairi%F8%20s%E0vartynas>.

Kanmani, S.; Gandhimathi, R.; Multhukkumaran, K. 2014. Bioclogging in porous media: influence in reduction of hydraulic conductivity and organic contaminants during synthetic leachate permeation. *Journal of Environmental Health Science and Engineering* 12(1): 126.

- Kaunelienė, V.; Mačiulytė, L. 2003. Sunkiųjų metalų kaupimasis karklų žilvičių (*Salix viminalis*), laistomų sąvartyno filtratu, audiniuose. *Aplinkos tyrimai, inžinerija ir vadyba* 3(25): 62–70.
- Kazlauskienė, N.; Svecevičius, G.; Kesminas, V.; Staponkus, R.; Marčiulionienė, D. 2013. Permanentinės taršos poveikio vandens ekosistemos, naudojant ekotoksikologinių (eksperimentinių-gamtinių) ir hidrocheminių metodų kompleksą, tyrimas. *Jūros ir krantų tyrimai – 2013, 7-oji nacionalinė jūros mokslų ir technologijų konferencija* 2013: 117–124.
- Kazlauskienė, N.; Vosylienė, M. Z.; Marčiulionienė, D.; Montvydienė, D.; Beržinskienė, J. 2004. Kairių sąvartyno filtrato ir melioracijos griovių vandens (po avarijos) toksiškumo įvertinimas biologiniais metodais. Vandens telkinių apsauga ir valdymas. Kaunas, 100–109.
- Kenšova, R.; Čelechovska, O.; Doubravova, J.; Svobodova, Z. 2010. Concentration of metals in Tissues of Fish from the Vestonice Reservoir. *Acta Veterinaria Brno* 79(2): 335–345.
- LAND 85:2007. Lietuvos žuvų indekso apskaičiavimo metodika, *Valstybės žinios* 47–1812.
- Liekytė, A.; Idzelis, R. L. Kazlauskienė, N. 2011. Sunkiųjų metalų ir jų binarinio mišinio poveikio žuvų kardiorespiracinei sistemai ankstyvojoje ontogenezėje tyrimai. *Environmental Protection Engineering* 3(5): 31–36.
- Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2000 m. spalio 18 d. įsakymas Nr. 444 „Dėl atliekų sąvartynų įrengimo, eksploatavimo, uždarymo ir priežiūros po uždarymo taisyklių patvirtinimo“, *Valstybės žinios* 96–3051.
- Lynikienė, V. 2008. Sąvartynų filtrato įtaka požeminiams vandenims. *Aplinkos apsaugos inžinerija: 11 – osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“*, įvykusios Vilniuje 2008 m. balandžio 3 d., pranešimų medžiaga. Vilnius: Technika, 319–325.
- Malyuba, A. D.; Qdais, H. A.; Alsyouri, H. 2013. Assessment of Heavy metals and Organics in Municipal Solid Waste Leachates from Landfills with Different Ages in Jordan. *Journal of Environmental Protection* 4: 344–352.
- Marcinkowska, M.; Dobicki, W. 2014. Bioakumulacja metali ciężkich w tkankach ryb z rzeki Baryczy. Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu. Wrocław, 511–519.
- Marčiulionienė, D.; Montvydienė, D. 2004. Dugno nuosėdų ir dirvožemio toksiškumo įvertinimas Kairių sąvartyno filtratui išsiliejus į aplinką. Vandens telkinių apsauga ir valymas. Kaunas, 143–147.

- Mockutė, E.; Idzelis, R. L.; Svecevičius, G. 2011. Eksperimentiniai sunkiųjų metalų bioakumuliacijos sidabrinių karosų *Carassius auratus gibelio* (Bloch.) organuose tyrimai. *Aplinkos apsaugos inžinerija: 14 – osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“*, įvykusios Vilniuje 2011 m. balandžio 14 d., pranešimų medžiaga. Vilnius: Technika, 107–112.
- Montvydienė, D.; Marčiulionienė, D.; Kazlauskienė, N.; Svecevičius, G.; Jefanova, O.; Žukauskaitė, Z. 2014. Impact of closed Kairiai landfill on the Ginkūnai Pond. *The 9th International Conference „Environmental Engineering“* 22-23th of May 2014. Vilnius, 7 p.
- Obodo, G. A. 2004. The bioaccumulation of heavy metals in fish from Anambra River. *Journal of Chemical Society of Nigeria* 29(1): 60–62.
- Oygard, J. K.; Gjengedal, E.; Royset, O. 2007. Size charge fractionation of metals in municipal waste landfill leachate. *Water Research* 41(1): 47–54.
- Okocha, R. C.; Adedeji, O. B. 2011. Overview of Cadmium Toxicity in Fish. *Journal of Applied Sciences Research* 7(7): 1195.
- Oldewage, A. A.; Marx, H. M. 2000. Bioaccumulation of chromium, copper and iron in the organs and tissues of *Clarias gariepinus* in the Olifants River, Kruger National Park. *Water SA* 26(4): 569–582.
- Osada, T.; Nemoto, K.; Nakanishi, H.; Hatano, A.; Shoji, R.; Naruoka, T.; Yamada, M. 2011. Analysis of Ammonia Toxicity in Landfill Leachates. *ISRN Toxicology* 2011: 1–6.
- Paliulis, D. 2004. Aplinkos taršos nustatymo metodai. Vilnius: Technika, 104 p.
- Pankhurst, C. E.; Doube, B. M.; Gupta, V. V. 1997. Biological indicators of soil health: Synthesis. Biodiversity of soil organisms as an indicators of soil health. *Biological Indicators of Soil Health*. Australia, 419–436.
- Parlak, H.; Katalay, S.; Buyukisik, B. 1999. Accumulation and loss of Chromium by mussels (*Mytilus galloprovincialis*). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 62: 286–292.
- Patvarieji organiniai teršalai [interaktyvus]. 2015. Žiūrėta 2015 m. sausio 28 d. Prieiga per internetą: <<http://vrd.am.lt/VI/files/0.816685001198744285.pdf>>.
- Projekto „Sunkiųjų metalų kaupimasis žuvyse ir dugno nuosėdose“ rezultatų apžvalga [interaktyvus]. 2004. Žiūrėta 2013 m. gruodžio 12 d. Prieiga per internetą: <http://oldaaa.gamta.lt/VI/article.php3?article_id=1203>.

- Protasowicki, M.; Ciereszko, W.; Perkowska, A.; Ciemniak, A.; Bochenek, I.; Brucka-Jastrzębska, E.; Blachuta, J. 2007. Metale ciężkie i chlorowane węglowodory w niektórych gatunkach ryb z rzeki Odry. *Rocznik Ochrona Srodowiska* 9: 95–105.
- Puzaitė – Jurevič, S.; Zigmontienė, A. 2011. Sąvartyno filtrato teršiančių medžiagų koncentracijų vertinant meteorologines sąlygas analizė. *Aplinkos apsaugos inžinerija: 14 – osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“*, įvykusios Vilniuje 2011 m. balandžio 14 d., pranešimų medžiaga. Vilnius: Technika, 150–155.
- Radtke, H.; Neumann, T.; Voss, M.; Fennel, W. 2012. Modeling pathways of riverine nitrogen and phosphorus in the Baltic Sea. *Journal of Geophysical Research* 117: 1978–2012.
- Radwan, S.; Kowalik, W. Kornijow. R. 1990. Accumulation of heavy metals in a lake ecosystem. *The Science of the Total Environment* 96: 121–129.
- Raisi, S. A. H.; Sulaiman, H.; Suliman, F. E.; Abdallah, O. 2014. Assessment of Heavy Metals in Leachate of an Unlined Landfill in the Sultanate of Oman. *International Journal of Environmental Science and Development* 5(1): 60–63.
- Rajkowska, M.; Protasowicki, M. 2013. Distribution of metals (Fe, Mn, Zn, Cu) in fish tissues in two lakes of different trophy in Northwestern Poland. *Environmental Monitoring and Assessment* 185(4): 3493–3502.
- Rajkowska, M.; Wechterowicz, Z.; Lidwin-Kazmierkiewicz, M.; Pokorska, K.; Protasowicki, M. 2008. *Ecological chemistry and engineering* 15(1): 119–123.
- Rajkumar, J. S. I.; Milton, M. C.; Ulthiralingam, M.; Azhaguraj, R.; Ganesh, J.; Ambrose, T. 2011. Toxic effects and bioaccumulation of cadmium, copper, lead and zinc in post larval stages of *Penaeus monodon*. *International journal of Development Research* 1(2): 1–5.
- Rand., G. M.; Petrocelli, S. R. 1995. Fundamentals of Aquatic Toxicology. Effects, Environmental Fate and Risk Assessment. Second Edition. London, 1083 p.
- Renieri, E. A.; Alegakis, A. K.; Kiriakakis, M.; Vinceti, M.; Ozcagli, E.; Wilks, M. F.; Tsatsakis, A. M. 2014. Cd, Pb and Hg Biomonitoring in Fish of the Mediterranean Region and Risk Estimations on Fish Consumption. *Toxics* 2: 417–442.
- Shukla, V.; Dhankhar, M.; Prakash, J. Sastry, K. V. 2007. Bioaccumulation of Zn, Cu and Cd in *Channa punctatus*. *Journal of Environmental Biology* 28(2): 395–397.

- Solomon, F. 2009. Impacts of Copper on Aquatic Ecosystems and Human Health. *Mining.com Magazine* April-June 25–28.
- Stankaitis, A.; Tričys, V.; Kazanavičius, K. 2009. Kairių sąvartyno filtrato tyrimas FTIR spektrofotometre. *Technologijos mokslai, Jaunųjų Mokslininkų darbai* 3(24): 120–126.
- Staponkus, R.; Kesminas, V.; Kazlauskienė, N.; Svecevičius, G.; Kaunelienė, D. 2014. Ecological status of fish community in Kairiai landfill test-ecosystem. *The 9th International Conference „Environmental Engineering“* 22-23th of May 2014. Vilnius, 7 p.
- Sunkieji metalai vandens telkiniuose [interaktyvus]. 1999. Žiūrėta 2014 m. sausio 12 d. Prieiga per internetą: <http://www.bbk.gf.vu.lt/images/Skyr%20II_SUNKMET1%201999%20Knyga.pdf>.
- Sunkiųjų metalų ekotoksikologija [interaktyvus]. 2013. Žiūrėta 2014 m. sausio 12 d. Prieiga per internetą: <http://www.bbk.gf.vu.lt/images/Skyr%20III_SUNKMET2%201999%20Knyga.pdf>.
- Svecevičius, G. 2004. Kairių sąvartyno filtrato ir avarijos metu juo užterštų aplinkinio regiono telkinių vandens toksiškumo laipsnio nustatymas pagal vaivorykštinio upėtakio *Oncorhynchus mykiss* elgsenos reakcijas. *Vandens Telkinių Apsauga ir Valdymas*. Kaunas, 208–213.
- Svecevičius, G. 2010. Acute toxicity of nickel to five species of freshwater fish. *Polish Journal of Environmental Studies* 19 (2): 453–456.
- Šiaulienė, I.; Motiekaitytė, V.; Marčiulionienė, D.; Montvydienė, D. 2004. Application of biotests for toxicity evaluation of leachate and toxic tolerant vegetation processes in exploited landfill. *Vandens telkinių apsauga ir valymas*. Kaunas, 194–198.
- Šiaulių municipalinis aplinkos monitoringas 2013 m. ataskaita. 2013. Šiaulių municipalinė aplinkos tyrimų laboratorija. Šiauliai, 147 p.
- Šiaulių municipalinis monitoringas 2012 m. ataskaita, vanduo. 2012. Šiaulių municipalinė aplinkos tyrimų laboratorija. Šiauliai, 35 p.
- Šiaulių municipalinis paviršinio vandens telkinių monitoringas 2011 m. ataskaita, vanduo. 2011. Šiaulių municipalinė aplinkos tyrimų laboratorija. Šiauliai, 40 p.
- Šiaulių regiono atliekų tvarkymo centras. Kairių sąvartyno uždarymas [interaktyvus]. 2013. Žiūrėta 2013 m. gruodžio 7 d. Prieiga per internetą: <<http://www.sratc.lt/index.php?page=kairiu-savartyno-uzdarymas>>.
- Tatsi, A. A.; Zouboulis, A. I.; Matis, K. A.; Samaras, P. 2003. Coagulation-flocculation pretreatment of sanitary landfill leachates. *Chemosphere* 53: 737–744.

- Teirumnieka, E.; Teirumnieks, E.; Augule, S.; Matisovs, I. 2013. Municipal solid waste leachate treatment from 9th International Scientific and Practical Conference „*Environment Technology Resources*“. Ryga, 6 p.
- Tričys, V. 2002. Research of Leachate, Surface and Ground Water Pollution near Šiauliai Landfill. *Aplinkos tyrimai, inžinerija ir vadyba* 19(1): 30–33.
- Tsarpali, V.; Kamilari, M.; Dailianis, S. 2012. Seasonal alterations of landfill leachate composition and toxic potency in semi-arid regions. *Journal of Hazardous Materials* 30: 233–234.
- Vasarevičius, S.; Čegariova, J.; Sližytė, D. 2005. Investigation and Evaluation of Landfill Leachate Permeability in the Soil. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 8(3): 108–115.
- Vijily, M. E.; Britto, J. 2007. Accumulation of heavy metals in some species of algae in the salt pans of Thoothukudi. *Asian Journal of Microbiology, Biotechnology and Environmental Science Paper* 9(2): 373–375.
- Virbickas, J. 2000. Lietuvos žuvys. Vilnius: Trys žvaigždutės, 192 p.
- Vosylienė, M. Z.; Kazlauskienė, N. 2004. Švedės tvenkinio vandens (po Kairių sąvartyno filtrato išsiliejimo į aplinką) poveikio žuvims įvertinimas. Vandens telkinių apsauga ir valdymas. Kaunas, 219–222.
- Wang, Z. P.; Huang, L.; Feng, X. N.; Xie, P. C.; Liu, Z. 2010. Removal of phosphorus in municipal landfill leachate by photochemical oxidation combined with ferrate pre-treatment. *Desalination and Water Treatment* 22: 111–116.
- Woodward, D. F.; Farag, A. M.; Bergman, H. L.; Delonay, A. J.; Little, E. E.; Smith, C. E.; Barrows, F. T. 1995. Metals-contaminated benthic invertebrates in the Clark Fork River, Montana: effects on age-0 brown trout and rainbow trout. *Canadian Journal Fisheries and Aquatic Science* 52: 1994–2004.
- Wuana, R. A.; Okieimen, F. E. 2011. Heavy Metals in Contaminated Soils: Review of Sources, Chemistry, risks and Best Available Strategies for Remediation. *ISRN Ecology* ID 402647 20 p.
- Žuvų bendrijų kaita ežeruose [interaktyvus]. 2013. Žiūrėta 2013 m. sausio 15 d. Prieiga per internetą: <<http://www.asu.lt/nm/l-projektas/hidro/58.htm>>.
- Žuvų išteklių tyrimo metodika. 2005. *Valstybės žinios* 131–4748.
- Гирса И. И. 1981. Освещённость и поведение рыб. Москва, 165 p.

AUTORĖS PASKELBTI DARBAI

Publikacijos

1. Pilecka, J.; Idzelis, R. L. 2014. Švino ir cinko bioakumuliacija kuojos (*Rutilus rutilus L.*) ir ešerio (*Perca fluviatilis L.*) audiniuose ir organuose. *Aplinkos apsaugos inžinerija: 17 – osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencija „Mokslas – Lietuvos ateitis“*, Vilnius: Technika, 130–135.
2. Pilecka, J.; Bradulienė, J.; Paliulis, D. 2015. Švino ir cinko kaupimasis žuvyse, gyvenančiose Kairių sąvartyno vandens ekosistemose. *Aplinkos apsaugos inžinerija: 18 – osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencija „Mokslas – Lietuvos ateitis“* (straipsnis pateiktas spaudai).

Dalyvavimas konferencijose

1. Pilecka, J.; Idzelis, R. L. 2014. Švino ir cinko bioakumuliacija kuojos (*Rutilus rutilus L.*) ir ešerio (*Perca fluviatilis L.*) audiniuose ir organuose. Stendinis pranešimas 17 – osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“, įvykusios Vilniuje 2014 metų balandžio 10 dieną.
2. Pilecka, J.; Bradulienė, J.; Paliulis, D. 2015. Švino ir cinko kaupimasis žuvyse, gyvenančiose Kairių sąvartyno vandens ekosistemose. Žodinis pranešimas 18 – osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“, įvykusios Vilniuje 2015 metų balandžio 9 dieną.

PRIEDAI

**DUOMENYS NAUDOJAMI SKAIČIAVIMAMS ATLIEKANT DAUGIALYPĘ
REGRESINĘ ANALIZĘ**

N	Stotis	Sunkiųjų metalų koncentracijos (mg/kg ž.m.) plėšrių žuvų raumenyse							
		R-Cd	R-Pb	R-Cu	R-Zn	ln(R-Cd)	ln(R-Pb)	ln(R-Cu)	ln(R-Zn)
1	0	0,0330	0,4330	2,3529	8,6765	-3,4106	-0,8370	0,8557	2,1606
2	0	0,0348	0,4178	2,0588	8,4477	-3,3590	-0,8727	0,7221	2,1339
3	0	0,0381	0,4332	2,1000	8,0392	-3,2678	-0,8366	0,7419	2,0843
4	0	0,0353	0,4279	2,2058	8,3878	-3,3442	-0,8489	0,7911	2,1268
5	0	0,0303	0,4000	1,9000	8,0800	-3,4966	-0,9163	0,6419	2,0894
6	0	0,0403	0,4400	2,5000	8,6800	-3,2114	-0,8210	0,9163	2,1610
7	1	0,0519	0,9714	2,5847	12,1398	-2,9583	-0,0290	0,9496	2,4965
8	1	0,0623	0,7742	2,4788	12,1186	-2,7760	-0,2560	0,9078	2,4947
9	1	0,0568	1,0004	1,8380	12,7542	-2,8686	0,0004	0,6087	2,5459
10	1	0,0435	0,4637	0,9067	11,1399	-3,1345	-0,7685	-0,0979	2,4105
11	1	0,0469	0,4715	0,9845	11,6321	-3,0599	-0,7518	-0,0157	2,4538
12	1	0,0523	0,7362	1,6360	11,3472	-2,9511	-0,3062	0,4923	2,4290
13	2	0,0397	0,7959	0,8262	7,3061	-3,2272	-0,2283	-0,1910	1,9887
14	2	0,0436	0,7992	0,9389	6,7969	-3,1317	-0,2241	-0,0630	1,9165
15	2	0,0381	0,6224	0,9000	7,0349	-3,2678	-0,4742	-0,1054	1,9509
16	2	0,0272	0,5293	1,2764	5,2014	-3,6055	-0,6363	0,2441	1,6489
17	2	0,0299	0,5167	1,1909	5,0936	-3,5090	-0,6602	0,1747	1,6280
18	2	0,0303	0,4710	1,1000	5,5775	-3,4978	-0,7530	0,0953	1,7187
19	3	0,0161	0,3984	0,7441	6,3538	-4,1309	-0,9203	-0,2956	1,8491
20	3	0,0150	0,4369	0,7436	5,8045	-4,1968	-0,8282	-0,2963	1,7586
21	3	0,0105	0,1917	1,6732	7,4083	-4,5588	-1,6520	0,5147	2,0026
22	3	0,0104	0,3667	0,9532	7,4167	-4,5643	-1,0033	-0,0480	2,0037
23	3	0,0169	0,3839	0,8197	7,1067	-4,0798	-0,9574	-0,1989	1,9610
24	3	0,0131	0,4494	0,7300	7,4157	-4,3359	-0,7998	-0,3148	2,0036
25	4	0,0551	0,3017	0,5958	5,2069	-2,8986	-1,1982	-0,5179	1,6500
26	4	0,0410	0,3793	0,6157	5,1466	-3,1936	-0,9694	-0,4850	1,6383
27	4	0,0543	0,3330	0,7577	6,3698	-2,9125	-1,0996	-0,2775	1,8516
28	4	0,0510	0,3354	0,7959	7,0313	-2,9765	-1,0924	-0,2282	1,9504
29	4	0,0275	0,6829	0,8334	5,8616	-3,5936	-0,3814	-0,1822	1,7684
30	4	0,0254	0,6946	0,7578	6,8036	-3,6715	-0,3645	-0,2774	1,9174
31	5	0,0320	0,4406	1,0805	12,1372	-3,4412	-0,8196	0,0774	2,4963
32	5	0,0299	0,4150	1,0053	13,4050	-3,5095	-0,8795	0,0053	2,5956
33	5	0,0303	0,4650	0,7660	13,5225	-3,4951	-0,7656	-0,2666	2,6044
34	5	0,0344	0,4901	0,6081	7,8610	-3,3707	-0,7131	-0,4975	2,0619
35	5	0,0338	0,4541	0,6099	7,5086	-3,3860	-0,7895	-0,4945	2,0161
36	5	0,0361	0,4555	0,6789	7,4403	-3,3227	-0,7864	-0,3873	2,0069
37	6	0,0035	0,4627	0,5657	13,4961	-5,6635	-0,7706	-0,5697	2,6024
38	6	0,0036	0,4499	0,5829	13,8817	-5,6307	-0,7988	-0,5397	2,6306
39	6	0,0035	0,4242	0,6688	14,2674	-5,6598	-0,8576	-0,4023	2,6580
40	6	0,0035	0,4455	0,6058	13,8817	-5,6550	-0,8086	-0,5012	2,6306
41	6	0,0040	0,4511	0,5743	13,5017	-5,5215	-0,7961	-0,5546	2,6028
42	6	0,0030	0,4311	0,6327	14,2617	-5,8091	-0,8414	-0,4578	2,6576

N	Stotis	Sunkiųjų metalų koncentracijos (mg/kg ž.m.) plėšrių žuvų žiaunose							
		Ž-Cd	Ž-Pb	Ž-Cu	Ž-Zn	ln(Ž-Cd)	ln(Ž-Pb)	ln(Ž-Cu)	ln(Ž-Zn)
1	0	0,0540	0,2948	2,3874	93,9189	-2,9182	-1,2214	0,8702	4,5424
2	0	0,0577	0,2570	1,7342	90,5405	-2,8528	-1,3587	0,5506	4,5058
3	0	0,0571	0,3309	2,0600	92,1171	-2,8634	-1,1061	0,7227	4,5231
4	0	0,0562	0,2940	2,2100	92,1920	-2,8788	-1,2242	0,7930	4,5239
5	0	0,0582	0,2600	1,8210	91,3000	-2,8439	-1,3471	0,5994	4,5142
6	0	0,0542	0,3200	2,2300	93,3000	-2,9151	-1,1394	0,8020	4,5358
7	1	0,0825	0,4392	4,0196	50,6536	-2,4952	-0,8228	1,3912	3,9250
8	1	0,0799	0,4830	3,7582	48,2353	-2,5274	-0,7277	1,3239	3,8761
9	1	0,0929	0,4958	3,8889	48,4967	-2,3765	-0,7017	1,3581	3,8815
10	1	0,0753	0,3636	2,8571	91,7532	-2,5859	-1,0116	1,0498	4,5191
11	1	0,0877	0,4416	2,2727	98,0519	-2,4343	-0,8174	0,8210	4,5855
12	1	0,0836	0,3984	2,5649	91,6883	-2,4817	-0,9203	0,9419	4,5184
13	2	0,0221	0,5490	1,0914	59,4888	-3,8104	-0,5996	0,0875	4,0858
14	2	0,0241	0,5119	0,9804	61,9231	-3,7240	-0,6696	-0,0198	4,1259
15	2	0,0232	0,5130	1,0500	63,4112	-3,7627	-0,6674	0,0488	4,1496
16	2	0,0314	0,3053	1,2441	51,7248	-3,4602	-1,1865	0,2184	3,9459
17	2	0,0296	0,2958	1,2947	55,5078	-3,5203	-1,2180	0,2582	4,0165
18	2	0,0301	0,3080	1,2500	52,2169	-3,5037	-1,1778	0,2231	3,9554
19	3	0,0272	0,3159	0,9835	27,3204	-3,6051	-1,1524	-0,0167	3,3076
20	3	0,0162	0,2949	1,0319	27,0210	-4,1247	-1,2211	0,0314	3,2966
21	3	0,0081	0,4085	0,8474	40,8333	-4,8140	-0,8953	-0,1656	3,7095
22	3	0,0113	0,5664	0,7556	40,3377	-4,4804	-0,5684	-0,2803	3,6973
23	3	0,0131	0,3131	0,7553	36,8421	-4,3342	-1,1613	-0,2807	3,6066
24	3	0,0179	0,2722	0,7496	38,5662	-4,0238	-1,3011	-0,2882	3,6524
25	4	0,0602	0,1194	0,8388	24,4176	-2,8105	-2,1254	-0,1758	3,1953
26	4	0,0573	0,1664	0,8826	22,7953	-2,8592	-1,7934	-0,1249	3,1266
27	4	0,0234	0,2511	0,7843	22,2098	-3,7546	-1,3818	-0,2429	3,1005
28	4	0,0228	0,3013	0,7679	22,3214	-3,7795	-1,1995	-0,2642	3,1055
29	4	0,0340	0,5007	1,5724	14,7522	-3,3809	-0,6917	0,4526	2,6914
30	4	0,0422	0,4009	1,5818	17,2012	-3,1657	-0,9141	0,4585	2,8450
31	5	0,0623	0,3126	1,5634	57,3973	-2,7762	-1,1628	0,4469	4,0500
32	5	0,0588	0,2716	1,5405	58,3439	-2,8333	-1,3033	0,4321	4,0664
33	5	0,0779	0,2410	1,4030	59,6020	-2,5518	-1,4231	0,3386	4,0877
34	5	0,0341	0,5889	1,3329	74,5508	-3,3790	-0,5295	0,2874	4,3115
35	5	0,0387	0,5765	1,2478	68,0106	-3,2527	-0,5508	0,2214	4,2197
36	5	0,0359	0,5115	1,4512	70,5795	-3,3276	-0,6704	0,3724	4,2567
37	6	0,0022	0,3346	1,0069	31,7844	-6,1055	-1,0949	0,0069	3,4590
38	6	0,0030	0,3717	0,8833	31,5985	-5,8241	-0,9895	-0,1241	3,4531
39	6	0,0027	0,4089	0,9084	25,6506	-5,9232	-0,8942	-0,0961	3,2446
40	6	0,0026	0,3717	0,9328	29,6778	-5,9522	-0,9897	-0,0696	3,3904
41	6	0,0024	0,4117	0,8600	26,1000	-6,0323	-0,8875	-0,1508	3,2619
42	6	0,0028	0,3317	1,1200	32,1000	-5,8781	-1,1035	0,1133	3,4689

N	Stotis	Sunkiųjų metalų koncentracijos (mg/kg ž.m.) plėšrių žuvų kepenyse							
		K-Cd	K-Pb	K-Cu	K-Zn	ln(K-Cd)	ln(K-Pb)	ln(K-Cu)	ln(K-Zn)
1	0	0,0414	0,3230	8,6504	42,0796	-3,1852	-1,1301	2,1576	3,7396
2	0	0,0332	0,2500	10,1549	42,4336	-3,4056	-1,3863	2,3180	3,7479
3	0	0,0354	0,2655	9,4020	42,5000	-3,3411	-1,3262	2,2409	3,7495
4	0	0,0367	0,2795	9,3000	42,3380	-3,3050	-1,2748	2,2300	3,7457
5	0	0,0407	0,3195	10,4620	42,1380	-3,2015	-1,1410	2,3477	3,7409
6	0	0,0327	0,2395	8,3420	42,5380	-3,4204	-1,4292	2,1213	3,7504
7	1	0,1211	0,4670	12,8351	30,2577	-2,1109	-0,7614	2,5522	3,4098
8	1	0,1299	0,5196	14,7423	30,4639	-2,0410	-0,6547	2,6907	3,4165
9	1	0,1242	0,5093	13,7880	32,9381	-2,0856	-0,6748	2,6238	3,4946
10	1	0,1251	0,4986	13,7880	31,2199	-2,0787	-0,6960	2,6238	3,4411
11	1	0,1201	0,4686	15,0880	32,7199	-2,1194	-0,7580	2,7139	3,4880
12	1	0,1301	0,5286	12,4880	29,7199	-2,0395	-0,6375	2,5248	3,3918
13	2	0,0337	0,5092	4,2638	33,2492	-3,3900	-0,6749	1,4502	3,5040
14	2	0,0381	0,4561	4,0942	30,9039	-3,2680	-0,7851	1,4096	3,4309
15	2	0,0489	0,4444	4,6218	33,1367	-3,0170	-0,8109	1,5308	3,5006
16	2	0,0474	0,3531	5,4785	40,0682	-3,0492	-1,0411	1,7008	3,6906
17	2	0,0486	0,3626	5,4507	37,9049	-3,0244	-1,0144	1,6957	3,6351
18	2	0,0488	0,3597	5,0218	38,7163	-3,0194	-1,0226	1,6138	3,6563
19	3	0,0569	0,3631	3,3393	27,9702	-2,8657	-1,0131	1,2058	3,3311
20	3	0,0681	0,3357	3,1904	28,1667	-2,6868	-1,0915	1,1601	3,3381
21	3	0,0069	0,3716	1,7389	27,5040	-4,9806	-0,9900	0,5533	3,3143
22	3	0,0077	0,4523	1,7484	26,2520	-4,8679	-0,7933	0,5587	3,2677
23	3	0,0263	0,3195	2,5830	34,8094	-3,6394	-1,1410	0,9489	3,5499
24	3	0,0263	0,3251	2,5807	38,3408	-3,6399	-1,1236	0,9481	3,6465
25	4	0,0488	0,1763	1,5233	22,4231	-3,0195	-1,7355	0,4209	3,1101
26	4	0,0475	0,1356	1,5443	22,4231	-3,0481	-1,9979	0,4346	3,1101
27	4	0,0538	0,2413	1,7781	18,7983	-2,9226	-1,4217	0,5755	2,9338
28	4	0,0501	0,2896	1,8832	18,7452	-2,9930	-1,2393	0,6330	2,9309
29	4	0,0656	0,4287	1,5070	9,6680	-2,7238	-0,8470	0,4101	2,2688
30	4	0,0450	0,4014	1,4929	11,5918	-3,1000	-0,9129	0,4007	2,4503
31	5	0,0537	0,2983	2,6291	29,6310	-2,9247	-1,2097	0,9666	3,3888
32	5	0,0486	0,2918	2,1707	26,8313	-3,0250	-1,2318	0,7750	3,2896
33	5	0,0475	0,2826	2,8611	28,2069	-3,0479	-1,2637	1,0512	3,3396
34	5	0,0541	0,3087	3,1034	35,9086	-2,9165	-1,1752	1,1325	3,5810
35	5	0,0610	0,3275	3,0518	33,5845	-2,7974	-1,1162	1,1157	3,5141
36	5	0,0431	0,3164	3,3461	35,0678	-3,1433	-1,1507	1,2078	3,5573
37	6	0,0174	0,2857	0,6767	24,8095	-4,0496	-1,2528	-0,3906	3,2112
38	6	0,0176	0,2524	0,6838	24,3333	-4,0388	-1,3768	-0,3801	3,1918
39	6	0,0182	0,3238	0,9157	22,6667	-4,0069	-1,1276	-0,0881	3,1209
40	6	0,0177	0,2873	0,7587	23,9365	-4,0342	-1,2472	-0,2761	3,1754
41	6	0,0157	0,3273	0,6187	25,0665	-4,1541	-1,1169	-0,4801	3,2215
42	6	0,0197	0,2473	0,8987	22,8065	-3,9271	-1,3972	-0,1068	3,1270

N	Stotis	Atstumas iki taršos šaltinio, m	
		ATSTUMAS	ln(ATSTUMAS)
1	0	140	4,9416
2	0	140	4,9416
3	0	140	4,9416
4	0	140	4,9416
5	0	140	4,9416
6	0	140	4,9416
7	1	860	6,7569
8	1	860	6,7569
9	1	860	6,7569
10	1	860	6,7569
11	1	860	6,7569
12	1	860	6,7569
13	2	1480	7,2998
14	2	1480	7,2998
15	2	1480	7,2998
16	2	1480	7,2998
17	2	1480	7,2998
18	2	1480	7,2998
19	3	2290	7,7363
20	3	2290	7,7363
21	3	2290	7,7363
22	3	2290	7,7363
23	3	2290	7,7363
24	3	2290	7,7363
25	4	2660	7,8861
26	4	2660	7,8861
27	4	2660	7,8861
28	4	2660	7,8861
29	4	2660	7,8861
30	4	2660	7,8861
31	5	3100	8,0392
32	5	3100	8,0392
33	5	3100	8,0392
34	5	3100	8,0392
35	5	3100	8,0392
36	5	3100	8,0392
37	6	7540	8,9280
38	6	7540	8,9280
39	6	7540	8,9280
40	6	7540	8,9280
41	6	7540	8,9280
42	6	7540	8,9280

AUTORĖS PUBLIKACIJOS