

**LIETUVOS ŽEMĖS ŪKIO UNIVERSITETAS**  
**MIŠKŲ FAKULTETAS**  
Ekologijos katedra

Vaidas Talačka

**RADIOAKTYVIŲ IZOTOPŲ KAUPIMOSI DRŪKŠIŲ  
EŽERO ŽUVŲ ORGANIZMUOSE ĮVERTINIMAS**

Magistrantūros studijų baigiamasis darbas

Studijų sritis: Biomedicinos mokslai

Studijų kryptis: Ekologija ir aplinkotyra

Studijų programa: Ekologija

Akademija, 2005

Magistrantūros baigiamojo darbo kvalifikacinė komisija:  
(Patvirtinta Rektoriaus įsakymu Nr.            )

Pirmininkas: - Aplinkos ministerijos Gamtos apsaugos departamento Genetiškai modifikuotų organizmų skyriaus vedėjas doc. dr. D. Lygis

Nariai:

1. Ekologijos katedros prof. habil.dr. V. Žekonienė
2. Hidrotechnikos katedros doc.dr. R. Kustienė
3. Ekologijos katedros vedėjas doc. dr. V. Marozas
4. Ekologijos katedros doc. dr. S. Mirinas
5. Aplinkos instituto direktorė e. prof. p. dr. V. Rutkoviienė
6. Aplinkos ministerijos Kauno regiono aplinkos apsaugos departamento direktorius  
A. Petrauskas

Mokslinis vadovas: dr. S. Kutra, Lietuvos žemės ūkio universitetas

Recenzentas: e. prof. p. dr. V. Rutkoviienė, Lietuvos žemės ūkio universitetas

Katedros vedėjas: doc. dr. V. Marozas, Lietuvos žemės ūkio universitetas

Oponentas: dr. L. Česonienė, Lietuvos žemės ūkio universitetas

**Talačka V. Radioaktyviųjų izotopų kaupimosi Drūkšių ežero žuvų organizmuose įvertinimas:** Ekologijos ir aplinkotyros specialybės, Hidroekologijos specializacijos magistro darbas / Vadov. S. Kutra; LŽŪU.- K., 2005.- 59 p.

## REFERATAS

Magistro darbe tiriamas Ignalinos atominės elektrinės ( toliau IAE) vandens baseine – aušintuve gyvenančių žuvų radiacinis užterštumas.

**Darbo objektas** – IAE vandens baseine gyvenančios žuvis.

**Darbo tikslas** - įvertinti Drūkšių ežero žuvų (kuoja *Rutilus rutilus* (L.), karšis *Abramis brama* (L.), lydeka *Esox lucius* (L.) ir ešeris *Perca fluviatilis* (L.)) užterštumą technogeniniais radionuklidais stronciu ( $^{90}\text{Sr}$ ), ceziumu ( $^{137}\text{Cs}$ ), nustatant jų koncentracijų lygmenis žuvų organizmuose, nustatyti gautų taršos koncentracijų priklausomybę nuo žuvų sugavimo laiko, jų rūšinės specifikos ir mitybos būdo bei palyginti su kitų Lietuvos vandens telkinių žuvų užterštumu radionuklidais.

**Darbo metodai** - Gama spektrinės analizės metodas nustatyti  $^{137}\text{Cs}$  lygius maisto bandiniuose; Stroncio-90 nustatymo metodas maisto ir aplinkos bandiniuose Čerenkovo spinduliuotės metodu.

Eksperimentiniai darbai atlikti Ignalinos atominės elektrinės padalinyje, Aplinkos apsaugos laboratorijoje 2004 – 2005 metais. Žuvis buvo gaudoma bei pristatoma tyrimams ( sezoninei dinamikai stebėti) – 2004 m. liepos, lapkričio ir 2005 m. balandžio mėnesiais ( kas mėnesį po 20 kg. žuvų; po 5 kg. kiekvienos rūšies; viso pristatyta tyrimams 60 kg. žuvų). Gautiems rezultatams statistiškai apdoroti buvo taikomas *gautojo rezultato patikimų ribų nustatymo metodas*. Visi pateikti duomenys atitinka 95 % patikimumo lygmenį.

Sąlyginai didesni cezio ( $^{137}\text{Cs}$ ) savitieji aktyvumai pastebėti Drūkšių ežero lydekose bei ešeriuose, lyginant su taikiosiomis žuvimis – karšiais ir kuojomis. Tai patvirtina, kad šio radionuklido akumuliacijos proceso intensyvumas priklauso nuo žuvų rūšinės specifikos bei mitybos būdo, t.y.  $^{137}\text{Cs}$  būdingas *trofinių lygių efektas*. Nustatytas ( $^{137}\text{Cs}$ ) aktyvumas neviršijo ES tarybos reglamente ( EEC) 737/90 nustatytų normų ( t.y. 600 Bq/kg.) ir tesudarė tik šimtąsias leistinųjų lygių dalis. Nustatytas radioaktyvaus stroncio ( $^{90}\text{Sr}$ ) savitasis aktyvumas Drūkšių ežero žuvyse yra labai nežymus ir daugelį kartų mažesnis už gamtinio radionuklido ( $^{40}\text{K}$ ) aktyvumą, o tai leidžia čia sugautą žuvį be apribojimų vartoti maistui ar kitoms reikmėms. Žuvų iš Drūkšių ežero radiologinė tarša tirtais ilgaamžiais antropogeninės kilmės radionuklidais ( $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{90}\text{Sr}$ ) nesiskiria nuo kitų tirtų vandens telkinių žuvų taršos ir yra labai nedidelė.

**Prasminiai žodžiai:** ilgaamžiai technogeniniai radionuklidai, gamtinės kilmės radionuklidas, radioaktyvieji izotopai, cezis ( $^{137}\text{Cs}$ ), stroncis ( $^{90}\text{Sr}$ ), radiologinė tarša.

**Talacka V. The estimation of radioactive isotopes accumulation in fish organisms of Lake Druksiai:** Speciality of Ecology, Specialization of Hydroecology. Master's work; Work guide S. Kutra; The Lithuanian University of Agriculture.- K., 2005.-59 p.

## P A P E R

It was being explored radiation pollution of fish living in water-cooling basin of Ignalina Nuclear Power Plant (NPP) in master's work.

**The objectives of work.** NPP water-cooling basin's fish.

**The purpose of work** was to estimate fish (*Rutilus rutilus* (L.), *Abramis brama* (L.), *Esox lucius* (L.) and *Perca fluviatilis* (L.)) contamination with macrobiotic radioisotopes cesium ( $^{137}\text{Cs}$ ) and strontium ( $^{90}\text{Sr}$ ) of Ignalina Nuclear Power Plant (NPP) water cooling basin, to point up estimated radio-pollution concentrations dependence from fish capturing period of year, their (fish) varietal particularity, nutritional mode of fish life and compare with fish contamination by macrobiotic radioisotopes in other Lithuanian waters.

**Methods of work.** Gama spectral analysis to estimate  $^{137}\text{Cs}$  levels in foodstuffs;  $^{90}\text{Sr}$  method estimation in foodstuffs and environmental samples by method of Tcherenkov radiation.

The experiment was accomplished in the Laboratory of Environmental Protection – the subdivision of Ignalina NPP in 2004-2005. Samples of fish were delivered for the investigations by three times a year (by 20 kg for every time (month); by 5 kg of different kind; totally 60 kg). It was being applied these methods for statistical evaluation of secured data - *calculable marks evaluation of secured results*. All findings are on 95 % reliability level. The results of investigations showed, that larger specific activity of ( $^{137}\text{Cs}$ ) have been found in *Esox lucius* (L.) and *Perca fluviatilis* (L.) organisms than *Rutilus rutilus* (L.) and *Abramis brama* (L.). That is proving  $^{137}\text{Cs}$  accumulation processes intensity depends of fish varietal particularity and nutritional mode – trophic levels effect is typical for accumulation  $^{137}\text{Cs}$ . Levels of  $^{137}\text{Cs}$  not exceeded the safe quotas by EU Council Regulation (EEC) No 737/90 (600 Bq/kg.). Specific activity of ( $^{90}\text{Sr}$ ) is very low and many times lower than by natural genesis radionuclide kalium ( $^{40}\text{K}$ ). That fact sustains a theory, that we can use fish for nourishment without limitation.

The results of investigations showed, that fish contamination in the Lake Druksiai is very small and not exceeded the safe quotas. The fish contamination level of NPP water-cooling basin no differing from other water ponds and is resemble each other.

**Key words:** macrobiotic radioisotopes, cesium ( $^{137}\text{Cs}$ ), strontium ( $^{90}\text{Sr}$ ), fish contamination, radio-pollution.

## TURINYS

<b>1. IVADAS.....</b>	<b>6 psl.</b>
<b>2. LITERATŪROS APŽVALGA.....</b>	<b>9 psl.</b>
<b>2.1. Vandens gyvūnijos tyrimų Lietuvoje 1991-2000 apžvalga.....</b>	<b>9 psl.</b>
<b>2.2. IAE poveikio aplinkai tyrimai.....</b>	<b>10 psl.</b>
2.3. Visuomenės požiūris į Ignalinos AE funkcionavimą ir poveikį žmogui bei aplinkai.....	11 psl.
<b>2.4. Bendra Lietuvos ežerų bei juose esančių žuvų išteklių apžvalga.....</b>	<b>13 psl.</b>
<b>2.5. Bendra radioekologinės situacijos apžvalga vandens ekosistemose.....</b>	<b>17 psl.</b>
2.5.1. Biologinių hidrosistemų komponentų radiologinių tyrimų ypatumai.....	17 psl.
2.5.2. Technogeninių radionuklidų akumuliacijos gėlavandenėse žuvyse ypatumai.....	18 psl.
2.5.3. Radionuklidų migracijos bei pasiskirstymo Drūkšių ežero hidrokomponentuose savitumai.....	20 psl.
<b>2.6. Drūkšių ežero teisinė apsauga.....</b>	<b>23 psl.</b>
2.6.1. Tarpvalstybinių vandentakių ir tarptautinių ežerų apsaugos ir naudojimo konvencija.....	23 psl.
2.6.2. Kiti Drūkšių ežero teisinę apsaugą reglamentuojantys dokumentai.....	23 psl.
2.6.3. IAE veikla, susieta su gamtos apsauga.....	24 psl.
<b>3. TYRIMO TIKSLAS IR HIPOTEZĖ.....</b>	<b>26 psl.</b>
<b>3.1. Darbo tikslas.....</b>	<b>26 psl.</b>
<b>3.2. Darbo hipotezė.....</b>	<b>26 psl.</b>
<b>4. TYRIMŲ OBJEKTAS IR METODAI.....</b>	<b>27 psl.</b>
<b>4.1. Tyrimo objektas.....</b>	<b>29 psl.</b>
4.1.1. Drūkšių ežero ir jo aplinkos apibūdinimas.....	29 psl.
4.1.2. Ichtofaginės ( plėšriosios) žuvis.....	33 psl.
4.1.3. Bentofaginės ( taikiosios) žuvis.....	35 psl.
4.1.4. Cezio ( Cs) ir stroncio ( Sr) izotopų charakteristikos.....	37 psl.
<b>4.2. Tyrimo metodai.....</b>	<b>41 psl.</b>
4.2.1. Radionuklido <sup>137</sup> Cs kiekių nustatymas tiriamuose mėginiuose.....	41 psl.
4.2.2. Radionuklido <sup>90</sup> Sr kiekių nustatymas tiriamuose mėginiuose.....	42 psl.
<b>5. TYRIMO REZULTATAI IR TYRIMO APTARIMAS.....</b>	<b>44 psl.</b>
<b>5.1. Technogeninio radionuklido <sup>137</sup>Cs ir gamtinės kilmės radionuklido <sup>40</sup>K koncentracijų nustatymo žuvyse, tyrimų rezultatai.....</b>	<b>44 psl.</b>
<b>5.2. Technogeninio radionuklido <sup>90</sup>Sr ir stabilaus izotopo <sup>39</sup>Ca koncentracijų nustatymo žuvyse, tyrimo rezultatai.....</b>	<b>48 psl.</b>
<b>5.3. Lietuvos Respublikos vandens telkinių, žuvų užterštumas radioaktyviais izotopais.....</b>	<b>51 psl.</b>
<b>6. IŠVADOS.....</b>	<b>55 psl.</b>
<b>BIBLIOGRAFINIS SĄRAŠAS.....</b>	<b>56 psl.</b>
<b>PRIEDAI.....</b>	<b>59 psl.</b>

## 1. ĮVADAS

Branduolinė energetika yra viena sričių, į kurias nuolat nukreiptas visuomenės dėmesys. Lietuva turi vieną iš galingiausių pasaulyje atominių elektrinių – Ignalinos atominę elektrinę (toliau IAE). Mūsų šalies gyventojai nuolatos domisi kaip saugiai ši jėgainė yra eksploatuojama ir ar nedaroma žala gamtai, žmogui. Kartais pasigirsta nuomonių apie tai, kad, galbūt, jėgainė teršia aplinką ir tuo pačiu neigiamai veikia žmogų per aplinkos objektus – dirvožemį, orą. O juk aplinka turi tiesioginį ryšį per mitybos grandines su žmogumi. Tad vienas iš aspektų stebėti gamtinės aplinkos taršą radionuklidais – visuomenės informavimas.

“Ar saugu valgyti žuvis, kurios yra sugautos Drūkšių ežere – IAE vandens baseine-aušintuve?” Šis klausimas kyla ne vienam mūsų šalies piliečiui. Ežeras artimai susijęs su potencialiai pavojingu branduolinės energetikos objektu, todėl į šį vandens telkinį nuolatos patenka technogeniniai radionuklidai. Būtina juos nuolat kontroliuoti tuose ežero komponentuose, kurie geriausiai rodo ežero radiacinę taršą ir išryškina aktyvios radionuklidų akumuliacijos ežere zonas. Kaip žinia, radiobiologiniais tyrimais nustatyta, kad jautriausi organizmai jonizuojančiai spinduliuotei tarp visų *hidrobiontų* yra žuvis, atstovaujanti priešpaskutinę mitybinės grandinės *hidrobiontai - žmogus* pakopą. Tyrimams parenkamos plėšriosios bei taikiosios žuvis, kaip objektai, kurie tiesiogiai yra vartojami žmonių maistui ir jų radiologinė tarša gali turėti įtakos žmogaus vidinei apšvitai.

Radionuklidų kiekių stebėjimas maisto produktuose (tarp jų ir žuvyse) būtinas ir kitu aspektu. Europos Komisijos 1996 m. gegužės 13 d. patvirtinta direktyva EUROATOM 96/28 reglamentuoja, kad turi būti įvertinta apšvita nuo visų apšvitos šaltinių, kurie gali veikti žmogų. ( Council Directive 96/29 EUROATOM, 1996).

Europos Komisijos Rekomendacija, paskelbta 2000 birželio 8 d. nurodo, kaip turi būti atliekama aplinkos stebėseną (radiologinis aplinkos monitoringas) vertinant radionuklidų kiekius įvairiuose objektuose, tame tarpe ir maisto produktuose. Rekomendacijose apibrėžti tyrimo objektai, jų kiekis bei tyrimų dažnumas. Europos Sąjungos šalys- narės privalo pateikti duomenis apie rastus radionuklidų kiekius imtuose mėginiuose į bendrą duomenų bazę. ( Commission Recommendation.... of Euroatom Treaty..., 2000).

Vandens gyvūnuose, patekusiuose į užterštą radioaktyviomis medžiagomis hidrosistemą arba esančiuose joje užterštumo metu jau nuo pirmųjų minučių prasideda šių medžiagų koncentravimas. Radionuklidų akumuliacijos greitis ir kaupimosi lygiai priklauso nuo jų koncentracijos vandenyje. Į atominių elektrinių reaktorius aušinančius vandens telkinius kartu su techninėmis AE nuotekomis radioizotopai patenka pastoviai keldami potencialią radioaktyvaus užterštumo grėsmę.

Jau nuo 1965 m. Lietuvoje pradėti vykdyti tyrimai vertinant žmogaus vidinę apšvitą nuo radionuklidų, patenkančių į organizmą per maisto produktus ir geriamąjį vandenį, o jau po metų – 1966 m. - nuolatos pradėti tirti vietiniai maistui vartojami produktai penkiose šalies zonose. Buvo vertinami tik ilgaamžiai antropogeninės kilmės radionuklidai – cezis ( $^{137}\text{Cs}$ ) ir stroncis ( $^{90}\text{Sr}$ ), kurie organizmuose elgiasi kaip stabiliųjų izotopų kalio ( $K$ ) ir kalcio ( $\text{Ca}$ ) analogai, patenkantys į kūno audinius bei kaulus ir švitinantys organizmą iš vidaus beta ( $\beta$ ) ir gama ( $\gamma$ ) dalelėmis. (Aarkrog A., 1994; Ярмошенко С.П., 1988; Juraitytė A., Ladygienė R., Skripkienė A., 2003).

Kita priežastis tirti minėtus radionuklidus buvo ta, kad šių dviejų ilgaamžių technogeninių (techninės kilmės) radionuklidų išmetimai į aplinką buvo didžiausi per visą laikotarpį nuo 1945 metų. (Aarkrog A., 1994).

Lietuvoje, kaip ir visame pasaulyje, gyventojai yra veikiami išorinės ir vidinės apšvitos šaltinių, kurie yra gamtinės ir antropogeninės kilmės. Šie šaltiniai yra medicinos procedūros, kosmosas, statybinės medžiagos, gruntas, geriamasis vanduo, oras. Kai kurių šaltinių įtaka gana pastovi ir tiksliai nustatyta, kitų – kinta ir priklauso nuo vietos sąlygų. Ypač svarbu nustatyti dozes, sąlygojamas dėl žmogaus veiklos susidariusių radionuklidų. Įvertinant tokių šaltinių įtaką gyventojų apšvitai, matuojama dozė arba dozės galia (išorinės apšvitos atveju) bei radioizotopų kiekiai (savitieji arba tūriniai aktyvumai) statybinėse medžiagose, ore, geriamajame vandenyje, maiste.

Dėl antropogeninės veiklos aplinkoje atsiranda vis daugiau radioaktyvių medžiagų. Gausėja gamtinių radionuklidų ( mineralinės trąšos, akmens anglis ir kt.) iš žemės gelmių patenkančių ant žemės paviršiaus. Praėjusio šimtmečio viduryje atsirado dar vienas papildomas radioaktyvių medžiagų šaltinis – iškritos ant žemės paviršiaus po branduolinio ginklo bandymų. 1945 - 1981 m. laikotarpiu buvo susprogdinta per 400 branduolinių užtaisų, todėl į atmosferą pateko nemažas kiekis radioaktyvių medžiagų, kurios palaipsniui iškrenta ant žemės. Įdomus faktas, kad vien iki 1962 m., kai buvo pasirašyta trišalė tuometės Tarybų Sąjungos, JAV ir Anglijos sutartis, draudžianti branduolinius sprogdinimus atviroje atmosferoje, buvo įvykdyta net 360 “tokio tipo” sprogdinimų. Gamtinės aplinkos užterštumo lygmenį antropogeninės kilmės radioaktyviaisiais nuklidais įtakojo ne tik branduolinių ginklų bandymai, bet ir atominių elektrinių avarijos, iš kurių žymiausia ir labiausiai mus paveikusi buvo Černobylio ( Ukraina) AE avarija 1986 m., o kur dar branduolinio kuro perdirbimo pasekmės, šalinimo produktai iš branduolinio kuro ir kitos paskirties gamyklų. ( “Chernobyl and Finland”, 1987; Aarkrog A., 1994).

Žmogus, siekdamas pirmą kartą įsisavindamas naujausias technologijas, ne ypatingai kreipė dėmesį į tai, kokią įtaką veiklos padariniai gali turėti aplinkai, tuo tarpu ir jam pačiam. Pasekmė to - teršalai grįžta teršėjui. Dar daugiau – išsiskleidę ore arba virtę debesimis, dūmai

ir nuotekos gali grįžti didesnės koncentracijos. Lietus arba upės teršalus atneša į jūrą, o čia jie patenka į jūros organizmus, visų pirmausiai į pirmuonis, vėliau į sudėtingesnius gyvūnus, žuvis, paukščius, ir žmones. Taigi, galų gale, mitybos grandinės gale esantis žmogus kenčia nuo jo paties sukurtų nuodų. Būtina imtis atitinkamų priemonių tam, kad patenkinti žmonijos poreikius nesukeliant esminio neigiamo poveikio supančiai aplinkai, kuris keltų grėsmę įvairių gyvybės formų tęstinumo užtikrinimui. Kaip viena jų, galinčių užtikrinti subalansuotą plėtrą, yra tarptautinių aplinkosauginių susitarimų pavertimas veiksmingais, kas užtikrintų optimalų aplinkos apsaugos lygį.

Iki 2004 metų pabaigos veikė 2 IAE reaktoriai. 2004 m. gruodžio 31 d. uždarytas I-asis blokas. Netolimoje ateityje planuojama visiškai uždaryti elektrinę. Galbūt, vietoj jos pastatyti modernizuotą - šiuolaikišką reaktorių. Tačiau, dėl šios teorijos dar daug neaiškumų, abejonių – tai tik viena iš galimų ateities vizijų. Realu manyti, kad ateityje radioaktyviosios taršos technogeniniais teršalais Drūkšių ežere nebeliks visiškai. Tikėkimės, kad ateityje šis ežeras taps patraukliu rekreaciniu objektu kiekvienam švarios gamtos mylėtojiui.



## 2. LITERATŪROS APŽVALGA

### 2.1. Vandens gyvūnijos tyrimų Lietuvoje 1991-2000 apžvalga

Nepriklausomybės metais – 1991-2000 metais buvo plėtojami šie tyrimai: pradėti planktoninių, bentosinių ir nektoninių gyvūnų bendrijų tyrimai įvairaus dydžio gradientinėse ekosistemose, klasifikuotos upių žuvų bendrijos, įvairaus dydžio ir režimo upėse tyrimai ( moksliniai vadovai V.Kesminas, T.Virbickas); pradėti Baltijos priekrantės ir ekonominės zonos kompleksiški vandens gyvūnijos ir biologinių išteklių tyrimai (moksliniai vadovai R.Repečka, L.Lazauskienė, J.Maksimovas, A.Stankevičius, A.Razinkovas); išvystyti tyrimai apie žuvų populiacijų ir bendrijų struktūros ir funkcionavimo kaitą pagal gamtinių faktorių gradientus ir trendus ( mokslinis vadovas J.Virbickas); užbaigti vandens gyvūnijos tyrimai pagal valstybinę mokslo programą “Atominė energetika ir aplinka” (moksliniai vadovai J.Virbickas ir A.Astrauskas); sukaupta ir apibendrinta mokslinė informacija apie vandens gyvūniją visų Lietuvos rajonų vandens telkiniuose ( R.Repečka, V.Kesminas, E.Bukelskis ir kt.); užbaigti žuvų virškinamojo trakto bakteriocenozinių obligatinės simbiozės tyrimai ( mokslinės vadovės V.Lubianskienė, J.Šyvokienė); išplėsti taršos genotoksiškumo ir vandens gyvūnų chemoadaptacijos tyrimai ( mokslinės vadovės Z.Vosylienė, J.Barčienė); užbaigti elektrožuklės biologinių pagrindų tyrimai ( mokslinė vadovė G.Daniulytė), plėtojami žuvų ir jų pašarinių organizmų išteklių tyrimai Baltijos jūroje ir Kuršių mariose, taip pat akvakultūrų biotechnologijos tyrimai ( moksliniai vadovai R.Repečka, A.Pečiukėnas). Be Ekologijos instituto, vandens tyrimus atliko Klaipėdos ir Vilniaus universitetai, LVŽŽTC ( Lietuvos valstybinis žuvininkystės ir žuvininkystės tyrimų centras) Žuvininkystės tyrimų laboratorija, AM Jūrinių tyrimų centras, Radiacinės saugos centras. ( “Acta hydrobiologica Lituanica”, 2000; Bernotas E., 2001).

Mokslinių vandens gyvūnijos tyrimų rezultatai vykdyti pagal Valstybinės mokslo programą “Atominė energetika ir aplinka”, buvo pateikti šios programos metinėse bei ataskaitinėje konferencijoje ( Vilnius, 1995, 1996, 1998); tarptautiniame seminare “Sekliųjų vandenių žuvininkystės echolotai” (Londonas, Anglija, 1996); II-ajame Ukrainos hidroekologų draugijos suvažiavime ( Kijevas, Ukraina, 1997); konferencijoje, skirtoje LHD ( Lietuvos hidrobiologų draugija) 30-mečiui paminėti “Lietuvos vandens ekosistemų funkcionavimas ir kaita” ( Vilnius, 1997); tarptautinėje mokslinėje – gamybinėje konferencijoje “Žuvininkystės vystymo vidaus vandenyse problemos pereinant į rinkos santykius” ( Minskas, Baltarusija, 1998), taip pat ir jaunųjų mokslininkų konferencijoje “Gyvūnų ekologija” ( Vilnius, 2000). ( “Acta hydrobiologica Lituanica”, 2000).

## 2.2. IAE poveikio aplinkai tyrimai

Ignalinos atominės elektrinės statyba ir eksploatacija iškėlė daug ekologijos, gamtosaugos bei socialinių problemų, kurių deramai neišsprendus toliau plėtoti atominę energetiką Lietuvoje neįmanoma.

Nuo 1979 metų, tik pradėjus statyti IAE, grupė Lietuvos mokslo institutų ir aukštųjų mokyklų specialistų pradėjo tyrinėti Drūkšių ežerą – būsimąjį Ignalinos AE aušinimo baseiną ir aplinkinį regioną. Buvo fiksuojamas IAE poveikis aplinkai, bet kartu siekta prognozuoti ekosistemų pakitimus. Todėl manyta, kad gauti rezultatai ir mokslinės išvados gali būti naudingi projektuojant ir eksploatuojant kitus panašaus tipo energetinius objektus.

Dar prieš paleidžiant Ignalinos AE pirmuosius energetinius blokus buvo užfiksuoti nemaži Drūkšių ežero vandens kokybės ir biocenozų struktūros bei jų funkcionavimo pakitimai, susiję su statyba. Jau tada kompetentingų specialistų apskaičiavimai bei išvados privertė iš esmės keisti numatytas elektrinės eksploatacijos sąlygas, kad būtų išvengta pavojingo poveikio ne tik gamtai, bet ir žmonėms. ( “Atominė energetika ir aplinka”, 1993).

Žinoma, daugelio gamtosaugos problemų eksploatuojant Ignalinos AE būtų pavykę išvengti arba jas sušvelninti laiku atsižvelgus į gautus mokslinių tyrimų rezultatus ir deramai įvertinus pateiktas rekomendacijas. Deja, kaip yra žinoma, neretai tarpžinybinės kliūtys trukdė tinkamai koordinuoti darbus ir maksimaliai panaudoti tyrinėtojų mokslines galimybes. Dauguma ilgamečių Ignalinos AE regiono tyrinėjimų rezultatų apibendrinti ir pateikti daugiatomyje leidinyje “ Šiluminė energetika ir aplinka”, mokslinėse ataskaitose įvairioms organizacijoms, specialiuose moksliniuose bei mokslo populiarinimo straipsniuose. ( “Atominė energetika ir aplinka”, 1993).

Tuo tikslu, kad detaliau išaiškinti Ignalinos AE regiono, kaip vieningo gamtos komplekso, “ypatumus”, 1993 m. buvo sukurta bei Vyriausybės patvirtinta mokslinių tyrimų programa “Atominė energetika ir aplinka”. Jos dėka įvertinti IAE šiluminio, cheminio ir radiacinio poveikio gamtai padariniai, numatytos ekosistemų kitimo perspektyvos, pasiūlytos stabilizavimo priemonės. Savaiame suprantama, kad Ignalinos AE įtaka žmonėms neapsiriboja vien tiesioginiu radiacinio ar cheminio užteršimo veikimu. Tai patvirtina kiti aktualūs klausimai – įvairios socialinės, psichologinės ir demografinės problemos, kurių negalima ignoruoti ar laikyti antraeilėmis optimizuojant atominės energetikos būklę Lietuvoje. Kitas svarbus šios programos realizavimo rezultatas – paruošta kompleksinio antropogeninio poveikio ekosistemoms vertinimo strategija. Galima tvirtai sakyti, kad ekologinio monitoringo principai įgyvendinti pagal šią programą tinkami naudingam pritaikymui kituose analogiška antropogeninį poveikį patiriančiuose gamtos kompleksuose ( arba objektuose) ne

tik Lietuvoje, bet ir užsienyje. Mokslo programa “ Atominė energetika ir aplinka” buvo įgyvendinta 1993-1997 m. laikotarpiu.

Pastaruoju metu IAE regiono aplinkos ( kaip ir gamtinės aplinkos visoje Lietuvoje) tyrimai buvo vykdomi pagal 1998 m. patvirtintą Valstybinio aplinkos monitoringo programą. Ją performavus, 2005-2010 metams patvirtinta bei jau įgyvendinama *Valstybinio aplinkos monitoringo ir upių baseinų valdymo* programa. Ji padės imtis veiksmingų aplinkosaugos politikos priemonių ir valdyti aplinkos kokybę tiek šalies, tiek Europos mastu, pagal šią programą bus atliekami aplinkos tyrimai - stebėjimai; surinkta bei pateikta informacija apie Lietuvos aplinkos būklę visuomenei. Šie duomenys leis įgyvendinti ES aplinkos sektoriaus direktyvas, spręsti apie įdiegtų aplinkosaugos priemonių efektyvumą bei optimaliai planuoti naujas, įvertinti stambių šalies ir užsienio ūkio subjektų poveikį aplinkai. ( Internetas).

### **2.3. Visuomenės požiūris į Ignalinos AE funkcionavimą ir poveikį žmogui bei aplinkai**

Pastačius Ignalinos AE, oficialios institucijos garantavo, kad bus visiškai užtikrintas nustatytų aplinkos apsaugos normų laikymasis, kad aplinkai nebus daroma jokios žalos. Todėl visuomenė buvo rami. Deja, Černobylio avarija parodė, kad garantijos nėra patikimos ir kad atominės elektrinės saugumas dar daug kuo priklauso nuo atskirų žmonių, elektrinės kolektyvo, visuomenės ir pagaliau valdžios institucijų požiūrio į atominę energetiką.

Tai buvo viena iš svarbiausių priežasčių vykdyti kryptingus socialinius tyrimus, kuriuos, 1993 m. įsijungdamas į Valstybinės mokslo programos “Atominė energetika ir aplinka” vykdymą, atliko Lietuvos filosofijos ir sociologijos institutas.

Vieni pagrindinių sociologinių tyrimų tikslų buvo ištirti AE aplinkos gyventojų ekologinę sąmonę, informuotumą apie artimuosius ir tolimuosius ekologinius AE funkcionavimo padarinius bei išanalizuoti gyventojų nuomones apie AE poveikį jų sveikatai ir gyvenamajai aplinkai. (“Ignalinos AE: žmogaus gyvenimo....”, 1998).

Tam, kad gautieji rezultatai tiksliau atspindėtų visuomenės nuomonę, buvo apklausiami įvairių sričių žmonės: įvairių Lietuvos Respublikos žinybų specialistai, kurių darbas siejosi su atominės energetikos ir gamtos saugos problematika; Ignalinos AE darbuotojai bei Ignalinos AE zonos – Ignalinos, Zarasų, Švenčionių, Utenos rajonų bei Visagino miesto – gyventojai, savivaldybių bei seniūnijų vadovai ir specialistai.

Išanalizavus gautus tyrimų duomenis paaiškėjo, kad ekspertų ( mokslininkai fizikai, atominės energetikos specialistai, Energetikos ministerijos darbuotojai ir kt.) bei rajonų ( ir Visagino miesto) gyventojų, savivaldybių ir seniūnijų vadovų gerokai didesnė dalis nei pusė mano, jog IAE pavojinga (labai pavojinga ar bent kelia nemažą pavojų aplinkai). Apie tris

ketvirtadalius rajonų gyventojų bei savivaldybių atstovų mano, kad AE funkcionavimas kenkia ne tik žmogaus sveikatai, bet ir kelia pavojų regiono augalijai, gyvūnijai.

Kaip pagrindinis pavojaus šaltinis minima IAE skleidžiama radiacija – kas ketvirtas Šiaurės Rytų Lietuvos gyventojas ir kas penktas savivaldybių atstovas galvoja, kad AE skleidžiamas radioaktyvumas viršija normas. Atitinkamai pusė ir kas trečias minėtų žmonių pripažįsta, kad dėl AE funkcionavimo visoje Lietuvoje padidėjęs oro užterštumas. Galima gamtos užteršimo grėsmė taipogi kelia žmonėms nerimą – dauguma apklaustų ekspertų (90%) nurodė, kad juos jaudina ežerų, kitų vandens telkinių, gruntinių vandenų užterštumas. Kaip kitos tikėtinos žmones jaudinančios AE funkcionavimo pasekmės – dirvožemio užterštumas bei klimato pokyčiai. (“Ignalinos AE: žmogaus gyvenimo...”, 1998).

Logiška manyti, kad AE daro didesnę ar mažesnę įtaką ją supančiai aplinkai vadovaujantis ta tyrimų išvada, kad mažas procentas visų teigiančiųjų mano, jog niekas nepasikeitė. Buvo teigiančių, kad apie tai nieko nežino, neturi informacijos. Daugelį šio krašto žmonių neramina tai, kad nėra patikimos sistemos žmonių sveikatos, vandens, dirvožemio pakitimų analizei ir patikimos sistemos žmonių sveikatos, vandens, dirvožemio pakitimų analizei ir patikimos informacijos apie analizių rezultatus, apskritai – apie tikrąją padėtį. Todėl galima laisvai manyti, kad baimė ir nerimas jaučiami pagrįstai. Be to, avarija Černobylio atominėje elektrinėje (ČAE) pakeitė požiūrį į AE saugumo garantijas. Tuo labiau, kad Ignalinos AE reaktoriai tokie pat, kaip Černobylio, o Vakarų Europos atominės energetikos specialistų vieninga nuomonė – Černobylio tipo reaktoriai yra nepatikimi. (“Ignalinos AE: žmogaus gyvenimo...”, 1998).

Kita vertus, IAE nederėtų pilnumoje lyginti su ČAE todėl, kadangi Ignalinos AE išsiskiria iš visų RBMK tipo reaktorių tuo, kad apie ją buvo atlikta daugiausiai išsamių tarptautinių tyrimų, kuriose buvo tiriami jėgainės projekciniai parametrai, rizikos lygiai. Be to, po minėtos katastrofos Černobylyje, buvo atlikta Ignalinos AE įrengimų modifikacija pagal AE vadovybės kartu su tarptautiniais ekspertais parengtą saugos gerinimo programą (SIP). IAE vienintelė RBMK tipo elektrinė, su kuria susijusi informacija yra sukaupta, patikrinta, susisteminta ir prieinama visuomenei. Šioje apžvalgoje pateikti teiginiai apie elektrinės saugą atspindi tarptautinių ekspertų išvadas. Viena pagrindinių SAR (*saugos analizės rekomendacija*) nereikalauja neatidėliotino elektrinės uždarymo. (Internetas).

Visgi atominė elektrinė su savo infrastruktūra veikia visas aplinkos sferas: gamtą, visuomenę ir žmonių mąstymą bei jų sąveikoje atsirandančius integruotus darinius (kraštovaizdį, apgyvendinimo bei ūkio sistemas ir pan.). Dėl to ir kyla įvairiausių neaiškumų, dvejonių visuomenės tarpe. Siekdami atsakyti į šiuos žmonėms rūpinčius klausimus, mokslininkai vykdo įvairiausius tyrimus susijusius su AE aplinka, tame tarpe ir radiologinius,

t.y. nustatant radiacijos poveikį gamtinei aplinkai ( dirvožemiui bei juose augantiems augalams, vandens telkiniams ir jose gyvenančioms žuvims), o per tai – žmogui.

Remiantis Geografijos bei Botanikos institutų darbuotojų parengta informacine-moksline medžiaga, galima pasakyti, kad daugiamečiai tyrimai, vykdyti 1980-1997 m. laikotarpiu, parodė, kad Ignalinos AE regiono vandens ir sausumos ekosistemų radioekologinę situaciją didžiausiu mastu formuoja globalūs technogeniniai ir gamtiniai radionuklidai, o ne AE paskleidžiami. Radioekologiniai pokyčiai Drūkšių ežere yra labiau juntamesni, nei AE regiono sausumos ekosistemose ir tai daugiausia susiję su korozinių radionuklidų prietaka į ežerą. Ir vertinant radiaciniu – higieniniu požiūriu AE poveikis aplinkai yra minimalus. ( Baubinas R., Paškauskas R. ir kt., 1998).

Tačiau pažymėtina, kad Drūkšių ež. didžiausius esminius pokyčius patyrė būtent AE funkcionavimo metu. Dėl AE poveikio aplinkai kinta Drūkšių ežero ir jo baseino vandens balansas, ežero vandens bei šiluminis režimas, priekrantės mikroklimatas. Sąveikaujant šiluminei ir cheminei taršai, kinta ežero bendrijų struktūra, spartėja ežero eutrofizacija. Dėl potencialaus radiacinio poveikio aplinkai visuomet išlieka organizmų genotoksinių pažeidimų tikimybė. Lyginant IAE su kitais panašaus pobūdžio pramonės objektais, jos specifika pasireiškia būtent tuo, jog aušinimui naudojamas sąlyginai nedidelio ir mažai pratakus ežero vanduo. Tiesioginį cheminį Ignalinos AE poveikį Drūkšių ežeras ir aplinkinio regiono ekosistemos patiria dėl padidėjusio biogeninių ir toksinių organinių bei mineralinių medžiagų srauto iš gamybinių, taip pat miesto teritorijų. ( Baubinas R., Paškauskas R. ir kt., 1998).

#### **2.4. Bendra Lietuvos ežerų bei juose esančių žuvų išteklių apžvalga**

Ežeras – vandens sanakaupa lomoje. Ežerą apibūdina dubens gylis ir laikas, per kurį pasikeičia visas vanduo. Tekantis upių vanduo pasikeičia per dvi savaites, ežero vanduo pasikeičia per žymiai ilgesnį laiką. Jei ši trukmė ilgesnė nei metai, vandens sanakaupa vadinama ežeru. Jo dubens gylis turėtų būti ne mažesnis nei 2 metrai. Daugumos ežerų dubenys susiformavo geologinių transformacijų metu: per ledynmečius ir tarpledynmečius. Dauguma Baltijos jūros baseino ežerų susiformavo per paskutinį ledynmetį – prieš 10 000 metų. ( Tumas R., 2003).

Ežerai yra hidrologinio ciklo dalis ir jų egzistencija apibūdinama ežero baseino geologija ir klimatu. Antai ežero vandens terminis režimas, kritulių, garavimo ir nuotėkio dydžiai priklauso nuo klimato. Ežero baseinas lemia pritekančio į ežerą vandens kiekį – kuo baseinas didesnis, tuo daugiau priteka vandens į ežerą. Šis vanduo plauna baseino dirvožemį ar uolienas, atplukdo į ežerą įvairių neorganinių ir organinių ( humuso, augalijos liekanų) medžiagų. ( Tumas R., 2003).

Pasak R. Tumo, Lietuvoje yra 2850 ežerų, kurių plotas didesnis kaip 0,5 ha., o jų bendras plotas sudaro 910 km<sup>2</sup>. Daugiau kaip pusė visų ežerų (65%) – maži ežerėliai (1-5 ha.). Iki 10 ha. ploto iš viso priskaičiuojama 1978, nuo 10 iki 50 ha. – 644, nuo 50 iki 100 – 138, nuo 100 iki 500 ha. – 128, nuo 500 iki 1000 – 18 ir didesnių, kaip 1000 ha. – 13 ežerų. („Žuvininkystė Lietuvoje II“, 1996; Bubinas A., Bukelskis E., 1998; Tumas R., 2003).

Bendras Lietuvos ežeringumas 1,5 %, tačiau skirtinguose regionuose šis skaičius yra nevienodas. Ežeringiausias yra Žeimenos upės baseinas, jame priskaičiuojami 528 ežerai, kurių bendras plotas 1790 ha. Šio baseino ežeringumas – 6,4 %. Dysnos upės baseine - tik 157 ežerai, jų bendras plotas 11656 ha., tačiau tai dideli ežerai (tarp jų ir Drūkšių ežeras), todėl ežeringumas – 3,5 %. Šventosios upės baseine yra 621 ežeras, kurių bendras plotas 19741,5 ha., o ežeringumas – 2,9 %. Kitų upių baseinų ežeringumas daug mažesnis. Šešupės ir Merkio – po 0,9 %, Nemuno vidurupio baseino - 0,7 %, Verknės-Strėvos – 0,5 % ir Neries baseino – tik 0,1 %. (Kilkus K., 1998).

Pagal geografinę padėtį ežerai Lietuvoje išsidėstę labai nevienodai. Didžiausias ežeringumas (11,4 %) – Šiaurės rytų Lietuvoje Baltijos – Švenčionių aukštumos ruože, kur yra apie 80 % visų ežerų, Žemaičių aukštumoje (10 %), Lietuvos Pietryčių lygumoje (7 %) ir mažiausiai – Vidurio Lietuvos žemumoje (tik 0,5 %). (Tumas R., 2003).

Lietuvos ežerams būdinga netaisyklinga forma. Mažesni ežerėliai daugiausiai yra apskriti, didesni – pailgi arba šakoti. Ir nors Lietuvos ežerai yra maži, bet gilūs. Upių baseinuose, kur vyrauja maži ežerėliai, vidutinis maksimalus gylis yra apie 3 metrus, o baseinuose, kur daugiausia didesnių kaip 20 ha. ežerų, vidutinis maksimalus gylis – 10 m.

Išskirtiniai Lietuvos ežerai būtų šie: giliausias Lietuvos ežeras – Tauragnas (Utenos raj.), jo maksimalus gylis – 60,5 m; antras pagal gylį – Malkestaičio ež. (Molėtų raj.), nors jo plotas tik 20,2 ha.; ilgiausias Lietuvos ežeras – Dubingiai (Molėtų raj.) – 21,9 km.; didžiausias Lietuvos ežeras – Drūkšiai (Ignalinos ir Zarasų raj.) – 4480,2 ha.; antras pagal dydį Lietuvos ežeras – Dysnai (Ignalinos raj.) – apie 3000 ha. Lietuvoje yra 86 ežerai, gilesni nei 20 m. (Kilkus K., 1998; Tumas R., 2003).

Ežerų dugnas labai nevienodas. Apie 50 % visų ežerų dugnas yra lygus, į vidurį žemėja, apie 16 % - šiek tiek duobėti, apie 18 % - labai duobėti ir apie 4-5 % - kalvoti bei duobėti. Daugumos Lietuvos ežerų krantai nelabai vingiuoti. Labai vingiuotais krantais yra tik 15 %. Daugiausia giliuosius Lietuvos ežerus maitina ne tik gruntiniai, bet ir tarpfluksiniai požeminiai vandenys, nes jų dubenys kerta ledynų paliktas nuosėdas ir vandeningus sluoksnius.

Nevienoda ežerų dubenų forma, gylis, padėtis tarp kitų reljefo formų ir kitos savybės priklauso nuo jų kilmės. Lietuvos ežerų dubenys skirstomi į glacialinės, arba ledynmetinės ir

postglacialinės, arba poledynmetinės, kilmės. Daugiau kaip 2400 ežerų dubenys yra ledynmetinės kilmės. Jų dydžio, gylio, dugno reljefo skirtumus lemia ežero aplinkos reljefas ir įvairūs ežero dubens susidarymo būdai. Didžiausios dalies ledynmetinės kilmės ežerų dubenys išplauti vandenų tekėjusių po ledynu ir nuo ledyno. Tai rininiai (loviniai, ilginiai) ežerai pailgi, dažnai vingiuoti. Jie itin gilūs, dugno reljefas nelygus, duobėtas, krantai statūs (Tauragno, Totoriškių, Gulbinų ir kt.). Kitų ežerų dubenys susidarę ištirpus palaidotiems po nuosėdomis ledo luistų. Šiems ežerams būdingi pakankamai taisyklingi, nevingiuoti krantai, didelis šlaitų nuolydis, plokščias ir į centrą gilėjantis dugnas (Dusios, Metelio, Lūksto ir kt.). (Tumas R., 2003).

Šiek tiek mažiau yra sudėtingos kilmės ežerų dubenų. Sudėtinguosius dubenis suformavo keli veiksniai: pats ledynas ar ledo luistas ir fliuvioglacialiniai vandenys. Dažniausiai vieną tokio tipo ežero dalį galima laikyti rininiu ežeru, o kitą – ledo luisto guolio arba patvenktiniu. Šio tipo ežerų forma nepaprastai sudėtinga. Gylis įvairiose ežero dubens vietose labai skirtingas, dugnas dažniausiai nelygus, daug salų ir pusiasalių. Šiuo atveju kaip pavyzdį galima paimti didžiausią Lietuvos ežerą - *Drūkšius*. Tai atspindi vien tas faktas, kad esantis maksimalus gylis (nuo 24 iki 33 m.) teuzima vos 1 % nuo bendro ežero ploto ir 0,4 % bendro tūrio, o štai gyliai iki 12 m. - 4062 ha., arba 83 % nuo bendro ploto ir 88 % nuo bendro tūrio. (“Acta hydrobiologica Lituanica”, 2000). Kiti tokie ežerai: Akmenos, Galvės, Rubikių, Zaraso.

Ledynmetinės kilmės dubenys yra ir liekaninių (reliktinių) ežerų, apskritos formos, ganėtinai taisyklingų nevingiuotų krantų, negilūs, apsupti pelkių, durpynų, su labai daug juose susikaupusio dumblo (Žuvinto, Rėkyvos ež.).

Pirminė ežerų forma labai svarbi tolesnei ežerų raidai, nes dėl skirtingos ežerų dubenų formos, juose vykstantys procesai būna skirtingi. (Tumas R., 2003).

Lietuvos ežerų raida nevienoda. Statistiniais duomenimis, patvenktinių ežerų raida sparčiausia, o rininių – lėčiausia. Ledo luisto guoliniai ežerai vystosi lėčiau negu patvenktiniai, bet greičiau ne rininiai. Rininių ežerų vanduo daug skaidresnis, augalija nesudaro ištisinės juostos. Patvenktiniai ežerai, priešingai, apsupti pelkių, pakrantės zona pasidengusi dumblo sluoksniu, vanduo nelabai skaidrus. Pagal raidą, ežerai skirstomi į jaunystės, brandos, senatvės ir mirties. (Tumas R., 2003).

Apie žuvų rūšių skaičių Lietuvos ežeruose mokslininkų nuomonės šiek tiek skiriasi. Viename šaltinyje (“Žuvininkystė Lietuvoje II”, 1996) teigiama, kad Lietuvos ežeruose gyvena per 40 rūšių žuvų, iš jų 29 – vietinės, o štai kitame (Tumas R., 2003) – per 30 rūšių žuvų, įskaitant introdukuotas rūšis (karpis, peledes, starkius, sidabrinis karosus ir ungurius),

priklausančius dešimčiai šeimų. Vertingos verslinės žuvis – seliava, stinta, lydeka, karšis, lynas, peledė, starkis, ungyrys, karpis ir sidabrinis karosas.

Žuvų paplitimas ežeruose nevienodas: stintos gyvena 1,3; seliavos – 2,5; vėgėlės – 30-40; plakiai – 45-50; karosai – 45-55; aukšlės – 57,5, pūgžliai – 60,3; raudės – 60-70; karšiai – 70; lynai – 97,7 % Lietuvos ežerų. Gausiausia yra šilumamėgių žuvų – kuojų, lydekų, ešerių, lynų, aukšlių, paprastųjų karosų. Pratakiuose ežeruose paplitusios upinės žuvis – šapalai, meknės, grūžliai. Daugiausiai iš visų žuvų sugaunama kuojų ( 25,5 %), karšių ( 24,2 %), aukšlių ( 19,4 %). (“Žuvininkystė Lietuvoje II”, 1996; Tumas R., 2003)

Visgi, mokslininkų pritariama nuomonei, kad žuvų bendrijų rūšinę sudėtį apibūdina ežero tipas. Pačių jauniausių – *mezotrofinių* ežerų žuvų bendrijų branduolį sudaro stintos, seliavos, aukšlės, pūgžliai, karšiai, lynai, kuojos, lydekos, ešeriai ir rečiau – karosai ir dyglės. Ežerams senstant, seklėjant ir šiltėjant ( t.y. *eutrofikuojuant*), žuvų bendrijų sudėtis kinta. Pirmiausia sumažėja šaltamėgių stintų ir seliavų, kol jos visai išnyksta. Vėliau pradeda nykti aukšlės, pūgžliai, karšiai, lynai. Seniausiuose ( *distrofiniuose*) ežeruose lieka vien ešeriai ( buvusiuose giliuose ežeruose) ir karosai, dyglės ( buvusiuose sekliuose ežeruose).

Dėl *natūralios* ir *antropogeninės eutrofizacijos* XX a. vandens telkinių žuvų bendrijų *sukcesija* ( rūšių kaita) pakito 2 proc. Lietuvos ežerų, o vyraujančių rūšių požiūriu – 15-20 proc. ežerų. Vandens ekosistemų trofinę būklę ir jos kaitą atspindi hidrobiontų cenozių sistemos ir jų kaita. Į “jauniausių” – mezotrofinių su oligotrofijos bruožais Lietuvos ežerų ichtiocenozes įeina 25, o į ichtiocenozų branduolius ( t.y. vyraujančios rūšys) – 10 rūšių žuvis. Rūšių skaičius ichtiocenozėse mažėja šia seka: stinta → seliava → aukšlė → pūgžlys → karšis → lynas → kuoja → lydeka → ešeris → karosas. (“Žuvininkystė Lietuvoje II”, 1996; Virbickas J., 1999).

Nustatyta, kad planktofaginių šaltamėgių žuvų – seliavų ir stintų gausa priklauso nuo tinkamiausios temperatūros ( vasaros *temperatūrinės stagnacijos* metu) ir vandens trofinės būklės. Vandens trofinę būklę geriausiai apibūdina mažiausiai kintantys parametrai: fosforo kiekis ( besisiejantis su fitoplanktono produkcija), vandens spalva ir kiti rodikliai. Minėtos žuvis visai išnyksta, jei mezotrofiniams ežerams virstant eutrofiniais, nepakanka vandens tūrio ( mažiau nei 5 mln. m<sup>3</sup> ). Joms taip pat kenkia pasikeitęs vandens lygis, pakitusios hidrodinaminės sąlygos, dirbtinai pašildytas vanduo. ( Virbickas J., 1999).

Drūškių ežeras puikiai atspindi pastarąją sąlygą – IAE statybos ir eksploatacijos 1984-1996 m. laikotarpiu bendra šaltamėgių ( *stenoterminių*) žuvų rūšių produkcija sumažėjo 11,7 karto, iš jų stintelių – 4,3, o seliavų – net 70,6 karto. ( Bernotas E., 2001).

Kalbant bendrais bruožais apie Lietuvos ežerų turtingumą žuvų ištekliais, galima pabrėžti, kad jie nuolatos mažėja. Tai lemia šių vandens telkinių eutrofizacijos procesų intensyvumas, gausios žuviesių paukščių populiacijos bei žmogaus neatsakingas elgesys,



susijęs su elementarių aplinkosaugininkų nustatytų taisyklių nesilaikymu ( t.y. *brakonieriavimu*). 2005 m. kovo 4 dieną vykusioje mokslinėje- praktinėje konferencijoje “ Mėgėjiška žuvininkystė – galimybės ir problemos” buvo ypač daug dėmesio skirta problemoms, susijusioms su nepakankama telkinių priežiūra ir išplitusiu brakonieriavimu.

Savaime suprantama, kad būtina nuolatos vykdyti įvairius darbus siekiant gausinti žuvų išteklius Lietuvos vandenyse. Ta kryptimi dirba Lietuvos valstybinis žuvininkystės ir žuvininkystės tyrimų centras ( LVŽŽTC). 2004 m. į valstybinės reikšmės vandens telkinius LVŽŽTC išleido 147,6 mln. įvairių rūšių vertingų žuvų. Į valstybinės reikšmės neišnuomotinus vandens telkinius išleidžiama apie 90 proc. visų dirbtinai veistų žuvų. Ypatingas dėmesys skiriamas lašišinių, sykinių bei vertingų plėšriųjų žuvų veisimui, paauginimui bei išleidimui į Lietuvos atvirosius vandenis. ( “Mėgėjiška žuvininkystė....”, 2005).

## **2.5. Bendra radioekologinės situacijos apžvalga vandens ekosistemose**

### **2.5.1. Biologinių hidrosistemų komponentų radiologinių tyrimų ypatumai**

Nors  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{90}\text{Sr}$  laikomi gerai tirpstančiais vandenyje elementais, jų migraciniai ypatumai gėlojo vandens baseinuose smarkiai skiriasi.  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{90}\text{Sr}$  pagal savo geochemines charakteristikas priklauso tai grupei elementų, kuriems būdingas gana aukštas judėjimo procesų intensyvumas vandeninėje aplinkoje; kurie lengvai suformuoja taisyklingas jonines formas, t.y. koloidų ( taisyklingų ir ne) ir netirpių hidroksidų plačiame pH diapazone formavimosi procesų rezultatas. ( Марчюленене Д. П., Душаускене-Дуж Р. и др., 1992; “Acta hydrobiologica Lituania”, 2000).

Anot mokslininkų R. Dušauskienės-Duž ir D. Marčiulionienės, gėlavandenėje ekosistemoje radionuklidų akumuliacijoje svarbiausią vaidmenį vaidina didžiausią biomasę sudarantys *hidrofitai*. Jie yra pirmas barjeras, sulaikantis patenkančius į vandenį radionuklidus, bei pirminė grandis, migruojant radionuklidams mitybinėmis grandinėmis.

$^{137}\text{Cs}$  akumuliaciją dugno nuosėdose sąlygoja ne tik jų struktūra ir K ( cheminio  $^{137}\text{Cs}$  analogo) koncentracija jose, bet ir ekologinės sąlygos: sezoniškumas, ežero gylis, dugno nuosėdų maišymosi bei eutrofizacijos procesų intensyvumas ir įvairių į ežerą patenkančių nutekamųjų vandenų poveikis. ( “Acta hydrobiologica Lituania”, 2000).

$^{137}\text{Cs}$  labiausiai linkęs akumuliuotis priekrantės hidrofitų ( *Typha latifolia*) šaknyse, kuriose šio radionuklido koncentracija daugeliu atvejų didesnė negu jų augimviečių dugno nuosėdose. Todėl šių augalų šaknys gali būti panaudotos kaip vandens baseino, ypač jo litoralės, taršos minėtu radionuklidu indikatorius.

$^{137}\text{Cs}$  akumuliacija vandens telkinių hidrofituose priklauso nuo jų rūšių specifikos bei biotopo, kuriame jie auga. Visuose tiriamuose biotopuose padidėjusius sugebėjimu akumuliuoti  $^{137}\text{Cs}$  pasižymi bentosiniai dumbliai *Nittelopsis obtusa* ir *Cladophora sp.* Bei pusiau pasinėrusieji aukštesnieji augalai *Myriophyllum spicatum* ir *Ceratophyllum demersum*. Daugiausiai šio radionuklido akumuliuojasi pasinėrusiuose ir pusiau pasinėrusiuose hidrofituose.

$^{90}\text{Sr}$ , būdamas cheminis ir biologinis kalcio analogas, lengviau nei  $^{137}\text{Cs}$  įsijungia į biologinės apykaitos procesus, sudarydamas  $^{90}\text{Sr}/\text{Ca}$  santykį. Šis santykis, kaip ir  $^{137}\text{Cs}/\text{K}$  santykis, suyra tik organizmams žuvus. („Acta hydrobiologica Lituanica”, 2000).

Žinant, kad pagrindinė terpė, iš kurios hidrobiontai įsisavina  $^{90}\text{Sr}$ , yra vanduo, būtina jį nuolat kontroliuoti  $^{90}\text{Sr}$  kiekiui jame vertinti.

$^{90}\text{Sr}$  koncentracija hidrofituose priklauso nuo ekologinės grupės (mitybos tipo), augimvietės. Geriausi  $^{90}\text{Sr}$  akumulatoriai yra *Limneidai* ir *Potameidai*. Tarp jų dideliu gebėjimu kaupiti  $^{90}\text{Sr}$  išsiskiria *Myriophyllum spicatum*, *Ceratophyllum demersum* ir *potamogeton lucens*.

$^{90}\text{Sr}$  koncentracija litoralėje augančiuose helofituose (*Typha latifolia*, *Phragmites australis*, *Acorus calamus*) paprastai yra vidutiniškai kelis kartus didesnė šaknyse negu lapuose ir stiebuose.

Dugno nuosėdų radioaktyvumo lygis svarbus bentosinių organizmų funkcionavimui.  $^{90}\text{Sr}$  koncentracija moliuskuose priklauso nuo jų mitybos tipo: pvz. filtratoriuose (*Dreissena polymorpha*) aukštesnė nei akumulatoriuose (*Planorbis planorbis*). („Acta hydrobiologica Lituanica”, 2000).

Didelę įtaką  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{90}\text{Sr}$  migracijai gėlųjų vandenų ekosistemose turi aplinkos veiksniai, tokie kaip cheminė ir terminė jų baseinų tarša, sukianti hidrofitų rūšinę kaitą arba visišką išnykimą, taip pat destruktiniai procesai, sąlygojantys aktyvią sedimentaciją.

Būtina tirti radionuklidų akumuliaciją vandens telkinių priekrančių abiotiniuose ir biotiniuose komponentuose, nes priekrantė gali vaidinti svarbų vaidmenį pernešant radionuklidus tiek iš sausumos į vandenį, tiek iš vandens į sausumos ekosistemas. Tuo labiau, kad radionuklidų migracijos ir sklaidos hidroekosistemos priekrantėje procesai dėl antropogeninės taršos poveikio dar nėra išsamiau tyrinėti.

### 2.5.2. Technogeninių radionuklidų akumuliacijos gėlavandenėse žuvyse ypatumai

Tarp mitybos grandinių, kuriomis radionuklidai migruoja iš vandens baseino į žmogaus organizmą, svarbiausią vaidmenį vaidina grandinė - vanduo – žuvis – žmogus. Į grandinės gale esanti žmogaus organizmą patenka koncentruoti nuklidai, nes jie pereina daugelį organizmų (trofinių pakopų) ir kaupiasi audiniuose, kauluose. (Heinrich D., Hergt

M., 2000; “Žuvininkystė Lietuvoje V”, 2002). Literatūros duomenys rodo, kad žuvis žmogaus racione sudaro 0,05 kg/parą, todėl, sprendžiant sanitarinius – higieninius klausimus, žuvis vaidina išskirtinį vaidmenį. ( “Žuvininkystė Lietuvoje V”, 2002).

Vandens gyvūnuose ( žuvyse), patekusiuose į užterštą radioaktyviosiomis medžiagomis hidroekosistemą arba esant joje užterštumo metu, jau nuo pirmųjų minučių prasideda radionuklidų koncentravimas. Radionuklidų akumuliacijos greitis ir kaupimo lygiai priklauso nuo jų koncentracijos vandenyje. Vandens gyvūnų organizme radionuklidai visada koncentruojasi žymiai didesniais kiekiais, negu jų būna tokios pat apimties vandens vienetė. Izotopų koncentracijos lygiai žuvų audiniuose ir organuose dešimtis, o kartais ir tūkstančiais kartų aukštesni negu jų koncentracija vandenyje. Taipogi manoma, kad radionuklidų akumuliacijos žuvyse intensyvumas ( esant vienodam vandens druskingumui ir temperatūrai) yra tiesiogiai proporcingas izotopų kiekiui vandenyje. ( Поликарпов Г. Г., 1964).

Gyvūnų morfologija ir biologiniai ypatumai, radionuklidų fiziko-cheminės savybės bei biologinė svarba gali sąlygoti jų kaupimo lygius ir pasiskirstymą audiniuose bei organuose. ( Iljenko, 1974). Eksperimentais yra nustatyta, kad žuvies odos pralaidumas metalų jonams, organizmui senstant, mažėja. Odos pralaidumas didėja aukštėjant temperatūrai. Kadangi žuvų oda, skirtingai nuo vandens bestuburių, nepralaidi vandeniui, tai į jų organizmą vanduo patenka pro žiaunas ir burnos ertmės gleivinę, o į jūrinių žuvų organizmą – dar ir per virškinamąjį traktą, nes jos “geria” vandenį. ( Флейшман Д. Г., 1971). Koku būdu į gėlavandenių žuvų organizmą daugiau patenka radionuklidų – ar iš vandens pro žiaunas, per odą, ar pro virškinamąjį traktą, iki šiol dar nėra pakankamai ištirta. Bet, remiantis kai kurių mokslininkų atliktų tyrimų rezultatais,  $^{137}\text{Cs}$ , skirtingai nei  $^{90}\text{Sr}$ , į žuvų organizmus patenka daugiau su maistu nei iš vandens. ( Буянов Н. И др., 1983; Марčiulionienė D. ir kt., 1997). Didelę reikšmę ištirpusių medžiagų prasiskverbimui į žuvies organizmą turi žvynų išsidėstymas. Pavyzdžiui,  $^{32}\text{P}$  ir  $^{45}\text{Ca}$  prasiskverbimo per kūno paviršių intensyvumas žvynuotojo karpio porūšyje du kartus mažesnis negu veidrodiniame karpyje, kurio kūnas yra mažai pasaugotas žvynų. Be to, verta atkreipti dėmesį į tai, kad esant jonizuojančiai spinduliuotei (kai  $^{137}\text{Cs}$  koncentracija dugno nuosėdose siekia 14 KBq/kg.), mažėja karpių *Cyprinus carpio* reprodukciniai rodikliai ir fiksuojami žuvų vystymosi nukrypimai. ( Рябов И., 2000).

Žuvų metabolizmas vandens baseinuose yra siejamas su jų ontogeneze, nes radionuklidų poveikis embrioninėje, lervos ir mailiaus išsivystymo stadijose yra nevienodas. Visose vystymosi stadijose žuvis glaudžiai siejasi su aplinka – vandeniu, kuris nulemia jų gausumą, vaisingumą, migraciją ir paplitimą vandens baseine. ( Рябов И., 2000). I. Riabovas teigia, kad radionuklidais užterštame vandens telkinyje didžiausią ir lėtinę apšvitą gauna tos

žuvų rūšys, kurios minta bentosu arba žuvimis, o jų ontogenezė susieta su dugno nuosėdomis. (Рябов И., 2000).

Jonizuojančios spinduliuotės poveikis gyviems organizmams pasireiškia todėl, kad ląstelėse esanti genetinė informacija yra 100 kartų jautresnė jonizuojančiai spinduliuotei nei kiti ląstelės komponentai. Gonadose inkorporuotų radionuklidų sudėties ir kiekio problema yra labai svarbi, nes radionuklidai gali sukelti ikrų ir gemalų anomalijas, deguonies naudojimo sutrikimus ir iškreipti gonadų vystymosi eigą. (Рябов И., 2000).

### **2.5.3. Radionuklidų migracijos bei pasiskirstymo Drūkšių ežero hidrokomponentuose savitumai**

Remiantis R. Dušauskienės-Duž ir D. Marčiulionienės duomenimis,  $^{90}\text{Sr}$  migracijoje Drūkšių ežere pagrindinį vaidmenį vaidina biotiniai sistemos komponentai, tarp kurių svarbiausi yra hidrofیتai, o  $^{137}\text{Cs}$  priešingai - koncentracija Drūkšių ež. hidrofituose daugeliu atvejų 1988 – 1996 m. buvo gerokai mažesnė negu dugno nuosėdose, kai kuriais atvejais net 56 kartus. ( “Acta hydrobiologica Lituania”, 2000).

Radiocheminio kartografavimo duomenys rodo, kad  $^{137}\text{Cs}$  Drūkšių ežero litoralės augaluose pasiskirsto nevienodai. Didžiausios  $^{137}\text{Cs}$  koncentracijos nustatytos pašildyto vandens poveikio zonos, vakarinės ežero dalies (paviršinės nuoplovos iš sausumos) ir pietinės ežero dalies įlankos hidrofituose. ( “Acta hydrobiologica Lituania”, 2000).

$^{90}\text{Sr}$  lygio hidrofituose formavimui Drūkšiuose didelės reikšmės turi lokaliniai šio radionuklido šaltiniai (pramoninė bei lietaus kanalizacija ir šilto vandens išleidimo kanalas. Nustatyta, kad Drūkšių ež. visais atvejais  $^{90}\text{Sr}$  koncentracija yra didesnė hidrofituose, augančiuose ežero plotuose, palyginti su augančiais nuotekų išmetimo (kanalų) į ežerą zonose. Analogiška didesnių  $^{90}\text{Sr}$  reikšmių ežerinės dalies pavyzdžiuose nei kanalų priklausomybė galioja ir dugno nuosėdoms. Remiantis ilgalaikiais  $^{90}\text{Sr}$  koncentracijų tyrimų duomenimis, nežymi  $^{90}\text{Sr}$  dugno nuosėdose tendencija Drūkšių ežere stebima nuo 1994 m. ir gali būti susijusi su radionuklido nuotėkiu su kanalų vandenimis, kurie yra pagrindiniai dugno nuosėdų taršos šiuo radionuklidu šaltiniai. ( Марчюленене Д. П., Душаускене-Дуж Р. и др., 1992).

Radionuklidų migracinių procesų intensyvumas pirmiausiai priklausys nuo jų sugebėjimo judėti vandenyje savybės, kuri atitinkamai priklauso nuo fizikinių-cheminių radionuklido atsiradimo formų. Veikiant skirtingiems aplinkos faktoriams, ypatingai antropogeninės kilmės, fizikinė cheminė radionuklidų forma, o tuo pačiu ir jų gebėjimas judėti vandenyje savybė gali smarkiai kisti.

$^{137}\text{Cs}$  ir  $^{90}\text{Sr}$  būseną joninėje formoje apsprendžia puikias migracines savybes gamtiniuose vandenyse. Ryšium su tuo,  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{90}\text{Sr}$  pasiskirstymui vandens masėse didžiulę

įtaką gali turėti hidrologiniai faktoriai. Vis dėlto  $^{137}\text{Cs}$  gali efektyviai absorbuotis ir į suspensijų daleles, ir į dugno nuosėdas, būtent nuo ko priklausys tolimesni  $^{137}\text{Cs}$  migraciniai procesai vandens telkinyje.

Remiantis modeliavimo patirtimi, paaiškėjo, kad  $^{137}\text{Cs}$  pasiskirstymo tarp pagrindinių vandens telkinio komponentų ( vanduo, dugno nuosėdos ir vandens augalija) pagrindinis minėto radionuklido kiekis ( ~88 %) akumuliuojasi dugno nuosėdose, sudarančiose apie 7% pagrindinių komponentų bendrosios masės. Vandens augaluose, sudarančiuose apie 1% vandens telkinio komponentų bendrosios masės, pasilieka tik apie 8% šio radionuklido. ( Марчюленене Д. П., Душаускене-Дуж Р. и др., 1992).

$^{90}\text{Sr}$  dugno nuosėdose akumuliuojasi 40 %, vandens augaluose – 20 %, o vandenyje jo pasilieka iki 40 %.

Taigi,  $^{90}\text{Sr}$  skendinčiose medžiagose bei dugno nuosėdose lyginant su  $^{137}\text{Cs}$  absorbuojasi kiek mažesniu lygmeniu. Radionuklido  $^{90}\text{Sr}$  pasiskirstymą vandens telkinio komponentuose aukštame lygmenyje labai įtakoja vandens masių cirkuliacijos bei maišymosi procesai.

Atsižvelgiant į tokį radionuklido  $^{90}\text{Sr}$  pasiskirstymą vandens komponentuose aukštu lygmeniu lyginat su  $^{137}\text{Cs}$ , galima teigti, kad vandens masių cirkuliacijos bei maišymosi procesai labiau įtakoja  $^{90}\text{Sr}$  migracinių procesų intensyvumą.

Pažymėtina, kad  $^{60}\text{Co}$  ( kobaltas),  $^{54}\text{Mn}$  ( manganas) ir  $^{59}\text{Fe}$  ( geležis), kaip ir 3-4 – valenčiai metalai radionuklidai, į IAE vandens baseiną – aušintuvą patenka dispersinių dalelių pavidalu ir fiksuojami skendinčiose dalelėse bei dugninėse nuosėdose. Šiuo argumentu paaiškinamas ganėtinai silpnas šių radionuklidų mobilumas vandenyje. Minėtų elementų migracijos procesuose ypatingą vaidmenį užima vandenyje tirpstančios organinės medžiagos, įeinančios į bendrą kompleksinių junginių sudėtį, o taipogi ir į skirtingus dirbtinius kompleksonus su radionuklidais ( 3-4 – valenčiais metalais) bei jų stabiliaisiais izotopais. ( Куликов Н.В., Молчанова И.В., 1975; Марчюленене Д. П., Душаускене-Дуж Р. и др., 1992).

Tiriant 3-4 – valenčių metalų radionuklidų, tokių, kaip  $^{144}\text{Ce}$  (ceris) ir  $^{106}\text{Ru}$  (rutenis), pagrindiniuose Drūkšių ežero ekosistemos komponentuose, paaiškėjo, kad dugninėse nuosėdose akumuliuojasi apie 50 % bendro jų kiekio, vandens augalijoje – 43 % bendro minėtų radionuklidų kiekio, o vandenyje pasilieka apie 7 %.  $^{59}\text{Fe}$  ( geležis) ir  $^{60}\text{Co}$  (kobaltas) dugno nuosėdose akumuliuojasi apie 80 %, vandens augaluose – 17 %, o vandenyje pasilieka tik apie 3 %. Taigi, pažymėtina, kad skirtingų 3-4 – valenčių metalų radionuklidų pasiskirstymo savitumas tarp pagrindinių vandens telkinio komponentų smarkiai skiriasi. ( Марчюленене Д. П., Душаускене-Дуж Р. и др., 1992).

Galima konstatuoti, kad radioekologinė Drūkšių ežero – Ignalinos AE vandens baseino-aušintuvo situacija nėra stabili bei priklauso nuo nuolatos besikeičiančio, patenkančio į ežerą radionuklidų kiekio ir šaltinių. Didelę įtaką  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{90}\text{Sr}$  migracijai Drūkšių ekosistemoje turi aplinkos veiksniai, tokie kaip cheminė ir terminė šio baseino tarša, sukelti hidrofītų rūšinę kaitą arba visišką išnykimą, taip pat destruktiniai procesai, sąlygojantys aktyvią sedimentaciją. („Acta hydrobiologica Lituanica”, 2000).

Mokslininkė D. Marčiulionienė detaliai nurodo, kad ypatumai, apsprendžiantys pasisklaidymo, pernešimo, kaupimosi ir pasiskirstymo specifiką radionuklidams iš IAE patenkant į ežerą gali būti sąlygojami šių faktorių:

- 1) Pramonės – lietaus kanalizacijos vandenys, kurie per vandens paimamąjį kanalą patenka į panaudotojo vandens pašalinimo zoną ir nuolatos plačiai paskleidžiami visoje centrinėje ežero dalyje. Cheminės medžiagos, esančios šiuose vandenyse slopina radionuklidų akumuliaciją vandens augaluose, tuo pačiu skatindamos radionuklidų judėjimą vandeninėje aplinkoje.
- 2) Šiltieji ( ataušinę reaktorius) nutekamieji vandenys, kurie trukdydami kai kuriems radionuklidams akumuliuotis į vandens augaliją, įtakoja jų judrumą minėtų išmetamųjų vandenų patekimo į ežerą zonoje.
- 3) Visagino miesto kanalizacijos bei buitinės nuotekos, atitekančios iš šalimais esančio Skripkų ežero. Šie vandenys tam tikra prasme įtakoja radionuklidų judrumą pietinėje Drūkšių ežero dalyje.
- 4) Ežere vykstantys tam tikri ekosistemos funkcionavimo struktūriniai pasikeitimai, kurie vyksta dėl įvairių cheminių ( tame tarpe ir biogeninių) medžiagų įtakos, patenkančių į ežerą abiejų kanalizacijų nuotekoms, taipogi esant ežero terminei taršai. Sulfatų koncentracijų padidėjimas sistemos komponentuose, redukcijos procesų stiprėjimas, aukštas produkcinų – destruktinių procesų vyksmo tempas dugninėse nuosėdose dėl sulfatų sancaupų, fitoplanktono ir makrofītų kiekybinės ir rūšinės sudėties ( įvairovės) didėjimas, vandenyje tirpstančių organinių medžiagų pagausėjimas – šios priežastys taipogi apsprendžia radionuklidų elgseną bei pasiskirstymą tarp pagrindinių ežero ekosistemos komponentų, t.y. dugno nuosėdose bei vandens augalijoje.
- 5) Stipri pašildytų vandens masių tekėjimo srovė iš išmetamojo kanalo bei vandens paimamajame kanale, kas pagreitina radionuklidų pernešimą kaip su vandeniu, taip ir su dugninėmis nuosėdomis.
- 6) Šiaurės vakarų ir pietvakarių krypties vėjų vyravimas šiame regione, kas pagreitina vandens masių judėjimą, o kartu su jomis ir pramoninės-lietaus kanalizacijos nuotekų judėjimą link AE vandens paimamojo kanalo. Sedimentacinių procesų intensyvumo padidėjimas, ypač išmetamųjų pašildytųjų vandenų į ežerą vandens zonoje ar gretimai jos.

Tai reiškia, kad didesnioji radionuklidų dalis absorbuojama į dugnines nuosėdas, sudarydama 10 – 20 cm. ir didesnio storio nuosėdų sluoksnį. ( Марчюленене Д.П. и др., 1986).

## **2.6. Drūkšių ežero teisinė apsauga**

Vienas iš svarbiausių šiuolaikinių gamtosaugos būdų – tai tam tikrų teritorijų apsauga ribojant jose žmogaus ūkinę veiklą. Tokių teritorijų yra be galo įvairių. Vienos – tai pirmąkart nepalietas gamtovaizdis, kitos – gana smarkiai sukultūrintas kraštovaizdis. Vienu įsisavinimas tik kreipiamas, tvarkomas ar labai nežymiai apribojamas, kitose bet kokia ūkinė veikla visai uždrausta. Vienose saugomos tik negyvosios gamtos vertybės, kitose – augalai ar gyvūnai, o dar kitose - kultūrinio palikimo paminklai. Be jau minėto objektyvių skirtumų, saugomos teritorijos dar labai įvairuoja pagal administracinę pavaldumą, statusą, terminologines tradicijas ir panašiai.

### **2.6.1. Tarpvalstybinių vandentakių ir tarptautinių ežerų apsaugos ir naudojimo konvencija**

1992 m. kovo 17 d. Helsinkyje (Suomija) buvo patvirtinta *Tarpvalstybinių vandentakių ir tarptautinių ežerų apsaugos ir naudojimo konvencija*, siekiant sustiprinti tokių vandens telkinių apsaugą bei išskirti iš kitų valstybinės reikšmės vidaus vandens telkinių kartu įpareigojant kelias ar daugiau valstybių bendrai rūpintis tokiais vandenimis (kurie pagal esančią geografinę padėtį įeina į kaimyninių, besiribojančių valstybinėmis sienomis, valstybių teritorijas).

2000 m. vasario 17 d. Lietuvos Respublikos Seimas, vadovaudamasis Lietuvos Respublikos Konstitucijos 67 straipsnio 16 punktu ir atsižvelgdamas į Respublikos Prezidento 1999 m. gegužės 11 d. dekretą, ratifikavo *Tarpvalstybinių vandentakių ir tarptautinių ežerų apsaugos ir naudojimo konvenciją*, pasirašytą 1992 m. kovo 17 d. Helsinkyje. Įstatymas įsigaliojo nuo 2000 m. kovo 15 d. ir tebegalioja dabar. Artimiausiu metu pagal minėtą konvenciją planuojama paruošti bendras sutartis su kaimynine Baltarusija, kuriai, taipogi priklauso nemaža dalis ežero ( apie 1000 ha.). ( Internetas).

### **2.6.2. Kiti Drūkšių ežero teisinę apsaugą reglamentuojantys dokumentai**

1995 m. vasario 2 d. Lietuvos Respublikos Vyriausybė patvirtino teisinį aktą “*Dėl verslinės ir mėgėjiškos žūklės Lietuvos Respublikoje*”. Jame nurodyta, kad Drūkšių ežeras

įeina į *neišnuomotinų ( valstybinės reikšmės) vandens telkinių sąrašą*. Priskyrimo pagrindas tokiems telkiniams buvo tas, kadangi tai:

- a) *pasienyje esantis telkinys;*
- b) *vandens telkinys, skirtas Berno konvencijos vandens gyvūnų rūšių populiacijoms saugoti;*
- c) *vandens telkinys, kuriame gali būti leidžiama tik nuolatinė specializuota verslinė žvejyba.*

1995 vasario 6d. tarp Lietuvos Respublikos Vyriausybės ir Baltarusijos Respublikos Vyriausybės buvo patvirtintas dokumentas – susitarimas “*Dėl “OBJEKTO 500” ir hidroelektrinės “Tautų draugystė” ( “OBJEKTAS 500“ – hidrotechninis įrenginys Drūkšių ežero vandens lygio reguliavimui), kuriame minėtos vyriausybės tarpusavyje susitarė dėl įvairių klausimų siekiant užtikrinti IAE ir kitų energetinių objektų eksploatavimo saugumą, taipogi bendradarbiauti ( Lietuvos Respublikos tarptautinė sutartis). ( Internetas).*

Kadangi minėtas vandens telkinys yra glaudžiai susijęs su IAE, tuo tikslu Lietuvos Respublikos Aplinkos Ministerijos bei Utenos Regiono Apsaugos Departamento kasmet patvirtinamas dokumentas “ *Gamtos išteklių naudojimo leidimas” ( Pagal Gamtos išteklių naudojimo leidimų išdavimo ir gamtos išteklių naudojimo limitų bei leistinos taršos į aplinką normatyvų nustatymo tvarką ( 1999) visi vandens naudotojai, paimantys daugiau kaip 10m<sup>3</sup> vandens per dieną ir išleidžiantys virš 5m<sup>3</sup> per dieną nuotėkų, privalo gauti gamtos išteklių leidimus bei mokesčius už gamtinių išteklių naudojimą ir aplinkos teršimą. Be to šie vandens vartotojai turi pateikti Aplinkos ministerijai vandens naudojimo ir nuotėkų išleidimo statistinius duomenis. Gamtos išteklių naudojimo leidimas reglamentuoja ir monitoringo vykdymo tvarką).( Internetas).*

Minėtas dokumentas išduodamas IAE administracijai, kuri savo ruožtu įsipareigoja laikytis Gamtos apsaugos įstatymų nepažeidžiant nustatytų galimų taršos aplinkai normų, vandens suvartojimo bei IAE “išmetamų” radioaktyviųjų medžiagų taršos normų, vykdyti AE pramoninės aikštelės požeminio vandens 2001-2005 m. monitoringo programą.

### **2.6.3. IAE veikla, susieta su gamtos apsauga.**

Ignalinos AE vykdo veiklą, susijusią su aplinkos apsauga. Ji vykdoma, siekiant apsaugoti atskirus žmones, visuomenę ir aplinką nuo kenksmingų cheminių medžiagų poveikio. Tuo tikslu atliekamas kenksmingų cheminių medžiagų monitoringas Ignalinos AE sanitarinėje apsaugos zonoje ir stebėjimo zonoje.

Visa Ignalinos AE veikla, susijusi su poveikio aplinkai apribojimu, vykdoma remiantis Leidimu naudoti gamtos išteklius. Aplinkos apsaugos priemonės Ignalinos atominėje



elektrinėje vykdomos pagal Lietuvos Respublikos įstatymus, politiką aplinkos apsaugos srityje ir numatytais IAE veiklos tikslais.

Kenksmingų cheminių medžiagų monitoringas atliekamas, remiantis nustatytomis metodikomis ir monitoringo programa, suderinta su Lietuvos Respublikos aplinkos ministerijos institucijomis, ir kontroliuoja kenksmingų cheminių medžiagų koncentraciją elektrinės vandens nuleidimuose, vandens telkinio – aušintuvo būklę, požeminį vandenį pramoninės aikštelės teritorijoje ir Ignalinos AE dujų išmetimus. ( Internetas).

Ignalinos AE Darbų saugos skyriaus ekologinės saugos tarnyba kontroliuoja, kaip laikomasi Lietuvos Respublikos aplinkos apsaugos norminių aktų ir įstatymų, kenksmingų cheminių medžiagų nustatytų išmetimų ir nuleidimų normų bei analizuoja išaiškintus neatitikimus.

Kenksmingų cheminių medžiagų monitoringo rezultatai kiekvieną mėnesį išsiunčiami į Aplinkos ministerijos institucijas, kurios kontroliuoja Ignalinos AE gamtos apsaugos veiklą.

Už aplinkos teršimą cheminėmis medžiagomis Ignalinos AE vadovybė nustatyta tvarka moka atitinkamą mokestį į Lietuvos biudžetą. ( Internetas).

### 3. TYRIMO TIKSLAS IR HIPOTEZĖ

#### 3.1. Darbo tikslas.

Įvertinti Drūkšių ežero žuvų ( kuoja *Rutilus rutilus* (L.), karšis *Abramis brama* (L.), lydeka *Esox lucius* (L.) ir ešerys *Perca fluviatilis* (L.)) užterštumą technogeniniais radionuklidais stronciu ( $^{90}\text{Sr}$ ), ceziu ( $^{137}\text{Cs}$ ), nustatant jų koncentracijų lygmenis žuvų organizmuose, nustatyti gautų koncentracijų priklausomybę nuo žuvų sugavimo laiko, jų rūšinės specifikos ir mitybos būdo bei palyginti su kitų Lietuvos vandens telkinių žuvų užterštumu radionuklidais.

#### 3.2. Darbo hipotezė.

Žuvų, gyvenančių atominių elektrinių vandens baseinuose – aušintuvuose, tarša ilgaamžiais technogeniniais radionuklidais  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{90}\text{Sr}$  nesiskiria nuo žuvų organizmų radioaktyvaus užterštumo lygmens minėtomis medžiagomis iš kitų atvirųjų vandens telkinių.

#### 4. TYRIMŲ OBJEKTAS IR METODAI

Ekspirimentiniai darbai atlikti Ignalinos atominės elektrinės padalinyje, Aplinkos apsaugos laboratorijoje 2004 – 2005 metais. Eksperimento metu bandyta nustatyti Drūkšių ežero žuvų užterštumą ilgaamžiais technogeniniais radionuklidais ( $^{90}\text{Sr}$ ), ceziu ( $^{137}\text{Cs}$ ), nustatant jų koncentracijų lygmenis žuvų organizmuose, nustatant gautų koncentracijų priklausomybę nuo žuvų sugavimo laiko, jų rūšinės specifikos ir mitybos būdo bei palyginant su kitų Lietuvos vandens telkinių žuvų užterštumu radionuklidais. Manoma, kad žuvų, gyvenančių atominių elektrinių vandens baseinuose – aušintuvuose tarša ilgaamžiais technogeniniais radionuklidais  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{90}\text{Sr}$  nesiskiria nuo žuvų organizmų radioaktyvaus užterštumo lygmens minėtomis medžiagomis iš kitų atvirųjų vandens telkinių.

Tyrimams buvo imta sugautų plėšriųjų ( ešeris, lydeka) ir taikiųjų ( karšis, kuoja) žuvų raumenys; kaulai, vidaus organai bei žvynai buvo išmetami. Žuvis buvo gaudoma ir pristatoma tyrimams tris kartus per metus ( sezoninei dinamikai stebėti) – 2004 m. liepos, lapkričio ir 2005 m. balandžio mėnesiais.

Žvejybą Drūkšių ežere vykdė Lietuvos valstybinio žuvininkystės ir žuvivaisos tyrimų centro ( LVŽŽTC) Ignalinos filialo darbuotojai. Pagal Valstybinę monitoringo programą, LVŽŽTC vadovaudamasi sutartimi su IAE, teikia žuvį moksliniams tyrimams Aplinkos apsaugos laboratorijai. Žuvis tyrimams gaudytos IAE baseino – aušintuvo vandens paimamojo ( Nr. 1) bei išmetamojo ( Nr. 2) kanalo zonose ( **1 pav.**).



**1 pav.** Žuvų gaudymo zonos Drūkšių ežere. Nr. 1 – vandens paimamojo kanalo zona, Nr. 2 – AE pašildytųjų vandens išmetamojo kanalo zona.

Gaudyta nailoninio monopluošto ( akučių diametras – 10,0-15,0 cm.) statomaisiais tinklaičiais, kurie statyti minėtų zonų - ežero litoralinėje dalyje ( **2 pav.**). Sugauta žuvis rūšiuojama, patalpinama į stambiąją gamybinę tarą. Žuvų bandiniai tyrimams buvo atrenkami

pagal higienos normos HN 72:1997 “Maisto produktų, pašarų, dirvožemio ir vandens bandinių atrinkimo metodai radionuklidų savitajam ir tūriniam aktyvumui nustatyti”, parengtos pagal Tarptautinės atominės energetikos agentūros ( TATENA) reikalavimus, reglamentuojančius bandinių atrinkimo tvarką radioaktyviajai taršai nustatyti. Žuvų bandiniai imti iš LVŽŽTC produkcijos laikymo šaldytuvo, kuriame buvo laikomi stambiojoje gamybinėje taroje. Kiekvienos tiriamų žuvų rūšies imta po 5 kg. iš 4 vnt. standartinių gamybinių talpyklų ( taros). Žuvų bandiniai sudaryti iš 5 taškinių bandinių, paimtų 30 cm. taros gilyje. Taškiniai bandiniai imti taros centre ir kampuose 10 cm. atstumu nuo kraštų. Imta tik šviežia, neapdorota žuvis. Žuvų bandinių atrinkimas tyrimams buvo vykdomas tris kartus į metus. Pagal tokius reikalavimus atrinkti žuvų mėginiai pristatyti radiologiniams tyrimams, kurie buvo atliekami Aplinkos apsaugos laboratorijoje (**3 pav.**).



**2 pav.** Žūklės metu IAE vandens baseine.



**3 pav.** IAE Aplinkos apsaugos laboratorijoje.

Siekiant nustatyti žuvų organizmų užterštumo radionuklidais  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{90}\text{Sr}$  lygmenis, buvo naudojami gama spektrinės analizės metodas ( $^{137}\text{Cs}$ ) bei radiometrinės analizės metodas ( $^{90}\text{Sr}$ ). Šie metodai pasirinkti todėl, kad tai yra universalūs, operatyvūs matavimų metodai, leidžiantys pakankamai tiksliai atlikti kokybinę ir kiekybinę analizę. Tiek gama spektrometriniu metodu, tiek radiometriniu metodu galima įvertinti radionuklidų aktyvumus įvairiausiose terpėse – skysčiuose, kietuose kūnuose, dujose ir netgi žmogaus organizme. Šie

metodai gali būti taikomas tiek esant nedideliam aplinkos elementų užterštumui radionuklidais, tiek ir dideliame ( radiacinių avarių atvejais). Bet, šie metodai gana sudėtingi, tad juos taikyti ir galimas klaidas vertinti gali tik pakankamos kvalifikacijos specialistai. Papildomų eksperimentų, siekiant nustatyti  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{90}\text{Sr}$  analogų - gamtinės kilmės radionuklido  $^{40}\text{K}$  ir stabilaus izotopo  $^{39}\text{Ca}$  sankaupas, rezultatai pateikiami tyrimų rezultatų skyriuje ir vertinami kaip turintys atitinkamus ryšius su tiriamaisiais radionuklidais. Gamtinės kilmės  $^{40}\text{K}$  nustatytas radiometrinio, o stabilusis izotopas  $^{39}\text{Ca}$  – titravimo metodu.

Gautiems rezultatams apdoroti taikomas *gautojo rezultato patikimų ribų nustatymo metodas*. Pirmiausiai įvertinama suminė standartinė neapibrėžtis, įskaičiuojant visus galimus paklaidos komponentus tyrimų rezultatui. Išplėstinė neapibrėžtis apskaičiuojama, suminę standartinę neapibrėžtį padauginus iš aprėpties daugiklio  $k=2$ , kuris esant normaliajam skirstiniui, atitinka 95 % pasiklivimo lygmenį ( patikimumo koeficientas). Tokiu pavidalu gaunami ir galimi pateikti atskiri tyrimo rezultatai. Visi gaunami duomenys atitinka 95 % patikimumo lygmenį. Gautų duomenų pirminį apdorojimą atlieka kompiuterinė programa **LabSocks**.

Nustatyti  $^{137}\text{Cs}$  koncentracijų lygmenys tiriamųjų žuvų organizmuose įvertinami vadovaujantis LR sveikatos apsaugos ministro įsakymu patvirtintu Europos Tarybos reglamentu ( EEB) Nr. 737/90, kuriame nurodoma, kad izotopu  $^{134/137}\text{Cs}$  normos pieno produktuose, maisto produktuose, skirtuose kūdikiams iki 6 mėn., negali viršyti 360 Bq/kg., visuose kituose maisto produktuose ne daugiau kaip 600 Bq/kg. ( Internetas).  $^{90}\text{Sr}$  normaliomis sąlygomis nėra reglamentuojamas, yra reglamentai tik tam, jei įvyktų branduolinės ar radiacinės avarijos. Gamtinis radionuklidas  $^{40}\text{K}$  taip pat nėra reglamentuojamas, kadangi tai yra “natūralus”, supančioje gamtoje esantis elementas atitinkamai kaip ir stabilusis izotopas  $^{39}\text{Ca}$ .

## 4.1. Tyrimo objektas

### 4.1.1. Drūkšių ežero ir jo aplinkos apibūdinimas

Didesnė IAE regiono dalis su esančiu Drūkšių ežeru yra Dauguvos ( Dysnos) baseine. Baseine yra 97 ežerai, kurių bendras plotas 59160 ha.; bendras baseino plotas su ežerais bei upėmis siekia 613 km<sup>2</sup>. Lietuvai priklausančioje teritorijoje Drūkšių ( be Drūkšių ežero) baseinas užima 27046,9 ha.; bendrai paėmus – apie 276 km<sup>2</sup>. Į ežerą įteka 11 intakų ( Apyvardė, Gulbinėlė, Gulbina, Smalva, Ričanka ir dar šeši maži bevardžiai upeliai), yra 2 ištakai ( Drūkša ir Prorva). Baseino pelkėtumas – 29 %. Regiono upių bei melioracinių kanalų tinklas palyginus retas.

AE regionas su jame esančiu Drūkšių ežeru, priklauso Pabaltijo artezinio baseino rytinei daliai, esančiai dviejų hidrogeologinių rajonų sandūroje: Baltijos Mozūrijos anteklizės ir Baltijos hidrogeologinio parajonio. Šis parajonis yra pagrindinė Pabaltijo artezinio baseino požeminių vandenių maitinimo sritis. Santykinai tankus erozinis tinklas, daugybė smulkių ir stambių ežerų, nuosėdinių uolienu litologinė sudėtis lemia intensyvią požeminių vandenių apykaitą. Trečdalis apykaitoje dalyvaujančio vandens pasiekia Šventosios-Upninkų vandeningąjį kompleksą ir juo nuteka už baseino ribų (daugiausiai – Dauguvos slėnio kryptimi). Drūkšių ežeras drenuoja  $0,9 \text{ m}^3/\text{s}$ . požeminio vandens. (Baubinas R. ir kt., 1998).

Iš Drūkšių ežero per metus vidutiniškai išgaruoja 600 mm. vandens. požeminis nuotėkis sudaro apie 26 % vidutinio daugiamečio Drūkšių ežero nuotėkio. Ežeras požeminių vandenį maitina tikrai Visagino vandenvietei dirbant 20 tūkst.  $\text{m}^3/\text{p}$ . debitu. Drūkšių vandens apykaitos intensyvumas – 3-4 metai. Po Ignalinos AE paleidimo pastebimas 2-6  $^{\circ}\text{C}$  bendros vandens temperatūros padidėjimas. Dėl Ignalinos AE šiluminės taršos Drūkšių ežere net ir per šalčiausią žiemą apie 10 % akvatorijos nepasidengia ledu.

**Drūkšiai** – didžiausias pagal plotą Lietuvos ežeras, esantis prie šiaurės rytų Lietuvos sienos su Baltarusija. Ankstesniuose literatūros šaltiniuose nurodomas bendras Drūkšių ežero plotas 4480 ha. (Jurgelevičienė I, 1983). Tai, matyt, yra ežero plotas iki jo lygio pakėlimo. Vėlesniuose leidiniuose randame 4900 ha. plotą, esant 141,6 m vandens lygiui. Ežero plotas – 4900 ha. (iš jų: apie 3443 ha. – Zarasų raj.; 447 ha. – Ignalinos raj ir apie 1000 ha. Baltarusijai). Iki 1997 metais pasirašytos Lietuvos – Baltarusijos sutarties Lietuvai priklausė 99,4 proc. ežero; po sutarties Baltarusijos respublikai atiteko apie 1000 ha. Giliausia ežero vieta - 33,3 m., vidutinis gylis – 7,5 - 8,2 m., didžiausias ilgis - 14,3 km., didžiausias plotis - 9,5 km. Plotai su dideliais gyliais sudaro nedidelę ežero dalį. Pvz., plotai su gyliu nuo 24 m. iki dugno užima tik 1 % nuo bendro ploto ir 0,4 % nuo bendro tūrio. Vyraujantis ežere gylis – iki 12 m. Plotai su gyliu iki 12 m. užima 4062 ha., arba 83 % nuo bendro ploto ir 88 % nuo bendro tūrio. Litoralė plati, užima apie 1200 ha., arba 25 % viso ežero ploto. Ežero vandens tūris –  $369000 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ . (Baubinas R. ir kt., 1998; Bernotas E., 2001).

Ežeras iki IAE eksploatacijos pradžios pagal gamybinį tipą užėmė tarpinę padėtį tarp seliavinių ir karšinių ežerų. Drūkšiuose gyveno 26 rūšys įvairių žuvų, priklausančios 11 šeimų: karpinių (*Ciprinidae*) – kuoja, aukšlė, saulažuvė, strepetys, karpis, meknė, raudė, rainė, lynas, plakis, karšis, auksinis bei sidabrinis karosas, gružlys; ešerinių (*Percidae*) – ešerys, pūgžlys, starkis; lydekinių (*Esocidae*) – lydeka; vijūninių (*Cobitidae*) – kirtiklis; menkinių (*Gadidae*) – vėgėlė; kūjagalvinių – paprastasis kūjagalvis; dyglinių (*Gasterosteidae*) – trispyglė dyglė; šaminių (*Siluridae*) – šamas; upinių ungurių (*Anguillidae*) – ungyris; sykinių (*Coregonidae*) – seliava, sykas. (Astrauskas A., Bernotas E., 1996).

Dėl išliejamų pašildytų vandens poveikio bei intensyvios antropogeninės eutrofizacijos Drūkšių ežero žuvų bendrijoje įvyko dideli ir labai spartūs sukcesiniai pokyčiai. Dėl vasaros terminės stagnacijos metu sumažėjusio šaltų vandens masių tūrio, sumažėjo šaltamėgių stenoterminių žuvų rūšių – seliavų bei stintelių biomasė – šios žuvis patyrė stiprų depresinį poveikį, o kitos (pvz., kuoja, ešeris, aukšlė ir kt.) šiuo metu sudaro ežero ichtiocenozių branduolį. Ežeras pagal gamybinį tipą užima tarpinę padėtį tarp seliavinių ir karšinių ežerų. Drūkšiuose gyvena 23 rūšys įvairių žuvų, kurių bendra biomasė siekia apie 356 tonas. (Astrauskas A., Bernotas E., 1996).

Prieš Ignalinos AE paleidimą Drūkšių ežeras buvo priskirtinas fragmentinio užžėlimo tipui. Šiuo metu pietinėje ežero dalyje hidrofítai išnyko, suklestėjo heliofítai, šiaurinėje ežero dalyje išsivystė juostinis ištisinis užžėlimas. Iki AE eksploatacijos pradžios Drūkšių ežero gyvūnija buvo būdinga oligomezotrofiniams Lietuvos ežerams su didele biotopų įvairove. Apie 15-20 % gyvūnų rūšių buvo šaltamėgės. (Baubinas R. ir kt., 1998).

Buvo nustatyta, kad Drūkšių ežere, iki IAE veikimo pradžios, buvo paplitusi didžiulė įvairovė makrofitų. Didžiausią dalį tarp atskirų ekologinių grupių makrofitų išsiskyrė limneidai.

Šioje grupėje dominavo maurabraginių dumblių bendrijos (82,3 % nuo visos limneidų biomasės). Gelohidrofitų grupėje didžiausią dalį visos biomasės sudarė paprastoji nendrė (*Phragmites communis*) (83 % nuo bendros biomasės šioje grupėje). Minimalią visų makrofitų biomasės dalį sudarė nimfeidai. Šioje grupėje dominavo plūduriuojanti plūdė (*Potamogeton natans*) ir būdmaininis rūgtis (*Polygonum amphibium*). (Марчюленене Д., Душаускене-Дуж Р., и др., 1992).

Nuo 1984m., Drūkšiuose, ypač šilto vandens išmetimo kanalo zonoje, pažymėtini kai kurie vandens augalijos bruožų pokyčiai. Nuo 1985 m. pažymėtinas gausus ežero apaugimas nertėmis (*Ceratophyllum demersum*), plunksnalapėmis (*Myriophyllum spicatum*), permautalapėmis plūdimis (*Potamogeton perfoliatus*). Nuo 1986m. pastebėtinai paplitimas blizgančiųjų plūdžių (*Potamogeton lucensis*) ir būdmaininių rūgčių (*Polygonum amphibium*).

1986-1988 m., bene žymiausi vandens augalijos įvairovės pokyčiai įvyko šilto vandens išmetimo kanalo zonoje, kur pažymėtinas apaugimas *Ceratophyllum demersum*, *Myriophyllum spicatum*, *Potamogeton perfoliatus*. Bene gausiausiai (apie 13 kartų) padaugėjo biomasės *Ceratophyllum demersum*. Šioje vietoje, kiekvienų metų spalio pabaigoje, kada makrofitams baigiasi jų vegetacijos laikotarpis, jie, ypač *Myriophyllum spicatum*, pradeda intensyviai vystytis. Vėliau, nekreipiant dėmesio į gausią nimfeidų biomasę, prieš tai užėmusių didžiulį ežero plotą šilto vandens išmetimo kanalo zonoje gerokai sumažėjo. Minėtoje zonoje, kaip ir stotyje, gerokai sumažėjo lūgnių (*Nuphar lutea*). Po paleidimo IAE

I-ojo bloko, išmetamojo kanalo zonoje pagausėjo helohidrofitinių grupės augalų *Rizoclonium* sp., *Oedogonium* sp. Vasarą šie augalai intensyviai vystosi į aukštus vandeninius augalus, o lapkričio pabaigoje jie užima didžiulius ežero plotus, kurių plotas siekia 200 m<sup>2</sup> ir daugiau. Pastarosiose zonose padidėjo šiurkščiojo maurabragio (*Chara tomentosa*) cenožė. 1980-1989 m. Drūkšių ežere aptikta 135 labiausiai paplitusių dumblių rūšių. Iki AE paleidimo buvo aptikta 88,9, o po paleidimo – 58,5 % nuo įvairių dumblių rūšių bendrojo skaičiaus. Iš visų aptiktų rūšių, 50 % buvo tiek prieš IAE paleidimą, tiek po; 40% - tik iki paleidimo IAE; 10% - tik po paleidimo IAE. (Марчюленене Д., Душаускене-Дуж Р., и др., 1992).

Po IAE paleidimo beveik išnyko melsvadumbliai *Oscillatoria agardhii*, *Oscillatoria redekei*, *Lyngbya limnastica*, *Glococapsa limnastica*, kurie iki paleidimo užėmė dominuojančią padėtį minėtame vandens telkinyje, labai staigiai gausėti pradėjo diatominis *Cyclotella ocellata*. Ši dumblių rūšis buvo diatominių tarpe Drūkšiuose. Iki AE paleidimo, ežere pagrinde dominavo melsvadumbliai, ypač šaltamėgės rūšys, o po – pagal skaičių ir biomą ėmė dominuoti diatominiai, atskirais atvejais – auksadumbliai. Tuo metu pažymėtinas staigus, bendro ežero dumblių skaičiaus mažėjimas. Tad, 1987m. jų bendras kiekis skaičius sumažėjo – 20-920, o biomą – 4-10 kartų, lyginant su jų kiekiais, buvusiais ežere prieš IAE paleidimą.

Zooplanktono masė Drūkšių ežere sudaro 1,5-4 g./m<sup>3</sup>. ežere aptinkama mažašerių žieduotųjų kirmėlių (*Oligochaeta*). Tai nedidelės, įsirausios į dumblą kirmėlaitės. 1g. sauso svorio turi apie 4 kalorijas. Vertingas suaugusių bentofaginių žuvų jauniklių maistas. Aptinkama moliuskų (*Mollusca*). Nuo 1981 m. ežere aptinkama dreisenos (*Dreissena Polymorpha*) Dideli kiekiai dreisenų (*Dreissena polymorpha*) bei smulkesnių rūšių (*Bithynia*, *Pisidium*). Mėgstami kuojų. 1g. sauso svorio turi apie 0,1-1,4 kalorijas. Gausu įvairių vabzdžių lervų. Aptinkama uodų (*Chironomus*, *Chocoborus*, *Culex*) lervos. Jos mažesnės už apsiuvų ar lašalų lervas, tačiau jų gausu (1m<sup>3</sup> būna iki 9500 individų). Pagal zoobentosą gausumą, Drūkšiai taipogi priskiriami vidutiniamaisčiams ežerams (4-10 g./m<sup>3</sup>). (Марчюленене Д., Душаускене-Дуж Р., и др., 1992; Bubinas A., Bukelskis E., 1998).

Drūkšiai priskiriami prie turinčių plačią litoralę, chironomidinių su vyraujančiomis chironomomis *Anthracinus Zett.* genties chironomidų lervomis, prie chironomidinių oligochetinių ežerų. (Bubinas A., Bukelskis E., 1998).

Iki 1975 metų pagal hidrocheminius parametrus Drūkšių ežeras buvo mezotrofinis (vidutiniamaisčias) vandens telkinys su kai kuriais oligotrofijos (mažamaistis) požymiais. Dabar jis priskirtinas mezotrofinio-eutrofinio tipo ežerams.

Kasmet į Drūkšių ežerą įvairių junginių pavidalu patenka iki 1000 t. organinių medžiagų, apie 7000 t. azoto ir apie 50 t. fosforo. Reikšmingiausias šių medžiagų šaltinis yra



Visagino miesto ir Ignalinos AE ūkinės-buitinės nuotekos. Iki 40 proc. azoto ir daugiau nei 50 proc. fosforo junginių bendros apkrovos į Drūkšių ežerą patenka kaip tik iš čia.

Šiluminė ežero tarša ir fosforo junginiai, veikdami sinergetiškai, sukėlė ežero trofinės būklės pasikeitimą, todėl ežere pagausėjo organinių medžiagų, sutriko kalcinės – karbonatinės sistemos būseną, pablogėjo sanitarinė ir techninė vandens kokybė, sumažėjo deguonies, padidėjo anglies dvideginio koncentracijos. Žiemos ir vasaros stagnacijos sąlygomis priedugnyje formuojasi anaerobinės arba joms artimos sąlygos. Pakito ekosistemos producentų ir konsumentų kiekybė ir kokybės proporcijos. ( Baubinas R. ir kt., 1998).

#### 4.1.2. Ichtiofaginės ( plėšriosios) žuvis



**Ešeris.** Šios nereiklios gyvenimo sąlygoms žuvis natūraliai paplitusios beveik visuose Europos, Sibiro, Vidurinės Azijos įvairaus tipo gėluose vandenyse ir sėkmingai praėjusio šimtmečio pradžioje yra aklimatizuotos Amūro aukštupyje. Drūkšių ežere ešerių gyvenama visur. Jie taipogi turi

**4 pav. Ešeris - *Perca fluviatilis* (L.)** savitą, gana įdomią išvaizdą. Kūnas aukštas, kuprotas, apaugęs kietais, tvirtai odoje įaugusiais žvynais. Nugara tamsiai žalsva, šonai žalsvai gelsvi, su 5-9 tamsiomis juostomis skersai kūno, pilvas gelsvai baltas. Galva didelė, pirmas nugarinis pelekas dygliuotas, antras minkštas. Krūtinės pelekai gelsvi; pilvo, analinis bei uodegos – raudoni. Užauga iki 50 cm. ilgio bei 2,5 kg. svorio. Gyvena ešeriai upėse, tvenkiniuose, ežeruose. Neršia gegužės mėnesį, kai vandens temperatūra 7-8°C. Dažniausiai sugaunamas 15-28 cm. ilgio ir 70-500 g. svorio.

Ešerių augimo tempas priklauso nuo pačios rūšies genetinių ir aplinkos sąlygų - paplitimo vietų, maisto jose gausumo, meteorologinių reiškinių eigos konkrečiais metais. Vyresnio amžiaus ešeriai sekliose Drūkšių pakrantėse su gausia dugno augalija auga žymiai lėčiau negu ežero plotuose, kur jų svarbiausi mitybos objektai yra ne bentosiniai gyvūnai, o kitų rūšių žuvis. Didžiausias ešerio kūno ilgio priaugimas nustatytas pirmais - trečiais, o svorio - septintais-devintais gyvenimo metais, kai po pakartotinio neršto plėšrūnas žymiai padidėja.

Ešerių populiacijoje pasitaiko individų iki keliolikos generacijų. Dauguma patinų pirmą kartą neršia trečiais, patelių - ketvirtais-penktais gyvenimo metais. Ešerių patelių vislumas tiesiogiai priklauso nuo jų ilgio, svorio, amžiaus ir kinta plačiame diapazone. Patelų gonadose ikreliai subręsta vienu metu, o jų skersmens vidurkiai nuo 0,86 mm. spalio mėnesį padidėja pavasarį prieš nerštą iki 1,35 mm. Neršto kalendorinis laikas ir trukmė atskirais metais įvairuoja priklausomai nuo meteorologinių sąlygų. Dažniausiai šios žuvis masiškai neršia nuo balandžio

vidurio iki gegužės pradžios, kai vanduo išyla iki 7-12°C. Patelės ikrelius išneršia ant įvairaus substrato - kietų smėlėtų, akmenuotų gruntų, praėjusių metų augalų liekanų ir neretai jų nerštavietėse žvejų pastatytų unguninių bei kitos paskirties tinklinių gaudyklių. Embrionai dėl šalto vandens vystosi 8-12 parų. Lervutės, paaugusios iki 1,5-1,7 cm. ilgio, įgyja būdingus rūšiai morfologinius kūno požymius, pereina į mitybą išoriniu maistu, tampa mailiumi, kuris labai gausiais būriais paplinta marių ir kitų vandens telkinių pakrantėse su smėlėtais ir mažai uždumblėjusiais gruntais.

Ešerių mitybos spektras Drūkšių ežere priklauso nuo pačių žuvų amžiaus, buvimo vietos, metų sezono, maisto objektu rūšinės sudėties ir gausumo. Pavyzdžiui, jaunikliai ir nė karto neneršę ešeriai šiaurinėje ežero dalyje pavasarį dažniausiai maitinasi chironomidų lėliukėmis, vasarą ir rudeni minta kirmėlėmis, stintelėmis ir chironomidų lervomis. Tuo tarpu pietinėje ir vidurinėje ežero dalyje ešerių jauniklių svarbiausias maistas yra planktoniniai ir dugno vėžiagyviai. Vyresnio amžiaus ir pakartotinai neršusių ešerių mityboje bet kuriuo metų laiku ir visur vyrauja kitų rūšių žuvis - smulkios kuojos, pūgžliai, dyglės, stintelės ir žymią dalį kai kada sudaro (iki 47-70 proc.) jų pačių paaugę šiumentukai. Ypač dideliu plėšrumu pasižymi stambūs 8-12 metų ešeriai, kurių skrandžiuose, be menkaverčių žuvų, dažnokai pasitaiko taip pat karšių, žiobrių, sterkų jauniklių. Ešeriai ūkiniu bei ekologiniu požiūriu Drūkšiuose užima gana svarbią reikšmę. (Virbickas J., 2000; Bernotas E., 2001; Gaigalas K., 2001).



**5 pav. Lydeka - *Esox lucius* L.**

**Lydeka.** Europos ir Azijos įvairaus tipo gėlo vandens telkiniuose iš lydekiniu žuvų šeimos paplitusios dvi rūšys: paprastoji lydeka - *Esox lucius* L. ir amūrinė - *Esox reicherti* Dyb. Lietuvos ežeruose, upėse, vandens saugyklose ir kituose vandenyse

sutinkama tikrai vienintelė rūšis - paprastoji lydeka.

Šios plėšriosios žuvis Drūkšių ežere paplitusios visur ir yra svarbus verslinės bei mėgėjiškos žvejybos objektas. Lydeka visiškai nepanaši į kitas žuvis. Kūnas ilgas, plokščiais šonais. Nugara žalsvai pilka, šonai pilkšvai žalsvi arba pilkai gelsvi. Pilvas šviesus. Šonų, uodegos, nugaros ir analinis pelekai dėmėti; pilvo ir krūtinės – oranžiniai. Dažnai dėmės sudaro skersines juostas. Galva ir snukis ilgi bei iš viršaus plokšti. Žiotys gilios su daugybe aštrių, smulkių dantų, palinkusių į ryklės pusę. Smulkūs dantukai auga ant gomurio, liežuvio, žiaunų lankų. Žvynai pailgi, šoninė linija beveik tiesi, ištisinė. Užauga iki 1,5-1,6 m. ilgio ir 30-40 kg. svorio. Dažniausiai sugaunamos 30-60 cm. Žuvis, sveriančios 0,3-2,5 kg. - tai dviejų-trijų metų žuvis. Gyvena pavieniui, auga greitai. Neršia

anksti pavasarį, balandžio-gegužės mėn., sekliose vietose, ant vandens apsemtų augalų, kai vandens temperatūra siekia 3-6°C.

Pagal neršto ekologiją, lydeka - tipiška fitofilinė žuvis, labiausiai mėgstanti išleisti ikrelius ant šviežios ar praėjusių metų povandeninės augalijos. Apvaisintuose ikreliuose embrionai, priklausoma nuo temperatūros, vystosi nuo kelių iki keliolikos parų. Išsiritusios 6-7 mm ilgio lervos kurį laiką būna nejudrios ir auga maitindamosi trynio maišeliu. Iš lervų išsivystęs mailius apie 2-3 savaites maitinasi zooplanktonu. Jaunikliai, paaugę iki 2,5-5,0 cm. ilgio, pradeda aktyviai plėšikauti ir apleidžia neršto vietas. Per vasarą ir rudenį lydekų šiometukai užauga vidutiniškai iki 15,9-19,5 cm. ilgio ir 41,3-72,3 g. svorio. Pavieniai labai ankstyvo neršto individai lapkričio mėnesį užauga iki 22-23 cm. ir 98,7-110,7 g.

Palyginti su kitomis Drūkšių ežero vietinėmis žuvimis, lydekos auga greitai, lytiškai subręsta anksti, neršia daugelį kartų ir gyvena gana ilgai. Ežere paplitusios lydekos per dvylika metų užauga iki 103-108 cm. ilgio ir 11,8-15 kg. svorio. Didžiausią metinį kūno svorio priaugimą - 1,6-2,4 kg. duoda individai, sulaukę 8-12 metų amžiaus. Pavieniai lydekų individai pirmą kartą ežere neršia būdami 2 metų amžiaus, 28,5-29,5 cm. ilgio ir 115-215 g. svorio. Dvimečių žuvų grupėje 1968-1972 m. vėlyvą rudenį polderinėse sistemose lytiškai subrendusių patelių ir patinų (23-31 cm. ir 98-280 g.) rasta nuo 5 iki 8 proc. Tačiau pagrindinė lydekų masė Drūkšių ežere lytiškai subręsta ketvirtais gyvenimo metais, kai patelių kūno ilgio vidurkis yra 40 cm., o svoris - apie 600 g. (Virbickas J., 2000; Gaigalas K., 2001).

#### 4.1.3. Bentofaginės ( taikiosios) žuvis



6 pav. Karšis - *Abramis brama* (L.)

**Karšis.** Sėkli bentofaginė, ekologiniu aspektu plastiška ir ūkiui labai svarbi žuvis. Europoje natūraliai paplitusi į šiaurę nuo Alpių iki Pečioros baseino, į rytus nuo Pirėnų iki Uralo ir Azijos gretimų rajonų. Pokario metais karšiai aklimatizuoti Vakarų Sibiro, Kazachijos ir kituose baseinuose. Lietuvoje pramoniniais kiekiais gyvena didesniuose ežeruose, mažesnio sraunumo upėse, vandens saugyklose,

Nemuno žemupyje ir jo intakuose, žemaslėniuose ežeruose, senvagėse ir gausiausiai - Kuršių mariose, Drūkšių ežere. Pagrindiniai karšių išteklių bet kuriuo metu telkiasi Kuršių marių pietinėje gilesnėje dalyje, Nemuno deltos rajone, Kniaupo, Karklės įlankose, Krokų Lankos ežere, Nemuno deltos atšakose ir senvagėse. Pavasarinių potvynių metu nemažai įvairaus amžiaus karšių iš deltos patenka į užlietas polderines sistemas. Karšių populiacijoje, sprendžiant pagal masinius verslinius laimikius, retkarčiais pasitaiko individų, sulaukusių 17

metų amžiaus, užaugusių iki 50 - 58 cm. ilgio, 3200 - 4300 g. svorio ir neršusių 7 - 10 kartų. Pavieniai karšių individai subręsta ir pirmą kartą neršia būdami 6 metų amžiaus, 24 -26 cm. ilgio ir 293 - 385 g. svorio. Masinio subrendimo laikas konkrečiuose Drūkšių vandens telkiniuose yra skirtingas. Pačioje ežero akvatorijoje absoliuti dauguma patelių ir patinų subręsta aštuntais metais, esant 27- 29 cm. kūno ilgiui ir 382 - 540 g. svoriui.

Karšių patelių vislumas įvairuoja plačiame diapazone ir tiesiogiai yra susijęs su žuvų amžiumi, dydžiais ir biofizine atskirų individų būkle. Karšių neršto periodas gana ilgas. Paties neršto kalendorinis laikas ir jo trukmė tiesiogiai priklauso nuo konkrečių metų hidrometeorologinių sąlygų ir apima laiką nuo balandžio 20 d. iki birželio 15 d. Daugelį metų stebėtas karšių masinis nerštas dažniausiai užregistruotas po gegužės 10d. iki birželio vidurio. Šios fitofilinės žuvys mėgsta neršti negiliose vietose ant šviežios povandeninės augalijos ir ilgesnį laiką nusistovėjus ramiam orui. Po neršto pagrindinė reproduktorių masė atsiganyti grįžta į atvirus ežerų plotus ir kitus gilesnius vandens telkinius.

Mitybos požiūriu, karšiai tipiški bentofagai. Jų jauniklių vasarą svarbiausias maistas yra zooplanktoniniai organizmai, o rudenį ir žiemą uodo trūklio ir kitos lervos. Vyresniojo amžiaus ir subrendę karšiai maitinasi uodų lervomis, kirmėlėmis, smulkiomis moliuskų formomis ir dugno vėžiagyviais. Nesant pakankamo kiekio minėtų bentosinių gyvūnų, karšiai būna priversti maitintis zooplanktonu, todėl jų augimo ir įmitimo rodikliai pablogėja. Be to, šių žuvų augimui, eksterjero požymiams ir maistinei kokybei bei išteklių reprodukcijai kasmet neigiamai atsiliepia užsikrėtimas plokščiosiomis kirmėlėmis *Ligula intestinalis*. Nustatyta, kad žuvų liga, vadinama ligulioze, daugiausiai būna užkrėsti karšiai, paplitę Kuršių marių negiliose pakrantėse, įlankose, Nemuno slėnio vandens telkiniuose ir polderinėse sistemoje, kur gausiai laikosi įvairūs vandens paukščiai - ligos platintojai. Be to, išaiškinta, kad žuvų užsikrėtimas plerocerkoidais, esamais pilvo ertmėje ir žvejų neteisingai vadinamais "soliteriais", priklauso nuo karšių dydžio. Dažniau parazitų randama individuose, kurių kūno ilgis yra nuo 10 iki 25 cm. Karšiams senstant, užsikrėtimas palaipsniui mažėja, o tarp individų, didesnių kaip 35 cm., plerocerkoidų pasitaiko labai retai. ( Virbickas J., 2000; Gaigalas K., 2001).



7 pav. Kuoja – *Rutilus rutilus* (L.)

**Kuoja.** Kuoja yra gėlavandenė, sėslė žuvis Drūkšių ežere paplitusi visur. Drūkšiuose pagrindiniai kuojų ištekliui laikosi plotuose su gausia dugno gyvūnija, bet kuriose ežero vietose. Per nerštą kuojų reproduktoriai iš gilesnių vandens vietų migruoja į seklesnes pakrantes su turtinga vandens augalija. Pagal pastarųjų kelių dešimtmečių stebėjimus, kuojos masiškai neršia balandžio antroje pusėje arba gegužės pirmoje dekaodoje,

esant vandens temperatūrai 14,2-17,8°C. Patelės ikrus išneršia ant įvairių, dažniausiai praėjusių metų dugno augalijos arba vegetuojančių augalų želmenų. Esant aukštokai vandens temperatūrai, apvaisintų ikrelių inkubacija tęsiasi 8-12 parų. Pavieniai kuojų individai populiacijoje pradeda neršti būdami 2-3 metų amžiaus, tačiau masiškai šios žuvis subręsta ketvirtais - penktais metais, esant kūno ilgio vidurkiams 12,3-16 cm., o svoriui 95 g. Pagal augimo tempo ir gyvenimo ciklo rodiklius, kuoja yra priskiriama prie augančių ir vidutinio ilgaamžiškumo žuvų grupės. Sužvejojamuose laimikiuose dažnai pasitaiko kuojų, sulaukusių 15 metų amžiaus, iki 20 cm. ilgio ir 980-1132 g. svorio.

Kuoja kitų rūšių atžvilgiu yra taiki eurifaginė žuvis. Jos pirmų ir antrų metų jaunikliai minta augaliniu maistu, planktoniniais ir smulkiais bentosiniais vėžiagyviais, vabzdžiais ir jų lervomis. Vyresnio amžiaus pakartotinai neršusių žuvų mitybos spektras paįvairėja stambių vėžiagyvių, moliuskų, uodo lervų, kirmėlių ir vabzdžių, o anksti pavasarį stintų ikrelių sąskaita. Tarp trofologų paplitusi nuomonė, kad kuojų mitybiniai santykiai Drūkšių ežere su kitomis žuvimis neturi aiškaus konkurentinio pobūdžio. (Virbickas J., 2000; Gaigalas K., 2001).

#### 4.1.4. Cezio (Cs) ir stroncio (Sr) izotopų charakteristikos

**Cezis.** Cezį atrado vokiečių chemikai R. Bunzenas ir G. Kirchofas 1860 - 1961 m., analizuodamas mineralinius vandenius, kiek vėliau metalinį (gryną) cezį išskyrė švedų mokslininkas Setterbergas. Tai pirmasis elementas atrastas spektrinės analizės būdu. Pavadinimą šis metalas gavo pagal savo spektro linijų spalvą – (*“caesium” –lot. pilkai melsvas, dangiškai melsvas*).  $^{55}\text{Cs}$  – stabilus izotopas. Savybės panašios į kalio (*K*) ir natrio (*Na*), bet už juos radioaktyvesnis. Atominis skaičius – 55. Periodinės elementų sistemos I-osios grupės cheminis elementas. Atominė masė 132,905. Atomo išorinių elektronų konfigūracija 6s. Cezio atomo išorinėje orbitoje skrieja viena neigiamai įelektrinta dalelė – elektronas. Šis elektronas labai nutolęs nuo savo teigiamai įelektrinto branduolio, todėl jėgos laikančios jį prie branduolio yra nedidelės ir cezis šį elektroną atiduoda labai lengvai. Metalas, kuris turi mažiausią iš visų metalų jonizacijos potencialą). Gamtoje yra vienas stabilus izotopas  $^{133}\text{Cs}$ . Cs sudaro  $3,7 \cdot 10^{-4}$  Žemės plutos masės. Cezis – sidabriškai baltas arba aukso geltonumo spalvos metalas. Jis minkštesnis net už vašką. Tai minkščiausias bei jautriausias šviesai metalas gamtoje. Lydymosi temperatūra – 28,45°C, virimo - 708 °C, tankis 1900 kg/m<sup>3</sup>. Labai aktyvus ore, savaime užsiliepsnoja. Su vandeniu reaguodamas sprogstas. Aukštesnėje nei 300 °C temperatūroje redukuodamas silicį ardo stiklą. Su gyvsidabriu, sidabru, stibiu, bismutu ir šarminiais Žemės metalais sudaro lydinius. Radioaktyvieji cezio izotopai –  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  atsiranda dėl intensyvios antropogeninės veiklos, jų skilimo pusamžis

apie 30 - 33 metus ( kas 30 - 33 metai radioaktyvumo laipsnis sumažėja per pusę). (Rotkytė L., 1962; Lietuviškoji enciklopedija”, 1977).

Radioaktyvus cezis į organizmą patenka per virškinimo traktą, plaučius ir odą – žaizdas, įdrėskimus ir net gi per nepažeistą odą.  $^{137}\text{Cs}$  patekęs į organizmą su maistu ir vandeniu elgiasi organizme kaip jo analogas kalis (K). Šis elementas koncentruojasi mineraliniuose vandenyse, augaluose. Jo yra arbatoje, kavoje, tabake, cukriniuose runkeliuose, vynuogėse ir kt.

Cezio izotopų, bet koku būdu patekusių į organizmą, daugiau kaip 90% kaupiasi raumenyse, minkštuosiuose audiniuose bei švitina iš vidaus *beta* ( $\beta$ ) ir *gama* ( $\gamma$ ) dalelėmis keldamas sunkios ligos – vėžio grėsmę. Minkštuose audiniuose užsilaiko mažiau kaip 1%, tačiau ankstyvame laike minkštuose audiniuose nustatomi dideli  $^{137}\text{Cs}$  kiekiai. (Rotkytė L., 1962; Rozovskis G, Jankauskas R., 1969)

Taip pat į  $^{137}\text{Cs}$  organizmą patenka susprogus atominiam ginklui.  $^{137}\text{Cs}$  būvimas žmogaus organizme priklauso nuo bendro susprogdinto atominio ginklo galingumo. Jis patenka į organizmą įkvepiant radioaktyvių dulkių, kurios susidaro sprogo metu ir nunešamos vėjo didelius atstumus.

Vis dėlto, radioaktyvusis Cs patekęs į organizmą, iš jo gali pasišalinti greičiau, nei turētu vien dėl pusėjimo trukmės dėsnio. Priežastis – medžiagų apykaitos žmogaus organizme sparta, apibrėžiama *biologine pusėjimo trukme*. Biologinė radioaktyviojo cezio pusėjimo trukmė žmogaus organizme yra apie 100 dienų (palyginti su fizine 30 metų pusėjimo trukme, tai labai mažai). Radioaktyvusis cezis pašalinamas iš organizmo natūraliu būdu kaip ir kitos medžiagos. ( Wahlsrom B., Nedveckaitė T., Skardžinskienė V., 2001).

Būtent,  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{90}\text{Sr}$  yra pačios kenksmingiausios atliekos gamtai ir žmogui, susidarančios gaminant branduolinę energiją, t. y. skylant radioaktyviajam uranui.

Svarbus fotoelementų gamyboje. Naudojamas kaip dujų sugėrikliis vakuuminuose įrenginiuose, dujų lazerių, lempų magnetohidrodinaminių generatorių darbinė medžiaga, taipogi sudėtingiems moksliniams prietaisams, procesų reguliavimo automatams gaminti; cezio plazma – joniniams raketiniams varikliams. Medikai radioaktyvųjį izotopą  $^{137}\text{Cs}$  naudoja radioterapijoje – skleidžiamais *gama* ( $\gamma$ ) spindulių atitinkamomis dozėmis švitindami organizme esančias vėžines ląsteles. Chemikai taip pat dažnai naudoja cezių, kaip katalizatorių, kai reikia pagreitinti įvairių cheminių junginių sintezę. ( Rotkytė L., 1962; Rozovskis G, Jankauskas R., 1969; “Lietuviškoji enciklopedija”, 1977; Tretjakovas D., Dainenka V., Kesleris A., 1984).

**Stroncis.** 1764 metais Škotijoje Stronciano kaimo švino kasykloje buvo rastas mineralas, kuris pavadintas stroncianitu. Ilgą laiką buvo manyta, kad stroncianitas yra fluorito  $\text{CaF}_2$  arba viterito  $\text{BaCO}_3$  atmaina, bet 1790 metais anglų mineralogai A.Krouford'as ir

V.Kriukšėnas išanalizavo šį mineralą ir nustatė, kad jame yra stroncis ( Sr). Nepriklausomai nuo jų, tą patį mineralą tyrinėjo kitas anglų chemikas T.Chop'as. Grynas metalas elektrolizės būdu išskirtas išskirtas Chemfrio Deivio ( Anglija) 1808 m.

Stroncis ( *Strontium*), Sr periodinės elementų sistemos II grupės cheminis elementas. Atominis skaičius - 38, atominė masė – 87,62. Išorinių elektronų konfigūracija -  $5s^2$ . Oksidacijos laipsnis +2. Gamtinis stroncis yra 4 stabilųjų izotopų mišinys; iš tų izotopų labiausiai paplitęs  $^{88}\text{Sr}$  ( 82,56 %) junginiuose yra baltos spalvos, minkštas, primenantis šviną metalas. Radioaktyvusis izotopas  $^{90}\text{Sr}$  ( pusamžis – 27,7-29 metai ) susidaro sklynt uranui. Sudaro 0,004 % Žemės plutos masės. Chemiškai labai aktyvus. Šviežiai perpjautas stroncis turi sidabrinio žvilgesio, bet greitai sureaguoja su oru, pageltonuota ir išsisklaido ore. Tankis  $2,630\text{g/cm}^3$ , lydosi  $768^\circ\text{C}$  temperatūroje. Sr – periodinės cheminių elementų sistemos antros grupės žemės šarminis metalas, todėl pagal chemines savybes jis labai panašus į kitus šios grupės atstovus – kalcį, magnį ir barį. Dega ryškia, gražia raudona spalva. Dėl šios lakių stroncio druskų savybės jos tapo nepakeičiamais įvairių pirotechninių mišinių komponentais.

Stroncis turi 16 žinomų izotopų. Radioaktyvūs izotopai yra šie: 77 – 83, 85, 89 – 99. Didžiausią reikšmę turi  $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{89}\text{Sr}$  ( skilimo pusamžis 51 para, maksimali  $\beta$  – spinduliavimo energija 1,46 MeV),  $^{90}\text{Sr}$  ( skilimo pusamžis 27,7 - 29 metų), maksimali  $\beta$  – spinduliavimo energija 0,54 MeV).

Stroncio ypatybė, išskirianti jį iš žemės šarminių metalų – radioaktyvaus stroncio – 90 izotopo egzistavimas, kuris jau seniai domina chemikus, biochemikus, radiobiologus, fiziologus ir biofizikus.

$^{90}\text{Sr}$  skleidžia energingų elektronų srautus, kurie veikia visa kas gyva, palyginus nedideliais atstumais, bet labai aktyviai. Grandininės branduolinės reakcijos metu iš plutonio ir urano atomų susidaro apie 200 radioaktyvių izotopų. Dauguma iš jų - trumpaamžiai, kurių masės skaičiai – nuo 91 iki 97. Sklynt  $^{235}\text{U}$  susidaro  $^{88}\text{Sr}$ ,  $^{89}\text{Sr}$  ir  $^{90}\text{Sr}$  su atitinkamomis išiegomis 3,57; 4,79; 5,77 %. Taip pat jie susidaro atominių bombų sprogoimo metu kaip branduolinio skilimo produktai.

Po  $\beta$  – skilimo  $^{90}\text{Sr}$  virsta į dukterinį radioaktyvų elementą itrį – 90. Pagal radioaktyvumą  $^{90}\text{Sr}$  ir  $^{90}\text{Y}$  yra lygūs.

Radioaktyvus stroncis į organizmą patenka per virškinimo traktą, plaučius ir odą – žaizdas, įdrėskimus ir per nepažeistą odą.

$^{90}\text{Sr}$  patekęs į organizmą su pašaru ir vandeniu ( kaip ir jo analogas kalcis), gerai įsisiurbia į virškinimo traktą. Įsisiurbimo laipsnis priklauso nuo daugelio faktorių – raciono sudėties, junginio fizikinių – cheminių savybių, gyvulių amžiaus, medžiagų apykaitos, nervų ir endokrininės sistemos būklės, ir svyruoja nuo 5 iki 100 %. Tirpių stroncio junginių

rezorbcijos dydis iš virškinamojo trakto siekia 0,1 – 0,6; blogai tirpių junginių – < 0,01.

Stroncio izotopų, bet kokiu būdu patekusių į organizmą, daugiau kaip 90% kaupiasi kauluose. Minkštuose audiniuose užsilaiko mažiau kaip 1%, tačiau ankstyvame laike minkštuose audiniuose nustatomi dideli  $^{90}\text{Sr}$  kiekiai.

Taip pat į  $^{90}\text{Sr}$  organizmą patenka susprogus atominiam ginklui.  $^{90}\text{Sr}$  būvimas žmogaus organizme priklauso nuo bendro susprogdinto atominio ginklo galingumo. Jis patenka į organizmą įkvepiant radioaktyvių dulkių, kurios susidaro sprogdimo metu ir nunešamos vėjo didelius atstumus.

Stroncis – aktyvus metalas. Tai sudaro kliūtis plačiam jo panaudojimui technikoje. Bet iš kitos pusės, aukštas Sr cheminis aktyvumas leidžia jį panaudoti tam tikrose ūkio srityse.

$^{90}\text{Sr}$  savybes: galingą jonizaciją ir didelį skilimo pusamžį pavyko pakreipti žmogaus naudai. Radioaktyvus stroncis naudojamas kaip izotopinis indikatorius įvairių procesų kinetikos tyrimuose. Būtent šio metodo pagalba bandymuose su gyvūnais buvo nustatyta kaip stroncis elgiasi gyvame organizme: kur daugiausiai lokalizuojasi, kokiu būdu dalyvauja medžiagų apykaitoje ir t.t.  $^{90}\text{Sr}$  naudojamas kaip spinduliavimo šaltinis spindulinėje terapijoje. Akių ir odos ligų gydymui naudojami aplikatoriai su  $^{90}\text{Sr}$ .

Radioaktyvūs elementai, patekę į organizmą, sukelia laisvų radikalų atsiradimą.  $^{90}\text{Sr}$ , taip pat jam skylant susidarantis dukterinis izotopas itris 90 ( $^{90}\text{Y}$ ), naikina kaulinį audinį bei kaulų čiulpus. Veikiant spinduliavimui gyvame organizme vyksta cheminiai pokyčiai. Sutrinka normali ląstelių struktūra ir funkcijos, dėl to audiniuose atsiranda rimti medžiagų apykaitos sutrikimai. Galiausiai išsivysto mirtinai pavojingos ligos – kaulų ir kraujo vėžys (leukemija). Taip pat spinduliavimas veikia DNR molekules.

Dėl  $^{90}\text{Sr}$  kaupimosi kauluose, atsiranda ne tik kaulų bei kaulų čiulpų radiacinis apšvitinimas, bet ir aplinkinių audinių. Iš organizmo pašalinti stroncij galima produktų, kurių sudėtyje yra kalcio, pagalba. ( “Lietuviškoji enciklopedija”, 1983; Rotkytė L., 1962; Hahn G.S., 1999; Zhai H.et al., 2000).



## 4.2. Tyrimų metodai

Siekiant nustatyti žuvų organizmų užterštumo radionuklidais  $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{90}\text{Sr}$  lygmenis, buvo naudojami *alfa/beta* radiometrinės bei *gama* spektrinės analizės metodai. Nustatant  $^{137}\text{Cs}$  lygmenis bandiniuose buvo naudojamas *gama* spektrometras “ Informator”, turintis puslaidininkį detektorių; nustatant  $^{90}\text{Sr}$  lygmenis bandiniuose buvo naudojamas žemo fono radiometras UMF – 1500M, turintis Geigerio – Miulero skaitiklį ( detektorių).

### 4.2.1. Radionuklido $^{137}\text{Cs}$ kiekių nustatymas tiriamuose mėginiuose

**Metodo pavadinimas.** Gama spektrinės analizės metodas nustatyti  $^{137}\text{Cs}$  lygius maisto bandiniuose.

**Metodo esmė.** Spektrinė analizė – tai dujų, skysčių ar kietų medžiagų kokybinės ir kiekybinės sudėties nustatymas tiriant analizuojamo objekto spektrus. Kokybinės medžiagos sudėties nustatymas grindžiamas tuo, kad kiekviena medžiaga turi tik jai būdingų spektro linijų ar juostų išsidėstymą. Nustatant kiekybinę sudėtį, matuojamas spektro linijų intensyvumas, kuris lyginamas su etaloninės linijos intensyvumu.

Branduolinis virsmas gali būti susijęs su vieno ar keleto *gama* kvantų emisija. Skirtingų radionuklidų *gama* kvantų energijos yra skirtingos. Pagal *gama* kvantų energiją galima atpažinti *gama* kvantus spinduliuojančius radionuklidus. *Gama* kvantai, praeidami pro užtvarinį puslaidininkio kristalo sluoksnį, jame sukuria krūvininkus – laisvuosius elektronus ir kristalu prateka elektros srovės impulsas ( tokiu būdu sukuriamas spektras). Jo stiprumas yra proporcingas kvanto energijai. Sustiprinti elektriniai impulsai analizuojami ir sumuojami daugiakanaliais impulsų analizatoriais. Pagal radionuklidų spinduliuojamų *gama* kvantų energiją atitinkančių impulsų skaičių įvertinamas mėginio aktyvumas.

#### Naudoti prietaisai, įranga ir medžiagos:

- 1) *gama* spektrometrinė sistema (žr. prieduose);
- 2) Diuaro indas skystam azotui laikyti;
- 3) svarstyklės ( svėrimo ribos nuo 0 iki 3 kg., tikslumas 0,5 g.);
- 4) homogenizatorius mėginiams homogenizuoti ( buitinis maisto smulkintuvas);
- 5) mėginių rūšį ir detektoriaus tipą optimaliai atitinkantys polietileniniai matavimo indai ( 4 vnt. cilindrai po 100 ml. ir 4 vnt. lėkštelės po 50 ml. tūrio) su dangteliais;
- 6) džiovavimo spinta ( gebanti palaikyti pastovią  $110^{\circ}\text{C}$  temperatūrą) mėginiams;
- 7) deginimo krosnis ( iki  $500^{\circ}\text{C}$ ) mėginiams deginti;

- 8) sertifikuotas standartinis radionuklidų tirpalas gama spektrometrinei sistemai kalibruoti (radionuklidų aktyvumų vertės žinomos ne mažesniu nei  $\pm 3 \%$  tikslumu);
- 9) presas mėginiams presuoti į tabletes;
- 10) azoto rūgšties ( $\text{HNO}_3$ ) 3 M tirpalas indams deaktyvuoti;
- 11) etilo spiritas prietaisams deaktyvuoti;
- 12) skystas azotas *germanio* (Ge) detektoriumi šaldyti.

**Mėginių paruošimas.** Tyrimams buvo imta tos žuvų dalys, kurias žmogus vartoja maistui, t.y. raumenys. Galvos ir stuburo kaulai, oda su žvynais ir vidaus organai buvo išmetami. Žuvų raumenys buvo susmulkinami homogenizatoriumi, pasveriami ir išdžiovinami iki orasausės masės  $100^\circ\text{C}$  temperatūroje. Buvo džiovinama 24 val. Išdžiovintas mėginys pasveriamas ir sudeginamas siekiant sukcentruoti bandinį. Kad mėginys neužsiliepsnotų, pradžioje temperatūra buvo didinama lėtai (per 1-2 val. iki  $150\text{-}200^\circ\text{C}$ ), o po to greičiau (per 30 min. iki  $450^\circ\text{C}$ ).  $450^\circ\text{C}$  temperatūroje deginta 15 valandų. Pelenai atsargiai (siekiant kuo mažiau prarasti) supilti į matavimo indus, supresuoti pagal standartinės geometrijos modelį (tabletės pavidalu) ir pasverti.

**Matavimas.** Matavimo cilindras su tyrimui paruoštu standartinės geometrijos mėginiu (tabletės aukštis – 25 mm., skersmuo – 68 mm.) padedamas matavimui ant paruoštos, kalibruotos gama spektrometrinės sistemos detektoriaus nustatytoje vietoje. Matuojama 5 paras (120 val.). Sukauptas spektras įrašomas į kompiuterio atmintį, o spektro identifikavimo kodas, bylos pavadinimas, matavimo trukmė, data, mėginio numeris ir duomenys apie geometrinę konfigūraciją bei pastabos – į laboratorijos žurnalą.

#### 4.2.2. Radionuklido $^{90}\text{Sr}$ kiekių nustatymas tiriamuose mėginiuose

**Metodo pavadinimas.** Stroncio-90 nustatymo metodai maisto ir aplinkos bandiniuose Čerenkovo spinduliuotės metodu.

##### **Metodo esmė.**

Radiometrinė analizė pagrįsta tuo, kad apšvitinus medžiagą jonizuojančiaja spinduliuote, ji tampa aktyvi. Apie kokybinę medžiagos sudėtį sprendžiama pagal joje esančių radioaktyviųjų izotopų skilimo pobūdį.  $^{40}\text{K}$  savitasis aktyvumas paprastai yra dešimtimis kartų didesnis už kitų *beta* spindulių savitąjį aktyvumą, todėl ir šiuo metodu siekiant išaiškinti tiriamojo radionuklido  $^{90}\text{Sr}$  aktyvumus, šiuo metodu naudojamas beta savitasis aktyvumas paprastai būna nulemtas  $^{40}\text{K}$  spinduliuotės. Nustatant bendrąjį savitąjį aktyvumą

šiuo metodu, galima įvertinti tokių *beta* radionuklidų, kaip  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{89}\text{Sr}$  beta spinduliuotę.

#### **Naudoti prietaisai, įranga ir medžiagos:**

- 1) Žemo fono radiometras UMF-1500M su Geigerio – Miulerio detektoriumi ( žr. prieduose).
- 2) svarstyklės ( svėrimo ribos nuo 0 iki 3 kg., tikslumas 0,5 g.);
- 3) homogenizatorius mėginiams homogenizuoti ( buitinis maisto smulkintuvas);
- 4) polietileniniai matavimo indai (4 vnt. lėkštelės po 50 ml. tūrio) su dangteliais;
- 5) džiovavimo spinta ( gebanti palaikyti pastovią  $110^{\circ}\text{C}$  temperatūrą) mėginiams;
- 6) deginimo krosnis ( iki  $500^{\circ}\text{C}$ ) mėginiams deginti;
- 7) azoto rūgšties(  $\text{HNO}_3$ ) 3 M tirpalas indams deaktyvuoti;
- 8) etilo spiritas prietaisams deaktyvuoti;
- 9) sertifikuotas standartinis gamtinių radionuklidų tirpalas beta spektrometrinei sistemai kalibruoti (radionuklidų aktyvumų vertės žinomos ne mažesniu nei  $\pm 3\%$  tikslumu);

**Mėginių paruošimas.** Mėginių paruošimas tyrimams tiek *gama* ( $\gamma$ ) spektrometrinės analizės, tiek *beta* ( $\beta$ ) radiometriniams metodams visiškai vienodas ( žr. pagal *gama* aktyvumo nustatymo metodą).

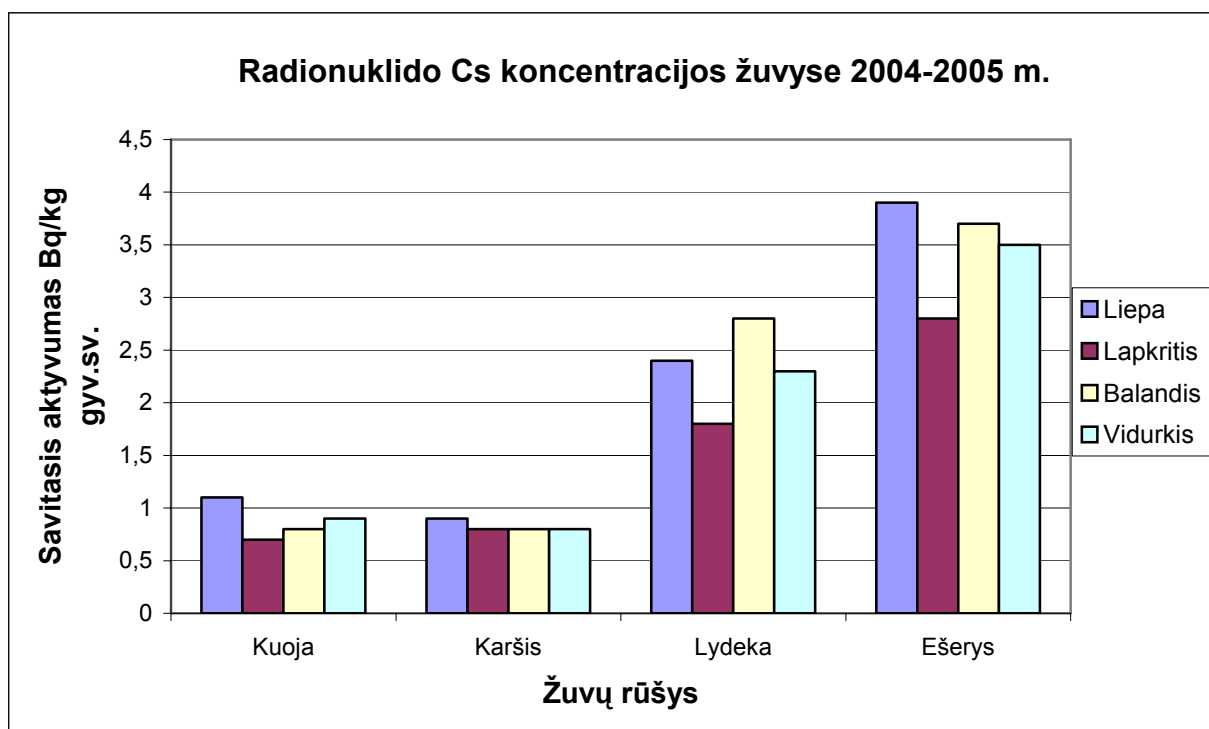
**Matavimas.** Išdžiovinto, sukoncentruoto (sudeginto) mėginys padedamas matavimui ant paruoštos, kalibruotos radiometrines sistemos detektoriaus nustatytoje vietoje. Matavimo efektyvumas buvo lygus 0,18. matavimo fonas svyravo nuo 3,2 iki 4,3 imp./min. Vienas mėginys matuotas 20 minučių. Matavimo lėkštelės diametras lygus 18 mm., jos atstumas iki detektoriaus lango – 15 mm. Gauti duomenys įrašomi į kompiuterio atmintį, bylos pavadinimas, matavimo trukmė, data, mėginio numeris ir duomenys apie geometrinę konfigūraciją bei pastabos – į laboratorijos žurnalą ( laboratorijos byla).

## 5. TYRIMO REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS

### 5.1. Technogeninio radionuklido $^{137}\text{Cs}$ ir gamtinės kilmės radionuklido $^{40}\text{K}$ koncentracijų nustatymo žuvyse, tyrimų rezultatai

Eksperimentiniai darbai atlikti Ignalinos atominės elektrinės padalinyje, Aplinkos apsaugos laboratorijoje 2004 – 2005 metais. Tyrimams buvo imta sugautų plėšriųjų ( ešerys, lydeka) ir taikiųjų ( karšis, kuoja) žuvų raumenys; kaulai, vidaus organai bei kūno danga buvo išmetami. Žuvų bandiniai buvo atrinkti ir pristatyti tyrimams tyrimams tris kartus per metus ( sezoninei dinamikai stebėti) – 2004 m. liepos, lapkričio ir 2005 m. balandžio mėnesiais. Siekiant nustatyti žuvų organizmų užterštumo radionuklidu  $^{137}\text{Cs}$  lygmenis, buvo naudojamas gama spektrinės analizės metodas. Nustatant  $^{137}\text{Cs}$  lygmenis bandiniuose buvo naudojamas gama spektrometras “ Informator”, turintis puslaidininkį detektorių. Šio radionuklido leistini kiekiai maisto produktuose reglamentuojami Europos Tarybos reglamentu, kuriame nurodoma, kad leistinos  $^{137}\text{Cs}$  normos maisto produktuose ne daugiau kaip 600 Bq/kg.  $^{137}\text{Cs}$  ( ir  $^{90}\text{Sr}$ ) yra pačios kenksmingiausios atliekos gamtai ir žmogui, susidaranti gaminant branduolinę energiją, t. y. skylant radioaktyviajam uranui.

$^{137}\text{Cs}$  koncentracijų nustatymo žuvyse tyrimai parodė, kad priklausomai nuo jų rūšies bei mitybos specifikos, šio radionuklido vidutinė metinė koncentracija svyravo nuo 0,8 iki 3,5 Bq/kg. gyvo svorio ( gyv.sv.) (8 pav. ).



**8 pav.**  $^{137}\text{Cs}$  koncentracijų lygmenys ( Bq/kg. gyv.sv) Drūkšių ežero žuvyse 2004 m. liepos, lapkričio bei 2005 m. balandžio mėnesiais.

Maksimalios šio radionuklido reikšmės nustatytos ešerio raumenyse – liepos mėn. 3,9 Bq/kg. gyv.sv. Minimalios šio radionuklido reikšmės nustatytos kuojos raumenyse – lapkričio mėnesį 0,7 Bq/kg. gyv.sv

Buvo nustatyta, kad  $^{137}\text{Cs}$  koncentracija plėšriųjų žuvų (lydekos bei ešerio) raumenyse vidutiniškai buvo 2,5-3,8 karto didesnė, nei taikaus mitybos būdo karpinių žuvų. Tai galėtų reikšti, kad priklausomai nuo mitybos būdo, ichtiofaginėms žuvims ( lydekoms, ešeriams) mintančioms kitomis žuvimis ( taikiosiomis) būdingas intensyvesnis  $^{137}\text{Cs}$  kaupimasis raumenyse, nei bentofaginėms žuvims, mintančiomis bentosiniais organizmais, t.y. gaunantiems radionuklidus per dugninę augaliją bei bentosinius organizmus. Minėtam radionuklidui kaupiantis aukštesnio trofinio lygio žuvyse, maisto vaidmuo didėja, t.y. išryškėja trofinių lygių efektas.

Tirtų žuvų raumenyse išryškėjo sezoniniai  $^{137}\text{Cs}$  kaupimo skirtumai. Šio radionuklido koncentracijos buvo didesnės liepos mėnesį sugautose žuvyse. Akivaizdu, kad daugiausia  $^{137}\text{Cs}$  akumuliuojasi žuvyse intensyvaus žuvų maitinimosi po neršto periodu. Be to, šiltuoju metų sezonu žuvims būdinga aktyvesnė medžiagų apykaita, skatinanti greitesnį radionuklidų kaupimąsi jose. Ištyrus šaltuoju metų sezonu ( lapkričio mėn.) sugautų žuvų raumenis, nustatytos mažiausios  $^{137}\text{Cs}$  reikšmės ( išskyrus karšio raumenyse), kas galėtų priklausyti nuo pasyvaus žuvų maitinimosi, mažesnio žuvų aktyvumo, tuo pačiu lėtesnio medžiagų apykaitos proceso.

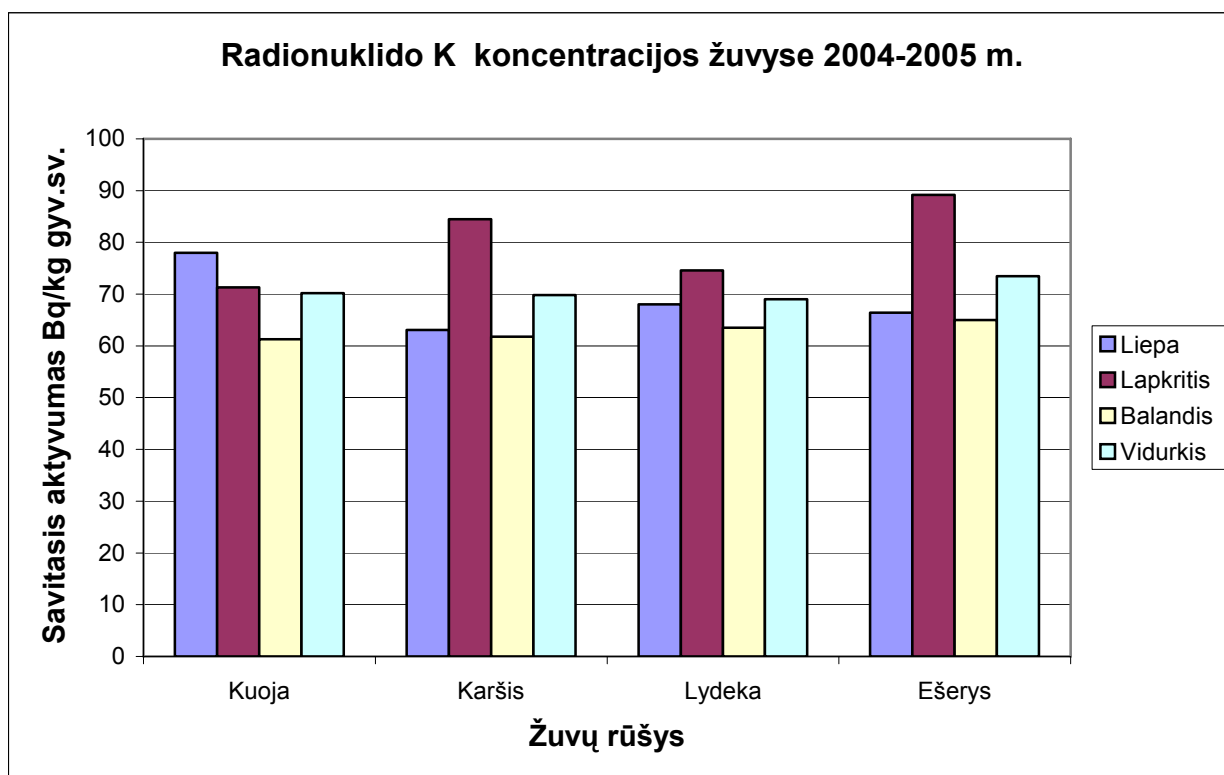
Atliekant tyrimus, kartu įvertinamas ir gamtinės kilmės radionuklidas  $^{40}\text{K}$  ( **9 pav.**). Gamtinės kilmės  $^{40}\text{K}$  ( spinduliuojantis *beta* daleles) nustatytas radiometrinio būdu. Šio radionuklido aktyvumas nėra higieniškai normuojamas, tačiau vidinė apšvita nuo šio radionuklido aktyvumo maisto produktuose sudaro didžiąją visos apšvitos dalį.

Gamtinės kilmės radionuklido  $^{40}\text{K}$  koncentracijų nustatymo žuvyse tyrimai parodė, kad priklausomai nuo jų rūšies bei mitybos specializacijos, šio radionuklido vidutinė metinė koncentracija svyravo nuo 69,0 iki 73,5 Bq/kg. gyvo svorio ( gyv.sv.) ( **9 pav.**).

Maksimalios šio radionuklido vertės nustatytos ešerio raumenyse – lapkričio mėn. 89,2 Bq/kg. Minimalios šio radionuklido reikšmės nustatytos kuojos raumenyse – balandžio mėn. 61,3 Bq/kg gyv.sv ( **9 pav.**).

$^{40}\text{K}$  akumuliacijos žuvų raumenyse priklausomai nuo žuvies rūšies ( tuo pačiu mitybos specifikos) nenustatyta. Tačiau tirtų žuvų (išskyrus kuojos) raumenyse išryškėjo sezoniniai gamtinės kilmės  $^{40}\text{K}$  kaupimo skirtumai. Šio radionuklido koncentracijos buvo didesnės lapkričio mėnesį ( šaltuoju metų sezonu) sugautose žuvyse. Akivaizdu, kad gamtinės kilmės  $^{40}\text{K}$  daugiausia akumuliuojasi raumenyse žuvims esant pasyvaus maitinimosi, ramybės periodu. Be to, šaltuoju metų sezonu žuvims būdinga gerokai lėtesnė medžiagų apykaita lyginant su šiltuoju metų periodu ( liepos, balandžio mėn.), kuomet medžiagų apykaitos

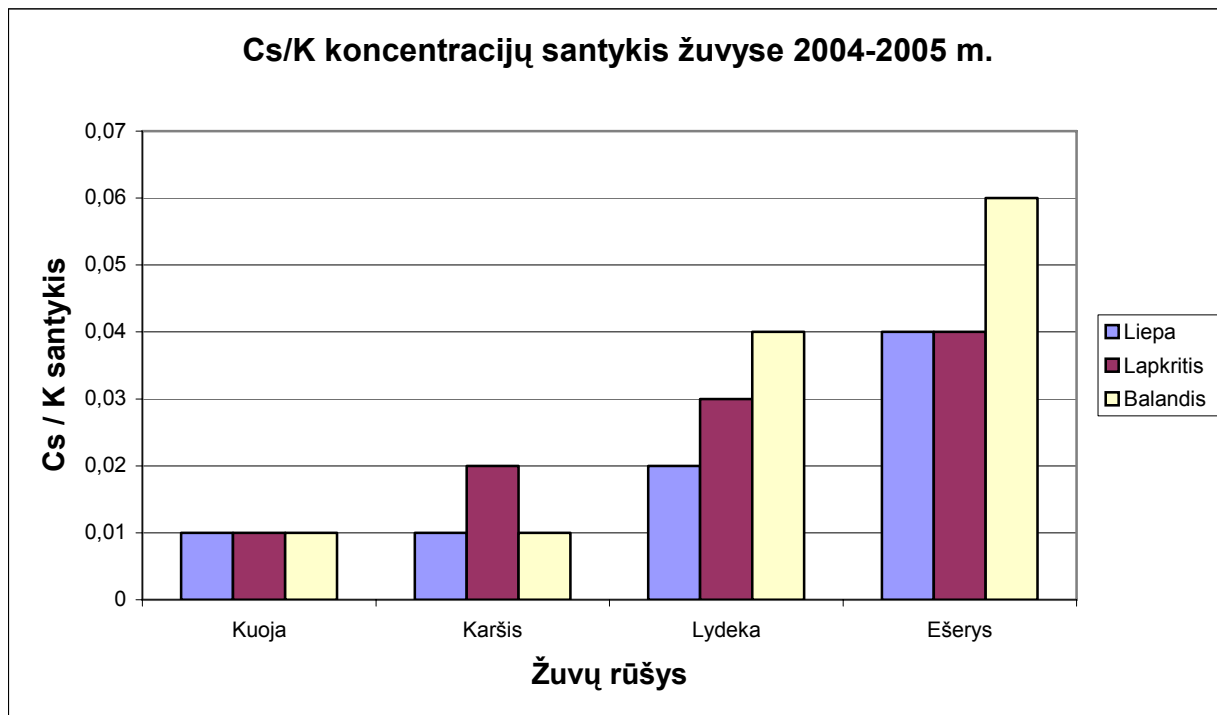
procesai vyksta daug aktyviau skatindami greitesnį technogeninės kilmės radionuklidų kaupimąsi žuvyse. Ištyrus šiltuoju metų sezonu ( balandžio mėn.) sugautų žuvų raumenis, nustatytos mažiausios  $^{40}\text{K}$  reikšmės, kas galėtų priklausyti nuo aktyvaus žuvų maitinimosi, didesnio žuvų aktyvumo, aktyvesnių medžiagų apykaitos procesų, kas, kaip jau minėta apibendrinant gautų  $^{137}\text{Cs}$  tyrimų rezultatus, lemia intensyvesnį radioaktyviojo cezio ( kalio analogo) kaupimąsi. Įvertinant gautus tyrimų rezultatus, akivaizdu, kad artėjant karštajam vasaros bei šaltajam rudens periodams  $^{40}\text{K}$  koncentracijos žuvų raumenyse linkusios nežymiai didėti.



**9 pav.**  $^{40}\text{K}$  koncentracijų (Bq/kg gyv.sv) Drūkšių ežero žuvyse 2004 m. liepos, lapkričio bei 2005 m. balandžio mėnesiais.

Įvertinus gamtinės kilmės radionuklido  $^{40}\text{K}$  koncentracijas įvairių žuvų rūšių raumenyse, buvo nustatomas  $^{137}\text{Cs}/^{40}\text{K}$  koncentracijų santykis, priklausomai nuo žuvų rūšinės, mitybinės specifikos bei metų laiko (sugavimo laiko) ( **10 pav.**).

Tyrimais buvo nustatyta, kad priklausomai nuo žuvies mitybos būdo,  $^{137}\text{Cs}/^{40}\text{K}$  koncentracijų santykis ešerio bei lydekos raumenyse siekė 0,06 ir 0,04, o karšyje bei kuojoje tik 0,02 ir 0,01. Didesnės  $^{137}\text{Cs}$  koncentracijos bei didesni  $^{137}\text{Cs}/^{40}\text{K}$  koncentracijų santykiai ešeryje bei lydekoje parodo, kad šio radionuklido kaupimuisi plėšriose žuvyse būdingas trofinio lygio efektas.



**10 pav.**  $^{137}\text{Cs}/^{40}\text{K}$  santykis Drūkšių ežero žuvyse 2004 m. liepos, lapkričio bei 2005 m. balandžio mėnesiais.

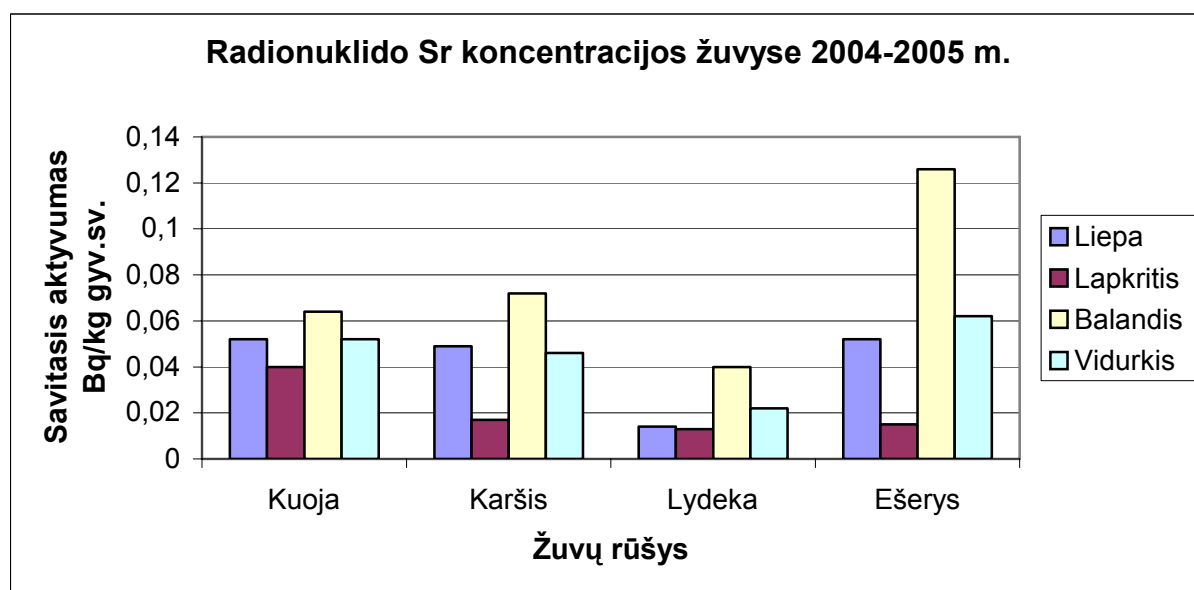
Didžiausios  $^{137}\text{Cs}/^{40}\text{K}$  santykio vertės šiltuoju metų sezonų (balandžio mėn.) pagautų plėšriųjų žuvų raumenyse rodo, kad didesni radioaktyviojo cezio kiekiai linę akumuliuoties aukštesniojo trofinio lygmens žuvyse (lydekoje, ešeryje) esant intensyviai žuvų maitinimosi po neršto periodui. Esminių ypatumų bentofaginių žuvų (kuoja, karšis) organizmuose pagal gautas  $^{137}\text{Cs}/^{40}\text{K}$  santykio reikšmes nenustatyta – kuojų  $^{137}\text{Cs}/^{40}\text{K}$  santykio vertės yra panašios, pastebimas nežymus šio santykio vertės padidėjimas karšio raumenyse lapkričio mėnesį.

## 5.2. Technogeninio radionuklido $^{90}\text{Sr}$ ir stabilaus izotopo $^{39}\text{Ca}$ koncentracijų nustatymo žuvyse, tyrimų rezultatai

Eksperimentiniai darbai atlikti Ignalinos atominės elektrinės padalinyje, Aplinkos apsaugos laboratorijoje 2004 – 2005 metais. Tyrimams buvo imta sugautų plėšriųjų ( ešerys, lydeka) ir taikiųjų ( karšis, kuoja) žuvų raumenys; kaulai, vidaus organai bei kūno danga buvo išmetami. Žuvų bandiniai buvo atrinkti ir pristatyti tyrimams tyrimams tris kartus per metus ( sezoninei dinamikai stebėti) – 2004 m. liepos, lapkričio ir 2005 m. balandžio mėnesiais. Siekiant nustatyti žuvų organizmų užterštumo radionuklidu  $^{90}\text{Sr}$  lygmenis, buvo naudojamas radiometrinės analizės metodas. Nustatant  $^{90}\text{Sr}$  lygmenis bandiniuose buvo naudojamas Žemo fono radiometras UMF-1500 M su Geigerio – Miulerio detektoriumi.  $^{90}\text{Sr}$  priskiriamas prie labiausiai biologiškai pavojingų ir toksiškų radionuklidų, turintis ilgą įrimo pusamžį ( 29 metai) ir pasižymintis geromis migracinėmis savybėmis vandens baseinuose.

$^{90}\text{Sr}$  koncentracijų nustatymo žuvyse tyrimai parodė, kad priklausomai nuo jų rūšies bei mitybos specializacijos, šio radionuklido vidutinė metinė koncentracija svyravo nuo 0,022 iki 0,062 Bq/kg. gyvo svorio ( gyv.sv.) ( **11 pav.**).

$^{90}\text{Sr}$  koncentracijų vertės tirtų žuvų raumenyse svyravo dideliame intervale priklausomai nuo jų rūšies, mitybos būdo ir žuvų sugavimo laiko (metų laiko): maksimalios šio radionuklido reikšmės nustatytos ešerio raumenyse – balandžio mėn. 0,126 Bq/kg gyv.sv., minimalios šio radionuklido reikšmės nustatytos lydekos raumenyse – lapkričio mėnesį 0,013 Bq/kg gyv.sv.



**11 pav.**  $^{90}\text{Sr}$  koncentracijų lygmenys ( Bq/kg. gyv.sv) Drūkšių ežero žuvyse 2004 m. liepos, lapkričio bei 2005 m. balandžio mėnesiais.



Gauti duomenys rodo, kad aukštesnė metinė vidutinė  $^{90}\text{Sr}$  koncentracijos reikšmė, taikiųjų žuvų tarpe, nustatyta kuojos raumenyse - 0,052 Bq/kg. gyv.sv, o plėšriųjų žuvų tarpe – ešerio raumenyse – 0,062 Bq/kg. gyv.sv.

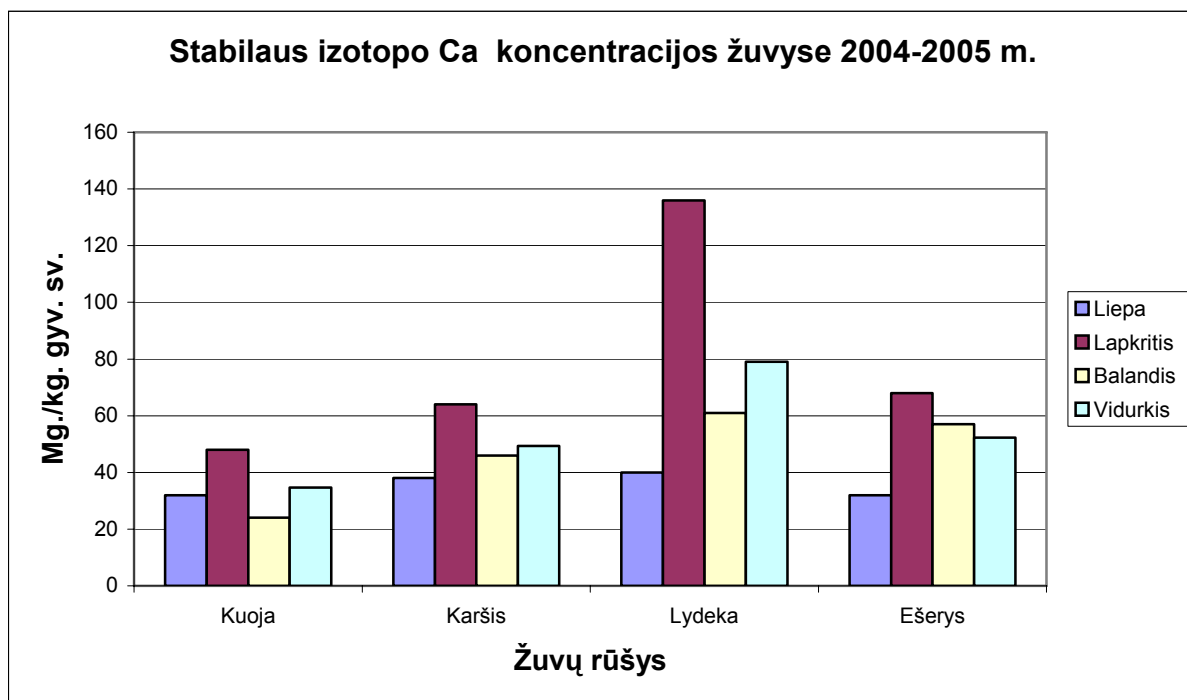
Maksimali  $^{90}\text{Sr}$  koncentracijos reikšmė nustatyta pavasarinio sugavimo žuvų raumenyse lyginant su rudeniniu sugavimu.

Vidutinė  $^{90}\text{Sr}$  koncentracija balandžio mėn. sugavimo žuvų raumenyse sudarė 0,076 Bq/kg. gyv.sv, vasaros – 0,040 Bq/kg. gyv.sv, o rudens sugavimo žuvyse ji sumažėjo 3,5 kartus ir siekė tik 0,021 Bq/kg. gyv.sv.

Esminės  $^{90}\text{Sr}$  koncentracijos priklausomybės nuo žuvų mitybos būdo, nenustatyta.

$^{90}\text{Sr}$  į žuvų raumenis per odą patenka sunkiai, nes 73-85 %  $^{90}\text{Sr}$  patekusio į odą sudaro netirpūs baltyminiai ir neorganiniai likutinės frakcijos ingredientai (Ильенко А.И., 1974). Mineralinė  $^{90}\text{Sr}$  apykaita tarp žuvų ir vandens vyksta ne taip aktyviai, tą rodo mažas  $^{90}\text{Sr}$  kiekis raumenyse, kuris kinta nuo 0,126 Bq/kg. gyv.sv. iki 0,013 Bq/kg. gyv.sv.

Kaip  $^{90}\text{Sr}$  analogas, buvo įvertintos stabiliojo izotopo kalcio sankaupos žuvų raumenyse ( $^{39}\text{Ca}$ ) (12 pav.).



**12 pav.**  $^{39}\text{Ca}$  koncentracijų lygmenys (mg./kg gyv.sv) Drūkšių ežero žuvyse 2004 m. liepos, lapkričio bei 2005 m. balandžio mėnesiais.

$^{39}\text{Ca}$  koncentracijų nustatymo žuvyse tyrimai parodė, kad priklausomai nuo jų rūšies bei mitybos specializacijos, šio stabiliojo izotopo vidutinė metinė koncentracija svyravo nuo 34,7 iki 79,0 Bq/kg. gyvo svorio (gyv.sv.)

Maksimalios stabiliojo kalcio reikšmės nustatytos lydekos raumenyse – liepos mėn. 136,0 mg./kg. gyv.sv. Minimalios šio radionuklido reikšmės nustatytos kuojos raumenyse – balandžio mėnesį 24 mg./kg. gyv.sv.

Buvo nustatyta, kad stabiliojo  $^{39}\text{Ca}$  koncentracija plėšriųjų žuvų (lydekos bei ešerio) raumenyse vidutiniškai buvo 1,6 karto didesnė, nei taikaus mitybos būdo karpinių žuvų. Tai galėtų reikšti, kad priklausomai nuo mitybos būdo, bentofaginėms ( taikiosioms) žuvisms būdingas intensyvesnis  $^{90}\text{Sr}$  kaupimasis raumenyse, nei ichtiofaginėms ( plėšriosioms) žuvisms. Minėtam radionuklidui kaupiantis aukštesnio trofinio lygio žuvyse, maisto vaidmuo didėja, t.y. išryškėja trofinių lygių efektas.

Tirtų žuvų (išskyrus lydekos) raumenyse išryškėjo sezoniniai kalcio kaupimo skirtumai. Stabiliojo kalcio  $^{39}\text{Ca}$  koncentracijos buvo didesnės lapkričio mėnesį sugautose žuvyse. Akivaizdu, kad daugiausia  $^{39}\text{Ca}$ , kaip gamtinės kilmės radionuklido  $^{40}\text{K}$  (  $^{137}\text{Cs}$  analogo akumuliuojasi raumenyse žuvisms esant pasyvaus maitinimosi, ramybės periodu. Be to, šaltuoju metų sezonu žuvisms būdinga gerokai lėtesnė medžiagų apykaita lyginant su šiltuoju metų periodu ( liepos, balandžio mėn.), kuomet medžiagų apykaitos procesai vyksta daug aktyviau skatindami greitesnį radionuklidų kaupimąsi žuvyse. Ištyrus vasaros sezonu ( liepos mėn.) sugautų žuvų raumenis, nustatytos mažiausios  $^{39}\text{Ca}$  ( išskyrus kuoją) reikšmės, kas galėtų priklausyti nuo aktyvaus žuvų maitinimosi, didesnio žuvų aktyvumo, aktyvesnių medžiagų apykaitos procesų, o atvirkščiai aptikta didesnės  $^{90}\text{Sr}$  koncentracijos.

Kaip minėta,  $^{90}\text{Sr}$  koncentracijos sumažėjimas žuvų raumenyse gali būti sąlygotas jų mineralizacijos – kalcio (Ca) koncentracijos žuvų raumenyse padidėjimu. Maksimali Ca koncentracija tirtų žuvų raumenyse nustatyta lapkričio mėn., esant žemiausiai  $^{90}\text{Sr}$  koncentracijai jose. Ca koncentracija ešeryje nuo 2004 m. lapkričio mėn. iki 2005 m. balandžio mėnesio ešeryje sumažėjo 1,2 karto, lydekoje - 2,2; karšyje- 1,4 ir kuojoje- 2,0 karto.

Žinoma, kad tarp  $^{90}\text{Sr}$  ir  $^{39}\text{Ca}$  egzistuoja konkurentiniai ryšiai, kai  $^{90}\text{Sr}$  organizmuose yra kaupiamas tik jame esant Ca trūkumui. Gauti dėsningumai rodo, kad tarp  $^{90}\text{Sr}$  ir Ca koncentracijų egzistuoja atvirkštinė priklausomybė, kai didėjant Ca kiekiui žuvų raumenyse,  $^{90}\text{Sr}$  koncentracija mažėja.

$^{90}\text{Sr}$  koncentracija tirtų žuvų raumenyse nuo 2004 m. lapkričio mėn. iki 2005 m. balandžio ešeryje padidėjo 8,4; lydekoje - 3; karšyje - 4,2 ir kuojoje -1,6 karto.

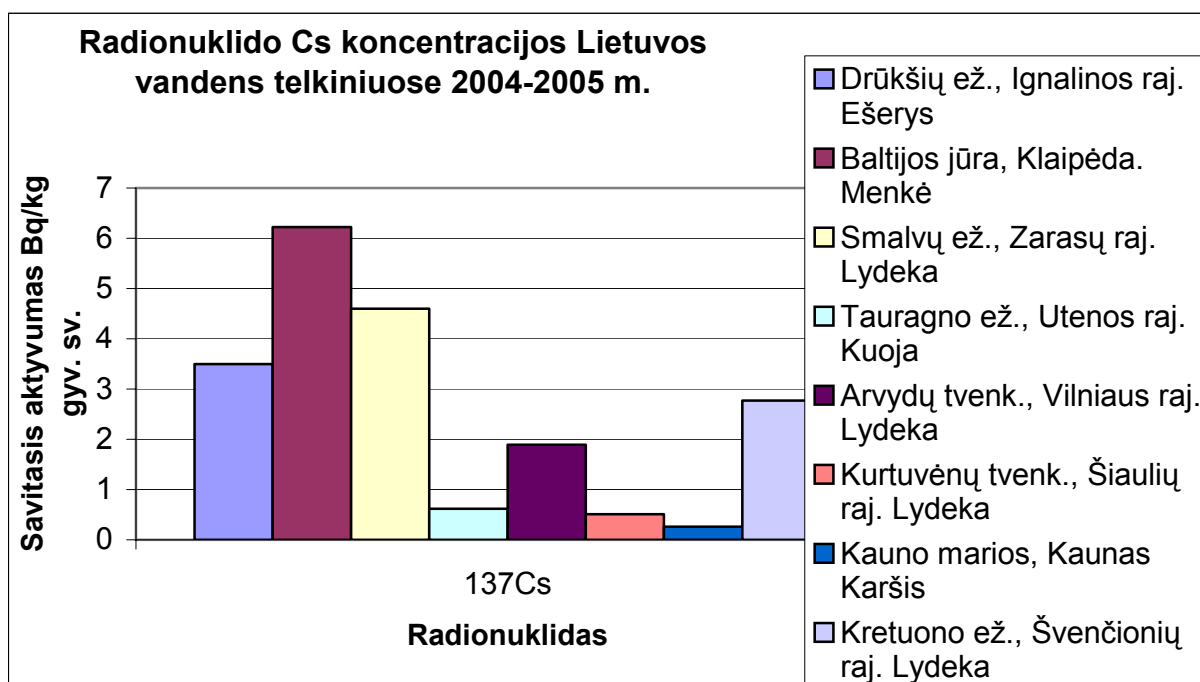
### 5.3. Lietuvos Respublikos vandens telkinių, žuvų užterštumas radioaktyviais izotopais.

Visi palyginamajai ekspertizei naudojami duomenys gauti pagal vykdytus tyrimus 2004 –2005 m. laikotarpiu. Palyginti su IAE vandens baseine – aušintuve gyvenančių žuvų radioužterštumu imta dar 7 Respublikos vandens telkiniu žuvys, t.y. nustatytos radionuklidų koncentracijų lygmenų vertės. Lietuvos vandenų žuvų radiacinio užterštumo lygmenys lyginami pagal ilgaamžių technogeninių radionuklidų  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  ir gamtinės kilmės radionuklido  $^{40}\text{K}$  sankaupas. Lyginant Drūkšių ežero žuvis su kitų vandens telkinių žuvimis, buvo imta ešerio ( gauta didžiausios radionuklidų koncentracijos lyginant su kitomis Drūkšių ež. žuvimis ) tyrimais gautų duomenų vidurkis ir likusių vandens telkinių įvairių žuvų rūšių bandinių tyrimų rezultatai. Žuvų įvairių Lietuvos vandens telkinių ( išskyrus Drūkšių ež.) tyrimų duomenys ekspertizei paimti iš Aplinkos apsaugos laboratorijos tyrimų rezultatų katalogų. Tiriant šias žuvis buvo naudojama tokia pati metodologija, tokie patys prietaisai, kaip ir aprašytieji ankstesniuose skyreliuose. Žuvų rūšys, kurios buvo pristatomos iš kitų telkinių yra gana įvairios, tad rezultatai lyginti neatsižvelgiant į rūšinę sudėtį.

Vertinant Lietuvos Respublikos vandens telkiniuose ar jos administracinei teritorijai priklausančiuose vandenyse pagautų bei tiriamų žuvų organizmuose gautas  $^{137}\text{Cs}$  koncentracijų vertes nustatyta, kad  $^{137}\text{Cs}$  koncentracijų vertės vandens telkinių žuvų organizmuose ( raumenyse) svyravo nedideliame intervale ir nebuvo labai aukštos ( **13 pav.**). Maksimali nustatyta  $^{137}\text{Cs}$  vertė siekė 6,22 Bq/kg., minimali – 0,26 Bq/kg. gyvo žuvies svorio.

Nustatyta, kad didžiausia šio radionuklido koncentracija aptikta Baltijos jūroje pagautoje *menkėje* – nustatytas savitasis aktyvumas 6,22 Bq/kg. gyvo svorio ( **13 pav.**). Taip yra todėl, kad jūros ( tame tarpe ir Baltijos), kaip ir vandenynai yra daugelio teršalų kaupimosi vieta. Dirbtinės kilmės radionuklidai patenka į upes, jūras ir vandenynus tiesiogiai su atmosferinėmis iškritomis bei atnešami su upių vandeniu iš viso drenažinio baseino. Baltijos jūra iš kitų pasaulio vandenyno jūrų išsiskiria, nes yra uždara, negili, joje lėta vandens apykaita ir maža mineralizacija. Baltijos jūros tarša radionuklidais stipriai padidėjo po Černobylio avarijos 1986 m. Cezis-137 yra vienas svarbiausių radionuklidų patekusių į Baltijos jūrą. Žymus jo kiekis susikaupė dugno nuosėdose. Patekęs į dugno nuosėdas cezis sąveikauja su jų dalelėmis, ši sąveika, priklausanti nuo dalelių amžiaus, organinės ir cheminės sudėties, įtakoja cezio aktyvumo nuosėdose dydį, vėliau ir jūroje gyvenančius hidrobiontus. ( Internetas). Vertėtų paminėti vieną iš stambiausių branduolinio kuro perdirbimo gamyklų – Silafildo ( Didžioji Britanija) gamyklą, kurios nuotekos iki 1985 metų buvo šalinamos į Šiaurės jūrą ir teoriškai turi galimybę įtakoti Baltijos jūros baseiną. ( Juraitytė A. ir kt., 2003).

Smalvų ežere ( Zarasų raj.) lydekoje nustatytas  $^{137}\text{Cs}$  lygmuo ( 4,60 Bq/kg.) nežymiai viršijo koncentracijos vertę, esančią Drūkšių ež. ešerio raumenyse ( 3,50 Bq/kg.). Tirtų žuvyse iš likusių vandens telkinių minėto nuklido aptikta mažiau.

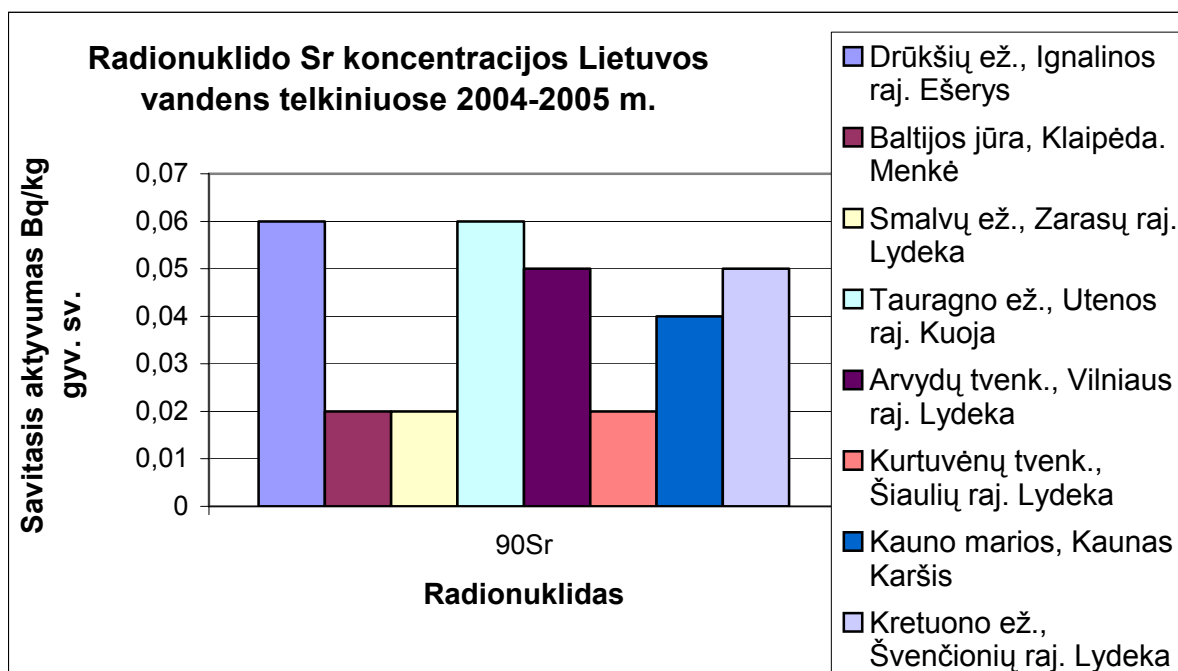


**13 pav.** Užterštumas radionuklidu ceziu ( $^{137}\text{Cs}$ ) 2004-2005 metų žuvų bandiniuose iš Lietuvos Respublikos vandens telkinių.

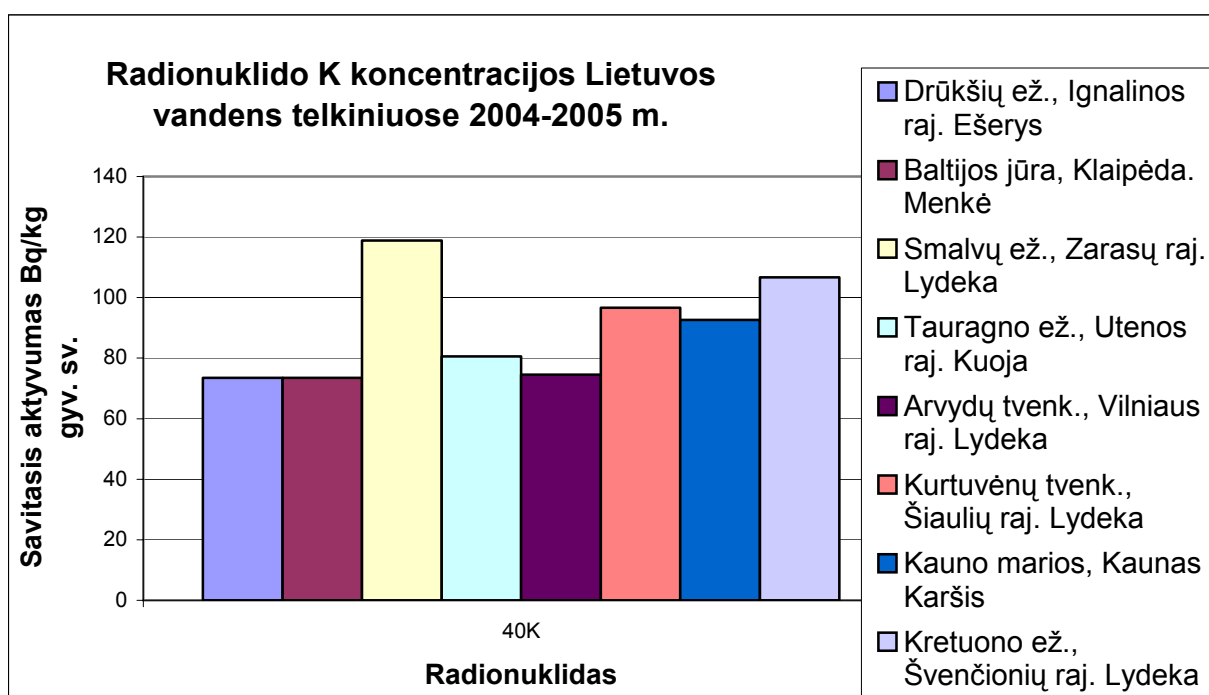
Vertinant Lietuvos Respublikos vandens telkiniuose ar jos administracinei teritorijai priklausančiuose vandenyse pagautų bei tiriamų žuvų organizmuose aptiktas  $^{90}\text{Sr}$  koncentracijas nustatyta, kad  $^{90}\text{Sr}$  koncentracijų vertės vandens telkinių žuvų organizmuose ( raumenyse) svyravo nedideliame intervale ir nebuvo labai aukštos ( **14 pav.**). Maksimali nustatyta  $^{90}\text{Sr}$  vertė siekė 0,06 Bq/kg., minimali – 0,02 Bq/kg. gyvo žuvies svorio. Drūkšių ežere pagautame ešeryje kaip ir kuojoje, sugautoje Tauragno ežere ( Utenos raj.) šio radioizotopo koncentracija rasta vienoda - po 0,06 Bq/kg. Dėl tyrimų metu aptiktų nedidelių koncentracijų verčių esminių ypatumų pagal  $^{90}\text{Sr}$  pasiskirstymą Lietuvos vandenų žuvyse nepastebėta.

Vertinant Lietuvos Respublikos vandens telkiniuose ar jos administracinei teritorijai priklausančiuose vandenyse pagautų bei tiriamų žuvų organizmuose aptiktas gamtinės kilmės radionuklido  $^{40}\text{K}$  koncentracijas, nustatyta, kad  $^{40}\text{K}$  koncentracijų vertės vandens telkinių žuvų organizmuose ( raumenyse) svyravo nedideliame intervale ( išskyrus- lydekoje, pagautoje Smalvų ež. ( Zarasų raj.) ir nebuvo labai aukštos ( **15 pav.**). Maksimali nustatyta  $^{40}\text{K}$  vertė siekė 118,8 Bq/kg., minimali – 73,5 Bq/kg. gyvo žuvies svorio. Didžiausia

koncentracijos vertė aptikta lydekoje, pagautoje Smalvų ež.( Zarasų raj.), mažiausios – Drūkšių ež. ešeryje ir Baltijos jūros menkėje – atitinkamai po 73,5 Bq/kg.



14 pav. Užterštumas radionuklidu stronciu ( $^{90}\text{Sr}$ ) 2004-2005 metų žuvų bandiniuose iš Lietuvos Respublikos vandens telkinių.



15 pav. Užterštumas radionuklidu kaliu ( $^{40}\text{K}$ ) 2004-2005 metų žuvų bandiniuose iš Lietuvos Respublikos vandens telkinių.

$^{40}\text{K}$  koncentracija, aptikta Smalvų ež. lydekoje, galėjo būti dėl intensyvių mineralizacijos procesų, vykstančių minėtame vandens telkinyje.

Gauti tyrimų rezultatai rodo, kad žuvų iš Drūkšių ežero radiologinė tarša radionuklidais nesiskiria nuo kitų Lietuvos atvirųjų vandens telkinių žuvų taršos ir palyginus su leidžiamais lygiais yra labai nedidelė.

## 6. IŠVADOS

1. Ištirtuose Drūkšių ežero žuvų bandiniuose nustatytas cezio ( $^{137}\text{Cs}$ ) aktyvumas neviršijo ES tarybos reglamente (EEC) 737/90 “ Didžiausi leistini cezio izotopų aktyvumo lygiai, taikomi žemės ūkio produktams po Černobylio atominės elektrinės avarijos” nurodytos higienos normos leistinių lygių (t.y. 600 Bq/kg.) ir tesudaro tik šimtasias leistinių lygių dalis.
2. Sąlyginai didesni cezio ( $^{137}\text{Cs}$ ) savitieji aktyvumai pastebėti Drūkšių ežero lydekose bei ešeriuose, lyginant su taikiosiomis žuvimis – karšiais ir kuojomis. Tai patvirtina, kad šio radionuklido akumuliacijos proceso intensyvumas priklauso nuo žuvų rūšinės specifikos bei mitybos būdo, t.y.  $^{137}\text{Cs}$  kaupimuisi būdingas trofinių lygių efektas.
3. Gamtinės kilmės radionuklido kalio ( $^{40}\text{K}$ ) savitasis aktyvumas, kuris nėra higieniškai normuojamas, priklauso nuo žuvies rūšies bei sugavimo laiko, yra nuo 61,3 Bq kuojose iki 89,2 Bq/kg. gyv.sv. ešeriuose.
4. Nustatytas radioaktyvaus stroncio ( $^{90}\text{Sr}$ ) savitasis aktyvumas Drūkšių ežero žuvyse yra labai nežymus ir daugelį kartu mažesnis už gamtinio radionuklido ( $^{40}\text{K}$ ) aktyvumą, o tai leidžia čia sugautą žuvį be apribojimų vartoti maistui ar kitoms reikmėms.
5. Žuvų iš Drūkšių ežero radiologinė tarša tirtais ilgaamžiais antropogeninės kilmės radionuklidais ( $^{137}\text{Cs}$  ir  $^{90}\text{Sr}$ ) nesiskiria nuo kitų tirtų vandens telkinių žuvų taršos ir yra labai nedidelė.
6. Radiologinius tyrimus žuvyse iš Drūkšių ežero būtina atlikti periodiškai nuolat dėl galimų išmetimų iš IAE – esant pokyčiams darbinuose procesuose - elektrinės uždarymo metu.

**BIBLIOGRAFINIS APRAŠAS**

1. Aarkrog A. Man – made radioactive contamination of the biosphere – A 50 years retrospective. Riso National Laboratory, Riso-R-756 (EN), Denmark, 1994, p. 23-34.
2. Acta hydrobiologica Lituanica. Lietuvos hidrobiologų draugija. Vilnius., 2000. P. 3-8; 82-90, 213-215.
3. Astrauskas A., Bernotas E. Ichtiologinė Drūkšių ežero ekspertizės ataskaita. Ežero ichtiologinė būklė (1984-1994). Ekologijos institutas. Vilnius, 1996. 14p.
4. Atominė energetika ir aplinka. Mokslo programos “Atominė energetika ir aplinka” Tarybos leidinys. Vilnius., 1993., 70 p.
5. Baubinas R., Taminskas J., Balevičiūtė J., Paškauskas R. Regioninė geografija. Geografiniai ir ekologiniai Ignalinos AE regiono subalansuoto vystymo strategijos aspektai. Geografijos ir Botanikos institutai. Vilnius., 1998., P.331-368.
6. Bernotas E. Žuvų produkciniai procesai termogradientinėse sistemose. Daktaro disertacijos santrauka. Ekologijos Institutas. V.: 2001. P. 4-21.
7. Bubinas A., Bukelskis E. Gėlavandenių hidrocentrų struktūra ir jų tyrimo metodai. Vilniaus universiteto leidykla, 1998., P. 59-97.
8. Chernobyl and Finland. STUK Finish Center for Radiations and Nuclear safety. Helsinki, 1987., P.14.
9. Commission Recommendation of 8 June 2000 on the application of Article 36 of Euroatom Treaty concerning the monitoring of the levels of radioactivity in the environment for the purpose of assessing the exposure of the population as a whole, Official Journal of the European Communities L 191/37, 27/7/2000.
10. Council Directive 96/29 EUROATOM of 13 May 1996 laying down basic safety standards for the protection of the health of workers and the general public against the dangers arising from ionizing radiation, Official Journal of the European Communities L 159/1, 26/6/1996.
11. Daukšas K. Chemija ne chemikams. Vilnius:., 1966. P .29-32.
12. Gaigalas K. Kuršių marių baseino žuvys ir žvejyba. Klaipėda, 2001. P. 67-83, 118-128, 97-202.
13. Hahn G.S. Strontium is a potent and selective inhibitor of sensory irritation. Dermatol Surg. 1999; 25(9): 689 – 694.
14. Heinrich D., Hergt M. Ekologijos atlasas. Vilnius, 2000., P. 205
15. Ignalinos AE: žmogaus gyvenimo ir veiklos sąlygos. Mokslinių straipsnių rinkinys. Lietuvos filosofijos ir sociologijos institutas. Vilnius – Visaginas., 1998., P. 39 – 42.



16. Juraitytė A., Ladygienė R., Skripkienė A., Žukauskaitė V. Žuvų iš Drūkšių ežero radiologiniai tyrimai. Tyrimų ataskaita. Radiacinės saugos centras. V.: 2003. 10 p.
17. Jurgelevičienė I. Drūkšių regiono hidrografija. Vilnius, 1983. P. 6-15.
18. Kilkus K. Lietuvos vandenu geografija. Vilnius, 1998. 249 p.
19. Lietuviškoji enciklopedija (2). Vyriausioji enciklopedijų redakcija. Vilnius, Mokslas 1977., P. 369.
20. Lietuviškoji enciklopedija. Vyriausioji enciklopedijų redakcija. Vilnius, Mokslas 1983. P. 439.
21. Marčiulionienė D., Petkevičiūtė D. Technogeninių radionuklidų akumuliacijos gėlavandenėse žuvyse ypatumai // Ekologija Nr. 3. 1997., P. 44 – 47
22. Mėgėjiška žuvininkystė – galimybės ir problemos. 2-osios žuvininkų mokslinės – praktinės konferencijos pranešimų leidinys. Lietuvos hidrobiologų draugija. Vilnius., 2005., 31 p.
23. Rotkytė L. Retieji metalai. Valstybinė politinės ir mokslinės literatūros leidykla, Vilnius – 1962., P.6-17.
24. Rozovskis G., Jankauskas R. Ateities metalai. Vilnius., 1969., P.11 – 12.
25. Tretjakovas D., Dainenka V., Kesleris A. Chemija. Leidinys aukštųjų mokyklų studentams. Vilnius, 1984., P.105.
26. Tumas R. Vandens ekologija. Kaunas, 2003., P.195-268.
27. Virbickas J. Lietuvos žuvis. Ekologijos institutas. V.: 2000. P. 41, 45, 62, 92.
28. Virbickas J. The structure and changes of fish communities. Hydro biological Research in the Baltic countries. Part I. Rivers and lakes. Institute of Ecology. Vilnius., 1999., P. 174 – 181.
29. Wahlstrom B., Nedveckaitė T., Skardžinskienė V. “Ar pavojinga radiacija ? Radiacija...jei įvyktų avarija atominėje elektrinėje”. LR krašto apsaugos ministerija. Vilnius., 2001., P. 37; 67.
30. Zhai H., Hannon W., Hahn G.S., Pelosi A., Harper R. A, Mailbach H. I. Strontium nitrate suppresses chemically – induced sensory irritation in humans. Contact Dermatitis 2000; 42(2) P. 98 – 100.
31. Žuvininkystė Lietuvoje II. Lietuvos hidrobiologų draugija, Lietuvos žemės ūkio ministerija, Žuvų ūkio departamentas, ekologijos institutas. Vilnius., 1996. P. 253-254.
32. Žuvininkystė Lietuvoje V. Lietuvos hidrobiologų draugija. Vilnius., 2002., P. 87 – 94.

33. Буянов Н., Киряева Л., Лаптев Л. Накопления и выведение искусственных радионуклидов организмами пресноводных рыб // Экология. №4., 1983., С. 35-37.
34. Ильенко А.И. Миграция Стронция-90 и Цезия-137 в зооценозе пресноводного водоема. Концентрирование животными радиоизотопов и их влияние на популяцию. М.: Наука.1974. с. 73-75.
35. Куликов Н.В., Молчанова И.В. Континентальная радиобиология. М.: Наука.1975. 183 с.
36. Марчюленене Д., Душаускене-Дуж Р., Мотеюнене Э., Швобене Р. Радиохемозкологическая ситуация в оз. Друкшай водоема-охладителя Игналинской АЭС. Вильнюс "ACADEMIA" 1992., 215 с.
37. Марчюленене Д.П., Мотеюнене Э., Шулиене Р. Ю. Влияние некоторых факторов на миграцию радионуклидов в водоеме – охладителе АЭС. Тез. докл. У съезда ВГО. Куйбишев, 1986., С. 209-214.
38. Поликарпов Г.Г. Радиоэкология морских организмов. М.Ж Атомиздат, 1964., 294 с.
39. Рябов И. Оценка воздействия ионизирующего облучения на рыб и круглоротых в разные периоды онтогенеза. Радиационное загрязнение и биоценозы. Москва., 2000., С. 15-25.
40. Флейшман Д. Г. О путях поступления радиоизотопов в организ рыб. Проблемы радиоэкологии водных организмов. Свердловск. 1971., С. 123 –128.
41. Ярмоненко С.П. Радиобиология человека и животных. М.: Высшая школа. 1988., 424 с.
42. Internetas:  
<http://seras/Litlex/ll.dll>  
<http://www.am.lt/LSP/files/VAMP.pdf>  
[http://www.am.lt/VI/article.php3?article\\_id=3094](http://www.am.lt/VI/article.php3?article_id=3094)  
[http://www.am.lt/VI/article.php3?article\\_id=3583](http://www.am.lt/VI/article.php3?article_id=3583)  
<http://www.am.lt/VI/files/0.703758001105445784.doc>  
[http://aaa.am.lt/article.php3?article\\_id=1159](http://aaa.am.lt/article.php3?article_id=1159)  
<http://www.euratom.org>  
[http://www.iae.lt/ecology/Non-radioactive%20Environmental%20Contamination%202003\\_lt.doc](http://www.iae.lt/ecology/Non-radioactive%20Environmental%20Contamination%202003_lt.doc)  
[http://www.iae.lt/inpp\\_lt.asp?lang=3&subsub=12](http://www.iae.lt/inpp_lt.asp?lang=3&subsub=12)  
<http://www.rsc.lt/spin/lygiai.html>  
<http://www.viti.lt/n=4.html>

## PRIEDAI

### Naudojamų sąvokų žodynėlis

**Aktyvumas** - radionuklidų kiekis, tam tikru metu esantis tam tikros energetinės būsenos.

**Radioaktyvumas** – savaiminis atomo branduolio skilimas, kai spinduliuojamos alfa, beta dalelės, gama spinduliai ir kt.

**Izotopai** – to paties cheminio elemento atomai, turintys vienodą protonų skaičių, bet skirtingą ir kintantį neutronų skaičių. Tas pats cheminis elementas gali turėti keletą izotopų.

**Nuklidai. Radionuklidai** – atomai, turintys tam tikrą protonų ir neutronų skaičių. Jie vadinami radionuklidais, jei atomų branduoliams būdingas savaiminis skilimas.

**Savitasis aktyvumas** - mėginio aktyvumo ir jo masės santykis. Vienetas: Bq/kg;

**Bekerelis ( Bq.)** – Tarptautinės vienetų sistemos radioaktyviosios medžiagos aktyvumo, kai per vieną sekundę įvyksta vienas atomo branduolio skilimas, vienetas. Sutrumpintai Bq. ( pagal fiziko A. Bekerelio ( Becquerel) pavardę.

**Didžiausias leistinas aktyvumo lygis** – maisto produktų bei geriamojo vandens didžiausias taršos radioaktyviosiomis medžiagomis lygis, kuris nulemia apšvitos jonizuojančiąja spinduliuote dozę ir nesukelia žmogaus organizme pataloginių pokyčių, šiuo metu nustatomų medicininės diagnostikos metodais.

**Alfa dalelės** – sudarytos iš dviejų neutronų ir dviejų protonų. Dėl didelės masės jonizuoja daug atomų. Į kūno audinius jos prasiskverbia iki kelių dešimčių mikrometrų, ore lekia ne daugiau nei 10 cm. Apsisaugoti nuo alfa dalelių nesudėtinga. Jas sugeria drabužiai, rašomojo popieriaus lapas, netgi didesnis oro tarpas. Tačiau dėl didelės jonizuojančiosios galios jos yra labai pavojingos, kai patenka žmogaus organizmą įkvepiant orą ar su maistu.

**Beta dalelės** – elektronų srautai. Palyginus su alfa dalelių mase, jų masė apie 7000 kartų mažesnė, todėl jonizacijos intensyvumas yra mažas. Beta dalelės ore lekia keletą metrų, į gyvus organizmus prasiskverbia iki vieno centimetro. Jas sulaiko jau nebe popieriaus lapas, bet storoka knyga, storesnė kaip 1 cm. organinio stiklo plokštė.

**Gama ( gama kvantai) spinduliai** –labai trumpos elektromagnetinės bangos. Jas spinduliuoja sužadinti atomų branduoliai, išlėkus alfa arba beta dalelėms. Ore šie spinduliai sklinda šimtus metrų, lengvai prasiskverbia į gyvųjų organizmų audinius perduodami energiją elektronams.

**Neutronai** – neutralios, neturinčios elektros krūvio, dalelės. Jų masė beveik 2000 kartų didesnė už elektrono masę. Šios dalelės, pavyzdžiui, skleidžiamos urano ir plutonio branduolių vykstant jų dalijimosi reakcijoms. Neutronai stabiluosius atomus gali paversti radioaktyviaisiais, dėl to yra ypač pavojingi.

**Jonizacija** - procesas, kurio metu neutralūs atomai arba molekulės paverčiamos jonais arba jonas paverčiamas kitos jonizacijos jonu, netekdamas kito elektrono. Jonas - atomas ar molekulė, netekusi vieno ar daugiau elektronų (teigiamas jonas) arba prisijungusi vieną ar daugiau elektronų (neigiamas jonas).

**Pusėjimo trukmė ( skilimo pusamžis)** - vidutinis laiko tarpas, per kurį suskyla pusė radioaktyviojo izotopo branduolių.

**Detektorius** - įtaisas spinduliuotei aptikti;

**Detektavimo riba** - mažiausias išmatuojamas mėginio aktyvumas;

**Ėminys, bandinys**- medžiaga, paruošta siųsti į laboratoriją, ir skirta bandymams;

**Kalibravimas** - eksperimentinis matavimo priemonės rodmenų susiejimas su atitinkamo matuojamojo dydžio vertėmis;

**Spektrometrinės sistemos energetinis kalibravimas** - eksperimentinis kanalo numerio susiejimas su kvantų energija;

**Mėginys** - ėminio medžiagos kiekis, kurios bandymas ir stebėjimas atliekamas tiesiogiai;

**Matavimo paklaida** - matuojamojo dydžio matavimo rezultato ir tikrosios matuojamojo dydžio vertės skirtumas;

**Spektrometrinės sistemos efektyvumas** - tikimybė, kad spektrometrinė sistema užregistruos iš gama spinduliuotės šaltinio išspinduliuotą gama kvantą;

**Sertifikuotas standartinis radionuklidų tirpalas** - tirpalas su tiksliai žinomais radionuklidų tūriniais aktyvumais, kuriame esančių radionuklidų tūrinių aktyvumų nustatymas yra patvirtintas sertifikatu;

**Skyra** - rodmenų įtaiso rodmenų skirtumas, kurį dar galima reikšmingai suvokti;

**Pamatinis šaltinis** - tiksliai žinomo aktyvumo (arba savitojo aktyvumo) jonizuojančiosios spinduliuotės šaltinis, skirtas kalibruoti;

**Sertifikuotas pamatinis šaltinis** - tiksliai žinomo aktyvumo (arba žinomo savitojo aktyvumo) jonizuojančiosios spinduliuotės šaltinis, kuriame esančių radionuklidų aktyvumų nustatymas patvirtintas sertifikatu;

**Laboratorijos (darbinis) pamatinis šaltinis** - kalibruoti skirtas jonizuojančiosios spinduliuotės šaltinis, pagamintas iš sertifikuoto standartinio tirpalo (medžiagos).

## GAMA SPEKTROMETRINĖ SISTEMA

Gama spektrometrinė sistema susideda iš gryno germanio arba germanio su įterptu ličiu detektoriaus, elektrinių impulsų stiprinimo, formavimo, analizės ir registravimo elektroninės įrangos, apsauginio šarvo bei maitinimo šaltinio. Paprastai į šiuolaikinių spektrometrinių sistemų sudėtį įeina ir kompiuteris su specialia spektrometrinės sistemos valdymo bei spektrų apdorojimo programine įranga.

Detektorius yra pagrindinis spektrometrinės sistemos elementas. Jis gali būti koaksialinės ( jautri sritis yra iš detektoriaus galo ir šonų), plokščios ( jautri sritis yra iš detektoriaus galo) arba “šulinio” formos ( detektoriaus jautrioje srityje yra mėginiui skirta ertmė). Koaksialiniai detektoriai yra tinkamiausi, kai tenka matuoti didelio tūrio mažai aktyvius ( dažniausiai neapdorotus) mėginius. Jie paprastai naudojami su Marinelli formos ( turinčiais detektoriaus skersmenį atitinkančią ertmę) matavimo indais. Plokšti detektoriai dažniau naudojami su cilindro ar lėkštelės formos matavimo indais.

Gama spektrometrai su puslaidininkiais detektoriais pasižymi labai gera skyra ( skiriamąja geba). Naudojant gryno germanio detektorius, galim atskirti gama kvantus, kurių energijos skiriasi ne mažiau kaip 1,5, o naudojant germanio su ličio priemaiša detektorius – ne mažiau kaip 3-5 keV. Kartais naudojamų blyksninių ( scintiliatorinių) detektorių skyra nėra pakankama radionuklidams identifikuoti, todėl jie ne visada gali būti taikomi matuoti aplinkos mėginių aktyvumus.

Germanio detektoriai veikia tik esant žemai temperatūrai. Todėl jie šaldomi skystu azotu ( kartais naudojami elektriniai šaldytuvai).

Siekiant sumažinti išorinės spinduliuotės įtaką, detektorius ir matuojamasis mėginys įdedami į švino arba geležies šarvą 5-10 cm. sienelėmis. Naudotinas “senas” švinas, kuriame yra mažiau radioaktyviojo  $^{210}\text{Pb}$  ( pusėjimo trukmė – 21 metai). Matuojant 50-100 keV energijų intervale, siekiant išvengti neigiamo švino Rentgeno spinduliuotės poveikio, šarvas iš vidaus padengiamas kelių milimetrų storio vario ir kadmio sluoksniais.

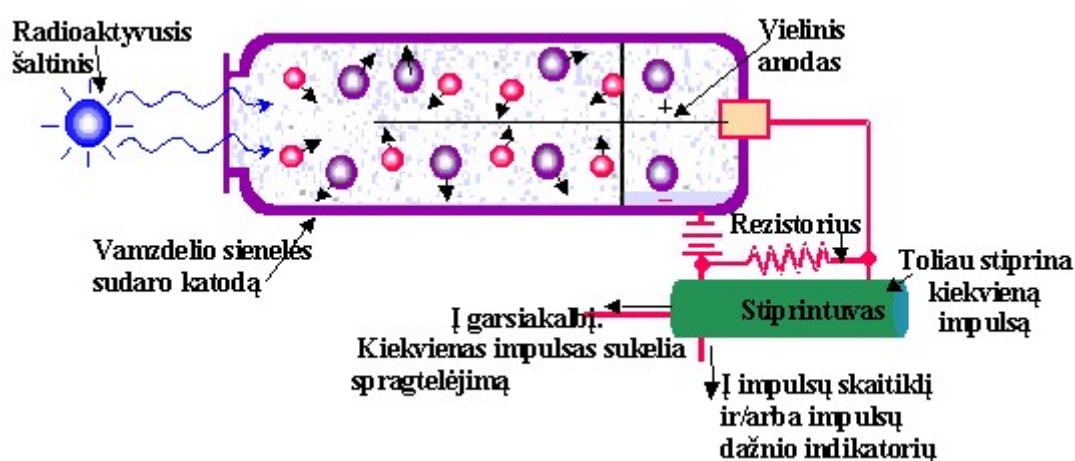
Gama spektrometrinėse sistemose detektorius ir pradinis stiprintuvas paprastai būna sumontuoti viename bloke, o elektrinių impulsų stiprintuvas, keitiklis ir analizatorius – kitame ( dažnai vietoje stiprintuvo, impulsų analizatoriaus bei spektrų a[apdorojimo įrenginio naudojamas kompiuteris). Detektoriuje susidarę impulsai formuojami, stiprinami, o vėliau analizuojami ir saugomi kompiuterio atmintyje. Speciali gama spektrų apdorojimo programinė įranga leidžia identifikuoti radionuklidus bei suskaičiuoti jų aktyvumus. Automatiškai apdorojant spektrus, operatoriaus darbas būna efektyvus, tačiau galimos klaidos: neteisingai įvesti duomenys, netinkamai identifikuoti radionuklidai ar apdorotas

spektras. Operatorius turi būti pakankamai kvalifikuotas ir patyręs, kad galėtų teisingai įvertinti gautus rezultatus.

## RADIOMETRINĖ SISTEMA

Radiometrinę sistemą sudaro tiriamasis Geigerio-Miulero skaitiklis, reguliuojamas įtampos šaltinis, impulsų skaičiavimo įtaisas ir spinduliavimo šaltinis.

Radiometrai yra tikslūs bei profesionalūs prietaisai, kurie leidžia ne tik sekti spinduliavimo lygį, bet ir tiksliai jį išmatuoti plačiame energijos diapazone. Prietaisas, susidedantis iš Geigerio ir Miulero vamzdelio, impulsų skaitiklio ir/arba impulsų dažnio indikatoriaus, o dažnai ir garsiakalbio. Vamzdelis pripildytas dujų ir turi du elektrodus: jo sienelės veikia kaip katodas, o centre įtaisytas vielinis anodas. Prietaisas užfiksuoja spinduliuotę, registruodamas tarp elektrodų tekančios srovės impulsus. Jie atsiranda dėl jonizacijos, kurią dujose sukelia spinduliuotė ( dažniausiai mažo slėgio argone, į kurią įmaišyta boro). Elektroninis impulsų skaitiklis registruoja impulsus, o impulsų dažnio indikatorius matuoja tų impulsų greitį — vidutinį impulsų skaičių per sekundę. Veikimas: spinduliuotei patekus pro ploną langelį, kiekviena dalelė ar spindulys jonizuoja dujų atomus. Katodas traukia jonus, anodas — elektronus. Susidurdami su kitais atomais, jonai ir elektronai sukelia griūtį. Anodas pagauna elektronus, o katodas juos „nustumia“ ( leisdamas jonams vėl virsti neutraliais atomais). Praskriejus kiekvienai dalelei ar spinduliui, grandinėje atsiranda srovės impulsas ( sustiprintas griūtis).



Geigerio-Miulero skaitiklis

## Gautieji tyrimų rezultatai

1 lentelė. Radionuklido  $^{137}\text{Cs}$  koncentracija (Bq/kg gyv.sv) Drūkšių ežero žuvyse 2004 m. liepos, lapkričio bei 2005 m. balandžio mėnesiais

Žuvų rūšis	Audinys	$^{137}\text{Cs}$ savitasis aktyvumas Bq/kg gyv.sv			
		07	11	04	vidurkis
Kuoja	raumenys	1,1	0,7	0,8	0,9
Karšis	raumenys	0,9	0,8	0,8	0,8
Lydeka	raumenys	2,4	1,8	2,8	2,3
Ešerys	raumenys	3,9	2,8	3,7	3,5

2 lentelė.  $^{40}\text{K}$  koncentracija (Bq/kg gyv.sv) Drūkšių ežero žuvyse 2004 m. liepos, lapkričio bei 2005 m. balandžio mėnesiais

Žuvų rūšis	Audinys	$^{40}\text{K}$ savitasis aktyvumas Bq/kg gyv.sv			
		07	11	04	vidurkis
Kuoja	raumenys	78,0	71,3	61,3	70,2
Karšis	raumenys	63,1	84,5	61,8	69,8
Lydeka	raumenys	68,0	74,6	63,5	69,0
Ešerys	raumenys	66,4	89,2	65,0	73,5

3 lentelė.  $^{137}\text{Cs}/^{40}\text{K}$  santykis Drūkšių ežero žuvyse 2004 m. liepos, lapkričio bei 2005 m. balandžio mėnesiais

Žuvų rūšis	Audinys	$^{137}\text{Cs}/^{40}\text{K}$		
		07	11	04
Kuoja	raumenys	0,01	0,01	0,01
Karšis	raumenys	0,02	0,01	0,01
Lydeka	raumenys	0,03	0,02	0,04
Ešerys	raumenys	0,04	0,04	0,06

4 lentelė.  $^{90}\text{Sr}$  koncentracija (Bq/kg gyv.sv) Drūkšių ežero žuvyse 2004 m. liepos, lapkričio bei 2005 m. balandžio mėnesiais

Žuvų rūšis	Audinys	$^{90}\text{Sr}$ savitasis aktyvumas Bq/kg gyv.sv			
		07	11	04	vidurkis
Kuoja	raumenys	0,052	0,040	0,064	0,052
Karšis	raumenys	0,049	0,017	0,072	0,046
Lydeka	raumenys	0,014	0,013	0,040	0,022
Ešerys	raumenys	0,052	0,015	0,126	0,062

5 lentelė. Ca koncentracija (mg./kg gyv.sv) Drūkšių ežero žuvyse 2004 m. liepos, lapkričio bei 2005 m. balandžio mėnesiais.

Žuvų rūšis	Audinys	<sup>39</sup> Ca mg./kg gyv.sv			
		07	11	04	vidurkis
Kuoja	raumenys	32	48	24	34,7
Karšis	raumenys	38	64	46	49,3
Lydeka	raumenys	40	136	61	79,0
Ešerys	raumenys	32	68	57	52,3

6 lentelė. Žuvų tarša radioizotopais ceziu bei stronciu 2004-2005 metų bandiniuose iš Lietuvos Respublikos vandens telkinių.

Nr.	Vandens telkinio pavadinimas	Žuvų rūšis	Pristatymo data	Savitasis aktyvumas Bq/kg gyv.sv		
				<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	<sup>40</sup> K
1.	Drūkšių ež., Ignalinos raj.	Ešerys	2004 -2005 metai	3,50	0,06	73,5
2.	Baltijos jūra, Klaipėda.	Menkė	2004.10.25	6,22	0,02	73,5
3.	Smalvų ež., Zarasų raj.	Lydeka	2004.11.15	4,60	0,02	118,8
4.	Tauragno ež., Utenos raj.	Kuoja	2004.11.21	0,62	0,06	80,6
5.	Arvydų tvenk., Vilniaus raj.	Lydeka	2004.11.12	1,89	0,05	74,5
6.	Kurtuvėnų tvenk., Šiaulių raj.	Lydeka	2004.10.25	0,51	0,02	96,6
7.	Kauno marios, Kaunas	Karšis	2004.09.29	0,26	0,04	92,6
8.	Kretuono ež., Švenčionių raj.	Lydeka	2004.09.15	2,77	0,05	106,7