Vilniaus universitetas

Fizikos fakultetas

Bendrosios fizikos ir spektroskopijos katedra

Laura Jokubaitytė

LIETUVOS VAIKŲ SKYDLIAUKĖS APŠVITOS DOZIŲ PRIKLAUSOMYBĖS NUO AMŽIAUS IR JODO DEFICITO TYRIMAS PO ČERNOBYLIO AE AVARIJOS

Pagrindinių studijų baigiamasis darbas

Energetikos fizikos studijų programa

Studentė	Laura Jokubaitytė
Darbo vadovas	dr. Evaldas Maceika
Recenzentas	dr. Andrius Poškus
Katedros vedėjas	prof. Valdas Šablinskas

Vilnius 2016

TURINYS

ĮVADAS ... **3**
1. TEORIJOS APŽVALGA ... **4**
1.1 Jonizuojančioji spinduliuotė ir poveikis vaikams ... **4**
1.2 Pagrindiniai dydžiai, aprašantys jonizuojančiosios spinduliuotės dozes ... **5**
1.3 Jodas ... **6**
1.3.1. Jodo migracija ir metabolizmo procesai ... **6**
1.4 Tiesioginiai matavimo metodai ... **7**
1.5 Radioaktyviųjų iškritų nugairinimas nuo augmenijos paviršiaus ... **8**
1.6 Černobylio avarija ... **9**
1.7 Skydliaukė ... **12**
2. VIDINĖS APŠVITOS ĮVERTINIMAS ... **13**
2.1 Skydliaukės dozės įvertinimas naudojant bio – kinetinį modelį ... **14**
2.2 Skydliaukės dozės įvertinimas naudojant apykaitos modelį ... **18**
3. TYRIMO METODIKA ... **26**
3.1 Skydliaukės apšvitos dozių vertinimo metodika ... **26**
3.2 Skydliaukės apšvitos dozių įvertinimas ... **33**
3.3 Bandinių, paimtų įvairiuose Lietuvos rajonuose, aktyvumo vertinimo metodika ... **37**
3.4 Kontrolinis palyginimas ^{131}I aktyvumo, gauto iš surinktų matavimo bandinių, su gauta doze vaikų skydliaukei ... **39**
PAGRINDINIAI REZULTATAI IR IŠVADOS ... **41**
SUMMARY ... **42**
SANTRAUKA ... **43**
LITERATŪRA ... **44**
PRIEDAI ... **46**
1 priedas. Skydliaukės apšvitos dozių įvertinimas įvairiuose Lietuvos rajonuose po Černobylio AE avarijos nuo amžiaus, esant stabilaus jodo pakankamam kiekiui skydliaukėje.
2 priedas. Skydliaukės apšvitos dozių įvertinimas įvairiuose Lietuvos rajonuose po Černobylio AE avarijos nuo amžiaus bei stabilaus jodo trūkumo.

ĮVADAS

Nuo atominių elektrinių naudojimo pradžios iki šių dienų yra užregistruota per 150 avarijų, susijusių su įvairiais branduoliniais įrenginiais. Šių katastrofų padariniai žmonėms ir aplinkai ne visuomet pasireiškia iš karto. Tai priklauso nuo išmestų radionuklidų kiekio bei jų savybių. Iš mums jau žinomų avarijų, viena iš didžiausių buvo 1986 m. įvykusi Černobylio atominės elektrinės avarija Ukrainoje. Pirmosiomis AE avarijos dienomis radioaktyviosiose išmetose vyravo ^{131}I, ^{89}Sr, ^{132}Te ir inertinės dujos. Avarijos metu į aplinką pateko 1760 PBq radioaktyvaus jodo, 320 PBq ^{132}Te, 2000 PBq ^{89}Sr. Radioaktyvusis debesis su ^{131}I neaplenkė ir Lietuvos. ^{131}I kaupiasi skydliaukėje, slopina jos funkciją. Kadangi skydliaukė yra nedidelis organas, mažos ^{131}I dozės gali kelti grėsmę žmonių sveikatai, ypatingai mažiems vaikams, todėl vienas pagrindinių tikslų po AE katastrofų – apšvitos dozių įvertinimas. Dėl šios priežasties, šiame darbe bus tiriamos vaikų skydliaukės apšvitos dozių priklausomybės nuo amžiaus ir jodo deficito Lietuvoje po Černobylio AE avarijos. Taip pat bus patikrinta paimtų bandinių aktyvumo dirvožemyje ir įvertintos dozės koreliacija įvairiuose Lietuvos rajonuose. Tam bus naudojama jau turima, moksliškai aprobuota informacija bei paimtų bandinių aktyvumo matavimų duomenys. [1].

Šio darbo tikslas yra įvertinti vaikų skydliaukės apšvitos dozes, esant stabilaus jodo pakankamumui ir trūkumui skydliaukėje bei patikrinti koreliaciją tarp bandinių aktyvumo ir gautų dozių įvairiuose Lietuvos rajonuose.

Darbo uždaviniai:

1. Susipažinti su skydliaukės apšvitos dozių vertinimo metodais.

2. Iš radioaktyvaus jodo aktyvumo žolėje duomenų, panaudojant dviejų sandų bio – kinetinį modelį, įvertinti ir apibendrinti vaikų skydliaukės apšvitos dozes, esant stabilaus jodo pakankamumui ir trūkumui skydliaukėje, Lietuvos rajonuose po ČAE avarijos.

3. Palyginti gautus rezultatus su bio – kinetiniu modeliu įvertintomis skydliaukės apšvitos dozėmis.

4. Įvertinti įvairiuose Lietuvos rajonuose paimtų bandinių aktyvumą, panaudojant gama spektrometrą. Panaudojant priklausomybės koeficientą, iš gauto ^{137}Cs aktyvumo bandinyje, apskaičiuoti ^{131}I aktyvumą po ČAE avarijos.

5. Patikrinti koreliaciją tarp ^{131}I aktyvumo ir įvertintos dozės skydliaukei po ČAE avarijos įvairiuose Lietuvos rajonuose.

1. TEORIJOS APŽVALGA

1.1 Jonizuojančioji spinduliuotė ir poveikis vaikams

Jonizuojančioji spinduliuotė yra vienas iš daugelio žmogaus sveikatos rizikos veiksnių. Sugertos spinduliuotės poveikis žmogaus organizmui priklauso nuo gautosios dozės, kuri gali būti dvejopa: išorinio apšvitinimo dozė, radionuklidams nusėdus ant įvairių paviršių, ir vidinė apšvitinimo dozė, radioaktyviosioms medžiagoms patekus į organizmą su maisto produktais, kvėpuojant arba per odą. Biologinis poveikis gyviesiems organizmams gali būti tiesioginis arba netiesioginis. Netiesioginiu būdu pirmiausia yra jonizuojamos ląstelėje esančios vandens molekulės, susidaro laisvieji radikalai, kurie, sąveikaudami su DNR molekule, sukelia joje struktūros ir cheminius pokyčius. Tiesioginio poveikio metu jonizuojančioji spinduliuotė veikia ląstelę tiesiogiai ją pažeisdama. Jei gaunama apšvita yra didelė, galima ląstelių pažaida arba žūtis. Žuvusios ląstelės jau nebeatsistato, o pažeistos gali atsistatyti. Kartais ląstelės nesugeba teisingai atsistatyti ir tokiu atveju galimas ląstelės išsigimimas, kuris gali nulemti vėžinius ir genetinius susirgimus [2].

Vertinant apšvitos pasekmes būtina įvertinti ne tik sugertą dozę, bet ir tai kaip ta dozė buvo sugerta, t. y. žinoti apšvitos laikines ir erdvines charakteristikas, kurias apibūdina sąvokos: trumpalaikė ar ilgalaikė apšvita; viso kūno, lokalinė, tolyginė, netolyginė, išorinė, vidinė apšvita [2].

Beta (β) spinduliuotė – beta dalelės, t. y. neigiamą krūvį turinčių elektronų srautas, kurio skvarbumas yra didesnis už alfa dalelių, tačiau jonizuojanti galia mažesnė. Beta dalelės gali nuskrieti iki keleto metrų ore ir prasiskverbti į gyvą audinį 3–4 mm [3].

Gama (γ) spinduliuotė – elektromagnetinės bangos, kurių bangos ilgis yra daug mažesnis už atstumą tarp kietojo kūno atomų, t. y. daug mažesnis už 10^{-10} m. (1 Å). Daleliniu požiūriu elektromagnetinės bangos yra dalelių – fotonų – srautas. Gama spinduliai ore sklinda iki kelių šimtų metrų ir įsiskverbia į gyvą audinį iki 25 cm, tačiau jų jonizuojantis poveikis yra žymiai mažesnis už alfa ir mažesnis už beta spinduliuotės [3], [4].

Jonizuojančiosios spinduliuotės poveikis gyvųjų organizmų ląstelėms labai priklauso nuo jų ir viso organizmo amžiaus ir išsivystymo lygio. Ypatingai jautrus organizmas yra ląstelių spartaus dauginimosi laikotarpiais, ypač embrioninėje ir ankstyvos vaikystės stadijoje, nes jų audiniai sparčiai auga, todėl kuo jaunesnis vaikas, tuo nulemtieji jonizuojančiosios spinduliuotės padariniai yra sunkesni. Neigiamas poveikis pasireiškia augimo ir raidos sulėtėjimu, hormoniniu sutrikimu, intelekto atsilikimu ir kitais. Taip pat mažo vaiko organai yra arčiau vienas kito, todėl dozė, gaunama į vieną organą, persiduoda į aplinkinius [2].

1.2 Pagrindiniai dydžiai, aprašantys jonizuojančiosios spinduliuotės dozes

Sugertoji dozė – dozimetrijos dydis, apibūdinantis medžiagai spinduliuotės perduotą energijos kiekį. Sugertoji dozė (*D*) skaičiuojama pagal formulę [5]:

$$D = \frac{dE}{dm}, \tag{1}$$

čia:

dE – medžiagos tūrio elementui suteikta vidutinė jonizuojančiosios spinduliuotės energija, džauliais (J);

dm – to tūrio elemento medžiagos masė kilogramais.

Matavimo vienetas- grėjus (Gy). 1 Gy = 1 J/kg.

Lygiavertė dozė (H_T) – organo arba audinio sugertoji dozė, padauginta iš atitinkamo audinio svorinio spinduliuotės daugiklio (w_R), t. y.:

$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R}, \tag{2}$$

čia:

w_R – svorinis jonizuojančiosios spinduliuotės daugiklis;

$D_{T,R}$ – vidutinė sugertoji dozė T audinyje arba organe, apšvitintame R spinduliuote, grėjais (Gy).

Matavimo vienetas džaulis kilogramui (J/kg), jis vadinamas sivertu (Sv).

Efektinė dozė (*E*) – audinių lygiaverčių dozių, padaugintų iš atitinkamo audinio jautrio svorinio daugiklio (w_T) suma. Efektinė dozė skaičiuojama pagal formulę [5]:

$$E = \sum_T w_T H_T = \sum_T w_T \sum_R w_R D_{T,R}, \tag{3}$$

čia:

H_T – T organo ar audinio lygiavertė dozė,

w_T – svorinis audinių jautrio daugiklis,

$D_{T,R}$ – T audinio arba organo vidutinė sugertoji dozė.

Matavimo vienetas džaulis kilogramui (J/kg). Jis vadinamas sivertu (Sv).

Ribinė dozė – tai didžiausia dozė, kokią gali gauti darbuotojai, mokiniai, studentai ir gyventojai per nurodytą laiką dėl išorinės ir vidinės apšvitos [5].

Šiuo metu Lietuvoje priimtina metinė ribinė efektinė dozė gyventojams – 1mSv [5].

1.3 Jodas

Jodas periodinėje elementų lentelėje yra VII grupėje, nes trūksta vieno elektrono iki pilnai užpildyto paskutinio sluoksnio. Šiuo metu žinomi jodo izotopai – nuo ^{120}I iki ^{139}I. Daugiausia jų susidaro branduoliniuose reaktoriuose dalijantis uranui. Ypatingai užteršia aplinką įvykus branduolinių reaktorių avarijoms. Svarbiausias yra ^{131}I izotopas, dėl didžiausio radio – toksikologinio poveikio. Jis yra beta ir gama spinduolis su, palyginti, trumpa pusėjimo trukme – 8,04 paros, dėl ko greitai suskyla, tačiau iš kart po avarijos yra labai pavojingas dėl santykinai didelės taršos, didelio lakumo ir greito įsiskverbimo į įvairias biologines grandines. ^{131}I lengvai pereina į augalus, žmogaus ir gyvūnų organizmą, pieną. Kad ir kokiu būdu į žmogaus organizmą patenka jodas, jis visuomet kaupiasi skydliaukėje [6].

Jodas yra labai svarbus bioelementas. Jis yra viena iš skydliaukėje sintetinamų hormonų dalių. Toksininis ^{131}I poveikis skydliaukei pirmiausia pasireiškia jos funkcijos sutrikdymu, o po to ir pačios skydliaukės suardymu. Toliau seka dar rimtesni radioaktyviojo jodo poveikio rezultatai – leukemijos ir skydliaukės augliai [6].

Apibendrinant branduolinio įrenginio avarijos pasekmes – pirmieji mėnesiai po avarijos gali būti vadinami jodo faze, nes radioaktyviosiose išmetose vyrauja radioaktyvieji jodo izotopai. Buvo nustatyta, kad 1986 m. gegužės 2 – 19 dienomis Lietuvoje karvių piene ^{131}I tūrinis aktyvumas kito nuo 410±95 Bq $\cdot$ 1^{-1} iki 3700 Bq $\cdot$ 1^{-1}. Lygiavertė skydliaukės apšvitos dozė, kurią patyrė vaikai – nuo 10±2 mSv iki 73±10 mSv, suaugusieji – nuo 1,2±0,2 mSv iki 9,1±0,9 mSv [3].

1.3.1. Jodo migracija ir metabolizmo procesai

Jodas – greitai migruojantis cheminis elementas. Jo radioaktyvieji izotopai patenka į biologines migracijos grandis ir tuomet tampa gyvūnų, augalų bei žmogaus apšvitos šaltiniu. Migracijos greitį lemia fizikinės – cheminės jodo savybės, aplinkos sąlygos, augalų ir gyvūnų biologiniai ypatumai. Ypatingai svarbus biologinio prieinamumo faktorius (tirpumas, judrumas) [6].

Žmogus daugiausia radioaktyvaus jodo gauna su maisto produktais, ypatingai su pienu ir šviežiomis daržovėmis. Karvių, ganomų ^{131}I užterštose ganyklose, pieno litre aptinkama 0,4 – 1,0 % jodo su žole patekusio į gyvulio organizmą. Žuvyje ^{131}I koncentracija apie 10 kartų, moliuskuose apie 50 kartų didesnė negu jūros vandenyje [6].

Radioaktyvusis jodas dalyvauja tuose pačiuose biologiniuose procesuose kaip ir stabilus jodas, šie procesai skiriasi savo laikinėmis charakteristikomis, susijusiomis su radioaktyviojo izotopo skilimu [6].

Organų polinkis kaupti jodą priklauso nuo jodo junginių cheminių savybių, nuo individo amžiaus, lyties bei stabilaus jodo kiekio organizme, maiste ir vandenyje. Jodas greitai rezorbuojasi, kad ir kokiu būdu būtų patekęs į žmogaus organizmą: įkvepiant, su maistu ar per odą. Pvz., skrandyje jau po 1 valandos 90 % jodo rezorbuojasi į skrandžio sieneles [6].

Iš kraujo jodas toliau keliauja į organus, kurie kaupia jodą. Labiausiai radionuklidus kaupia organai, kuriuose yra tokių pat cheminių savybių patvariųjų elementų, todėl labiausiai jodą kaupia skydliaukė, mažiau inkstai, kepenys raumenys ir kaulai. Po 2 val. skydliaukėje sukaupiama iki 10 % patekusio į organizmą jodo, po 6 valandų - 20%, o po paros – iki 30% jodo. Per 3 savaites skydliaukėje yra sukaupiama apie 85 % trumpaamžių jodo radionuklidų spinduliuotės sugertosios dozės., pvz., atominės elektrinės avarijos atveju. Skydliaukės sugertoji dozė sukaupiama nuo šaltinių: $^{131}\mathrm{I} - 60\ \%$, $^{133}\mathrm{I} - 30\ \%$ ir $^{132,134,135}\mathrm{I} - 10\ \%$. 90 % dozės lemia β spinduliuotė ir 10 % − γ spinduliuotė [6].

1.4 Tiesioginiai matavimo metodai

Tiesioginiai matavimo metodai suteikia galimybę įvertinti skvarbiąja spinduoliuotę skleidžiančių radionuklidų aktyvumą bei pasiskirstymą visame organizme arba konkrečiuose organuose (skydliaukėje, plaučiuose). Šiuo metodu galima išmatuoti gama spinduliuotę skleidžiančių radionuklidų aktyvumą organizme pvz., $^{131}\mathrm{I}$, $^{137}\mathrm{Cs}$, $^{60}\mathrm{Co}$ ir kitų. Matavimams naudojamas skaitiklis, kuris būna sumontuotas specialioje patalpoje su sumažintu foninės gama spinduliuotės intensyvumu. Tiriamasis yra pasodinamas arba paguldomas taip, kad būtų užtikrinta tinkama matavimo geometrija, t. y. išlaikoma tokia pati tiriamo žmogaus padėtis įrangos detektoriaus atžvilgiu, kaip ir fantomo padėtis detektoriaus atžvilgiu įrangą kalibruojant [3].

Norint įvertinti vidinę apšvitą, gautą su maistu, tiriami maisto produktai bei jų žaliavos arba bendras radionuklidų aktyvumas paros racione. Atliekami dviejų rūšių maisto produktų ir geriamojo vandens radiologiniai tyrimai: 1) nuolatiniai vietinės kilmės maisto produktų tyrimai; 2) importuojamos ir eksportuojamos produkcijos tyrimai, papildantys pirmųjų tyrimų rezultatus. Abiem atvejais tyrimų rezultatai naudojami metinės efektinės dozės skaičiavimui [3].

1.5 Radioaktyviųjų iškritų nugairinimas nuo augmenijos paviršiaus

Ant augmenijos paviršiaus nusėdę radionuklidai, laikui bėgant, nyksta dėl radioaktyviojo skilimo ir jų nugairinimo. Reikšmingiausi gamtiniai radionuklidų nugairinimo procesai yra: 1) nusėdusių ant augalo paviršiaus radionuklidais prisodrintų nešiklių pašalinimas dėl vėjo poveikio bei jų nuplovimas su lietaus vandeniu arba laistant; 2) radionuklidų pašalinimas su nekrozinėmis augalo dalimis, arba nupjaunant ir pašalinant užterštas augalo dalis; 3) kai kurių rūšių radionuklidų išgaravimas nuo augalo paviršiaus; 4) savitasis augalo aktyvumo mažėjimas ir dėl švarios biomasės prieaugio [7].

Prie didelio skersmens nešiklių prikibę radionuklidai gana efektyviai pašalinami su vėjo gūsiais nuo augalo paviršiaus. Toks radionuklido pašalinimo mechanizmas efektyviausias pirmosiomis dienomis po nusėdimo. Buvo nustatyta, kad submikroninės dalelės nuo augalo paviršiaus gali būti pašalintos ir prabėgus ilgesniems laiko tarpams po nusėdimo, ypač jei vyksta intensyvus augimas ir vandens garinimas. Smulkūs augalo lapų fragmentai, vaškinio sluoksnio ar druskų dalelės nuo augalo lapų paviršiaus gali būti pašalinti dėl augalo stiebo siūbavimų, kuriuos sukelia vėjo gūsiai. Krituliai, rūkas, rasa arba dulksna gali tiesiogiai nuplauti radionuklidus nuo augalų paviršiaus arba išskalauti įvairias tirpias medžiagas iš vidinių augalo audinių. Paviršinis radionuklidų nuplovimas efektyviai vyksta pirmosiomis po nusėdimo dienomis. Vėliau išplovimas vyksta mažiau efektyviai ir nebepriklauso nuo kritulių kiekio. Taip pat ilgi ir silpni lietūs efektyviau išplauna radionuklidus, negu trumpos ir stiprios liūtys (esant tam pačiam suminiam iškritų kiekiui). Išplovimas taip pat vyksta efektyviau, esant aukštesnei aplinkos temperatūrai. Pirminės augalo taršos mažėjimas gamtoje yra įtakojamas daugelio veiksnių ir procesų. Tiksliai nustatyti atskirai kiekvieno faktoriaus įtaką yra labai sudėtinga, todėl dažniausiai yra nustatomas bendras empirinis augalo savitojo aktyvumo kitimas [7].

Radionuklidų pašalinimas nuo augalo dėl gamtinių procesų gali būti aprašytas eksponentiniu nykimo dėsniu. Laikas, per kurį pirminis nusėdęs aktyvumas ant augalo dėl gamtinių išsivalymo procesų sumažėja per pusę dėl procesų, nesusijusių su radioaktyviuoju skilimu, vadinamas nugairinimo pusėjimo trukme T_{w}. Atitinkamai nugairinimo konstanta λ_{w} lygi:

$$\lambda_{\mathrm{w}} = \frac{ln2}{T_{\mathrm{w}}}. \qquad (4)$$

T_{w} vertės mažėja laikui bėgant. Po ilgo periodo radionuklido pašalinimas nuo augalo paviršiaus dėl lietaus ar vėjo pasidaro vis mažiau įtakojamas meteorologinių sąlygų. Augalo augimo fazė taip pat ženkliai įtakoja radionuklidų nugairinimą. Ypač T_{w} vertė padidėja, kai augalas brandina derlių vegetatyvinio periodo pabaigoje. Sumedėjusiems augalams nusėdusių radionuklidų aktyvumo

pusėjimo trukmė dėl nugairinimo yra daug didesnė, negu žoliniams. T_w vertės aerozoliams yra nuo 20 - 130 dienų, o jodui nuo 5,3 iki 50 dienų [7].

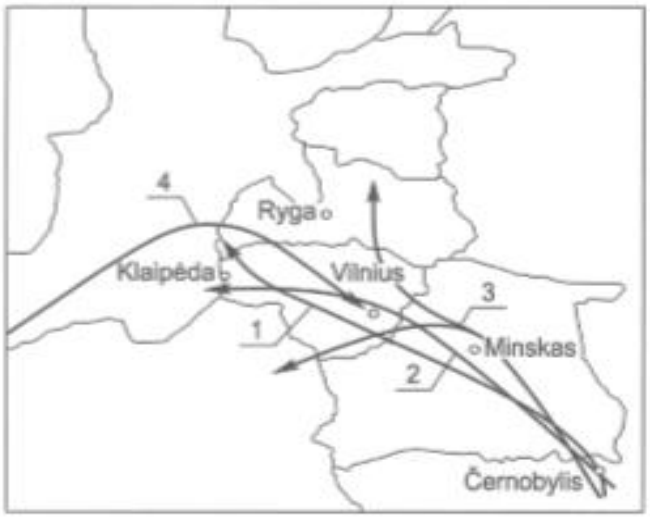
1 lentelė. Po Černobylio avarijos nustatytos T_w vertės.

Eksperimento sąlygos	T_w, dienos	Kitimo ribos, dienos
131-I ant ganyklos žolės	-	7,5-8,9
131-I ant ganyklos žolės	9,8	-
137-Cs ant ganyklos žolės	14	-
131-I ant ganyklos žolės	12	-
137-Cs ant ganyklos žolės	14	-
131-I ant ganyklos žolės	-	5,9-14
137-Cs ant ganyklos žolės	-	11-15
131-I ant ganyklos žolės	11	-
137-Cs ant ganyklos žolės	11	-
131-I ant žolės	14,3	-
137-Cs ant žolės	14,4	-
137-Cs ant brokolių	11±1	-

1.6 Černobylio avarija

Žinia apie Černobylio atominės elektrinės avariją ir susidariusią grėsmingą padėtį Lietuvą pasiekė pavėluotai, todėl tik pirmosiomis 1986 m. gegužės dienomis buvo surinkti duomenys apie ^{131}I pasiskirstymą ore, ganyklų žolėje ir pieno produktuose (1 pav.) Sveikatos apsaugos ministerijos iniciatyva. Tokį užterštų zonų pasiskirstymą lėmė tomis dienomis vyraujančios oro masių trajektorijos (2 pav.). Radioaktyvusis jodas atmosferos ore buvo daugiausia dujinis, o ne dulkelių pavidalo, todėl žmonės negalėjo apsisaugoti paprastų filtrų ar drėgnų medžiagų pagalba [1].

Černobylio AE avarijos pasekmės yra vienos didžiausių per visus atominių elektrinių gyvavimo metus, dėl to gautų dozių vertinimas yra aktualiausias būtent po šios avarijos. Pavyzdžiui Fukušimos AE avarijos metu išmesto radioaktyvaus jodo kiekis skydliaukei sudarė tik 5% Černobylio AE avarijos išmesto kiekio. Po Fukušimos AE avarijos dešimties metų vaikams dozės vyravo 15-31 mGy intervale, o vieneriu metų vaikams – 33-52 mGy. Na, o po Trijų Mylių salos avarijos didžiausia galima dozė skydliaukei buvo 0,2 mGy. Iš antros lentelės akivaizdu, kad Lietuvoje po Černobylio AE avarijos dozės buvo žymiai didesnės nei po Fukušimos AE ar TMI AE avarijos, nors ir nebuvo pati užterščiausia šalis [1], [8].



1 pav. Oro masių trajektorijos 1986 m. nuo balandžio 26 iki 30 d.; 1 – balandžio 26 ir 27 d.; 2- balandžio 27 ir 28 d.; 3 – balandžio 28 ir 29 d.; 4 – balandžio 29 ir 30 d. [1].



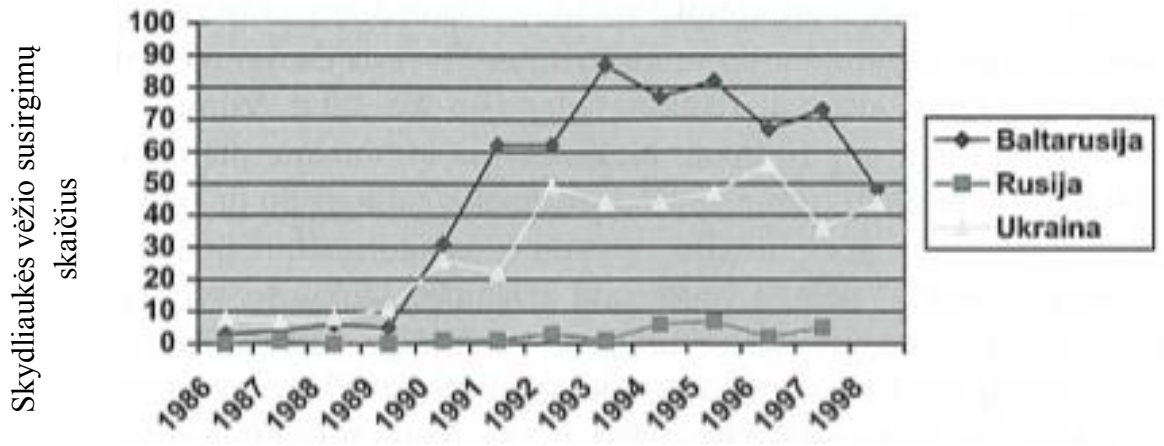
2 pav. ^{131}I aktyvumo zonos piene Lietuvoje po Černobylio atominės elektrinės avarijos: A – pieno aktyvumas < 370 Bq 1^{-1}, B – pieno aktyvumas 1000-3700 Bq 1^{-1} ir C – pieno aktyvumas > 3700 Bq 1^{-1} [10].

2 lentelėje pateikti duomenys apie pieno taršą Lietuvoje po Černobylio atominės elektrinės avarijos ir skydliaukės apšvitos lygiavertės dozės. Didžiausios taršos zonoje, kurioje oro ir maisto produktų užterštumas radioaktyviuoju ^{131}I gerokai viršijo laikinąjį leidžiamą lygį, šio izotopo iškritų tankis gretimuose rajonuose galėjo labai skirtis. Gegužės pabaigoje dėl trumpos ^{131}I pusėjimo trukmės pieno produktuose Lietuvos teritorijoje jo jau praktiškai nebuvo. Tolesnę taršą lėmė cezio izotopai.

2 lentelė. Vidutinė pieno tarša ^{131}I po Černobylio atominės elektrinės avarijos skirtingose Lietuvos zonose ir žmonių skydliaukės apšvitos lygiavertės dozės [2].

Zona (pagal 2 pav.)	*Vidutinė pieno tarša*	*Vidutinė lygiavertė skydliaukės apšvitos dozė, mSv*	
		Vaikai	*Suaugusieji*
Mažesnės ^{131}I taršos zona (A)	Mažesnė negu didžiausias leidžiamas taršos lygis (370 Bq L^{-1})	21±10	3±1
Didesnės ^{131}I taršos zona (B)	Didesnė negu didžiausias leidžiamas taršos lygis (siekė 10 000 Bq L^{-1})	160±70	20±8

Dabar atliekama nemažai tyrimų stebint apšvitintus asmenis. 3 paveiksle pateikti užterštų rajonų vaikų sergamumo skydliaukės vėžiu duomenys Baltarusijos, Rusijos ir Ukrainos rajonuose. Iš 3 paveikslo matyti, kad sergamumo skydliaukės vėžiu pakilimas prasidėjo 1990 m., t. y. praėjus 4 m. po apšvitos. Šiame darbe pamatysime, ar dozės Lietuvoje buvo pakankamai didelės, kad pasireikštų didelis sergamumas po Černobylio AE avarijos [1].



3 pav. Vaikų iki 15 m. sergamumas skydliaukės vėžiu užterštuose Baltarusijos, Rusijos ir Ukrainos rajonuose [2].

Dabar kontrolinių asmenų ir tų, kurie per Černobylio avariją buvo vyresni nei 10 m. amžiaus, sergamumas skydliaukės vėžiu jau susilygino. Rizika susirgti skydliaukės vėžiu asmenims, kurie per avariją buvo 5-9 m. amžiaus, jau mažėja, o jaunesnių nei 5 m. – dar didėja.

1.7 Skydliaukė

Skydliaukė – maža drugelio formos liauka, esanti priekinėje apatinėje kaklo dalyje ir sverianti vos 15–30 gramų. Nors ir maža, ši liauka yra be galo svarbi, nes reguliuoja gyvybines organizmo funkcijas. Kol skydliaukė sveika, žmogus jaučiasi gerai. Tačiau vos tik mažoji liauka sunegaluoja žmogus tarsi nelaistoma gėlė, pradeda silpti, praranda gerą nuotaiką, darbingumą, galiausiai sveikatą [9].

Skydliaukės hormonai reguliuoja organizmo medžiagų apykaitą. Skydliaukė tiesiogiai veikia centrinę nervų sistemą, jos vystymąsi, todėl dažnai ji vadinama intelekto liauka. Ji taip pat reguliuoja žmogaus organizmo vystymąsi, augimą, psichikos raidą, atmintį, dalyvauja visuose organizmo prisitaikymo procesuose, reaguoja į stresus [9].

Skydliaukės hormonai tiroksinas (T4) ir trijodtironinas (T3) reguliuoja medžiagų apykaitą, o C ląstelėse gaminamas hormonas kalcitoninas – kalcio apykaitą. Reguliuodami medžiagų apykaitą, tiroksinas ir trijodtironinas veikia visų organų funkciją ir žmogaus savijautą [9].

Skydliaukė yra nedidelis organas, todėl net palyginti nedidelis radioaktyvaus jodo kiekis (3,7 kBq) apšvitina ją kelių grėjų doze. Jei apšvitos dozė siekia kelias dešimtis grėjų, skydliaukės veikla labai susilpnėja, gali išsivystyti ūminis lėtinis tireoiditas. Kyla ir skydlaiukės auglių atsiradimo pavojus. Todėl įtarus, kad per avariją į aplinką pateks radioaktyviųjų jodo izotopų, dar prieš jų pasklidimą rekomenduojama skydliaukę apsaugoti vartojant stabiliojo jodo preparatus [9].

Norint palaikyti reikiamą skydliaukės hormonų balansą ir išlaikyti organizme jodo atsargas, per parą būtina gauti 150 μg neorganinio jodo [9].

2. VIDINĖS APŠVITOS ĮVERTINIMAS

Vidinę apšvitą gali nulemti radionuklidai patekę į žmogaus organizmą įkvėpus, prarijus, per žaizdas ir per odą. Ore esančių ^{131}I dalelių (aerosolinių, dujinių ir elementinių) matavimai po Černobylio avarijos parodė, kad pagrindinis veiksnys lemiantis poveikį skydliaukei buvo radiojodo prarijimas bei elementinio ir ypatingai organinio radiaktyvaus jodo įkvėpimas. Norint pasiekti kuo tikslesnius poveikio skydliaukei vertinimus, ^{131}I veiksniai buvo apibrėžti kaip funkcijos nuo amžiaus ir stabilaus jodo stygiaus. Rezultatai parodė, kad vaikai su stabilaus jodo stygiumi gavo mažiausiai du kartus didesnę dozę į skydliaukę nei vaikai kurie turėjo pakanką stabilaus jodo kiekį. Šie tyrimų rezultatai parodė, kad skydliaukės dozimetrijoje yra svarbu žinoti stabilaus jodo kiekį organizme, taip pat turėti standartizuotą metodą dujinio radioaktyvaus jodo matavimams bei ypatingą dėmesį sutelkti į stabilaus jodo profilaktiką, paremtą inhaliacinio poveikio keliu [10].

Pagal pasaulinę sveikatos organizaciją, reagavimo į ekstremalias situacijas lygiai nustatomi nacionalinių valdžios institucijų, bet PSO pasiūlė, kad stabilaus jodo profilaktika vaikams iki 18 metų būtų taikoma nuo 10 mGy prognozuojamos dozės. Mažiausios avarinės dozės etalono sumažinimas iki 10 mGy skydliaukei be abejonės suteiktų papildomą apsaugą vaikams, kurie negauna profilaktinio patikrinimo. Tikimasi, kad apšvitos dozes, kurios gaunamos nuryjant radioaktyvių medžiagų turintį maistą, būtų įmanoma išvengti ar bent sumažinti, kai tuo tarpu dozes, kurios yra įkvepiamos, neįmanoma nei sumažinti nei išvengti. Šiame kontekste inhaliacinio poveikio savybių tyrimas vakaruose, po Černobylio AE avarijos suteikia naudingą galimybę praktiškai patikrinti PSO rekomendacijas [10].

Poveikio sveikatai stebėjimai po Černobylio AE avarijos paliko mažai abejonių dėl ^{131}I patekimo į aplinką ir didelio skydliaukės vėžio susirgimo skaičiaus priklausomybės. Buvo apskaičiuota, kad daugiau nei 80 % dozės per vidinę apšvitą skydliaukei sudarė ^{131}I, tik maža dalis dozės skydliaukei prisidėjo per išorinę apšvitą. Per 50 – imtą posėdį UNSCEAR komitetas nusprendė, kad padariniai sveikatai po Černobylio AE avarijos išliko prioritetu. Taip pat, kad yra daug neaiškumų įvertinant skydliaukės dozes žmonėms užterštose teritorijose ir tuos vertinimus reikia patobulinti panaudojant visą svarbią, moksliškai patvirtintą ir galiojančią informaciją [10].

Didžiausią ^{131}I apšvitos dozę skydliaukei žmogus gauna gerdamas užterštą pieną radioaktyviuoju jodu, vis dėl to, įkvėpimo kelias yra neišvengiamas [10].

Atmosferoje esančio radioaktyvaus jodo surinkimui buvo naudojamas tam tikros rūšies aerozolio filtras su vienu ar dviem sluoksniais aktyvuotos medžio anglies kasetėmis, tam, kad surinktų

elementinio jodo junginius ir aktyvuotos medžio anglies, kurios sudėtyje yra 10 % TEDA, organinių dalelių surinkimui, daugiausia CH_3I [10].

Konkrečiais atvejais yra naudojamas „Maypack“ bandinių modelis. Šis modelis atskiria ore esantį ^{131}I į keturias rūšis: kietųjų dalelių jodą, panaudojant „Milipore“ membraninį filtrą; I_2 panaudojant sidabrinių ekranų rinkinį, HOI ir kitus neorganinius radioaktyvaus jodo junginius, pasinaudojant medžio anglimi pripildytą filtravimo popierių, impregnuotą fenoliu ir CH_3I aktyvuotos ir impregnuotos TEDA medžio anglies pagalba [10].

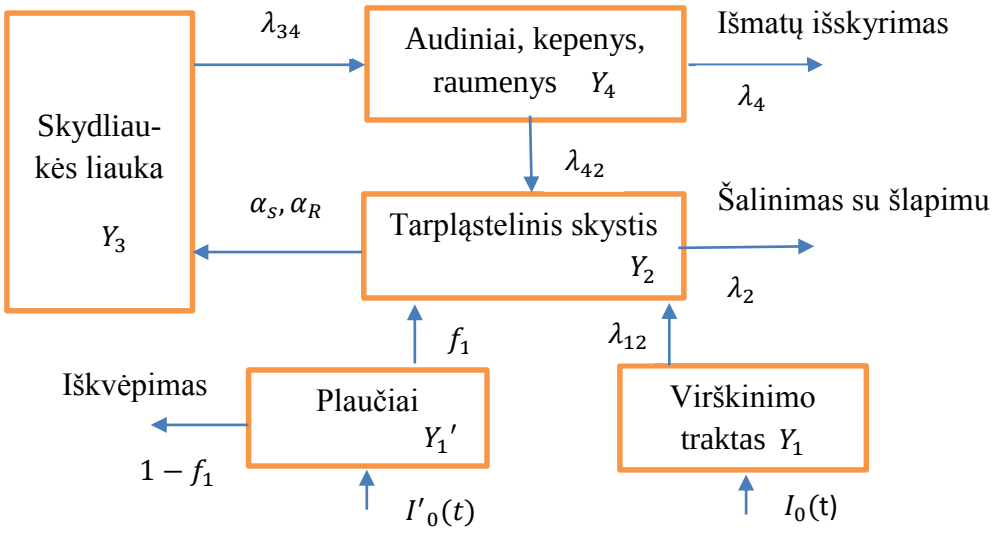
Lietuvoje mėginiai buvo surenkami, paruošiami ir analizuojami pagal anksčiau apibūdintus metodus. Aerozolių mėginių ėmimas buvo atliktas naudojant FPP – 15 filtrus, elementinis ^{131}I naudojant aktyvuotą anglį BAU – A impregnuotą $AgNO_3$, ir organinis ^{131}I su TEDA – impregnuota aktyvuota medžio anglimi [10].

^{131}I jodo rūšių sudėtis ore skirtingose šalyse gerokai skyrėsi. Fizikinių – cheminių savybių pasikeitimas kito laikui bėgant bei keičiantis atstumui ir oro sąlygoms. Dėl to duomenys, gauti po Černobylio avarijos skirtingose vietovėse, daugeliu atveju nėra tinkami lyginimui [10].

1986 m. balandžio pabaigoje ir gegužę radioaktyvaus jodo aktyvumas visoje Lietuvos teritorijoje varijavo labai plačioje srityje. Skydliaukės dozės vertinimas buvo atliekamas atskirai keturiose Lietuvos zonose: A, B, C, D (2pav.) [10].

2.1 Skydliaukės dozės įvertinimas naudojant bio – kinetinį modelį

Radioaktyviosios iškritos nusėda ant maistinių ir kitų augalų antžeminės dalies bei per šaknis patenka į augalus. Žmonės su maistu nuryja ir radioaktyviųjų medžiagų. Valgant gyvulinį maistą, žuvį ar pieną bei jo produktus, radioaktyviosios medžiagos į žmogaus organizmą patenka netiesiogiai – radionuklidus pirmiausia praryja gyvuliai ir žuvys. Analizuojant radionuklidų patekimo į žmogaus organizmą procesą, reikia išnagrinėti visą jų kelią – nuo iškritų iki patekimo į organizmą bei kaupimosi jame. Tačiau daugeliu atveju mes jau turime įvertintas dozes piene ar žolėje ir lieka išsiaiškinti kokia dalis dozės patenka į žmogaus organizmą suvartojant tam tikrą kiekį gyvulinio produkto. Skydliaukės dozės įvertinimui yra naudojami bio – kinetiniai modeliai, sudaryti tiek prarytiesiems tiek įkvėptiems radionuklidams (4 pav.). Tokiu modeliu pagrįsta analizė yra skirta tiksliems skaičiavimams. Taip pat reikalinga kompiuterinė programa LIETDOS, kuri naudojama skydliaukės liaukos dozei įvertinti, atsižvelgiant į poveikio laiką ir stabilaus jodo trūkumą [10].



4 pav. Jodo kinetika žmogaus kūne.

Stabilaus jodo kinetika žmogaus kūne aprašoma šiomis lygtimis ($Y_{s,i}$ – stabilaus jodo kiekis, µg):

$$\frac{dY_{S,1}}{dt} = I_{s,0}(t) - \lambda_{12}Y_{s,1}, \quad (5)$$

$$\frac{dY_{S,2}}{dt} = \lambda_{12}Y_{S,1} + f_1 I'_{S,0}(t) + \lambda_{42}Y_{S,4} - \alpha_S - \lambda_2 Y_{S,2}, \quad (6)$$

$$\frac{dY_{S,3}}{dt} = \alpha_S - \lambda_{34}Y_{S,3}, \quad (7)$$

$$\frac{dY_{S,4}}{dt} = \lambda_{34}Y_{S,3} - (\lambda_{42} + \lambda_4)Y_{S,4}, \quad (8)$$

čia:

$I_{S,0}$ ir $I'_{S,0}$ – kasdienis jodo suvartojimas įkvėpus ar nurijus atitinkamai, µg d^{-1};

α_s – stabilaus jodo sugerties koeficientas skydliaukės liaukai, µg d^{-1};

α_R – radioaktyvaus jodo sugerties koeficientas skydliaukės liaukai, µg d^{-1};

f_1 – įkvėptų radionuklidų dalis, kuri iš plaučių tiesiogiai patenka į kraują;

λ_{12} – patovus nurijimo būdu gauto jodo kiekis kraujyje per dieną, µg d^{-1};

λ_{34} – jodo įsisavinamas pastovus kiekis per ląsteles iš skydliaukės per dieną, µg d^{-1};

λ_{42} – patovus netenkamo jodo kiekis iš skydliaukės per dieną, µg d^{-1};

λ_2, λ_4 –pastovus pašalinamo jodo kiekis su šlapimu ir išmatomis per dieną, µg d^{-1}.

Lygtys perrašomos radioaktyviam jodui ($Y_{R,i}$ – radioaktyvaus jodo aktyvumas, Bq):

$$\frac{dY_{R,1}}{dt} = I_{R,0}(t) - (\lambda_{12} + \lambda_r)Y_{R,1}, \quad (9)$$

$$\frac{dY_{R,2}}{dt} = \lambda_{12}Y_{R,1} + f_1 I'_{R,0}(t) + \lambda_{42}Y_{R,4} - \alpha_S \frac{Y_{R,2}}{Y_{S,2}} - (\lambda_2 + \lambda_r)Y_{R,2}, \quad (10)$$

$$\frac{dY_{R,3}}{dt} = \alpha_S \frac{Y_{R,2}}{Y_{S,2}} - (\lambda_{34} + \lambda_r)Y_{R,3}, \quad (11)$$

$$\frac{dY_{\mathrm{R},4}}{dt} = \lambda_{34} Y_{\mathrm{R},3} - (\lambda_{42} + \lambda_4 + \lambda_{\mathrm{r}}) Y_{\mathrm{R},4}, \quad (12)$$

$I_{\mathrm{R},0}$ ir $I'_{\mathrm{R},0}$ – radioaktyvaus jodo kiekis, gautas įkvėpus ar nurijus atitinkamai, Bq d^{-1};

λ_{r} – radioaktyvaus jodo skilimo konstanta, d^{-1}.

Lygiavertė dozė skydliaukei H_{T} (Sv):

$$H_{\mathrm{T}} = \frac{E_{eff,\beta}}{m_{\mathrm{T}}} \cdot \int_0^{\infty} Y_{\mathrm{R},3}\,(t)dt = SEE \cdot \int_0^{\infty} Y_{\mathrm{R},3}\,(t)d, \quad (13)$$

čia:

$E_{\mathrm{eff},\beta}$ –efektinė energija sugerta skydliaukėje vieno radioaktyvaus skilimo atveju, J $(Bq\ d)^{-1}$;

m_{T} –skydliaukės masė, kg;

SEE – specifinė efektinė energija, Sv $(Bq\ d)^{-1}$.

$$\mathrm{SEE}(\mathrm{T} \longleftarrow \mathrm{S}) = \frac{1}{m_{\mathrm{T}}} \sum w_{\mathrm{R,i}} \cdot Y_{\mathrm{i}} \cdot E_{\mathrm{i}} \cdot AF_{\mathrm{i}}(T \longleftarrow S), \quad (14)$$

(T ⟵ S) – pažymima efektinė energija taikinyje T, gauta iš S šaltinio;

$w_{\mathrm{R,i}}$ –svorinis spinduliuotės i daugiklis (Sv/MeV);

Y_{i} –spinduliuotės i išeiga, tenkanti branduoliniam virsmui (1/Bq·s);

A_{i} – spinduliuotės i aktyvumas (Bq);

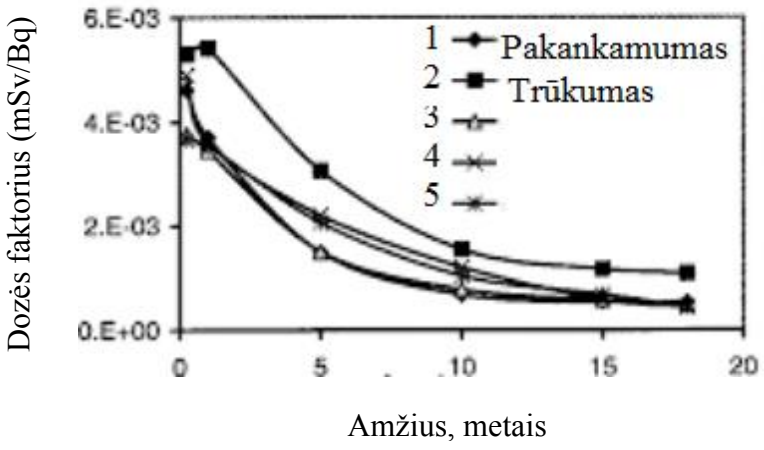
E_{i} – spinduliuotės i energija, (MeV);

$AF_{\mathrm{i}}(T \longleftarrow S)$ –dalis S šaltinio energijos, kuri sugeriama taikinyje T.

Vidinės apšvitos dozės skaičiavimuose dažnai naudojamas dozės faktorius DF_{ing} (dar vadinamas savituoju kaupiamosios dozes ekvivalentu):

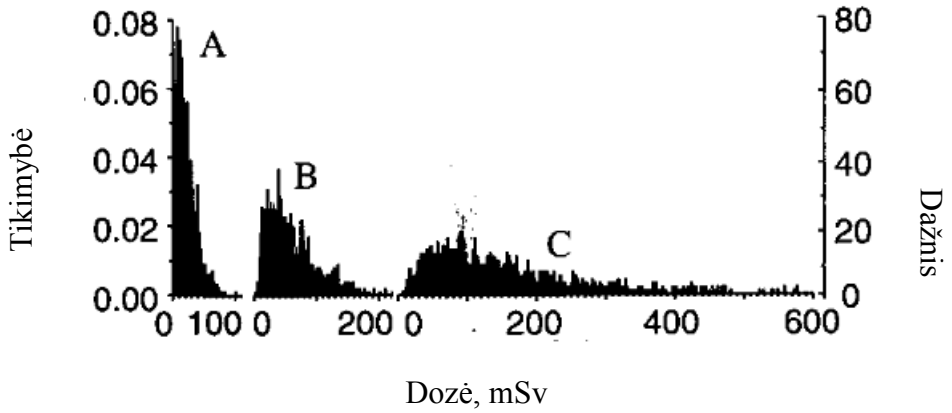
$$DF_{\mathrm{ing}} = k \cdot \sum U_{\mathrm{s}} \cdot SEE(T \longleftarrow S), \quad (15)$$

DF_{ing} –vidinės apšvitos vartojant užterštą maistą dozės faktorius, Sv/Bq. Šiuo atveju buvo išskaičiuojamas pagal formulę. Iš 6 paveikslo matyti, kad dozės faktoriai esant jodo pakankamumui ir trūkumui skiriasi. Taip pat šie faktoriai priklauso ir nuo tiriamojo amžiaus [10].



5 pav. ^{131}I dozės faktoriai priklausomai nuo amžiaus: 1- 2 išskaičiuoti pagal formules atitinkamai su jodo trūkumu ir pakankamumu; 3, 4, 5 – žinynų vertės [10].

Pasitelkiant skaičiavimo programą LIETDOS, iš apskaičiuotų dozės faktoriaus verčių (5pav.) ir anksčiau pateiktų formulių buvo gautas dozių pasiskirstymas nuo 0 iki 18 metų vaikams su stabilaus jodo trūkumu [10]. Dozės variavo 10-150 mSv intervale. Didžiausią dozę skydliaukei gavo patys mažiausi vaikai. Dozių pasiskirstymas vienerių metų vaikams A, B ir C zonose pavaizduotas 6 paveiksle [10]. Svarbu paminėti, kad šiam dozių įvertinimui buvo naudojami radioaktyvaus jodo aktyvumo piene duomenys, išmatuoti įvairiuose Lietuvos rajonuose. Darbo pabaigoje šie duomenys bus palyginti su dozėmis, įvertintomis iš radioaktyvaus jodo aktyvumo žolėje duomenų.



6 pav. Nurijimo būdu gautų dozių skydliaukei dažnių pasiskirstymas A, B ir C Lietuvos zonose vienerių metų vaikams, atsižvelgiant į radioaktyvaus jodo trūkumą [10].

2.2 Skydliaukės dozės įvertinimas naudojant apykaitos modelį

Skydliaukės dozių įvertinimui pagal šį modelį pirmiausia reikalingos žinios apie jodo pasiskirstymą ir užlaikymą skydliaukėje ir taip pat žinios apie vidutinį energijos indėlį į kiekvieną organą per radioaktyvųjį skilimą (S – koeficientai). Naudojamas sulaikymo – plitimo modelis suaugusiems yra išplečiamas visoms amžiaus grupėms. Išplėstas modelis taip pat apima stabilaus jodo suvartojimo poveikį radioaktyvaus jodo įsisavinimui. Į modelį taip pat įtrauktos esamos suaugusiųjų S – koeficientų verčių lentelės pasirinktiems radionuklidams ir pratęsiamos visoms amžiaus grupėms. Galiausiai yra apskaičiuojamos dozės suvartojus vienetinį aktyvumą. Taip pat pateikta diskusija bei keletas skaičiavimų apie stabilaus jodo suvartojimo poveikį sukauptosioms dozėms [11].

Dozė organui j, gauta iš radionuklido, skaičiuojama pagal formulę:

$$D_{\mathrm{j}} = \sum_{\mathrm{i}} Q_{\mathrm{i}} S_{\mathrm{ij}}, \tag{16}$$

čia:

Qi – 50 – imties metų aktyvumo laikinis integralas organe i (šaltinio organas) ir S_{ij} yra fiksuota dozė „taikinyje“ organe j per vienetinį aktyvumą. Pilna dozė gaunama susumavus dozes iš visų šaltinių organų [11].

Gauta efektinė dozė iš radionuklido apibrėžiama:

$$H = \sum_{\mathrm{i}} S'_{\mathrm{i}} Q_{\mathrm{j}}, \tag{17}$$

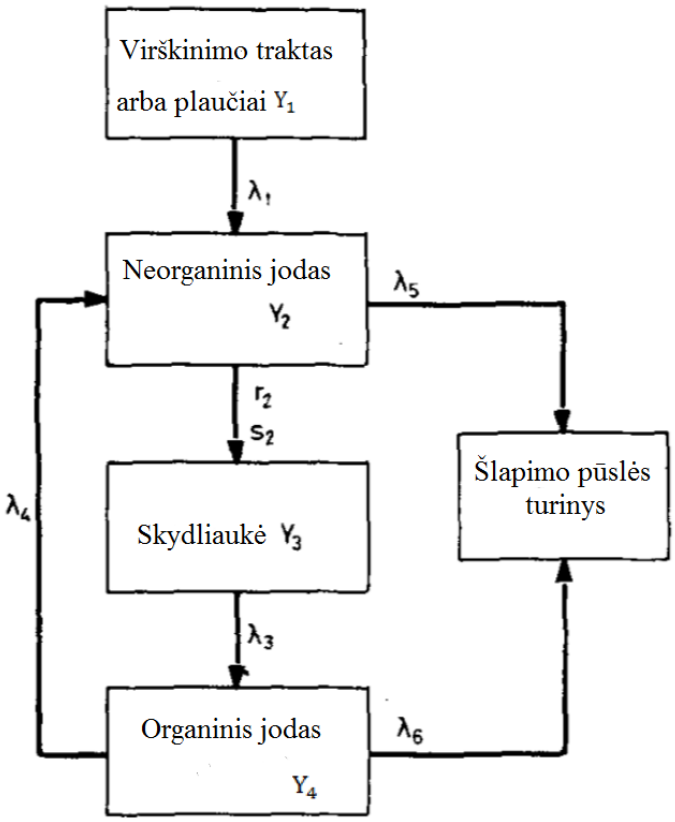
kur:

$$S'_{\mathrm{i}} = \sum_{\mathrm{j}} W_{\mathrm{j}} S_{\mathrm{ij}} \tag{18}$$

W_{j} – svoriniai audinių jautrio daugikliai.

S'_{i} koeficientai reikalingi tam, kad integruotą aktyvumą šaltinio organe paverstų į efektinę (viso kūno lygiavertę) dozę [11].

Apykaitos modelis parodytas 7 paveiksle. Jis paremtas RIGGS ataskaita. Šis modelis tinkamas naudoti tiek įkvėptiem tiek prarytiem neorganinio jodo junginiams kurie greitai disocijuoja kūno skysčiuose [11].



7 pav. Medžiagų apykaitos modelis [11].

Jodas yra paimamas su krauju iš virškinimo trakto ar iš plaučių (neorganinis skyrius), iš kur yra nugabenamas į skydliaukę arba pašalinamas su šlapimu (šiame modelyje yra laikoma, kad tik maža dalis jodo yra pašalinama su išmatomis, todėl šis procesas ignoruojamas). Jodas, kuris palieka skydliaukę, surištas su skydliaukės gaminamomis organinėmis molekulėmis, daroma prielaida, kad turi būti tolygiai pasiskirstęs minkštuosiuose audiniuose (organinis skyrius). Šis organinis jodas yra lėtai perdirbamas į neorganinį jodą arba lėtai pašalinamas [11].

Šaltinių organai yra skydliaukė, kraujas ir minkštieji audiniai (organiniai ir neorganiniai skyriai) ir šlapimo pūslės turinys. Taikiniai organai šiame modelyje yra šlapimo pūslės sienos, kiaušidės, sėklidės, skydliaukė, gimda ir visas kūnas [11].

S_{ij} koeficientai neetaloniniam žmogui nėra lengvai prieinami. Jie gali būti gana lengvai apskaičiuojami kai taikinio organas yra šaltinio organas pagal formulę:

$$S = R_m[f_\gamma S_\gamma + f_\beta S_\beta] \quad (19)$$

čia:

R_m – santykis etaloninio žmogaus organo masės su realia organo mase;

$S_{\gamma,\beta}$ – S – koeficiento dedamoji dalis standartiniam žmogui dėl gama ar beta spindulių;

$f_{\gamma,\beta}$ – pataisos koeficientas dėl dalinės gama arba beta spinduliuotės sugerties.

S_γ ir S_β vertės yra pateiktos ORNL – 5000. S_β buvo prilygintas vienetui, o f_γ buvo įvertintas pagal gamą spindulių energijas ir intensyvumus ir jų absorbcijos koeficientus audinyje, su numatytu vidutiniu atstumu, kurį nukeliauja skydliaukėje, esant įvairioms skydliaukės masėms [11].

Parametras λ_1 (7 paveiksle) yra stabilaus jodo sugerties koeficientas iš plaučių ar viršKinimo trakto. Modelis numato, kad visas nurytas ar įkvėptas jodas yra sparčiai sugeriamas kraujyje. Pasirinkta vertė pateikia biologinio užlaikymo pusėjimo trukmę 5 min. plaučiuose arba viršKinimo trakte. Tikroji naudojama šio parametro vertė yra nesvarbi dozės vertinimui išskyrus trumpaamžiams radiojodo nuklidams. Dėl jų dozė skydliaukei gali būti pervertinta, jei sulaikymo pusėjimo trukmė plaučiuose ar viršKinimo trakte buvo nemenka dalis radioaktyvioje pusėjimo trukmėje [11].

Parametras λ_5 (7 paveiksle) yra jodo pašalinimo iš organinio skyriaus spartos koeficientas. Kitų autorių tyrimai parodė, kad šis parametras iš tiesų yra konstanta, nepriklausanti nuo tiriamojo amžiaus ar svorio, taip pat kasdien gaunamo jodo kiekio [11].

Vertė s_2 – stabilaus jodo sugerties koeficientas skydliaukės liaukai, buvo apskaičiuotas darant prielaidą, kad skydliaukė pasiima tokį pat jodo kiekį per dieną, kokį pašalina organinio jodo pavidalu. Koeficientas turi būti tiesiogiai proporcingas subjekto masei ir tikros vertės buvo apskaičiuotos numatant, kad 70 kg. sveriančio žmogaus skydliaukė išleidžia 65 $\mu g\ d^{-1}$ organiškai sujungto jodo [11].

r_2 – radioaktyvaus jodo įsisavinimo sparta skydliaukėje – skaičiuojama pagal lygtį:

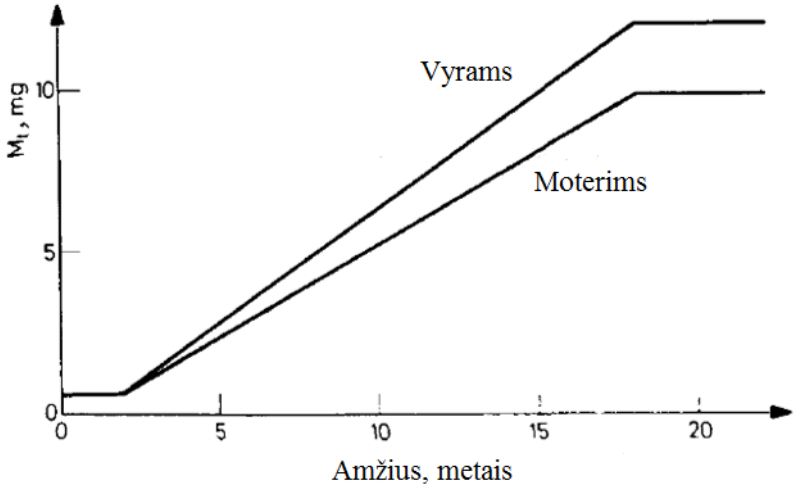
$$r_2 = s_2 Y_2^r / Y_2^s, \tag{20}$$

čia Y_2^r ir Y_2^s yra atitinkamai koncentracijos radioaktyvaus ir stabilaus jodo neorganiniame skyriuje [11].

Jodas, kuris patenka į skydliaukę (skydliaukės skyrių) daroma prielaida, kad būna nedelsiant ir visiškai sumaišomas su jodu, jau esančiu skyriuje. Su šia prielaida spartos konstanta jodui paliekant skyrių yra:

$$\lambda_3 = \frac{s_2}{M_T}, \tag{21}$$

kur M_T yra bendra jodo masė skydliaukėje. M_T buvo įvertinta iš apskaičiuotos skydliaukės masės ir jodo koncentracijos skydliaukėje (8 pav.) [11].



8 pav. Stabilaus jodo kiekis skydliaukėje priklausomai nuo tiriamojo amžiaus [11].

Spartos konstanta jodui paliekant organinį skyrių ($\lambda_4 + \lambda_5$) gali būti apskaičiuojama darant prielaidą, kad Y_4 yra proporcingas M_s.

Lygtys pusiausvyroje bus:

$$(\lambda_4 + \lambda_6) = \lambda_3 \cdot \frac{Y_3}{Y_4}, \tag{22}$$

$$\lambda_3 \cdot Y_3 = s_2 = 65 \cdot \frac{M_s}{70}\,. \tag{23}$$

Kai Y_4 yra proporcingas M_S, $\lambda_4 + \lambda_6$ yra konstanta. Logiška manyti, kad λ_4 ir λ_6 kiekvienas yra konstanta kaip ir λ_4 tikriausiai yra funkcija nuo bazinės medžiagų apykaitos ir neturi labai skirtis. λ_4 ir λ_6 vertės buvo apskaičiuotos anksčiau ir tos vertės yra naudojamos šioje ataskaitoje [11].

Šlapimo išskyrimo dažnis yra nusakomas parametru t_p – laikai kurių metu šlapimo pūslės turinys yra nulinis. t_p vertė priklauso nuo kiekvieno žmogaus ir kinta visos dienos bėgyje. 0,25 d. vertė naudojama šioje ataskaitoje visiems tiriamiesiems. t_p vertė nėra kritinė dozimetrijos skaičiavimams, kadangi nei dozė šlapimo pūslės sienelių nei efektinė dozė iš šlapimo pūslės turinio yra reikšmingos lyginant su laikoma radioaktyvaus jodo doze skydliaukei. Apykaitos parametrai apibendrinti 2 – oje lentelėje [11].

2 lentelė. Apibendrinti apykaitos modelio parametrai [11].

$\lambda_1 = 192\ \mathrm{d}^{-1}$	$\lambda_4 = 0.053\ \mathrm{d}^{-1}$
$s_2 = 65\ M_S/70\ \mu\mathrm{g}\ \mathrm{d}^{-1}$	$\lambda_5 = 1.92$
$r_2 = s_2\ Y_2^r/Y_2^s$	$\lambda_6 = 0.005\ \mathrm{d}^{-1}$
$\lambda_3 = s_2/M_t$	$t_p = .25$ days

Diferencialinės lygtys, aprašančios modelį:

Virškinimo trakto ar plaučių skyrius (Y_1):

$$\frac{\mathrm{d}Y_1^{\mathrm{r}}(t)}{\mathrm{d}t} = I_{\mathrm{r}}(t) - (\lambda_1 + \lambda_{\mathrm{r}}) \cdot Y_1^{\mathrm{r}}(t) \tag{24}$$

$$\frac{\mathrm{d}Y_1^{s}(t)}{\mathrm{d}t} = I_{\mathrm{s}}(t) - \lambda_1 \cdot Y_1^{\mathrm{s}}(t) \tag{25}$$

$I_r(t)$ ir $I_s(t)$ yra įsiurbimo sparta radioaktyvaus ir stabilaus jodo atitinkamai.

Neorganinis skyrius (Y_2):

$$\frac{\mathrm{d}Y_2^{\mathrm{r}}(t)}{\mathrm{d}t} = \lambda_1 \cdot Y_1^{\mathrm{r}}(t) + \lambda_4 \cdot Y_4^{\mathrm{r}}(t) - (\lambda_5 + \lambda_r) \cdot Y_2^{\mathrm{r}}(t) - r_2 \tag{26}$$

$$\frac{\mathrm{d}Y_2^{s}(t)}{\mathrm{d}t} = \lambda_1 \cdot Y_1^{\mathrm{s}}(t) + \lambda_4 \cdot Y_4^{\mathrm{s}}(t) - s_2 \tag{27}$$

Skydliaukės skyrius (Y_3):

$$\frac{\mathrm{d}Y_3^{\mathrm{r}}(t)}{\mathrm{d}t} = r_2 - (\lambda_3 + \lambda_r) \cdot Y_3^{\mathrm{r}}(t) \tag{28}$$

$$\frac{\mathrm{d}Y_3^{s}(t)}{\mathrm{d}t} = s_2 - \lambda_3 \cdot Y_3^{\mathrm{s}}(t) \tag{29}$$

Organinis skyrius (Y_4):

$$\frac{\mathrm{d}Y_4^{\mathrm{r}}(t)}{\mathrm{d}t} = \lambda_3 \cdot Y_3^{\mathrm{r}}(t) - (\lambda_4 + \lambda_6 + \lambda_r) \cdot Y_4^{\mathrm{r}}(t) \tag{30}$$

$$\frac{\mathrm{d}Y_4^{s}(t)}{\mathrm{d}t} = \lambda_3 \cdot Y_3^{\mathrm{s}}(t) - (\lambda_4 + \lambda_6) \cdot Y_4^{\mathrm{r}}(t) \tag{31}$$

Šlapimo pūslės turinys (Y_5):

$$\frac{\mathrm{d}Y_5^{\mathrm{r}}(t)}{\mathrm{d}t} = \lambda_5 \cdot Y_2^{\mathrm{r}}(t) + \lambda_6 \cdot Y_4^{\mathrm{r}}(t) - \lambda_r \cdot Y_5^{\mathrm{r}}(t) \tag{32}$$

$Y_5^r(t)$ lygus nuliui kiekvienas t_{p} valandas.

Šių lygčių išvedimui buvo manoma, kad radioaktyvaus jodo masė yra nereikšminga palyginti su stabilaus jodo. Jos susietos pirmo laipsnio tiesinėmis lygtimis:

$$r_2 = s_2 \cdot \frac{Y_2^{\mathrm{r}}}{Y_2^{\mathrm{s}}} \tag{33}$$

Q_{i} vertės, reikalingos dozės įvertinimui, apskaičiuojamos pagal šias lygtis:

Kraujas ir minkštieji audiniai:

$$Q_1 = \int_0^{\alpha} (Y_2^{\mathrm{r}}(t) + Y_4^{\mathrm{r}}(t))\mathrm{d}t \tag{34}$$

Skydliaukė:

$$Q_2 = \int_0^{\alpha} Y_3^{\mathrm{r}}(t)\,\mathrm{d}t \tag{35}$$

Šlapimo pūslės turinys:

$$Q_3 = \int_0^{\alpha} Y_5^{\mathrm{r}}(t)\,\mathrm{d}t \tag{36}$$

$Y_{\mathrm{i}}^r(t)$ vertės, kurios turi būti naudojamos 34 – 36 lygtyse yra gaunamos iš pirmų devynių lygčių su $I_s(t)$ konstanta [11].

Skaitinius šių lygčių sprendinius galima lengvai gauti su automatiniu skaitinio integravimo paketu FORSIM bet kokioms įėjimo $I_{\mathrm{r}}(t)$ ir $I_{\mathrm{s}}(t)$ vertėms. Su maistu gaunamo jodo kiekis be abejo skiriasi kiekvienam regione ir taip pat priklauso nuo kiekvieno žmogaus mitybos. Kuo didesnis stabilaus jodo kiekis suvartojamas su maistu, tuo didesnis jo kiekis bus neorganiniame skyriuje, ir dėl to mažesnė radioaktyvaus jodo dozė yra įsisavinama [11].

Kaip minėta anksčiau, dozė, gauta iš suvartoto radioaktyvaus jodo, varijuos nuo kasdien gaunamos stabilaus jodo dozės. Ji net tik varijuos su stabilaus jodo doze, suvartojama kasdien, bet ir su laiko seka, kada buvo suvartotas stabilus jodas dienos metu ir kada buvo suvartotas radioaktyvus

jodas, kadangi sulaikymas neorganiniame skyriuje daug trumpesnis nei diena. 3 – oje lentelėje pateiktos sukauptųjų dozių skydliaukėje vertės nuo tiriamųjų amžiaus, o 4 – oje lentelėje pateiktos gautos sumažintos dozės skydliaukei etaloniniam žmogui kasdien suvartojus nuo 75 iki 1000 µg stabilaus jodo [11].

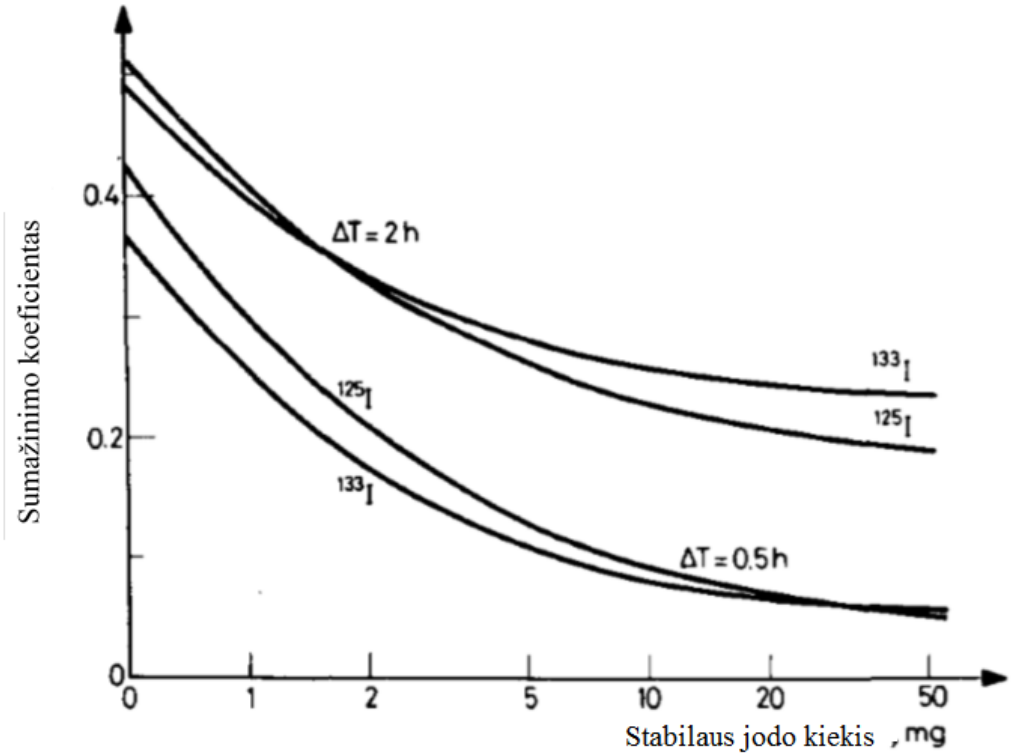
3 lentelė. Sukauptosios dozės skydliaukėje (rem/µCi) [11].

Amžius	^{123}I	^{125}I	^{131}I	^{132}I	^{133}I	^{134}I	^{135}I
0	0.126	8.44	15.1	0.138	2.96	0.0323	0.622
1	0.0989	4.58	10.8	0.109	2.29	0.0255	0.491
2	0.0796	2.82	7.95	0.0879	1.84	0.0207	0.398
5	0.0494	2.41	5.34	0.0535	1.12	0.0125	0.241
10	0.0297	2.09	3.35	0.0311	0.649	0.00723	0.140
15	0.0207	1.72	2.29	0.0208	0.429	0.00483	0.0936
Etaloninė moteris	0.0154	1.37	1.66	0.0152	0.306	0.00347	0.0674
Etaloninis vyras	0.0128	1.14	1.38	0.0127	0.255	0.00245	0.0563

4 lentelė. Sukauptosios dozės skydliaukėje pasiskirstymas suvartojus skirtingus kiekius stabilaus jodo [11].

paros suvartojimas µg	^{123}I	^{125}I	^{131}I	^{132}I	^{133}I	^{134}I	^{135}I
75	2.76 (–2)	2.34	2.72	3.18 (–2)	5.32 (–1)	7.68 (–3)	1.29 (–1)
100	2.25 (–2)	1.93	2.28	2.44 (–2)	4.38 (–1)	5.76 (–3)	1.02 (–1)
150	1.63 (–2)	1.43	1.72	1.67 (–2)	3.22 (–1)	3.84 (–3)	7.23 (–2)
200	1.28 (–2)	1.14	1.38	1.27 (–2)	2.55 (–1)	2.45 (–3)	5.63 (–2)
300	8.98 (–3)	0.812	0.996	8.56 (–3)	1.80 (–1)	1.92 (–3)	3.89 (–2)
600	4.72 (–3)	0.310	0.540	4.34 (–3)	9.57 (–2)	9.66 (–4)	2.02 (–2)
1000	2.90 (–3)	0.265	0.316	2.61 (–3)	5.90 (–2)	5.80 (–4)	1.22 (–2)

Jau seniai žinoma, kad radioaktyvaus jodo įsisavinimas skydliaukėje gali būti sėkmingai blokuojamas išgėrus dideles stabilaus jodo dozes. Šis skydliaukės blokavimo modeliavimas buvo atvaizduotas modeliu, pavaizduotu 7 – ame paveiksle pagal stabilaus jodo įvesties impulsą į Y_1 skyrių, kuris atvaizduoja skrandį. 9 paveiksle atvaizduota skydliaukės gauta dozė kaip funkcija nuo stabilaus jodo kiekio, suduoto po 0,5 ir 2 valandų po radioaktyvaus jodo patekimo į organizmą. Kuo didesnis stabilaus jodo kiekis, tuo mažesnė dozė tenka skydliaukei. Šie mažinimo veiksniai skaičiuojami etaloniniam žmogui, kuris suvartoja 200 µg d^{-1} stabilaus jodo per parą [11].



9 pav. Sukauptosios dozės mažinimo koeficiento priklausomybė nuo suvartoto stabilaus jodo kiekio dviem laiko momentais: $\Delta T_1 = 0{,}5$ h ir $\Delta T_2 = 2$ h. [11].

Taigi stabilaus jodo įtraukimas tiesiogiai į modelį leido apskaičiuoti blokuojančias stabilaus jodo dozes ir gauta, kad 60 mg stabilaus jodo kiekis yra pakankamas užtikriti visišką skydliaukės blokavimą [11].

3. TYRIMO METODIKA

3.1 Skydliaukės apšvitos dozių vertinimo metodika

Šiame tyrime naudojami įvairiose Lietuvos apskrityse surinkti radioaktyvaus jodo aktyvumo žolėje duomenys [12]. Pasinaudojant šiais duomenimis pirmiausia reikia įvertinti ^{131}I aktyvumą piene. Aktyvumas piene skaičiuojamas tiesiniu metodu [8]:

$$C_{\mathrm{p}} = C_{\check{\mathrm{z}}} \cdot F_{\mathrm{m}} \cdot Q_{\check{\mathrm{z}}}, \quad (37)$$

čia:

$C_{\mathrm{p}} -$ ^{131}I savitasis aktyvumas piene, Bq/kg;

$C_{\check{\mathrm{z}}} -$ ^{131}I savitasis aktyvumas žolėje, Bq/L;

$Q_{\check{\mathrm{z}}} -$ suvartojamos žolės kiekis kg/d. Nustatyta, kad karvė vidutiniškai suėda 12 kg. sausos žolės.

$F_{\mathrm{m}} -$ pernašos proceso efektyvumą apibrėžia lygsvarinis pernašos faktorius F_{m} (pašarai-pienas) (Toks metodas tinka aprašyti radionuklidų pernašą nuostoviosiomis sąlygomis, todėl ir parametras vadinamas lygsvariniu). Radionuklidų pernaša "pašarai-galvijas-pienas" grandimi paprasčiausiu būdu yra modeliuojama kaip tiesinis procesas (7 pav.). Paprastuose modeliuose pernaša aprašoma vienu efektinių pernašos parametru. F_{m} parametras įvertinamas, remiantis eksperimentiniais i-ojo tipo radionuklido savitojo aktyvumo matavimais dienos pašarų racione bei atitinkamame produkte, remiantis šia išraiška [8]:

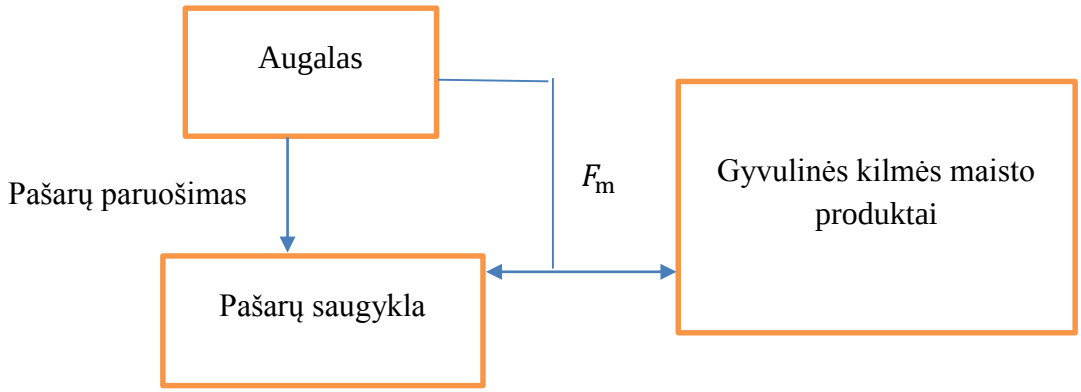
$$F_{\mathrm{m,i}} = \frac{C_{\mathrm{m,i}}}{C_{\mathrm{p,i}}}, \quad (38)$$

čia:

$C_{\mathrm{m,i}} -$i-ojo tipo radionuklido savitasis aktyvumas piene, Bq$\cdot$ L^{-1};

$C_{\mathrm{p,i}} -$ i-ojo tipo radionuklido suminis aktyvumas gyvulio dienos pašarų racione, Bq$\cdot$diena^{-1}.

Šiame darbe naudojama rekomenduojama eksperimentiškai nustatyta F_{m}vertė – 0,0099 d/L [7];



10 pav. Radionuklidų pernaša "pašarai – galvijas – pienas" grandimi paprasčiausiu būdu yra modeliuojama kaip tiesinis procesas.

Tuomet skaičiuojama lygiavertė dozė vaikų skydliaukei pagal formulę [8]:

$$E_{\text{ing}} = I_{\text{ing}} \cdot DF_{\text{ing}} \cdot C_{\text{p}} \cdot N(t), \quad (39)$$

čia:

I_{ing} – suvartojamo pieno kiekis litrais. Laikoma, kad vidutiniškai per dieną išgeriama 0,4 L.

DF_{ing} – vidinės apšvitos vartojant užterštą maistą dozės faktorius, Sv/Bq.

$N(t)$ – radioaktyvaus jodo kiekio kaitos nuo laiko integralas:

$$N(t) = \int_0^{60} e^{-\lambda t}\, dt = \frac{1}{\lambda}\int_0^{60} e^{-\lambda t} d\lambda t = \frac{1}{\lambda}\left(e^0 - e^{-60\lambda}\right), \quad (40)$$

čia:

t – laikas, šiuo atveju 60 dienų;

λ – radioaktyvaus skilimo konstanta 1/d.:

$$\lambda = \frac{ln2}{T_{1/2}}, \quad (41)$$

čia:

$T_{1/2}$ – tai laikas, per kurį radionuklido branduolių skaičius sumažėja 2 kartus dėl radioaktyviojo skilimo [13]:

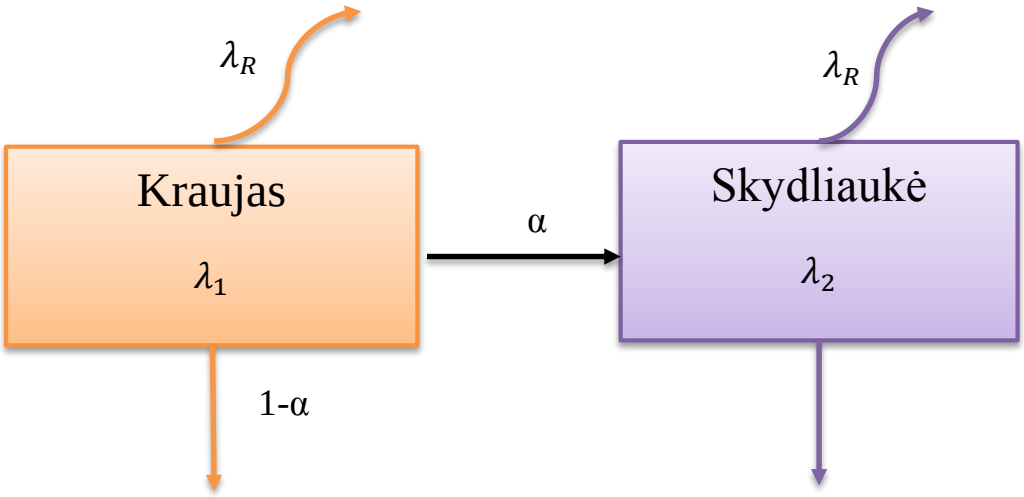
$$\frac{1}{T_{1/2}} = \frac{1}{T_{1/2\text{skil}}} + \frac{1}{T_{\text{w}}} = \frac{T_{1/2\text{skil}} + T_{\text{w}}}{T_{1/2\text{skil}} \cdot T_{\text{w}}}, \quad (42)$$

čia:

$T_{1/2\text{skil}}$ – radioaktyvaus jodo pusėjimo trukmė, kuri yra 8,04 d.;

T_{w} – nugairinimo pusėjimo trukmė. Radioaktyvaus jodo nugairinimo pusėjimo trukmė jodui yra 14 d. (1 lentelė).

Vidinės apšvitos vartojant užterštą maistą dozės faktorius - DF_{ing}, priklausantis nuo kiekvieno žmogaus amžiaus, gali būti įvertintas panaudojant dviejų sandų bio – kinetinį modelį (8 pav.) [13].



11 pav. Dviejų sandų bio – kinetinis modelis jodui.

Dozės faktorius skaičiuojamas pagal formulę:

$$DF_{ing} = IA * SEE \quad (43)$$

čia:

DF – dozės faktorius, (Gy Bq^{-1});

IA – integrinis ^{131}I aktyvumas skydliaukėje suvartojus 1 Bq radiojodo, d, skaičiuojamas pagal formulę:

$$IA = \frac{\alpha * \lambda_1}{(\lambda_R+\lambda_1)(\lambda_R + \lambda_2)}, \quad (44)$$

SEE – specifinė efektinė energija, (Gy Bq^{-1} d^{-1});

α – įsisavinto jodo iš kraujo į skydliaukę dalis, (bedimensis dydis);

λ_1 – jodo perdavimo iš skydliaukės į kraują spartos konstanta, d^{-1};

λ_2 – jodo perdavimo iš kraujo į skydliaukę spartos konstanta, d^{-1};

λ_R;– radioaktyvaus jodo skilimo konstanta, d^{-1}.

Specifinė efektinė energija (*SEE*) – tai skydliaukės masės vienetui tenkanti 1 Bq energija iš branduolinių transformacijų, kuri išlaikoma skydliaukėje 1 dieną. *SEE* priklauso nuo energijos dalies, sugertos liaukoje. Didžiausias indėlis į *SEE* yra neskvarbiosios spinduliuotės (β spinduliavimas, konversijos elektronai ir Ožė elektronai), kuri yra visiškai sugeriama skydliaukėje.

Skvarbiosios spinduliuotės indėlis (gama ir rentgeno spinduliavimas) yra žymiai mažiau svarbus. *SEE* gali būti empiriškai išreikšta kaip funkcija nuo skydliaukės masės (m_{T}):

$$SEE = \frac{g}{m_{\mathrm{T}}} + h \cdot (m_{\mathrm{T}})^{p}, \tag{45}$$

Jei skydliaukės masė išreikšta gramais, tada pritaikomi parametrai bus: $g = 0.406, h = 0.01014, ir\ p = -0.666$. Naudojant šias parametrų vertes, gauta *SEE* bus išreiškiama rad $\mu\mathrm{Ci}^{-1}\ \mathrm{h}^{-1}$ vienetais. Tada, prieš naudojant *SEE*, reikia atlikti vienetų transformaciją, kad *SEE* būtų išreikšta Gy $\mathrm{Bq}^{-1}\,\mathrm{d}^{-1}$. Vienetų transformacijos koeficientas yra $1.54{\cdot}10^{8}$ Gy $\mathrm{Bq}^{-1}\,\mathrm{d}^{-1}$ per rad $m\mathrm{Ci}^{-1}\ \mathrm{h}^{-1}$ [13].

Perdavimo konstantų skydliaukėje (λ_2) ir kraujyje (λ_1) išvedimas yra paremtas jodo koncentracijos skydliaukėje matavimais, kai injekcijos į veną metu, įleidžiamas žinomas kiekis radioaktyvaus jodo. Didžiausias aktyvumas skydliaukėje yra stebimas maždaug 24 valandas ($t_{\max}$) po suleidimo, po kurio jis lėtai pradeda mažėti. Aktyvumo lygis yra matuojamas bent jau dviem laiko momentais (t_1 ir t_2) po injekcijos. Tuo remiantis, gali būti apibrėžta „tariama“ pusėjimo trukmė (T^*), kuri apibūdina jodo aktyvumo mažėjimą skydliaukėje. Matavimai yra paprastai atliekami praėjus 24 valandoms po injekcijos (maksimumo aktyvumui nustatyti) ir po 15 dienų. Remiantis išmatuota „tariama“ pusėjimo trukme (T^*), gali būti išvestos perdavimo konstantos skydliaukėje (λ_2) ir kraujyje (λ_1) [13].

Kai yra sprendžiamos diferencialinės lygtys dviejų – skyrių modeliui, skydliaukės skyrius atvaizduojamas tokia forma [14]:

$$A(t) = K \cdot (\exp(-\mu_1 t) - \exp(-\mu_2 t)), \tag{46}$$

iš kurios gauname:

$$\frac{\mu_1}{\mu_2} = e^{(\mu_1 - \mu_2) t_{\max}} \tag{47}$$

įvedama transformacija $(\mu_1, \mu_2) \rightarrow (r, s)$, tada:

$$r = \frac{\mu_1}{\mu_2} \tag{48}$$

$$s = \mu_2 - \mu_1\ (0 \le \mu_1 < \mu_2) \tag{49}$$

atvirkštinė tapatybė:

$$\mu_1 = \frac{rs}{1 - r} \tag{50}$$

$$\mu_2 = \frac{s}{1 - r}\ (0 \le r < 1, s > 0). \tag{51}$$

Tuomet iš 47 – osios lygties išreikškiame s per r koeficientą:

$$s = -{t_{max}}^{-1} \ln r. \tag{52}$$

Kadangi $\mu_{\mathrm{i}} = \lambda_{\mathrm{i}}^{\mathrm{b}} + \lambda_{\mathrm{R}}\ (\mathrm{i} = 1, 2)$, galima išvesti λ_1 ir λ_2:

$$\lambda_1 = \frac{s}{1-r} - \lambda_R, \tag{53}$$

$$\lambda_2 = \frac{(s \cdot r)}{1-r} - \lambda_R, \tag{54}$$

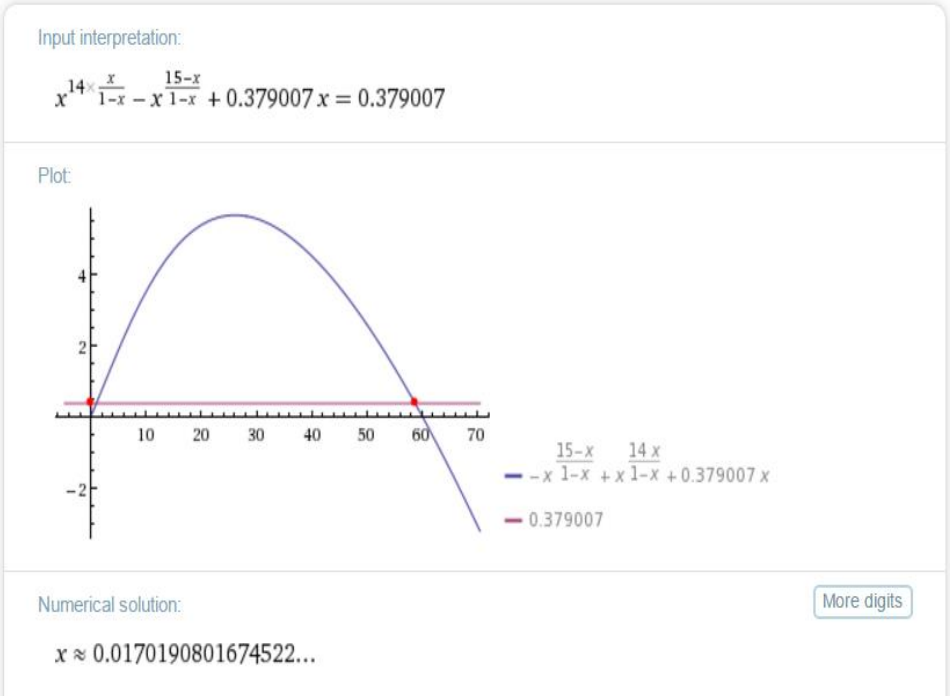
Koeficientas *r* apibrėžiamas lygtimi:

$$\frac{\left[1 - r^{\frac{t_2}{t_{max}}}\right] \cdot r^{\left(\frac{r}{1-r} \cdot \frac{t_2}{t_{max}}\right)}}{\left[1 - r^{\frac{t_1}{t_{max}}}\right] \cdot r^{\left(\frac{r}{1-r} \cdot \frac{t_1}{t_{max}}\right)}} = \exp\left[-\frac{0.693}{T^*} \cdot (t_2 - t_1)\right]. \tag{55}$$

lygtis suprastinama (n šiuo atveju žymi skaitinę reikšmę, gautą įstačius į lygybę atitinkamas T^*, t_2, t_1 reikšmes ir pakėlus eksponentę gautu laipsniu):

$$r^{\frac{14r}{1-r}} - r^{\frac{15-r}{1-r}} + nr = n \tag{56}$$

Šios lygties r sprendiniams gauti panaudojama matematinė “Wolfram Alpha” programa. Programoje x žymi r koeficientą. Programos sprendinių atvaizdavimas pateiktas 12 pav.



12 pav. Matematinės programos “Wolfram Alpha” sprendinių atvaizdavimas.

Matyti, kad programa pateikia du sprendinius, tačiau pagal apibrėžimą $r \leq 0$, todėl antrasis sprendinys atkrenta.

53 – oje ir 54 – oje lygtyse, indeksas „1“ ženklina kraujo skyrių, o indekas „2“ – skydliaukės skyrių. Lygtys buvo išvestos remiantis ^{131}I „tariama“ pusėjimo trukme (T^*) žmogaus kūne, kaip funkcija nuo amžiaus ir lyties. Parametras $t_{max} = t_1 = 1$ diena pateikia apribojimą, kad aktyvumas skydliaukėje turi maximumą praėjus 1 dienai po injekcijos. Šio parametro kitimas nuo 0.5

iki 2 dienų iššaukia rezultatų nuokrypį mažesni nei 11 %. Intervale $t_1 = 1$ diena ir $t_2 = 15$ dienų, dažniausiai yra matuojama „tariama“ pusėjimo trukme (T^*). Norint gauti λ_1 ir λ_2, esant maksimaliai biologinei sulaikymo funkcijai $q^b(t) = e^{-\lambda_R t} A(t) = K(e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})$ t.y. esant viršutinei užregistruoto radioaktyvumo, išlikusio po radioaktyviojo skilimo ir $t_{\max}$ laiku įmanomo įsisavinti skydliaukėje, ribai, reikia pataisyti skaičiavimą t. y. λ_R prilyginti nuliui. Tuomet jau galima atlikti skaičiavimus [14].

3.1.1 Dviejų sandų bio – kinetinio modelio parametrai

Trys parametrai turi būti nustatyti, kad būtų galima išspręsti sistemos lygtis (nuo 44 iki 56 lygties). Pirmasis yra „tariama“ pusėjimo trukmė (T^*), antrasis – įsisavinto jodo iš kraujo į skydliaukę dalis – (α) (5 lentelė). Duomenys yra suskirstyti į keturias grupes: (a) naujagimiai, (b) vaikai nuo 0.5 iki 2 metų, (c) paaugliai nuo 6 iki 16 metų ir (d) suaugę nuo 18 metų. Dėl šios specifinės kategorizcijos, tariamos pusėjimo trukmės pokyčiai ir įsisavinimas su amžiumi neatrodo monotoniškas [13].

5 lentelė. Parametrų T^* ir α vertės priklausomai nuo tiriamojo amžiaus [13].

	Parametras	Vienetai	Vertė
Naujagimis	T^*	D	13,0
	α	bedimensis	0,37
Vaikas	T^*	D	10,0
	α	bedimensis	0,37
Paauglys	T^*	D	44,0
	α	bedimensis	0,43
Suaugęs	T^*	D	72,0
	α	bedimensis	0,17

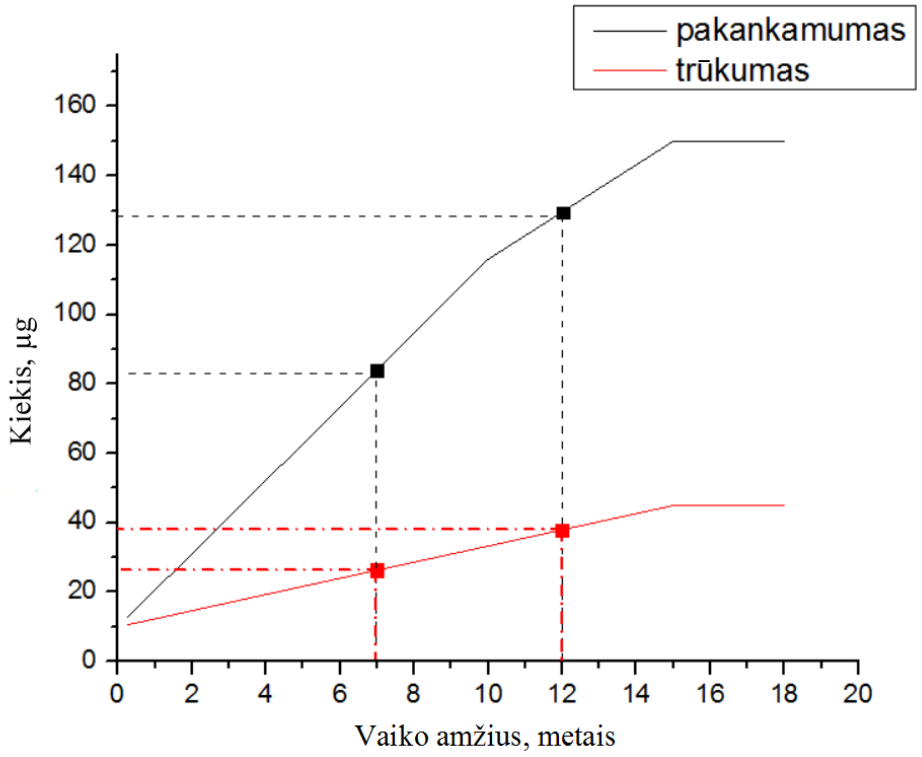
Trečiasis parametras yra skydliaukės masė, kaip funkcija nuo amžiaus. Daugelio skydliaukės masės tyrimų rezultatai yra gauti skrodimo būdu. Vis dėl to, dauguma matavimo rinkinių nėra užbaigti, nes neapima kai kurių amžiaus grupių arba dėl to, kad kai kurioms amžiaus grupėms yra turimi tik keli matavimai. Modernūs echoskopiniai metodai šiuo metu naudojami, siekiant nustatyti skydliaukės tūrį didelėms populiacijoms. Skydliaukės masės gali būti gautos iš išmatuotų tūrių, pasinaudojant skydliaukės audinių tankiu. Rezultate gaunami geresni skydliaukės masių

skirstiniai populiacijai. Kai kuriais atvejais, echoskopijos būdu gauti skydliaukės masių rezultatai buvo mažesni nei skrodimo būdu. Toks rezultatas iššauks didesnius dozių įverčius [13].

6 lentelė. Skydliaukės masių pasiskirstymas pagal amžių [13].

Amžius, metais	Skydliaukės masė, g
1	2,05
7	4,70
12	8,80
18	13,8

Naudojamas dviejų sandų bio – kinetinis modelis, DF_{ing} koeficiento įvertinimui, remiasi prielaida, kad stabilaus jodo kiekis yra pakankamas tiriamojo skydliaukėje. Šiame darbe bus atlikti skaičiavimai esant stabilaus jodo pakankamumui ir trūkumui. Trūkumas yra santykis pakankamo stabilaus jodo kiekio skydliaukėje su nepakankamu jodo kiekiu. Todėl norint įvertinti trūkumą, reikia žinoti, koks stabilaus jodo kiekis yra pakankamas ir deficinis kiekvienai amžiaus grupei. Tačiau turimi duomenys apima 0, 5, 10, 15 ir 18 amžiaus grupes. Todėl duomenys buvo interpoliuoti kaip pavaizduota 13 pav. ir gauti kiekiai reikalingoms 7 bei 12 m. vaikų grupėms [10].



13 pav. Stabilaus jodo kiekio trūkumas ir pakankamumas (µg) priklausomai nuo tiramojo amžiaus.

Tokią prielaidą, kad stabilaus jodo kiekio trūkumas bei pakankamumas skydliaukėje auga tiesiškai didėjant tiriamųjų amžiui, galima daryti iš medžiagų apykaitos modelio 33 – osios lygties. Gauti duomenys surašyti 7 – oje lentelėje [11].

7 lentelė. Stabilaus jodo kiekio (µg) per dieną pakankamumas ir trūkumas, priklausomai nuo amžiaus [10].

Amžius, metais	Pakankamas stabilaus jodo kiekis, µg	Nepakankamas stabilaus jodo kiekis, µg	Trūkumas
1	20,6	12,3	1,7
7	83,7	26,3	3,2
12	129,4	37,7	3,4
18	150	45	3,3

3.2 Skydliaukės apšvitos dozių įvertinimas

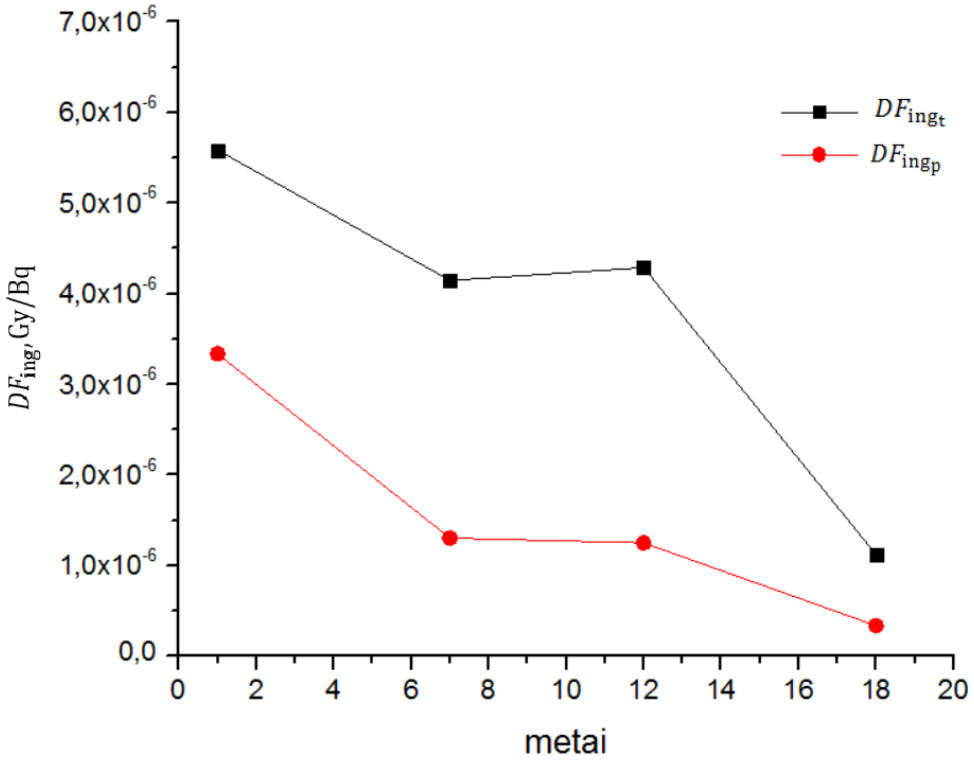
Įstačius skaitines vertes į formules gauname efektinę pusėjimo trukmę: $T_{1/2} = 5{,}1$ d.; įstačius $T_{1/2}$ gautą vertę, gaunama $\lambda = 0{,}14$ 1/d., Tuomet integralas N(t) = 7,37 sk./d.

DF_{ing} faktoriaus įvertinimui gautos reikalingų parametrų vertės surašytos 8 – oje lentelėje. IA_{p} yra integrinis I^{131} aktyvumas skydliaukėje, esant pakankamam jodo stabilaus jodo kiekiui skydliaukėje, o IA_{t} – integrinis I^{131} aktyvumas skydliaukėje, esant stabilaus jodo kiekio trūkumui skydliaukėje.

8 lentelė. DF_{ing} faktoriaus įvertinimui reikalingos parametrų vertės.

Amžius, metais	λ_1, d^{-1}	λ_2, d^{-1}	λ_{R}, d^{-1}	r	s	IA_{p}, d	IA_{t}, d	SEE, $10^{-6}\mathrm{Gy\ Bq^{-1}d^{-1}}$
1	4,5	0,05	0,09	0,01	4,4	2,6	4,3	1,3
7	5,1	0,07	0,09	0,02	4.1	2,3	7,4	0,6
12	5,9	0,02	0,09	0,003	5,9	4,2	14,3	0,3
18	6,5	0,01	0,09	0,002	6,5	1,8	5,8	0,2

Gautas dozės faktoriaus verčių pasiskirstymas pagal tiriamųjų amžių pavaizduotas grafiškai (14 pav.). $DF_{\mathrm{ing_p}}$ yra dozės faktorius, esant pakankamam stabilaus jodo kiekiui skydliaukėje, o $DF_{\mathrm{ing_t}}$ – dozės faktorius, esant stabilaus jodo kiekio trūkumui skydliaukėje.



14 pav. Dozės faktorių $DF_{\mathrm{ing_p}}$ ir $DF_{\mathrm{ing_t}}$ priklausomybės nuo tiriamųjų amžiaus.

Visas gautas skaitines vertes įstačius į dozės vaikų skydliaukei formulę ir pasinaudojus surinktais žolės aktyvumo duomenimis įvairiuose Lietuvos rajonuose [12], gauname dozių pasiskirstymą 0-18m. vaikams esant stabilaus jodo kiekio pakankamumui ir trūkumui skydliaukėje (9 lentelė).

9 lentelė. Skydliaukės apšvitos dozių įvertinimas įvairiuose Lietuvos rajonuose po Černobylio AE avarijos nuo amžiaus bei stabilaus jodo pakankamo ir nepakankamo kiekio skydliaukėje.

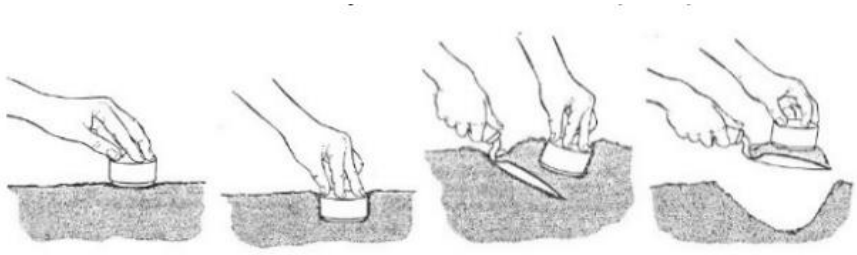
	Savivaldybė	I-131 aktyvumas žolėje išmatuotas kBq/kg sauso sv.	Įvertintas I-131 aktyvumas piene, Bq/L	Dozės skydliaukei, mSv (pakankamas jodo kiekis)				Dozės skydliaukei, mSv (nepakankamas jodo kiekis)			
				1 m.	7 m.	12 m.	18 m.	1 m.	7 m.	12 m.	18 m.
1	Alytaus m.	1,7	202	2,1	0,8	0,8	0,2	3,5	2,6	2,7	0,7
2	Jurbarko r.	1,9	219,8	2,2	0,8	0,8	0,2	3,6	2,7	2,8	0,7
3	Kaišiadorių r.	0,8	95,0	0,9	0,4	0,4	0,1	1,5	1,2	1,2	0,3
4	Kauno m.	1,2	142,6	1,4	0,6	0,5	0,1	2,4	1,7	1,8	4,7
5	Klaipėdos m.	35	4158	40,9	16	15,3	4,1	68,5	50,8	52,6	13,7
6	Lazdijų r.	1,2	142,6	1,40	0,6	0,5	0,1	2,4	1,7	1,8	0,5
7	Mažeikiai	1,2	142,6	1,4	0,6	0,5	0,1	2,4	1,7	1,8	0,5
8	Pagėgių	11	1306,8	13	5	4,8	1,3	21,5	16	16,5	4,3
9	Panevėžio m.	0,7	83,2	0,8	0,3	0,3	0,1	1,4	1,0	1,1	0,3
10	Plungės r.	5,5	653,4	6,4	2,5	2,4	0,7	10,8	8	8,3	2,2
11	Šiaulių m.	0,8	95,0	0,9	0,4	0,4	0,1	1,6	1,2	1,2	0,3
12	Šilutės r.	2,5	297	2,9	1,1	1,1	0,3	4,9	3,6	3,8	1
13	Trakų r.	2	237,6	2,3	0,9	0,9	0,2	3,9	2,9	3,0	0,8
14	Ukmergės r.	0,9	106,9	1,1	0,4	0,4	0,1	1,7	1,3	1,4	0,4
15	Varėnos r.	14,8	1758,2	17	6,8	6,5	1,7	29	21,5	22,2	5,8
16	Vilniaus m.	2,6	308,9	3,0	1,2	1,1	0,3	5,1	3,8	3,9	1,0
$DF_{\mathrm{ing_p}}$, 10^{-6} Sv/Bq				3,3	1,3	1,25	0,34				
$DF_{\mathrm{ing_{pt}}}$, 10^{-6} Sv/Bq								5,6	4,2	4,3	1,1
Dozių vidurkis				6,1	2,4	2,2	0,6	10,3	7,6	7,9	2,3

Iš 1 ir 2 priedo lentelės matyti, kad didžiausias dozes gavo Klaipėdos, Palangos, Kalvarijų ir Druskininkų savivaldybių gyventojai. Tačiau, tam, kad būtų galima patikrinti koreliaciją dar bandinių aktyvumo ir įvertintos dozės, 9 – oje lentelėje pateikti tik tie miestai, iš kurių buvo paimti bandiniai. Dozių pasiskirstymą galėjo nulemti tomis dienomis vyravusios oro masių trajektorijos (1 pav.). Iš rezultatų galima daryti išvadą, kad didžiausias dozes, gavo patys mažiausi 1 metų vaikai, esant stabilaus jodo pakankamumui – apie 6 mSv, trūkumui – 10,7 mSv, o mažiausias 18 metų, esant pakankamumui – apie 0,6 mSv, o trūkumui – 1mSv. Taip yra dėl to, kad kūdikių skydliaukės masė yra apie 10 kartų mažesnė negu suaugusiųjų. Pavojus kūdikiams taip pat yra didesnis, nes ypatingai jautrus organizmas yra ląstelių spartaus dauginimosi laikotarpiais, ypač embrioninėje ir ankstyvos vaikystės stadijoje. Jų audiniai sparčiai auga, todėl kuo jaunesnis vaikas, tuo nulemtieji jonizuojančiosios spinduliuotės padariniai yra sunkesni. Esant stabilaus jodo deficitui skydliaukėje, gaunamos dozės yra net nuo 1,7 iki 3,5 karto didesnės, nei esant pakankamumui. Tai reiškia, kad įvykus branduolinio įrenginio avarijai būtina vartoti stabilaus jodo preparatus, norint apsisaugoti nuo didesnių skydliaukės apšvitos dozių. Apykaitos modelyje buvo apskaičiuota, kad 60 mg stabilaus jodo kiekis yra pakankamas užtikriti visišką skydliaukės blokavimą.

Lyginant gautus rezultatus su anksčiau aptartais bio – kinetiniu modeliu paremto tyrimo rezultatais, galima teigti, kad gautos dozės yra mažesnės. Iš 6 pav. matyti, kad dozės labiausiai užterštuose rajonuose vienerių metų vaikams siekė net kelis šimtus mSv, o iš 9 lentelės matyti, kad šio tyrimo metu apskaičiuota didžiausia dozė vienerių metų vaikams buvo apie 68,5 mSv. Tokį rezultatų pasiskirstymą galėjo lemti skirtingos dozės vertinimo metodikos bei mažesni aktyvumai piene, nei bio – kinetinio modelio atveju. Iš 5 pav. ir 14 pav. matyti, kad esant jodo pakankamumui dozės faktoriaus vertė mažesnė, tačiau šiame darbe gautas dozės faktorių pasiskirstymas šiek tiek skiriasi. Matomas pakilimas ties 12 m. vaikų dozės faktoriumi, esant stabilaus jodo trūkumui. Šią anomaliją galima paaiškinti tuo, kad tai yra paauglystės laikotarpis, vyksta labai spartus ląstelių dauginimasis, persiformuoja endokrininių liaukų veikla ir skydliaukei padidėja jodo poreikis. Taip pat šiame darbe buvo atsižvelgta į jodo nugairinimo procesus. Tai taip pat sumažina skydliaukės gaunamas dozes. Šio darbo tyrime dozės atstatytos remiantis ^{131}I jodo aktyvumu žolėje, o ne tiesioginiais aktyvumo piene rezultatais, tai taip pat galėjo turėti įtakos rezultatams. Esant skydliaukės lygiavertei dozei iki 100 mSv jokie organizmo pokyčiai nepastebimi. Iš gautų rezultatų galima daryti išvadas, kad dozės, gautos po Černobylio AE avarijos neturėjo pastebimos įtakos vaikų sveikatai. Tai patvirtino ir vaikų sveikatos stebėjimai po ČAE avarijos Lietuvoje.

3.3 Bandinių, paimtų įvairiuose Lietuvos rajonuose, aktyvumo vertinimo metodika

Kontroliniams bandiniams surinkti yra naudojamas cilindro formos vamzdis, kurio ilgis 12 cm., o skersmuo – 8 cm. Pasirinktos vietovės dirvožemis neturėtų būti artas, nes artoje dirvoje radiocezio aktyvumas pasiskirstęs tolygiai visame ariamajame sluoksnyje ir nesimatys ^{137}Cs smailės. Dirvožemio ėmimas pavaizduotas 15 pav. Bandiniai buvo surinkti 2016-05-12 [15].



15 pav. Dirvožemio ėmimo pavyzdys.

Pirmiausia vamzdis yra įstumiamas į dirvą. Labiausiai reikalingas yra 10 cm. dirvožemio gylis, nes yra laikoma, kad aktyvumas susitelkęs pirmame dirvožemio 10 cm gylyje. Tuomet yra pakišamas pagrindas į vamzdžio dugną ir taip išimamas dirvožemis. Laboratorijoje jis yra išdžiovinamas ir sudedamas į specialų, matavimas skirtą konteinerį kaip pavaizduota 16 pav.



16 pav. Kontrolinis bandinys specialiame konteineryje.

Bandinys dedamas į gryno germanio detektorių CANEBRRA. Gryno germanio detektorius tai cilindras su n-tipo germanio kontaktu išoriniame paviršiuje ir p-tipo kontaktu ašinio šulinio paviršiuje. Detektorius pavaizduotas 17 pav.



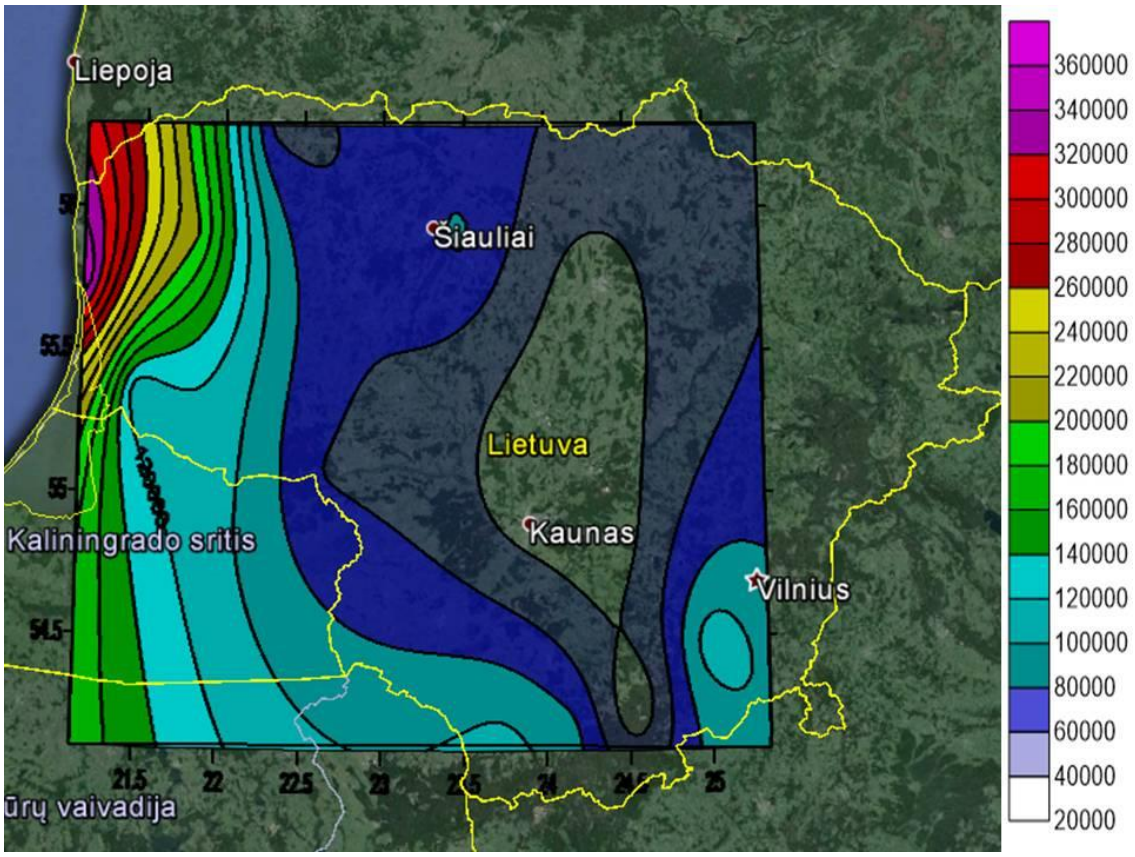
17 pav. CANEBRRA gama detektorius

Toliau bandinys statomas į gamą spektrometrą ir atliekami matavimai. Kadangi vienų mėginių matavimai buvo ilgesni nei kitų (vieni bandiniai buvo tiriami per naktį), skiriasi matavimų paklaidos. Atlikus matavimą analizuojamas spektro smailės. Gaunamas viso bandinio aktyvumas bei aktyvumas kilograme. Kadangi matavimai atliekami pagal ^{137}Cs skilimo produkto ^{137m}Ba produkto smailę, gauname ^{137}Cs aktyvumą. Norint gauti ^{131}I aktyvumą, visą aktyvumą reikia dauginti iš koeficiento 45 (galiojantis sausoms iškritoms). Dar reikia nepamiršti, kad reikia įskaityti ir ^{137}Cs radioaktyvųjį skilimą. Jo pusėjimo trukmė – 30,04 m. Rezultatai surašyti 10 – oje lentelėje [16].

10 lentelė. Pagrindiniai iš kontrolinio bandinio gauti rezultatai.

Vietovė	Bandinio aktyvumas, Bq	ΔT, s	Masė, g	Aktyvumas Bq/kg	Aktyvumas ^{137}Cs, kBq/m^2	Aktyvumas ^{131}I, kBq/m^2	Paklaida, kBq/m^2	Paklaida %
Merkinė	1	28000	144,2	6,9	1,0	87,1	3,0	3,4
Paluknys	0,9	58300	102	8,9	1,3	113	3,0	2,6
Veisėjai	1	27320	119,4	8,7	1,2	110	3,6	3,3
Varena	0,2	72400	107,2	1,8	0,3	22,7	1,3	5,6
Saulėtekis	0,6	55700	96,2	6,6	0,9	82,5	2,4	2,9
Kaunas	0,2	57100	111	2	0,3	25,6	3,2	12,6
Giruliai	4,4	10200	154,6	28,7	4,0	362	18	5,0
Plungė	1,4	15100	85,9	16,1	2,3	203	16	7,7
Pagegiai	1,4	11010	155,9	9,1	1,3	115	10	9,0
Ukmergė	0,5	18000	117,8	4	0,6	50,1	6,9	13,7
Jurbarkas	0,7	15000	158,1	4,7	0,7	59,2	7,0	11,9
Kaišiadorys	0,4	58320	150,8	2,4	0,3	30,0	3,3	10,8
Šiauliai	1	13500	153,9	6,6	0,9	83,7	8,4	10,0
Šilutė	1,4	14300	165,8	8,4	1,2	106	8,7	8,2
Mažeikiai	0,6	13500	142,1	4,3	0,6	54,6	7,7	14,0
Panevėžys	0,4	63700	160,5	2,5	0,4	32,0	2,6	8,3

Norint gauti aktyvumą į kvadratinį metrą, reikėjo pasinaudoti žemės tankio verte, kuri buvo paimta 1,4 g/cm^3. Gautas ^{131}I aktyvumas atvaizduotas ant Lietuvos žemėlapio (18 pav.).



18 pav. ^{131}I aktyvumo pasiskirstymas (Bq/m^2) įvairiuose Lietuvos regionuose.

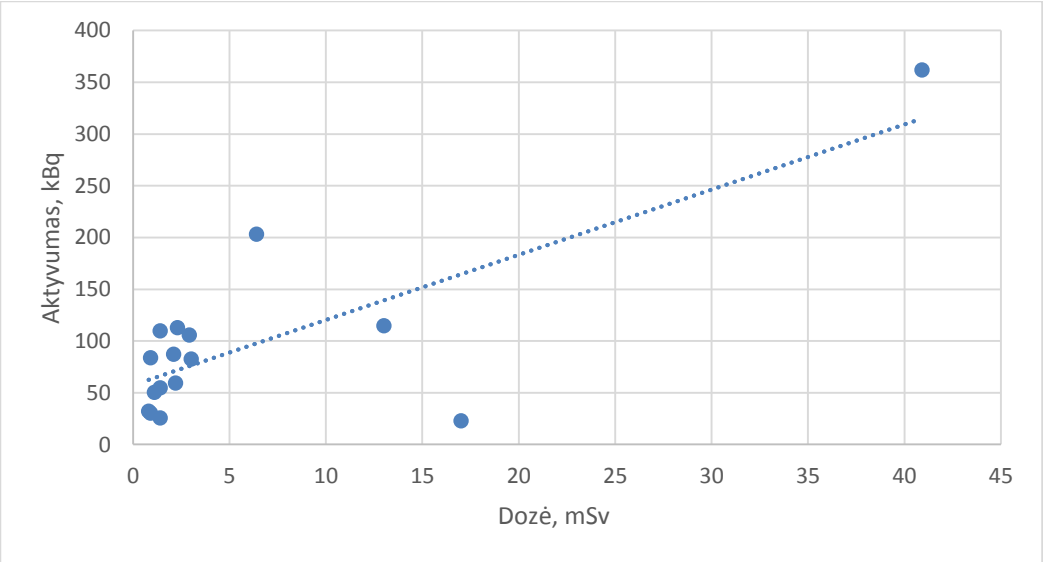
3.4 Kontrolinis palyginimas ^{131}I aktyvumo, gauto iš surinktų matavimo bandinių, su gauta doze vaikų skydliaukei

Palyginimui, ar tarp gautų dozių vaikų skydliaukei ir ^{131}I aktyvumo, gauto iš surinktų matavimo bandinių, įvairiuose Lietuvos rajonuose yra koreliacija, naudojami duomenys, apskaičiuoti 9 – oje ir 10 – oje lentelėse. Pirmiausia išrikiuojami gauti aktyvumai nuo mažiausių iki didžiausių. Tuomet atitinkamai atidedamos apskaičiuotos dozės tuose rajonuose. Priklausomybė atvaizduota 19 pav. Gautas koreliacijos koeficientas – 0,77. Iš 11 lentelės matyti,kad tai reiškia, jog koreliacija yra stipri. Palyginus 18 pav. ir 2 pav. žemėlapius matyti, kad gautas aktyvumo pasiskirstymas yra iš tiesų teisingas. Tik piečiau gauti aktyvumai iš bandinių turėjo būti panašūs kaip vakarų Lietuvoje t.y. didesni.

11 lentelė. Koreliacijos koeficiento interpretavimas [17].

Neigiamos reikšmės	Aprašymas	Teigiamos Reikšmės
0,00	"nėra"	0,00
-0,19 – -0,01	"labai silpnas"	0,01 – 0,19
-0,39 – -0,20	"silpnas"	0,20 – 0,39
-0,69 – -0,40	"vidutinis"	0,40 – 0,69
-0,89 – -0,70	"stiprus"	0,70-0,89
-0,99 – -0,90	"labai stiprus"	0,90-0,99
-1,00	"visiškai tikslus"	1,00

Reikia nepamiršti, kad iš kiekvieno rajono yra paimta po vieną bandinį, o dozės skydliaukei matavimams, paimti suvidurkinti ^{131}I aktyvumai žolėje. Tai galėjo sumažinti koreliacijos koeficientą. Taip pat bandinys galėjo neatitikti vieno iš pagrindinių reikalavimų – dirvožemis buvo artas, dėl to aktyvumas bandinyje galėjo neatitikti aktyvumo toje vietovėje. Taip pat iš rezultatų matyti, kad sutapo tai, jog didžiausias ^{131}I aktyvumas bei dozė skydliaukei buvo vakariniuose Lietuvos rajonuose.



19 pav. ^{131}I aktyvumo ir dozės skydliaukei tarpusavio priklausomybės grafikas.

PAGRINDINIAI REZULTATAI IR IŠVADOS

1. Vaikų skydliaukės apšvitos dozės tyrime įvertintos dviejų sandų bio – kinetiniu modeliu, remiantis ^{131}I aktyvumo žolėje duomenimis ir nustatyta, kad dozių skaitinės vertės yra mažesnės nei bio – kinetiniu modeliu paremtame tyrime, kadangi buvo naudotos skirtingos vertinimo metodikos. Įskaičius radioaktyvaus jodo savitojo aktyvumo mažėjimo piene bei nugairinimo nuo žolės procesus 60 d. laikotarpyje, dozių vertės taip pat sumažėjo.
2. Nustatyta, kad po ČAE avarijos didžiausias lygiavertes skydliaukės apšvitos dozes gavo 1 metų vaikai, esant stabilaus jodo pakankamumui – apie 6 mSv, trūkumui – 10,7 mSv, o mažiausias 18 metų, esant pakankamumui – apie 0,6 mSv, o trūkumui – 1,7 mSv. Kadangi esant lygiavertei skydliaukės apšvitos dozei iki 100 mSv jokie organizmo pokyčiai nestebimi, todėl iš gautų rezultatų galima daryti išvadą, kad skydliaukės apšvitos dozės neturėjo pastebimos įtakos vaikų sveikatai.
3. Panaudojant priklausomybės koeficientą, iš gauto ^{137}Cs aktyvumo bandinyje, buvo apskaičiuotas ^{131}I aktyvumas po ČAE avarijos ir nustatyta, kad didžiausi aktyvumai iškritose buvo Plungėje, Giruliuose, Šilutėje, Paluknyje bei Veisėjuose nuo 100 kBq/m^2 iki 360 kBq/m^2.
4. Įvertintas koreliacijos koeficientas tarp ^{131}I aktyvumo, atstatyto pagal kontrolinius matavimus, ir įvertintos dozės skydliaukei po ČAE avarijos įvairiuose Lietuvos rajonuose. Gauta vertė – 0,77, tai reiškia, kad koreliacija stipri. Nustatytą koreliacijos koeficientą galėjo sumažino tai, jog iš skirtingo Lietuvos rajono buvo paimta tik po vieną bandinį, o dozės skydliaukei matavimas buvo naudojami keli suvidurkinti tam tikrame regione ^{131}I aktyvumo žolėje rezultatai. Taip pat bandinys galėjo neatitikti vieno iš pagrindinių reikalavimų – dirvožemis buvo artas, dėl to aktyvumas bandinyje galėjo neatitikti aktyvumo toje vietovėje. Įvertintas didžiausias ^{131}I aktyvumas bei dozė skydliaukei buvo vakariniuose Lietuvos rajonuose.

SUMMARY

In our already well – known accidents, one of the biggest was in 1986 occurred at the Chernobyl nuclear power plant accident in Ukraine. Chernobyl accident consequences is one of the largest through all the years of the life of nuclear power plants therefore dose assessment is very important after this accident. After the accident a lot of iodine was thrown out. Thyroid mainly accumulates iodine. The aim of this work is evaluation of children thyroid doses dependence on age and iodine deficit received at the different Lithuanian regions. Internal exposure is mainly due to swallowed radioactive iodine. In this work were used radioactive iodine activity data in the grass and the appropriate formulas to the dose assessment. It can be said, that the resulting dose to the thyroid is higher in iodine deficiency. Take into account that the arbitrariness of iodine in milk changes in time. This reduces received thyroid doses. The highest dose after the Chernobyl accident received Klaipeda, Kretinga, and Druskininkai municipality residents. The maximum dose received children 1 years old – at a stable iodine deficiency - about 6 mSv, deficiency – 10,7 mSv, and the lowest in 18 years at the adequacy of - about 0.6 mSv, and deficiency – 1,7 mSv. Risk is larger at young ages, because body cells are in particular sensitive at rapid breeding period, particularly in the earliest stages of embryonic and phase. When equivalent dose to thyroid is up to 100 mSv no changes are noticeable in the body. From the results it can be concluded that the doses resulting from the Chernobyl accident did not considerably affect the health of children. Also, in this work had been taken samples from different regions of Lithuania and then used a dependency ratio, from the resulting ^{137}Cs activity in the sample, was calculated ^{131}I activity after Chernobyl NPP accident and found that the highest activity of the Plunge, Giruliai , Šilutė, Paluknys from 100 to 360 kBq / m^2. The high correlation between ^{131}I activity and the estimated dose to the thyroid after the Chernobyl NPP accident in various districts of Lithuania were observed. Resulting correlation coefficient is 0,77. The correlation coefficient may reduced due to the fact that from different region of Lithuania were taken just one sample, and the measurement of the thyroid dose was used in several averaged in a given region ^{131}I activity results in the grass. Also, the sample was able to contravene one of the basic requirements - the soil was plown. Overlapped so that the maximum ^{131}I activity and dose to the thyroid were areas in western Lithuania.

SANTRAUKA

Iš mums jau žinomų avarijų, viena iš didžiausių buvo 1986 m. įvykusi Černobylio atominės elektrinės avarija Ukrainoje. Pirmosiomis AE avarijos dienomis radioaktyviosiose išmetose vyravo ^{131}I, ^{89}Sr, ^{132}Te ir inertinės dujos. Radioaktyvusis debesis su ^{131}I neaplenkė ir Lietuvos. ^{131}I kaupiasi skydliaukėje, slopina jos funkciją. Kadangi skydliaukė yra nedidelis organas, mažos ^{131}I dozės gali kelti grėsmę žmonių sveikatai, ypatingai mažiems vaikams, todėl vienas pagrindinių tikslų po AE katastrofų - apšvitos dozių įvertinimas. Dėl šios priežasties, šiame darbe buvo tiriamos vaikų skydliaukės apšvitos dozių priklausomybės nuo amžiaus ir jodo deficito po Černobylio AE avarijos. Darbe aptartas sudėtingas bio – kinetinis skydliaukės apšvitos dozės vertinimo metodas, bei pateikti rezultatai. Šiame metode buvo atsižvelgta į stabilaus jodo kiekio trūkumą skydliaukėje bei į jodo metabolizmą žmogaus kūne. Na, o šio darbo tyrimo metodika paremta dviejų sandų bio - kinetiniu modeliu, kuriame taip pat atsižvelgta į jodo kiekio trūkumą skydliaukėje. Lygiavertė skydliaukės apšvitos dozė įvertinta naudojant ^{131}I aktyvumo žolėje duomenis bei įskaičiuotas radioaktyvaus jodo savitojo aktyvumo mažėjimas piene ir nugairinimo nuo žolės procesas 60d. laikotarpyje. Dėl skirtingų vertinimo metodikų bei įvertintos apšvitos dozės dviejų sandų bio - kientiniu modeliu įvertintos dozės yra mažesnės lyginant su bio – kinetiniu modeliu. Na, o iš rezultatų galima daryti išvadą, kad didžiausias dozes, gavo 1 metų vaikai, esant stabilaus jodo pakankamumui – apie 6 mSv, trūkumui – 10,7 mSv, o mažiausias 18 metų, esant pakankamumui – apie 0,6 mSv, o trūkumui – 1,7 mSv., tačiau esant lygiavertei skydliaukės apšvitos dozei iki 100 mSv jokie organizmo pokyčiai nepastebimi, todėl iš gautų rezultatų galima daryti išvadą, kad apšvitos dozės, gautos po ČAE avarijos neturėjo pastebimos įtakos vaikų sveikatai. Taip pat, šiame darbe buvo paimti bandiniai iš įvairių Lietuvos rajonų ir panaudojant priklausomybės koeficientą, iš gauto ^{137}Cs aktyvumo bandinyje, buvo apskaičiuotas ^{131}I aktyvumas po ČAE avarijos. Įvertintas koreliacijos koeficientas tarp ^{131}I aktyvumo, atstatyto pagal kontrolinius matavimus, ir įvertintos dozės skydliaukei po ČAE avarijos įvairiuose Lietuvos rajonuose. Gauta vertė – 0,77, tai reiškia, kad koreliacija stipri. Nustatytą koreliacijos koeficientą galėjo sumažino tai, jog iš skirtingo Lietuvos rajono buvo paimta tik po vieną bandinį, o dozės skydliaukei matavimas buvo naudojami keli suvidurkinti tam tikrame regione ^{131}I aktyvumo žolėje rezultatai. Taip pat bandinys galėjo neatitikti vieno iš pagrindinių reikalavimų – dirvožemis buvo artas, dėl to aktyvumas bandinyje galėjo neatitikti aktyvumo toje vietovėje. Įvertintas didžiausias ^{131}I aktyvumas bei dozė skydliaukei buvo vakariniuose Lietuvos rajonuose.

LITERATŪRA

1. Donatas Butkus, Jonizuojančioji spinduliuotė aplinkoje. Vilnius: Technika, 2006 m;
2. A. Urbelis, Jonizuojančioji spinduliuotė (radiacija): sauga, sveikata, ekologija. Vilnius: Vilniaus universiteto leidykla, 2005 m.;
3. Jonizuojančios spinduliuotės rūšys. [interaktyvus]. Prieiga per internetą: http://www.esmogas.lt/elktromagnetine-aplinka/jonizuojanti-radiacija (žiūrėta 2016-01-04);
4. A. Poškus, Branduolio fizika. Vaizdinė paskaitų medžiaga. [interaktyvus]. Prieiga per internetą: http://web.vu.lt/ff/a.poskus/files/2013/09/Nr11.pdf (žiūrėta 2016-01-12);
5. Lietuvos higienos norma HN 73:2001 „Pagrindinės radiacinės saugos normos“.
6. Vidmantas Remeikis, Radioekologija mokomoji knyga. Vilnius: Vilniaus universiteto leidykla, 2007 m.;
7. E. Maceika, Radionuklidų sklaidos aplinkoje modeliavimas. Vaizdinė paskaitų medžiaga.
8. Sources and effects of ionizing radiation, UNSCEAR 2008 report to the general assembly with scientific annexes, Volume II, United Nations, New York, 2011. [interaktyvus]. Prieiga per internetą: http://www.unscear.org/docs/reports/2008/1180076_Report_2008_Annex_D.pdf (žiūrėta 2016-01-10);
9. Ką reikėtų žinoti apie skydliaukę. [interaktyvus]. Prieiga per internetą: http://www.sveikatosabc.lt/lt/straipsniai/16/ka-reiketu-zinoti-apie-skydliauke_ (žiūrėta 2016-01-05);
10. T. Nedveckaitė, V. Filistovic, A. Mastauskas, K. Thiessen, Thyroid dosimetry in the western trace of the Chernobyl accident plume, Radiation protection dosimetry 2004, Vol. 108, No. 2, pp. 133-141;
11. J. R. Johnson, Radioiodine dosimetry, Journal of radioanaliytical chemistry, Vol. 65, no. 1 – 2, pp. 223 – 238, 1981 m.
12. T. Nedveckaitė, V. Filistovičius, R. Petrulis, S. Dauskurdis, O. Tamulėnaitė, K. Čypas, Atmosferos fizika Vol. 14, Lietuvos TSR kultūrinių gamyklų žolės užterštumo radionuklidais po Černobylio AE avarijos ypatumai. Vilnius, 1989 m.;
13. Iodine – 131 releases from radioactive lanthanum processing at the X-10 site in Oak Ridge, Tennessee (1944-1956) – an assessment of quantities released, off – site radiation doses, and potential excess risk of thyroid cancer. Report of Oak Ridge dose reconstruction, Vol. 1, The report of project task 1, pp. 294-302, 1999 m. [interaktyvus]. Prieiga per internetą: https://tn.gov/assets/entities/health/attachments/Iodine1.pdf (žiūrėta 2016-04-15);

14. George G. Killough, Keith F. Eckerman, Age and sex – specific estimation of dose to a normal thyroid from clinical administration of Iodine – 131, Oak Ridge national laboratory, 1986m. [interaktyvus]. Prieiga per internetą: http://web.ornl.gov/info/reports/1986/3445600693300.pdf; (žiūrėta 2016-04-15);
15. Juta Ibianskaitė, Donatas Butkus, Gamtinės ir dirbitinės kilmės radionuklidų sklaidos dirvožemyje nuo šiluminės elektrinės tyrimas, pp. 46, 2013 m. [interaktyvus]. Prieiga per internetą: http://jmk.aainz.vgtu.lt/index.php/conference/jmk2013/paper/view/8/8. (žiūrėta 2016-05-16);
16. Konstantin Kotenko, Sergey Shinkarev, Yury Abramov, Evgeniya Granovskaya, Vladimir Yatsenko, Yury gavrilin, Tetsuji Imanaka, Masaharu Hoshi, Comparative analysis of the radionuclide composition in fallout after the Chernobyl and the Fukushima accidents, 2012 m. [interaktyvus.]. Prieiga per internetą: http://www.irpa.net/members/TS12c.2.pdf.(žiūrėta 2016-05-16);
17. A. Beržanskytė, Duomenų ryšys. Vaizdinė paskaitų medžiaga, 2012 m. [interaktyvus]. Prieiga per internetą: web.vu.lt/mf/a.berzanskyte/files/2012/02/duomen_ryšys.ppt (žiūrėta 2016-05-20).

PRIEDAI

1 priedas. Skydliaukės apšvitos dozių įvertinimas įvairiuose Lietuvos rajonuose po Černobylio AE avarijos nuo amžiaus, esant stabilaus jodo pakankamam kiekiui skydliaukėje.

Eil. Nr	Savivaldybė	I-131 aktyvumas žolėje išmatuotas kBq/kg sauso sv.	Įvertintas I-131 aktyvu-mas piene, Bq/L	Skydliaukės dozės, mSv (stabilaus jodo pakankamumas)			
				1 m.	7 m.	12 m.	18 m.
1	Akmenės r.	1	118,8	1,1	0,5	0,4	0,1
2	Alytaus m.	1,7	202	2	0,8	0,7	0,2
3	Alytaus r.	1,8	213,8	2,1	0,8	0,8	0,2
4	Anykščių r.	1,6	190,1	1,9	0,7	0,7	0,2
5	Birštono	1,5	178,2	1,8	0,7	0,7	0,2
6	Biržų r.	0,8	89,1	8,7	0,3	0,3	0,1
7	Druskininkų	35,5	4217,4	42,2	16,2	15,2	4,2
8	Elektrėnų	0,8	95,0	0,9	0,4	0,4	0,1
9	Ignalinos r.	1,6	190,1	1,9	0,7	0,7	0,2
10	Jonavos r.	0,8	95,0	0,9	0,4	0,4	0,1
11	Joniškio r.	1,9	225,7	2,2	0,8	0,8	0,2
12	Jurbarko r.	1,9	219,8	2,2	0,8	0,8	0,2
13	Kaišiadorių r.	0,8	95,0	0,9	0,4	0,4	0,1
14	Kalvarijos	20,3	2411,6	23,7	9,3	8,9	2,4
15	Kauno m.	1,2	142,6	1,4	0,6	0,5	0,1
16	Kauno r.	1	118,8	1,2	0,5	0,4	0,1
17	Kazlų Rūdos	1,5	178,2	1,8	0,7	0,7	0,2
18	Kelmės r.	0,7	83,2	0,8	0,3	0,3	0,1
19	Kėdainių r.	0,5	59,4	0,6	0,2	0,2	0,1
20	Klaipėdos m.	35	4158	40,9	16	15,3	4,1
21	Klaipėdos r.	24,4	2898,7	28,5	11,1	10,7	2,9
22	Kretingos r.	20,3	2411,6	23,7	9,26	8,9	2,4
23	Kupiškio r.	1,5	178,2	1,8	0,7	0,7	0,2
24	Lazdijų r.	1,2	142,6	1,4	0,6	0,5	0,1
25	Marijampolės	20,3	2411,6	23,7	9,3	8,9	2,4
26	Mažeikių r.	1,2	142,6	1,4	0,6	0,5	0,1
27	Molėtų r.	0,8	95,0	0,9	0,4	0,4	0,1
28	Neringos	17	2019,6	20	7,8	7,4	2,0
29	Pagėgių	11	1306,8	12,9	5,0	4,8	1,3
30	Pakruojo r.	1,4	166,3	1,6	0,6	0,6	0,2
31	Palangos m.	27,7	3290,8	32,4	12,6	12,1	3,3
32	Panevėžio m.	0,7	83,2	0,8	0,3	0,3	0,1
33	Panevėžio r.	0,7	83,2	0,8	0,3	0,3	0,1
34	Pasvalio r.	0,9	106,9	1,1	0,4	0,4	0,1
35	Plungės r.	5,5	653,4	6,4	2,5	2,4	0,7
36	Prienų r.	1,6	190,1	1,9	0,7	0,7	0,2
37	Radviliškio r.	0,5	59,4	0,6	0,2	0,2	0,1
38	Raseinių r.	0,2	23,8	0,2	0,1	0,1	0,01

39	Rietavo	1,2	142,6	1,4	0,6	0,5	0,1
40	Rokiškio r.	2,7	320,8	3,2	1,2	1,2	0,3
41	Skuodo r.	7,6	902,9	8,9	3,5	3,3	0,9
42	Šakių r.	1,5	178,2	1,8	0,7	0,7	0,2
43	Šalčininkų r.	1,2	142,6	1,4	0,6	0,5	0,1
44	Šiaulių m.	0,8	95,0	0,9	0,4	0,4	0,1
45	Šiaulių r.	0,8	95,0	0,9	0,4	0,4	0,1
46	Šilalės r.	6	712,8	7,0	2,7	2,6	0,7
47	Šilutės r.	2,5	297	2,9	1,1	1,1	0,3
48	Širvintų r.	0,8	95,0	0,9	0,4	0,4	0,1
49	Švenčionių r.	2	237,6	2,3	1	0,9	0,2
50	Tauragės r.	12,2	1449,4	14,3	5,6	5,3	1,4
51	Telšių r.	1,2	142,6	1,4	0,6	0,5	0,1
52	Trakų r.	2	237,6	2,3	1	0,9	0,2
53	Ukmergės r.	0,9	106,9	1,1	0,4	0,4	0,1
54	Utenos r.	4,4	522,7	5,1	2,0	1,9	0,5
55	Varėnos r.	14,8	1758,2	17,3	6,8	6,5	1,7
56	Vilkaviškio r.	1,8	213,8	2,1	0,8	0,8	0,2
57	Vilniaus m.	2,6	308,9	3,0	1,2	1,1	0,3
58	Vilniaus r.	2,6	308,9	3,0	1,2	1,1	0,3
59	Visagino m.	1,3	154,4	1,5	0,6	0,6	0,2
60	Zarasų r.	1,6	190,1	1,9	0,7	0,7	0,2
Dozių vidurkis				6,3	2,4	2,3	0,6

2 priedas. Skydliaukės apšvitos dozių įvertinimas įvairiuose Lietuvos rajonuose po Černobylio AE avarijos nuo amžiaus bei stabilaus jodo trūkumo.

Eil. Nr	Savivaldybė	I-131 aktyvumas žolėje išmatuotas kBq/kg sauso sv.	Įvertintas I-131 aktyvu-mas piene, Bq/L	Skydliaukės dozės, mSv (stabilaus jodo nepakankamumas)			
				1 m.	7 m.	12 m.	18 m.
1	Akmenės r.	1	118,8	1,8	1,6	1,4	0,3
2	Alytaus m.	1,7	202	3,3	2,5	2,4	0,7
3	Alytaus r.	1,8	213,8	3,5	2,5	2,7	0,7
4	Anykščių r.	1,6	190,1	3,2	2,2	2,4	0,7
5	Birštono	1,5	178,2	3,0	2,2	2,4	0,7
6	Biržų r.	0,8	89,1	14,6	1,0	1,0	0,3
7	Druskininkų	35,5	4217,4	70,7	51,6	52,2	14,0
8	Elektrėnų	0,8	95,0	1,5	1,3	1,4	0,3
9	Ignalinos r.	1,6	190,1	3,2	2,2	2,4	0,7
10	Jonavos r.	0,8	95,0	1,5	1,3	1,4	0,3
11	Joniškio r.	1,9	225,7	3,7	2,5	2,7	0,7
12	Jurbarko r.	1,9	219,8	3,7	2,5	2,7	0,7
13	Kaišiadorių r.	0,8	95,0	1,5	1,3	1,4	0,3
14	Kalvarijos	20,3	2411,6	39,7	29,6	30,5	8,0
15	Kauno m.	1,2	142,6	2,3	1,9	1,7	0,3
16	Kauno r.	1	118,8	2,0	1,6	1,4	0,3
17	Kazlų Rūdos	1,5	178,2	3,0	2,2	2,4	0,7
18	Kelmės r.	0,7	83,2	1,3	1,0	1,0	0,3
19	Kėdainių r.	0,5	59,4	1,0	0,6	0,7	0,3
20	Klaipėdos m.	35	4158	68,5	50,9	52,5	13,7
21	Klaipėdos r.	24,4	2898,7	47,7	35,3	36,7	9,7
22	Kretingos r.	20,3	2411,6	39,7	29,5	30,5	8,0
23	Kupiškio r.	1,5	178,2	3,0	2,2	2,4	0,7
24	Lazdijų r.	1,2	142,6	2,3	1,9	1,7	0,3
25	Marijampolės	20,3	2411,6	39,7	29,6	30,5	8,0
26	Mažeikių r.	1,2	142,6	2,3	1,9	1,7	0,3
27	Molėtų r.	0,8	95,0	1,5	1,3	1,4	0,3
28	Neringos	17	2019,6	33,5	24,8	25,4	6,7
29	Pagėgių	11	1306,8	21,6	15,9	16,5	4,3
30	Pakruojo r.	1,4	166,3	2,7	1,9	2,1	0,7
31	Palangos m.	27,7	3290,8	54,3	40,1	41,5	11,0
32	Panevėžio m.	0,7	83,2	1,3	1,0	1,0	0,3
33	Panevėžio r.	0,7	83,2	1,3	1,0	1,0	0,3
34	Pasvalio r.	0,9	106,9	1,8	1,3	1,4	0,3
35	Plungės r.	5,5	653,4	10,7	8,0	8,2	2,3
36	Prienų r.	1,6	190,1	3,2	2,2	2,4	0,7
37	Radviliškio r.	0,5	59,4	1,0	0,6	0,7	0,3
38	Raseinių r.	0,2	23,8	0,3	0,3	0,3	0,0
39	Rietavo	1,2	142,6	2,3	1,9	1,7	0,3
40	Rokiškio r.	2,7	320,8	5,4	3,8	4,1	1,0

41	Skuodo r.	7,6	902,9	14,9	11,1	11,3	3,0
42	Šakių r.	1,5	178,2	3,0	2,2	2,4	0,7
43	Šalčininkų r.	1,2	142,6	2,3	1,9	1,7	0,3
44	Šiaulių m.	0,8	95,0	1,5	1,3	1,4	0,3
45	Šiaulių r.	0,8	95,0	1,5	1,3	1,4	0,3
46	Šilalės r.	6	712,8	11,7	8,6	8,9	2,3
47	Šilutės r.	2,5	297	4,9	3,5	3,8	1,0
48	Širvintų r.	0,8	95,0	1,5	1,3	1,4	0,3
49	Švenčionių r.	2	237,6	3,9	3,2	3,1	0,7
50	Tauragės r.	12,2	1449,4	23,9	17,8	18,2	4,7
51	Telšių r.	1,2	142,6	2,3	1,9	1,7	0,3
52	Trakų r.	2	237,6	3,9	3,2	3,1	0,7
53	Ukmergės r.	0,9	106,9	1,8	1,3	1,4	0,3
54	Utenos r.	4,4	522,7	8,5	6,4	6,5	1,7
55	Varėnos r.	14,8	1758,2	29,0	21,6	22,3	5,7
56	Vilkaviškio r.	1,8	213,8	3,5	2,5	2,7	0,7
57	Vilniaus m.	2,6	308,9	5,0	3,8	3,8	1,0
58	Vilniaus r.	2,6	308,9	5,0	3,8	3,8	1,0
59	Visagino m.	1,3	154,4	2,5	1,9	2,1	0,7
60	Zarasų r.	1,6	190,1	3,2	2,2	2,4	0,7
Dozių vidurkis				10,7	7,8	8	1,9